UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRAFICAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

INFORME FINAL

PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
FIP Nº 2006-13

"DINAMICA REPRODUCTIVA DE ANCHOVETA Y SARDINA COMUN, ZONA CENTRO-SUR AÑO 2006"

CONCEPCION, ENERO 2009

INFORME FINAL

Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

PROYECTO

FIP Nº 2006-13
Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, zona centro-sur año 2006

REQUIRENTE

Fondo de Investigación Pesquera
Consejo de Investigación Pesquera

UNIDAD EJECUTORA

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

SUBCONTRATOS

Instituto de Fomento Pesquero

JEFE PROYECTO

Luis Cubillos Santander
Departamento de Oceanografía
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Universidad de Concepción
Casilla 160-C, Concepción, Chile
Tel.: 56-41-2207233
Fax: 56-41-2256571
E-mail: lucubillos@udec.cl

• Concepción – ENERO 2009 •

informe Final

Dinámica Reproductiva de Anchoveta y Sardina común zona centro-sur

AUTORES

Luis A. Cubillos

Milton Pedraza García

T. Mariella Canales

Antonio Aranis

• 2009 •

Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

1 Resumen ejecutivo

El propósito del proyecto fue estudiar la dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile, comprendida entre la V y XIV Región, y cubre el periodo comprendido entre febrero de 2007 y febrero de 2008. Asimismo, con propósitos comparativos se consolidó una base de datos que cubre el periodo 2005-2006.

Los cambios espacio-temporales en los indicadores reproductivos fueron estudiados en la escala mensual y dos estratos geográficos: a) zona norte, comprendida entre la V y VIII Región; y b) zona sur, que agrupa la IX y XIV Región. Los indicadores reproductivos macroscópicos fueron el índice gonadosmático (IGS) y la proporción de estadios de madurez sexual. La dinámica temporal fue diferente entre zonas, observándose en la zona norte una mayor amplitud y duración de la actividad reproductiva de ambas especies en comparación con la zona sur. Este comportamiento se confirmó a través de la proporción de estadios de madurez sexual de las hembras. En la zona norte, la actividad gonádica comienza en julio y se extiende hasta octubre en el caso de la sardina común, y hasta diciembre-enero en el caso de la anchoveta. En la zona sur, sólo los meses de septiembre y octubre registraron una actividad gonádica importante. En la sardina común, el periodo de reposo se extiende desde enero a mayo en la zona norte y desde enero hasta agosto en la zona sur. En la anchoveta, el reposo es breve en la zona norte (febrero-abril) mientras que en la zona sur se extiende desde diciembre hasta abril.

Existe una asincronía temporal en la estación reproductiva, con un gradiente norte-sur. La actividad reproductiva comienza antes en la zona norte, presentando una mayor amplitud y duración que en la zona sur, donde se observó una actividad reproductiva restrictiva y concentrada en dos meses. Además, se encontró que el tamaño de las hembras afecta el comportamiento del IGS, postulándose que las hembras más grandes de sardina común y anchoveta exhiben una mayor amplitud que las hembras más pequeñas. Situación que se verifica en la fracción de hembras maduras. Destaca también el ciclo inverso en el factor de condición de las hembras respecto del IGS en la zona norte, lo que corrobora que ambas especies tienen una estrategia de almacenaje de energía durante el periodo estival. Esta energía sería utilizada en reproducción varios meses después. Sin embargo, en la zona sur, el factor de condición en algunas tallas no presenta cambios estacionales significativos.

Los estados de madurez sexual microscópicos permitieron verificar los cambios descritos a través de indicadores macroscópicos, y a su vez permitieron la estimación de la talla media de primera madurez

sexual. Esta fue estimada en 11,2 cm de longitud total para la sardina común y en 12 cm para la anchoveta.

La proporción sexual mostró cambios mensuales y dependientes del tamaño de los ejemplares. Si bien la proporción sexual tiende a fluctuar cerca de 1:1, generalmente en diciembre se produce una alteración en este indicador. No obstante, se identifica un patrón demográfico, que se traduce en una menor frecuencia de machos en ejemplares de más de 15 cm de longitud total.

El mes con la máxima frecuencia de hembras maduras fue septiembre de 2007, en ambas zonas. El peso promedio de la anchoveta y sardina común fue similar entre zonas. La fracción diaria de hembras desovantes fue alta en ambas especies, particularmente en la zona norte en el caso de la sardina común (S = 0,26) y en la zona sur en el caso de la anchoveta (S = 0,28). Ello implica una frecuencia de desove cada 3,6 y 3,8 días. La frecuencia diaria de hembras desovantes más baja ocurrió en la zona sur para la sardina común (S = 0,15), lo que implica una frecuencia de desove cada 7 días. Se demuestra que la fracción diaria de hembras desovantes es dependiente del peso de las hembras, tal y como ha sido sugerido para especies similares. En relación con la fecundidad parcial, no hubo diferencias entre zonas y la fecundidad media poblacional fluctúo entre 8.837-8.903 ovocitos en la anchoveta, y entre 8.211-9.267 en la sardina común.

En relación con el periodo de veda reproductiva actual, se evaluó diferentes alternativas: a) 61 días (22 de julio – 20 de septiembre), b) 71 días (22 de julio – 30 de septiembre), c) 102 días (01 de julio – 30 de septiembre), y d) 133 días (1 de julio – 30 de octubre). Solamente el último escenario produce un incremento significativo en el stock desovante por recluta, del orden de 8,4 – 10,8 % en la sardina común, y de 13 a 22 % en la anchoveta.

2 Indice general

1 RESUMEN EJECUTIVO....1
2 INDICE GENERAL....3
3 INDICE DE TABLAS Y FIGURAS....4
4 OBJETIVO GENERAL....10
5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS....10
6 ANTECEDENTES....11
7 METODOLOGÍA....13
7.1. AREA Y PERIODO DE ESTUDIO....13
7.2. OBTENCIÓN DE MUESTRAS....13
7.2.1. Muestreo en sitios de desembarque....13
7.2.2. Muestreo a bordo....14
7.2.3. Principales técnicas estadísticas....19
7.3. DATOS BIOLÓGICO-ESPECÍFICOS 2005-2006....21
7.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVO ESPECÍFICO....23
7.4.1. Objetivo 1: Determinar los periodos de reposo, de mayor actividad reproductiva, y de desove de anchoveta y sardina común en un contexto espacio-temporal, en función del tamaño y peso corporal de las hembras....23
7.4.2. Objetivo 2: Determinar cambios espacio-temporales en la proporción sexual, en número y peso, y longitud y peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común. 33
7.4.3. Objetivo 3: Determinar los cambios espacio-temporales en la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común, y establecer su dependencia con el tamaño y peso corporal de las hembras....36
7.4.4. Objetivo 4: Determinar los cambios espacio-temporales en la fecundidad parcial, fecundidad relativa, y fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común. 43
7.4.5. Objetivo 5: Evaluar la sincronía espacial de la actividad reproductiva y época de desove de anchoveta y sardina común, proponiendo un modelo conceptual al respecto, y evaluar el impacto de los periodos de veda actuales y alternativos sobre el potencial reproductivo de los stocks. 46
7.5. TALLER DE DISCUSIÓN Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS....51
8 RESULTADOS....52
c) Indicadores biológico-pesqueros generales....55
8.1. OBJETIVO 1: DETERMINAR LOS PERIODOS DE REPOSO, DE MAYOR ACTIVIDAD REPRODUCTIVA, Y DE DESOVE DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN EN UN CONTEXTO ESPACIO-TEMPORAL, EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO Y PESO CORPORAL DE LAS HEMBRAS 63
8.1.1. Indicadores macroscópicos....63
8.1.2. Indicadores microscópicos....92

8.2. OBJETIVO 2: DETERMINAR CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES EN LA PROPORCIÓN SEXUAL, EN NÚMERO Y PESO, Y LONGITUD Y PESO PROMEDIO DE HEMBRAS MADURAS DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN. 95
8.3. OBJETIVO 3: DETERMINAR LOS CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES EN LA FRACCIÓN DIARIA DE HEMBRAS DESOVANTES DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN, Y ESTABLECER SU DEPENDENCIA CON EL TAMAÑO Y PESO CORPORAL DE LAS HEMBRAS.....116
8.4. OBJETIVO 4: DETERMINAR LOS CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES EN LA FECUNDIDAD PARCIAL, FECUNDIDAD RELATIVA, Y FECUNDIDAD MEDIA POBLACIONAL DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN. 119
8.5. OBJETIVO 5: EVALUAR LA SINCRONÍA ESPACIAL DE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA Y ÉPOCA DE DESOVE DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN, PROPONIENDO UN MODELO CONCEPTUAL AL RESPECTO, Y EVALUAR EL IMPACTO DE LOS PERIODOS DE VEDA ACTUALES Y ALTERNATIVOS SOBRE EL POTENCIAL RPRODUCTIVO DE LOS STOCKS.....121

9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 127

10 CONCLUSIONES.....130

11 REFERENCIAS 131

12 ANEXO 137

12.1. TALLER DE TRABAJO.....137

13 HORAS HOMBRE DEL EQUIPO DE TRABAJO.....139

3 Indice de tablas y figuras

Tablas		Pág.
Tabla 1.	Relación entre el número de lances (n) y el tamaño de la submuestra (m) para un rango de coeficientes de variación (CV) para los datos de fracción diaria de hembra desovante determinada en el crucero del 2002 (Cubillos et al. 2003).	19
Tabla 2.	Número de individuos disponibles para el período 2005-2006 de datos biológico-específicos. Fuente: Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR), Departamento de Oceanografía. F (Hembras/famale); M (Machos/male)	22
Tabla 3.	Número de hembras con datos microscópicos disponibles para el período 2002-2005, datos de hembras del crucero MPDH (n = número de lances; m = número de hembras).	23
Tabla 4.	Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales (adaptada de Holden y Raitt, 1975).	30
Tabla 5.	Caracterización de los estadios ováricos de hembras de sardina común y anchoveta.	37
Tabla 6.	Características morfohistológicas de los folículos postovulatorios.	38
Tabla 7.	Asignación de hora cronológica a los folículos postovulatorios de anchoveta y sardina común (modificada de Alheit et al. 1984).	40
Tabla 8.	Características espaciales y temporales de la obtención de muestras de sardina común y anchoveta durante el periodo Febrero 2007 – Enero 2008.	52
Tabla 9.	Total de datos por region empleados para la determinación de la Frecuencia de Tallas. Periodo Febrero 2007 a Enero 2008.	54
Tabla 10.	Características espaciales de la obtención de material para muestreo biológico específico.	54
Tabla 11.	Indice gonadosomático promedio (IGS) de anchoveta y sardina común en la VIII y XIV Regiones.	64

Tablas		Pág.
Tabla 12.	Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual macroscópicos registrados en ambas especies para VIII Región.	67
Tabla 13.	Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual macroscópicos registrados en ambas especies para XIV Región.	68
Tabla 14.	Resultados con GAM para la relación que considera el índice gonadosomatico (IGS), factor de condición (FC), y proporción de hembras maduras (Pm) en función del mes y tamaño de las hembras de anchoveta y sardina común. El intercepto representa la media global, y te(Month,Length) es el término suavizador spline. El error estandard se muestra entre paréntesis, GCV score es el índice general de validación cruzada para el ajuste del modelo. Periodo de estudio (febrero/2007- enero/2008).	69
Tabla 15.	Resultados con GAM para la relación que considera el índice gonadosomatico (IGS) y factor de condición (FC) en función del mes y tamaño de las hembras de anchoveta y sardina común. El intercepto representas la media global, y s(Month,Length) es el término suavizador spline. El error estandard se muestra entre paréntesis, GCV score es el índice general de validación cruzada para el ajuste del modelo. Periodo 2005-2006.	79
Tabla 16.	Número de otolitos de sardina común recopilados por puerto, año 2007.	81
Tabla 17.	Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Talcahuano. Primer Trimestre del 2007.	81
Tabla 18.	Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Talcahuano. Segundo Trimestre del 2007.	82
Tabla 19.	Claves Edad-Talla de sardina común en la zona de Talcahuano. Tercer Trimestre 2007.	82
Tabla 20.	Claves Edad-Talla de sardina común en la zona de Talcahuano. Cuarto Trimestre de 2007.	83
Tabla 21.	Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Corral- Valdivia. Primer Trimestre del 2007.	84
Tabla 22.	Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Segundo Trimestre del 2007.	84
Tabla 23.	Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Tercer Trimestre del 2007.	85
Tabla 24.	Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Tercer Trimestre del 2007.	85
Tabla 25.	Número de otolitos de sardina común recopilados por puerto, año 2007.	86
Tabla 26.	Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Talcahuano. Primer Trimestre del 2007.	86
Tabla 27.	Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Talcahuano. Segundo Trimestre del 2007.	87
Tabla 28.	Claves Edad-Talla de sardina común en la zona de Talcahuano. Tercer Trimestre 2007.	87
Tabla 29.	Claves Edad-Talla de sardina común en la zona de Talcahuano. Cuarto Trimestre de 2007.	88
Tabla 30.	Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Corral- Valdivia. Primer Trimestre del 2007.	89
Tabla 31.	Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Segundo Trimestre del 2007.	89
Tabla 32.	Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Tercer Trimestre del 2007.	90
Tabla 33.	Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Tercer Trimestre del 2007.	90
Tabla 34.	Parámetros de la relación longitud-peso de anchoveta y sardina común en la VIII y XIV Región.	91
Tabla 35.	Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual microscópico e índice de actividad de desove (IAD, %), registrados para anchoveta en ambas zonas	92

Tablas		Pág.
Tabla 36.	Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual macroscópico e índice de actividad de desove (IAD, %), registrados en sardina común en ambas zonas.	93
Tabla 37.	Estimación de la talla media de madurez sexual (Lm) para la fracción de la población que se distribuye entre el sur de la Isla Mocha y Punta Galera (38°20'S-40°S). Los parámetros de la función logística (a y b) fueron estimados mediante GLM, familia binomial y enlace logit. El error estándar de los parámetros se muestra entre paréntesis. El asterisco indica la significancia de los parámetros, i.e. Pr(>|z|) < 0,05.	94
Tabla 38.	Número de individuos por sexo de anchoveta en la zona norte (V-VIII Región) y sur (IX y XIV Región), periodo febrero de 2007-enero de 2008. F (Hembra/famale); M (Macho/male).	103
Tabla 39.	Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes, el tamaño de los ejemplares de anchoveta y la hora de captura. SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).	103
Tabla 40.	Número de individuos por sexo de sardina común en la zona norte (V-VIII Región) y sur (IX y XIV Región), periodo febrero de 2007-enero de 2008.	106
Tabla 41.	Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes, tamaño de los ejemplares de sardina y hora de captura. SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).	106
Tabla 42.	Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes y el tamaño de los ejemplares de anchoveta (periodo 2005-2006). SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).	109
Tabla 43.	Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes y el tamaño de los ejemplares de sardina común (periodo 2005-2006). SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).	111
Tabla 44.	Peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007.	115
Tabla 45.	Fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007.	116
Tabla 46.	Fracción diaria de hembras deosvante (S), peso promedio de hembras maduras (W) y transformación logito (n = número de lances, m = número de hembras). Zona Norte = V-VIII Región, y zona Sur = IX-XIV Región.	117
Tabla 47.	Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal, septiembre de 2007.	119
Tabla 48.	Fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007.	120
Tabla 49.	Cambios temporales en la Fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, periodo julio - septiembre de 2007.	120
Tabla 50.	Fecundidad relativa de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007. W=Peso Total promedio de hembras maduras (gramos); WC= Peso corporal promedio (peso libre de gonada) (gramos).	121
Tabla 51.	Escenario de Veda Reproductiva.	125
Tabla 52.	Rendimiento por recluta (YPR), stock desovante por recluta (SPR), stock desovante por recluta virginal (SPRo), incremento porcentual respecto al SPRo.	126
Tabla 53.	Rendimiento por recluta (YPR), stock desovante por recluta (SPR), stock desovante por recluta virginal (SPRo), incremento porcentual respecto al SPRo.	127

Figuras		Pág.
Figura 1.	Distribución de la abundancia relativa del estadio I de huevos por unidad de superficie respecto de la hora de colecta (desde las 15:00 pm) y distribución esperada según una curva normal de distribución de la hora de desove. Cruceros de 2002 al 2005 (Cubillos, en preparación).	39
Figura 2.	Esquema conceptual del ciclo de vida de sardina común en su primer año de vida en el sistema de surgencia estacional de la zona centro-sur. Se destaca el inicio (sep-oct) y término (mar-abr) del periodo estival, caracterizado por un incremento progresivo en la intensidad de la surgencia costera hacia enero-febrero y una declinación hacia los meses de marzo-abril, donde comienza la época de convergencia costera debida a la predominancia de vientos norte (Cubillos, 1999).	48
Figura 3.	Distribución de los laces de pesca efectivos registrados en la zona norte durante el año 2007.	53
Figura 4.	Distribución de los laces de pesca efectivos registrados en la zona sur durante el año 2007.	53
Figura 5.	Estructura de talla de anchoveta en la V Región.	56
Figura 6.	Estructura de talla de anchoveta en la VIII Región. Febrero 2007 – Enero 2008.	57
Figura 7.	Estructura de talla de anchoveta en la XIV Región. Febrero 2007 – Enero 2008.	58
Figura 8.	Estructura de talla de sardina común en la V Región.	59
Figura 9.	Estructura de talla de sardina común en la VIII Region. Febrero 2007 – Enero 2008.	60
Figura 10.	Estructura de talla de sardina común en la XIV Región. Febrero 2007- Enero 2008.	62
Figura 11.	Indice gonadosomático (IGS) promedio mensual, periodo febrero/2007- enero/2008.	64
Figura 12.	Indice gonadosomático (IGS) promedio mensual y su variabilidad asociada para el recurso anchoveta en las diferentes regiones demonitoreo y para todo el periodo de estudio (febrero/2007- enero/2008).	65
Figura 13.	Indice gonadosomático (IGS) promedio mensual y su variabilidad asociada para el recurso sardina comun en las diferentes regiones demonitoreo y para todo el periodo de estudio (febrero/2007- enero/2008).	65
Figura 14.	Indice gonadosomático (IGS) promedio por clases de talla en la VIII region. Sardina comun (A y B); Anchoveta (C y D).	66
Figura 15	Indice gonadosomático (IGS) promedio por clases de talla en la XIV region. sardina común (A y B); anchoveta (C y D).	66
Figura 16.	Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de anchoveta, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	70
Figura 17.	Señal estacional del factor de condición de las hembras en función del tamaño de las hembras de anchoveta, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	71
Figura 18.	Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de anchoveta. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	71
Figura 19.	Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de anchoveta, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	72
Figura 20.	Señal estacional del factor de condición de las hembras en función del tamaño de las hembras de anchoveta, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	73
Figura 21.	Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de anchoveta, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	73

Figuras		Pág.
Figura 22.	Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de sardina común, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	74
Figura 23.	Señal estacional del factor de condición de las hembras en función del tamaño de las hembras de sardina común, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	75
Figura 24.	Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de sardina común, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	75
Figura 25.	Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de sardina común, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	76
Figura 26.	Señal estacional del factor de condición en función del tamaño de las hembras de sardina común, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	77
Figura 27.	Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de sardina común, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	77
Figura 28.	Señal estacional del índice gonadosomático y factor de condición de las hembras de anchoveta y sardina común en el periodo 2005-2006. La representación corresponde a la salida de un modelo GAM que utiliza el mes como predictor.	78
Figura 29.	Señal estacional del índice gonadosomático (panel superior) y factor de condición (panel inferior) en función del tamaño de las hembras de anchoveta y sardina común en el periodo 2005-2006. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.	80
Figura 30.	Talla media de madurez sexual de sardina y anchoveta en la zona sur, comprendida entre el sur de la Isla Mocha y Punta Galera (38°20'S-40°S).	94
Figura 31.	Frecuencia sexual observada para anchoveta en la macrozona (V-XIVregiones) durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.	95
Figura 32.	Frecuencia sexual observada para anchoveta en la V, VIII, y XIV Región durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.	96
Figura 33.	Temporalidad en proporcion sexual observada para anchoveta en la VIII Región durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.	97
Figura 34.	Temporalidad en proporcion sexual observada para anchoveta en la XIV Región durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras.	98
Figura 35.	Frecuencia sexual observada para sardina comun en la macrozona (V-XIV regiones) durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.	99
Figura 36.	Frecuencia sexual observada para sardina común en la V, VIII y XIV región durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.	100
Figura 37.	Temporalidad en proporcion sexual observada para sardina comun en la VIII Región durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.	101
Figura 38.	Frecuencia sexual por mes observada para sardina común en la XIV región	102

Figuras Pág.

durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.
Figura 39. Proporción de machos de anchoveta en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha). 104
Figura 40. Proporción de machos de anchoveta en en función de la hora de captura. Izquierda (Zona Norte); Derecha (Zona Sur). 105
Figura 41. Efectos de la longitud y mes sobre la proporción sexual de anchoveta en la zona norte (izquierda) y sur (derecha). 105
Figura 42. Proporción de machos de sardina común en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha). 107
Figura 43. Proporción de machos de sardina comunen en función de la hora de captura. Izquierda (Zona Norte); Derecha (Zona Sur). 108
Figura 44. Efectos de la longitud y mes sobre la proporción sexual de sardina común en la zona norte (izquierda) y sur (derecha). 108
Figura 45. Proporción sexual de anchoveta en el periodo 2005-2006 en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha). 109
Figura 46. Proporción de machos de anchoveta en el periodo 2005-2006 en función del tamaño de los ejemplares. Los números en cada figura señalan el mes. 110
Figura 47. Proporción sexual de sardina común en el periodo 2005-2006 en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha). 111
Figura 48. Proporción de machos de sardina común en el periodo 2005-2006 en función del tamaño de los ejemplares. Los números en cada figura señalan el mes. 112
Figura 49. Peso promedio de hembras maduras en ambos recursos para las zonas norte y sur durante el periodo julio – octubre de 2007. 113
Figura 50. Anchoveta, cambios mensuales en el peso promedio de hembras maduras (W), en la fracción de hembras maduras (Pm), y fracción del peso promedio en la población (W*Pm). 114
Figura 51. Sardina común, cambios mensuales en el peso promedio de hembras maduras (W), en la fracción de hembras maduras (Pm), y fracción del peso promedio en la población (W*Pm). 115
Figura 52. Regresión logística entre la fracción diaria de hembras desovante y el peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común, periodo 2002-2007. 118
Figura 53. Relación entre la fracción diaria de hembras desovante y el peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común, periodo 2002-2007. 118
Figura 54. Relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal de anchoveta y sardina común. 120
Figura 55. Cambios temporales en la Fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, periodo julio - septiembre de 2007. 121
Figura 56. Esquema del ciclo reproductivo de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur. La zona norte implica el área comprendida entre la V-VIII Región (azul: sardina, negro: anchoveta) y la zona sur esencialmente el área comprendida entre la IX-XIV Región (rojo: ambas especies). 123
Figura 57. Patrón de explotación temporal para anchoveta y sardina común centro sur. 125
Figura 58. Variación del stock desovante por recluta de sardina común por escenario de veda y nivel de mortalidad por pesca. 126
Figura 59. Variación del stock desovante por recluta de anchoveta por escenario de veda y nivel de mortalidad por pesca. 127

4 Objetivo general

Determinar la dinámica reproductiva de sardina común y anchoveta durante un ciclo anual frente al litoral de las regiones V-XIV.

5 Objetivos específicos

5.1. Determinar los periodos de reposo, de mayor actividad reproductiva, y de desove de anchoveta y sardina común en un contexto espacio-temporal, en función del tamaño y peso corporal de las hembras.

5.2. Determinar cambios espacio-temporales en la proporción sexual, en número y peso, y longitud y peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común.

5.3. Determinar los cambios espacio-temporales en la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común, y establecer su dependencia con el tamaño y peso corporal de las hembras.

5.4. Determinar los cambios espacio-temporales en la fecundidad parcial, fecundidad relativa, y fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común.

5.5. Evaluar la sincronía espacial de la actividad reproductiva y época de desove de anchoveta y sardina común, proponiendo un modelo conceptual al respecto, y evaluar el impacto de los periodos de veda actuales y alternativos sobre el potencial reproductivo de los stocks.

6 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 & Arancibia 1993, Cubillos et al. 1998, Cubillos et al. 2001, Cubillos & Arcos 2002, Castillo-Jordán et al. 2007, Cubillos et al. 2007).

La unidad de pesquería de anchoveta y sardina común está siendo administrada a través del establecimiento de una cuota anual de captura, según el régimen de Límite Máximo de Captura por Armador para el sector industrial y según el Régimen Artesanal de Extracción en el caso del sector artesanal. Otras medidas de regulación son el establecimiento de dos vedas biológicas, una asociada al proceso reproductivo y la otra al proceso de reclutamiento de ambas especies. De acuerdo con las Bases Especiales del proyecto, la veda reproductiva fue establecida por el D.S. Nº 115/98 desde el 21 de julio hasta el 31 de agosto. Sin embargo, en el año 2005 la veda reproductiva se extendió hasta el 20 de septiembre (D.Ex. Nº 1051, 31 Agosto 2005) en atención a que ciertos indicadores reproductivos macroscópicos señalaban una actividad de desove más prolongada o bien retrasada.

Se destaca que los antecedentes relativos a la época de desove fueron establecidos a través de la ejecución del Proyecto FIP Nº 94-38, con especimenes muestreados en la V y VIII Región. Aunque con posterioridad han existido otros estudios y publicaciones que han permitido: a) identificar las principales zonas de desove (Castro et al. 1997), b) describir la estrategia reproductiva de estas especies (Cubillos et al. 1999, 2001, Castro et al. 2000, Castillo-Jordán et al. 2007), c) evaluar el stock desovante mediante el método de la producción diaria de huevos (Cubillos et al. 2007), en la actualidad la autoridad administrativa solamente ha tomado en cuenta productos del monitoreo reproductivo a través de indicadores macroscópicos como el índice gonadosomático y la proporción de estados de madurez sexual macroscópicos.

Los resultados de los proyectos de evaluación del stock desovante (FIP Nº 2002-14, FIP Nº 2003-06, FIP Nº 2004-03, y FIP 2005-02), en el contexto de la aplicación del Método de la Producción Diaria de Huevos, han permitido determinar los parámetros reproductivos microscópicos durante el periodo de

máxima actividad reproductiva, y a través de los cuales se ha podido establecer diferencias espaciales puntuales del proceso reproductivo entre la VIII y XIV Región (Cubillos et al. 2006).

En efecto, aparentemente la dinámica reproductiva frente al litoral de la VIII y IX-XIV Región es diferente. Por ello, sobre la base de la experiencia acumulada y del análisis de nueva información de parámetros reproductivos claves, es altamente oportuno establecer un marco conceptual con alto poder explicatorio en términos de las probables diferencias espacio-temporales de la reproducción de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur.

En particular, y considerando que los parámetros reproductivos dependen de la estructura demográfica del stock, y probablemente de condiciones ambientales, si se verifica una dinámica reproductiva diferente entre zonas, entonces la definición de la fracción juvenil y/o recluta así como la adulta serán de notable importancia para la evaluación y administración de estas pesquerías.

En consecuencia, el proceso reproductivo de sardina común y anchoveta debe ser revisado en un contexto espacio-temporal que abarque un ciclo anual completo con el objeto de precisar las diferencias regionales, establecer adecuadamente la estrategia reproductiva de estos peces pelágicos pequeños, y lograr un mejor resguardo del proceso de desove.

7 Metodología

7.1. Area y periodo de estudio

El área de estudio se extiende entre la V y XIV Región. El periodo de estudio se extendió por 14 meses, a partir de febrero de 2007. El estudio se inició a partir de la fecha de término de tramitación del decreto que establece el contrato de investigación (Decreto Exento Nº 290 del 29 de enero de 2007).

Las actividades de muestreo consideraron los siguientes estratos geográficos:

a) V Región, con puerto base en San Antonio,
b) VII-VIII Regiones, con puertos base en Talcahuano, San Vicente, Coronel y Lota, y
c) IX-XIV Regiones con puerto base en Corral.

7.2. Obtención de muestras

La actividad de muestreo en cada estrato geográfico consideró:

a) Muestreos en los principales sitios de desembarque. El enfoque está planteado en términos de un seguimiento de la estructura de tamaños, y la provisión de material biológico que permita determinar los indicadores biológico-pesqueros como indicadores reproductivos macroscópicos en el ámbito del primer y segundo objetivo específico.
b) Muestreos a bordo de embarcaciones. Actividad de muestreo para proveer de material biológico suficiente para los análisis microscópicos (histológicos), necesarios para el cumplimiento del tercer y cuarto objetivo específico. Además, los datos e información que se generen del muestreo a bordo permitirán cumplir con el objetivo específico 1 y 2 en términos de estados de madurez sexual microscópicos, talla media de madurez sexual, y peso promedio de hembras maduras.

7.2.1. Muestreo en sitios de desembarque

El plan de muestreo consideró un diseño bi-etápico (Cochran 1980), donde las unidades primarias representan embarcaciones o viajes de pesca y las secundarias al número de individuos. En este contexto, el diseño de muestreo estuvo orientado a muestrear más embarcaciones por semana (unidades de primera etapa) que de ejemplares al interior de cada unidad primaria. En efecto, estos pelágicos pequeños se distribuyen en cardúmenes, y usualmente la pesca se desarrolla sobre la base de agregaciones o

cardúmenes que se conforman por peces de tamaños similares (Blaxter & Hunter 1982). En este contexto, en una salida de pesca, una embarcación (y en particular una de cerco artesanal) opera sobre cardúmenes y agregaciones relativamente homogéneas.

El plan de muestreo consistió en obtener a lo menos 5 unidades primarias en el área de San Antonio (ca. 1000 ejemplares), 10 en el área de Talcahuano (ca. 2000 ejemplares), y 10 para el área de Corral al mes (ca. 2000 ejemplares). Estas unidades son equivalentes a viajes de pesca, y las embarcaciones muestreadas pueden eventualmente repetirse. El número total de ejemplares consideró un promedio de 200 ejemplares en cada viaje (embarcación) y se refiere a cualquiera de las dos especies en un evento de muestreo de segunda etapa. Estos tamaños mínimos de muestra están orientados a datos de frecuencia de tallas. Con el objeto de realizar el muestreo biológico específico, las muestras de frecuencia de tallas que fueron adecuadas para este propósito se trasladaron al laboratorio. En el laboratorio, se obtuvo una submuestra de tamaño fijo (100 ejemplares por especie) para obtener datos de cada ejemplar (longitud, peso, sexo, estados de madurez sexual, remoción de otolitos, peso de ovario).

7.2.2. Muestreo a bordo

El muestreo a bordo tuvo como propósito proveer de material biológico orientado al logro de los Objetivos Específico 3 y 4, en particular. No obstante, a partir de la información colectada a bordo, también se determinó la composición por longitudes de machos y hembras, obteniéndose una muestra aleatoria de tamaño fijo de ejemplares de cada lance. A estos ejemplares se les registró el sexo y se les midió la longitud total.

A bordo, y a partir de la muestra aleatoria de cada lance, se obtuvo una submuestra para estimar los parámetros reproductivos, consistente en un número fijo de ejemplares hembras (Picquelle 1985, Oliva et al. 2001), las que se preservaron en formalina para el análisis histológico en el laboratorio, y en particular para evaluar la fracción diaria de hembras desovante a través de los folículos postovulatorios. En aquellos lances que se realizaron cerca de la hora de desove (entre las 18:00 y 22:00 horas), y en los que se verificó presencia de hembras hidratadas, se realizó un muestreo adicional de hembras en dicha condición con la finalidad de determinar la fecundidad parcial.

El muestreo a bordo consistió en abrir los ejemplares desde el ano hasta las aletas pectorales, seleccionando ejemplares vivos que son fijados inmediatamente en formalina al 10 % buferada (introducidos completamente en el fijador). La solución se preparó según Santander et al. (1984), Oliva et

al. (2000, 2001) en 16,2 L de agua destilada, 117 g de fosfato de sodio dibásico (Na_2HPO_4), 72 g de fosfato de sodio monobásico ($NaH_2PO_4H_2O$) y 1,8 L de solución de formaldehído (37 %). Para asegurar el efecto del fijador se utiliza un bajo número de ejemplares por recipientes de 2 L (10 ejemplares por recipiente).

a) Plan de trabajo y tamaños de muestra para el muestreo a bordo

El muestreo se desarrolló en las zonas de pesca de la V, VII-VIII y IX-XIV Región sobre la base la operación normal de la actividad pesquera, entre febrero y mayo de 2007. A partir de junio de 2007, se solicitó una pesca de investigación a Subsecretaría de Pesca, y autorizada según Resolución Exenta Nº 1659 del 01 de junio de 2007 (ver ANEXO) ya que muchas embarcaciones habían completado sus cuotas de captura, y además con el objeto de contar con muestras antes, durante, y después del periodo de veda reproductiva.

En peces pelágicos que forman cardúmenes, usualmente la pesca se desarrolla sobre la base de agregaciones o cardúmenes que se conforman por peces de tamaños similares (Blaxter & Hunter, 1982). En este contexto, el diseño de muestreo será del tipo bi-etápico, utilizando el lance de pesca como unidad primaria (n) y el número de ejemplares por lance (m) como unidad secundaria (Cochran 1980). Sobre la base de esta información, los criterios utilizados permiten optimizar el muestreo en cada lance sin la necesidad de medir un número elevado de peces ya que, usualmente, la captura estará conformada por ejemplares de tamaños similares y condición reproductiva similar. Por lo tanto, es necesario tratar de muestrear un mayor número de cardúmenes más que un gran número de individuos por cardúmen, razón del muestreo bi-etápico.

El personal técnico asignado a esta actividad, compuesto por 3 técnicos muestreadores, 1 en la V Región, 1 en la VIII Región, 1 en la IX Región y 1 en la XIV Región, se embarcaron en forma rotativa entre las embarcaciones autorizadas para operar en la pesca de investigación. Las lanchas artesanales operan con red de cerco, y están equipadas con sonar, radar, GPS, y radios VHF y HF. El arte de pesca corresponde a red cerco anchovetera, construida de paños con o sin nudos para sistema de pesca de cerco.

El plan de muestreo fue el siguiente:
a) El muestreo comienzó el 1º de cada mes y se cerró cuando se completó la cuota de pesca de investigación asignada, del mismo período.

b) A bordo, se registró el número del lance, hora, posición geográfica, profundidad de ecosonda, y temperatura superficial del mar.
c) De la captura de cada lance, se obtuvo una muestra aleatoria de tamaño fijo (200 ejemplares) para determinar la distribución de frecuencia de tallas por sexo.
d) A su vez, de la muestra aleatoria previamente obtenida, se obtuvo una submuestra correspondiente a las primeras 18 hembras (m = 18), las que se fijaron en formalina al 10% y trasladadas al laboratorio para su posterior procesamiento (ver justificación de tamaño de muestra más adelante).
e) En el resto de la captura, se realizó un muestreo dirigido para seleccionar las hembras hidratadas, para el objetivo de fecundidad. El material se fijó en formalina al 10% y se trasladó al laboratorio para su posterior procesamiento.

b) Justificación del tamaño de muestra obtenido a bordo

Una de las principales limitantes para el proyecto lo constituyen los costos de las preparaciones histológicas. En este contexto, nuestro tamaño de muestra estuvo orientado a satisfacer un número mínimo de lances y ejemplares por mes. El tamaño de muestra se justificó estadísticamente según metodología descrita por Picquelle (1985), consistente en la evaluación del diseño de muestreo bi-etápico (Cochran 1980), donde la media y la varianza son estimadas por:

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \overline{X}_i}{n},$$

donde:

$$\overline{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}}{m}$$

y

$$\hat{VAR}(\overline{\overline{X}}) = (1 - f_1)\frac{{S_1}^2}{n} + f_1(1 - f_2)\frac{{S_2}^2}{nm}$$

donde:

$${S_1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\overline{X}_i - \overline{\overline{X}})^2}{n-1}$$ es el componente de varianza entre lances, y

$${S_2}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} (X_{ij} - \overline{X}_i)^2}{n(m-1)}$$ es el componente de varianza intra-lances.

Además,

$$f_1 = \frac{n}{N},$$

donde N es el número total de estaciones, y

$$f_2 = \frac{m}{M}$$

donde M es el número total de elementos en cada estación. La ecuación del estimador de varianza permite encontrar valores óptimos de n (número de lances) y m (elementos en cada estación) que son de mínima varianza. Como en la mayoría de las evaluaciones pesqueras la fracción muestreada es pequeña o despreciable ($f_1 \cong 0$), entonces la ecuación de varianza quedaría expresada por:

$$\hat{VAR}(\overline{\overline{X}}) = \frac{S_1^{\,2}}{n}$$

En esta expresión queda eliminado el componente de varianza intra-lances, y la muestra de lances puede ser tratada como una muestra agrupada, permitiendo analizar la relación entre la varianza y los valores de n y m. La correlación intra-grupos (ρ) puede ser expresada como una función de la razón de la varianza de muestras agrupadas y la varianza de muestras aleatorias, según:

$$\frac{\sigma_{\overline{\overline{X}}}^{\,2} agrupada}{\sigma_{\overline{\overline{X}}}^{\,2} aleatoria} = 1 + \rho(m-1)$$

donde:

$$\sigma_{\overline{\overline{X}}}^{\,2} agrupada = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\overline{X}_i - \overline{\overline{X}})^2}{n(n-1)},$$

y

$$\sigma_{\overline{\overline{X}}}^{\,2} aleatoria = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} (X_{ij} - \overline{\overline{X}})^2}{nm(nm-1)}$$

Ya que no existe una misma combinación óptima de m y n para los distintos parámetros (proporción sexual, fracción desovante, fecundidad), entonces el parámetro que tenga la mayor varianza relativa será el elegido para seleccionar los valores de m y n. En el crucero MPDH realizado el 2002, se encontró que la fracción diaria de hembras desovantes (S) presentó el mayor coeficiente de variación (Cubillos et al. 2003). En el caso de la anchoveta se estimó S = 0,107 (CV = 0,128) y en la sardina común S = 0,131 (CV = 0,113). A partir de dicha información, Cubillos et al. (2003) calcularon las curvas de precisión (CV) en

función del número de hembras por lance (m) y el número de lances (n), considerando que la correlación intra-grupos fue estimada cercana a 0,02 para ambas especies (**Tabla 1**).

Los fines de que persigue el presente proyecto, si bien cuantitativo, no está orientado a traspasar la precisión (CV) de los parámetros hacia una estimación de stock desovante. En consecuencia, se consideró un CV = 25 %, lo que permitió justificar un tamaño de muestra de 10 lances por especie por mes (20 en total, sumando ambas especies), y 18 ejemplares hembra por lance. Este arreglo, permitiría contar con 180 ejemplares de anchoveta y 180 ejemplares de sardina común para determinar la frecuencia del desove, peso promedio de hembras maduras por mes, y fecundidad media poblacional.

Los requerimientos mínimos de tamaño de muestra son justificados estadísticamente. Sin embargo, se debe considerar los costos involucrados en el diagnóstico histológico. En efecto, con el tamaño de muestra se podría contar con 360 cortes histológicos por mes, 4320 en 12 meses, lo que multiplicado por tres áreas involucraría un costo de aproximadamente 36 millones de pesos ($2800 por placa histológica). Sin contar, además, con el diagnóstico histológico requerido para la fecundidad parcial (ovarios efectivamente hidratados, sin folículos postovulatorios).

En consecuencia, el presupuesto indicativo ($55 millones de pesos) impuso una restricción importante para los efectos del logro del objetivo específico orientado a determinar la fracción diaria de hembras desovantes. Por esta razón, la fracción diaria de hembras desovantes y la fecundidad parcial se debería determinar para los meses de julio, agosto, septiembre y octubre (4 meses x 360 cortes = 1440 placas x 3 zonas = 4320 placas), lo que implica un presupuesto de aproximadamente 12 millones de pesos. En el resto de los meses, se utilizó un tamaño de muestra de 150 ejemplares hembras, de los cuales se seleccionó una submuestra de 50 ejemplares al azar de la muestra aleatoria contenida en los lances totales disponibles en cada zona (V, VIII, y XIV regiones).

Cabe señalar que a pesar de lo coherente del plan de muestreo para el muestreo a bordo, varios aspectos operativos no permitieron cumplir a cabalidad con los requerimientos mínimos. En primer lugar no fue posible contar con 18 lances por mes por la cantidad de captura autorizada por mes, y donde a lo menos una salida debía cubrir los costos incurridos por los armadores. En segundo lugar, las condiciones meteorológicas que determinaron el cierre de los puertos, y en tercer lugar la disponibilidad de los recursos.

Tabla 1. Relación entre el número de lances (*n*) y el tamaño de la submuestra (*m*) para un rango de coeficientes de variación (CV) para los datos de fracción diaria de hembra desovante determinada en el crucero del 2002 (Cubillos et al. 2003).

N° de lances (n)	CV = 0,1	CV = 0,128	CV = 0,15	CV = 0,2	CV = 0.25
Sardina común (m)					
10	∞	>3000	131	35	**18**
15	∞	96	47	29	11
20	215	52	28	13	8
25	92	34	20	10	6
30	60	25	16	8	5
35	44	20	13	7	4
40	35	16	11	6	4
60	19	10	7	4	2
Anachoveta (m)					
10	∞	∞	172	30	**15**
15	∞	106	43	16	9
20	475	47	25	10	6
25	102	30	17	8	5
30	56	21	13	6	4
35	40	17	11	5	3
40	30	14	9	5	3
60	16	8	6	3	2

7.2.3. Principales técnicas estadísticas

La dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común requiere del análisis espacio-temporal y el efecto de algunas co-variables. Los factores fijos estarán representados por zona ó posición geográfica (latitud, longitud), mes, grupos de tamaño, entre otros (p.e. estados de madurez sexual, sexo) y co-variables como la longitud o peso, entre otras. En este contexto, se utilizó modelos lineales generalizados (GLM, McCullagh y Nelder, 1989) y modelos aditivos generalizados (GAM, Hastie y Tibshirani, 1990) como herramientas de inferencia estadística.

Entre las potencialidades que presentan los GLM, podemos señalar que son capaces de incorporar una amplia familia de distribuciones de los términos del error (Ej. Gamma, Bernoulli, Binomial, Poisson), al igual que varianzas no constantes que se incrementan con la media poblacional. Básicamente, un GLM corresponde a una extensión de los modelos lineales, y puede expresarse a través de:

$$\psi(y) = \beta^T x + \varepsilon$$

El término del lado izquierdo de la ecuación corresponde a la variable respuesta la cual puede ser transformada para inducir linealidad, y los términos del lado derecho representan a los predictores lineales y al término del error, respectivamente. Las variables predictivas ($X_1 ... X_p$) se relacionan con la variable respuesta (y) a través de una función lineal simple denominada predictor lineal, la cual se representa a través de:

$$\eta = \beta_1 X_1 + ... + \beta_p X_p$$

Estos modelos requieren de dos funciones. La primera corresponde a una función de enlace ("link function") dada por:

$$g(\mu) = \beta^T x$$

la cual describe la forma en que la media (μ) varía en relación a los predictores lineales, ubicados al lado derecho de la ecuación, representados por variables categóricas y/o continuas. La segunda, corresponde a una función de varianza, la cual describe la relación entre la media y la varianza,

$$\text{var}(y) = \phi V(\mu)$$

En el caso de los modelos GAM, la forma general se establece por:

$$g(m) = Y = \alpha + \sum_{j=1}^{p} f_j(X_j) + \varepsilon$$

En esta ecuación m=E($Y|X_1, ..., X_p$), y constituye la esperanza de la variable respuesta Y es función de las variables predictoras $X_1, ..., X_p$, a través de un predictor aditivo. La distribución de la variable respuesta, así como también el enlance (link) entre esta distribución y los predictores dados por la función g(.), funcionan en forma análoga a los modelos lineales generalizados. Lo original de un modelo GAM es que provee una forma flexible para definir la función predictor $f_j(.)$, la cual es análoga a los coeficientes de regresión en los modelos lineales. Los términos $f_j(.)$ pueden modelarse en forma no-paramétrica o paramétrica, o ambas formas se pueden combinar en un modelo semiparamétrico. Los términos no-paramétricos son ajustados utilizando suavizadores de dispersión ("scatterplot smoothers"), entre ellos el suavizador de regresión con ponderación local llamado loess (Cleveland, 1979). Los términos paramétricos pueden ser definidos como coeficientes lineales, polinomiales de grado n ó polinomiales "piecewise" como B-spline y spline natural. La gran ventaja de modelos GAM sobre métodos de regresión tradicionales es su capacidad para modelar no-linealidad utilizando suavizadores de dispersión, constituyéndose en una herramienta poderosa para análisis exploratorios tales que permitan identificar las relaciones funcionales sugeridas por los datos (Hastie y Tibshirani, 1990).

Para aplicar GAM, se debe establecer la relación funcional entre la variable respuesta y cada predictor, utilizando GAM no paramétrico. De esta manera, la forma de la función puede ser encontrada empíricamente de acuerdo con la distribución de los datos sin una asunción *a priori*. Luego, una versión más parsimoniosa del modelo puede ser evaluada incluyendo términos paramétricos. En casos marcadamente no lineales, "piecewise polynomials" pueden ser utilizados debido a la mayor flexibilidad para ajustar curvas. El ajuste de los modelos y la parsimonia pueden ser evaluados utilizando test F aproximado y el criterio de Akaike (AIC). El estadístico AIC toma en cuenta simultáneamente los grados de libertad y utiliza la bondad de ajuste: modelos con más parsimonia tienen un AIC más bajo. Los residuales de los modelos ajustados se analizarán mediante métodos gráficos.

En el caso de los modelos GLM, se utilizará las herramientas contenidas en la librería MASS para R (Venables y Ripley, 2002). Mientras que para GAM, se utilizará la librería mgcv para R (Wood, 2001, 2002, 2003). Los programas han sido desarrollados como librerias de funciones en *R* (http://www.cran.r-project.org, Ihaka y Gentleman, 1996). *R* es un programa de libre distribución bajo los términos del "Free Software Foundation's GNU General Public License (Hornik, 2002). La documentación e instalación de los paquetes es lo suficientemente simple y bien documentada dentro del programa

En el caso del software mgcv, se tienen varias ventajas, entre ellas el programa representa una notable mejoría del trabajo con GAM, particularmente en relación con: a) selección de modelos automática utilizando GCV o AIC; b) suavizadores multidimensionales utilizando la aproximación "thin plate" (Wood, 2003); y c) modelo de ajuste eficiente y robusto, que permite también ajustar datos altamente dispersos utilizando la distribución binomial negativa. Además, en el caso de datos espaciales representados por latitud-longitud, mgcv permite modelar la dependencia sobre la posición geográfica como una función bivariada isotrópica de la latitud y la longitud, y no considerar éstas por separado asumiendo que existe un efecto de la latitud y otro efecto de la longitud geográfica como si se tratara de variables independientes.

7.3. Datos biológico-específicos 2005-2006

Con el objeto de comparar los resultados obtenidos con información previamente disponibles, el Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR) del Departamento de Oceanografía cuenta con una base de datos biológicos de anchoveta y sardina común que cubre el período 2005-2006. La base de datos biológicos se obtuvo a partir del seguimiento de la actividad pesquera, y consiste en un diseño de muestreo similar al descrito en este proyecto (muestreo bi-etápico) para obtener datos de frecuencia de

tallas y biológico-específicos. Los datos que se utilizan aquí dicen relación con longitud, peso total, peso de gonándas, sexo, y estados de madurez macroscópica de cada ejemplar muestreado en la VIII y X Región (**Tabla 2**). Los datos de machos y hembras se utilizan para analizar la proporción sexual.

A partir de los datos de las hembras, se describirá el comportamiento estacional promedio del IGS, factor de condición, y relaciones con la talla con el objeto de comparar con resultados obtenidos en este estudio. En este caso, en que se analiza sólo las hembras, se agregó los datos macroscópicos obtenidos del crucero de adultos de MPDH del año 2005 (**Tabla 3**).

Tabla 2. Número de individuos disponibles para el período 2005-2006 de datos biológico-específicos. Fuente: Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR), Departamento de Oceanografía. F (Hembras/famale); M (Machos/male)

		VIII R			X R			
	MES	F	M	Subtotal	F	M	Subtotal	Total
Anchoveta	ENE	137	243	380	0	0	0	380
	FEB	56	108	164	0	0	0	164
	MAR	230	369	599	30	42	72	671
	ABR	184	291	475	163	257	420	895
	MAY	125	225	350	0	0	0	350
	JUN	176	224	400	0	0	0	400
	JUL	202	286	488	148	121	269	757
	AGO	221	255	476	0	0	0	476
	SEP	488	412	900	106	119	225	1125
	OCT	324	218	542	45	81	126	668
	NOV	414	407	821	13	15	28	849
	DIC	0	0	0	62	158	220	220
		2557	3038	5595	567	793	1360	6955
Sardina	ENE	0	0	0	0	0	0	0
	FEB	0	0	0	0	0	0	0
	MAR	94	214	308	0	0	0	308
	ABR	38	38	76	0	0	0	76
	MAY	11	27	38	0	0	0	38
	JUN	52	91	143	0	0	0	143
	JUL	0	0	0	152	172	324	324
	AGO	130	145	275	0	0	0	275
	SEP	81	83	164	20	62	82	246
	OCT	141	124	265	211	255	466	731
	NOV	31	97	128	15	34	49	177
	DIC	0	0	0	41	174	215	215
		578	819	1397	439	697	1136	2533

En efecto, se cuenta además de las bases de datos de los proyectos de evaluación de stock desovante por el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH), y que dicen relación con peso promedio de hembras maduras, fecundidad parcial, fecundidad media poblacional, fecundidad relativa, fecundidad específica, fracción diaria de hembras desovantes, proporción sexual en peso (e.g. Cubillos et al. 2007). El número de lances y de hembras obtenidas en estos cruceros se resume en la **Tabla 3**, y serán analizados con propósitos comparativos una vez se cuente con los resultados de similares indicadores reproductivos.

Tabla 3. Número de hembras con datos microscópicos disponibles para el período 2002-2005, datos de hembras del crucero MPDH (n = número de lances; m = número de hembras).

	2002			2004			2005		
Anchoveta	VIII	X	Total	VIII	X	Total	VIII	X	Total
n	14	18	32	27	16	43	31	9	40
m	459	702	1161	842	549	1391	930	217	1147
	2002			2004			2005		
Sardina	VIII	X	Total	VIII	X	Total	VIII	X	Total
n	32	20	52	21	12	33	31	4	35
m	771	494	1265	695	380	1075	1326	75	1401

7.4. Metodología por objetivo específico

7.4.1. Objetivo 1: Determinar los periodos de reposo, de mayor actividad reproductiva, y de desove de anchoveta y sardina común en un contexto espacio-temporal, en función del tamaño y peso corporal de las hembras.

a) Indicadores biológico-pesqueros generales

La información básica proviene del muestreo de la captura que se realizó en los sitios de desembarque. En los muestreos se recopiló los siguientes datos: a) frecuencia de tallas, y b) muestreo biológico-específicos; a saber: longitud del pez, peso total, sexo, y extracción de otolitos. Estos datos permitieron generar los siguientes indicadores biológico-pesqueros generales:

- Estructura de tallas
- Estructura de edades

A partir de la estructura de tallas, se calculó los siguientes indicadores:

- **Talla media:** Corresponde a un indicador estadístico de tendencia central de la estructura de tallas de las capturas y su variación se asocia al estado de condición del recurso. Se relaciona directamente con la estructura de talla de las capturas, las capturas en peso por estrato geográfico. El diseño de muestreo corresponde al definido para realizar la estimación de las estructuras de tallas para el desembarque o la captura, según corresponda.

La talla media corresponde a una estimación de la esperanza de la longitud del pez, $E(l)$, a partir de la estructura de talla estimada:

$$\hat{E(l)} = \hat{\bar{l}}_h = \sum_{k=1}^{K} l_k \hat{p}_{hk}$$

y varianza, $V(l)$, dada por:

$$\hat{V}(\hat{\bar{l}}_h) = \sum_{k=1}^{K} l_k^2 \hat{V}(\hat{p}_{hk})$$

donde p_{hk} se refiere a proporción de individuos en la zona h en la clase de talla k, mientras que l_k es la longitud media de la clase de talla k (marca de clase).

- **Peso medio:** Permite apreciar una señal de la condición biológica media de la masa corporal del recurso, y al mismo tiempo conocer el aporte promedio por ejemplar de cada talla a la biomasa de las capturas. La estimación de este parámetro corresponde a un diseño de muestreo relacional, que vincula los estimadores peso medio a la talla (relación longitud–peso) y estructura de tallas, para un estrato definido.

El peso medio se obtendrá según una estimación de la esperanza del peso, $E(W)$, a partir del peso medio a la talla y la estructura de talla estimada y representada por la proporción de individuos a la talla k en la zona h, i.e.

$$E(W) = \hat{\bar{w}}_h = \sum_{k=1}^{K} \hat{\bar{w}}_k \hat{p}_{hk}$$

donde $E(W)$ es la esperanza de la variable peso, $\overline{w}_h$ se refiere al peso promedio en la zona h, $\overline{w}_k$ es el peso promedio de la clase de tamaños k, p_{hk} es la proporción de individuos de la clase de tamaños k en la zona h. El peso promedio de la clase de tallas k se estima a partir de la relación longitud-peso, de la forma:

$$\hat{\overline{w}}_k = al_k^b$$

donde a y b son las constantes de la relación longitud-peso. La varianza del peso promedio queda expresada según:

$$\hat{V}(\hat{w}_h) = \sum_{k=1}^{K} \hat{V}(\hat{w}_k \hat{p}_{hk})$$

donde:

$$\hat{V}(\hat{\overline{w}}_{hk}\hat{p}_{hk}) = \hat{\overline{w}}_k^2 \hat{V}(\hat{p}_{hk}) + \hat{p}_{hk}^2 \hat{V}(\hat{\overline{w}}_k) - \hat{V}(\hat{\overline{w}}_{hk})\hat{V}(\hat{p}_k)$$

y

$$\hat{V}(\hat{\overline{w}}_k) = \frac{1}{n_k^*(n_k^*-1)} \sum_{v=1}^{n_k^*} (w_{kv} - \hat{\overline{w}}_k)^2$$

Por otra parte, la estructura de edades consiste en lo siguiente:

- Claves talla-edad y composición por edad de las capturas: La composición de edades de las capturas es uno de los principales indicadores a levantar de la actividad extractiva que al igual que la estructura de talla, la composición de edad y sus variaciones anuales permiten identificar procesos del ciclo de vida, como comportamiento de migración y procesos de reclutamiento a la pesquería. La edad se relaciona directamente con la talla del pez y el peso, como también la estructura de talla de la captura, y variaciones de la captura (operacionales) de la flota en el área de pesca. Las claves edad-talla son matrices que permiten clasificar las edades de los individuos proyectados a grupos de edad (GE), según la longitud de los peces observados. Estas se elaboran calculando la probabilidad de pertenencia para los diferentes estratos. La asignación de los GE comprende a todos los peces nacidos en un mismo año (clase anual); corresponde a un número entero de años y se basa en el número de anillos observado en la estructura, el tipo de borde y la época del año en que se obtuvo la muestra. La clave edad-talla, cuenta con la clasificación de las lecturas de cada estructura dura (otolitos) por grupo de edad y de ello se estima cada probabilidad según:

$$q_{ij} = n_{ij} / n_j$$

donde *i* es el grupo de edad, *j* es la longitud total del pez, q_{ij} es la probabilidad de los individuos de longitud "*j*" de pertenecer a un GE dado, n_{ij} es el número de individuos de edad "*i*" con longitud "*j*", n_j es el número total de individuos de longitud *j*.

Los criterios para la construcción de las matrices de edad (clave edad-talla) consisten en procesar con intervalos de clase cada 0,5 cm en el caso de la anchoveta y sardina común. Las claves edad talla para este estudio se procesarán para sexos combinados, en forma trimestral durante el período.

La composición de edad es un indicador demográfico de la población explotada, que desagrega la captura en número por clase de edad. Se relaciona por ejemplo con la estructura de talla y posteriores estimaciones de abundancia. La estructura del diseño de muestreo dada por la "dependencia" de la edad a la talla de un ejemplar, es natural pensar en un estimador para la edad como una esperanza matemática de la proporción de ejemplares. Se estima el peso en cada intervalo de longitud, mediante la transformación a peso de la marca de clase respectiva a través de la relación peso - longitud de la especie según:

$$W = \psi(L)$$
$$W_j = f_j a L_j^b$$

donde W_j es el peso del intervalo de la clase "j" en la muestra, f_j es el número de individuos de la muestra perteneciente al intervalo "j", L_j es la marca de clase del intervalo "*j*", *a* y *b* es un coeficiente de la relación peso – longitud.

La captura total en número del período considerado se obtiene mediante:

$$N_t = (\sum_j^n f_j / \sum_j^n W_j) C$$

donde N_t es la captura en número de individuos, C es la captura o desembarque en peso.

Una de las principales componentes de los modelos analíticos es el conocimiento de la estructura de edades de las capturas para generar a su vez información del stock explotado. Esta composición por grupos de edad de las capturas se obtiene empleando básicamente:

$$N_j = (f_j / \sum_j^n f_j) N_t$$

$$N_{ij} = p_{ij} N_j$$

$$N_i = \sum N_{ij}$$

donde N_j es el número estimado de individuos a la longitud "j", N_{ij} es el número estimado de longitud "j" que pertenecen a la edad "i", N_i es el número estimado de individuos a la edad "i". Haciendo referencia de N_i con respecto a N_t, se obtiene la proporción con que participa cada GE en la captura. El planteamiento metodológico señalado anteriormente, permite obtener matrices completas las que presentan explícitamente toda la estructura interna de la captura en número de individuos por clase de longitud y para cada grupo de edad, lo cual es de importancia para cálculos tales como las longitudes medias ponderadas para cada GE. La composición de la captura en número de individuos por grupo de edad de anchoveta y sardina común se procesa, igual que en la clave talla-edad, para sexos combinados en forma trimestral. Una vez establecida la composición de edad, se calcula los siguientes indicadores:

- **Peso promedio por edad:** Este estimador no está abordado como un indicador. No obstante, permite apreciar una señal de la condición biológica a la edad, al mismo tiempo conocer el aporte medio por ejemplar de cada edad a la biomasa de las capturas. Variable que también es importante en las evaluaciones de stock de los recursos. Este indicador se relaciona con la estructura de tallas, la composición de la edad, el peso medio de los ejemplares por clases de talla, y las capturas de la actividad extractiva.

La estimación del peso a partir de la longitud promedio tiene un sesgo sistemático, para cada longitud promedio dada, este sesgo se incrementa con la variabilidad en la longitud de los peces en la muestra (Ricker, 1958). Pienaar y Ricker (1968) y posteriormente Nielsen y Schoch (1980), abordaron este tema presentando métodos que permiten corregir en forma significativa este sesgo. Ambos métodos, en lo que se ha comprobado, entregan resultados muy similares por lo que en este estudio se opto por desarrollar las correcciones bajo la metodología de Pienaar y Ricker (1968).

Suponiendo que la longitud es una variable aleatoria normal con media μ y varianza σ^2, L~ N (μ,σ^2), se pueden presentar dos casos, uno es cuando se está frente a un crecimiento isométrico en donde b es igual a tres, y el otro es cuando b toma valores diferentes de tres, siendo de 2,5 a 3,5 un rango frecuente de observar. El valor esperado de función de W, Ψ (L), es:

$$E(W) = a(\mu^n + a_1\mu^{n-2}\sigma^2 + a_2\mu^{n-4}\sigma^4 + a_3\mu^{n-6}\sigma^6 + ...)^b$$

donde el número de términos dependerá del exponente *b*.

La estructura del estimador se encuentra directamente relacionada con la composición de edad de la captura, ya que, de dichas matrices se obtiene el peso medio por grupo de edad. De tal forma que la base temporal y espacial para cada uno de los recursos en estudio será la misma descrita para este indicador.

b) Principales indicadores reproductivos macroscópicos

La información base que permite describir los procesos biológicos proviene del muestreo de la captura que se realizó en los sitios de desembarque. En cada muestra aleatoria se obtuvo los siguientes datos por ejemplar: longitud del pez, peso total, peso eviscerado, sexo, estado macroscópico de madurez sexual, peso de la gónada. Sobre la base de estos datos, se estimó los siguientes indicadores macroscópicos:

• Indice gonadosomático (IGS)
• Proporción de estados de madurez sexual de hembras

- **Indice gonadosomático (IGS):** Permite indagar la edad talla a la cual el pez comienza su maduración sexual, desove, ciclo reproductivo. Además permite proyectar potencialidad reproductiva y edad apropiada de primera captura. Los resultados se presentarán por zonas de pesca, en tablas y figuras, desarrollándose el análisis comparativo de la evolución temporal y espacial del proceso reproductivo y su variabilidad.

El IGS establece cuantitativamente la evolución de la gónada en función del peso, específicamente permite monitorear el proceso de desarrollo reproductivo del recurso, a través de la relación entre el peso de la gónada y el peso eviscerado del pez. Su evolución muestra los procesos de maduración, desove y reposo gonadal. Se relaciona con la distribución de la fracción adulta del stock y principalmente con las áreas de mayor concentración reproductiva. Este índice es una medida relativa del diámetro de la ova, por ende refleja el desarrollo del proceso reproductivo y también define el ciclo gamético de la población o stock.

El diseño de muestreo para estimar el IGS corresponde a un muestreo estratificado aleatorio simple de ejemplares, donde el estrato representa la zona de pesca y el mes. El indicador elegido para dar cuenta de la relación entre el peso de la gónada y el peso corporal corresponde a un estimador de razón. Este estimador tiene la ventaja que "el efecto del tamaño del pez en el peso de la gónada, es eliminado al expresar el peso gonadal como una proporción del peso corporal (Nikolsky, 1963 *fide* De Vlaming et al. (1982), i.e.

$$\hat{IGS}_h = \frac{\sum_{v=1}^{n^*} wg_{hv}}{\sum_{v=1}^{n^*} wc_{hv}}$$

donde *wg* es el peso de la gónada y *wc* es el peso corporal (peso total menos el peso de la gónada) en la zona *h*, *v* es la clase de tamaños representada por los individuos más pequeños con datos de peso de gónada. La varianza está dada por:

$$\hat{V}(\hat{IGS}_h) = \left(1 - \frac{n_h^*}{N_h^*}\right) \frac{1}{n_h^* \overline{wc}_h^2} \frac{\sum_{v=1}^{n_h^*} (wg_{hv} - \hat{IGS} \cdot wc_{hv})^2}{n_h^* - 1}$$

donde:

$$\overline{wc} = \frac{1}{n^*} \sum_{v=1}^{n^*} wc_v$$

- Proporción de estados de madurez sexual: El diseño de muestreo para estimar este indicador corresponde a un muestreo estratificado aleatorio simple de ejemplares, donde el estrato representa la zona de pesca y el mes, i.e.

$$\hat{p}_{hem} = \frac{n_{hem}^*}{n_h^*}$$

Los juveniles presentan las gónadas en un estado de inmadurez virginal, a partir del cual se sigue una evolución progresiva que se mantiene hasta que alcanzan la primera madurez sexual. Los adultos continúan sus ciclos periódicos gonadales, con diferentes estados, durante el año. En sardina común y anchoveta, Cubillos et al. (1999) han utilizado con buenos resultados una escala de madurez macroscópica de 5 puntos adaptada de Holden y Raitt (1975) (**Tabla 4**). En esta escala de madurez, un indicador de desove inminente lo constituye el EMS 4 que representa los ovarios hidratados. La hidratación de los ovocitos es un proceso que dura pocas horas, siendo una condición de los cardúmenes desovantes. A su

vez, la mayor proporción de individuos en el EMS 3 indicará una mayor actividad reproductiva poblacional.

Tabla 4. Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales (adaptada de Holden y Raitt, 1975).

EMS	ESTADO	ASPECTO GENERAL
I	Inmaduro	Ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, rosáceos, traslúcidos, ovocitos invisibles a simple vista.
II	Virgen madurando y en recuperación	Ovarios ocupan casi la mitad de la longitud la cavidad abdominal. Color rosado y ovocitos invisibles a simple vista.
III	Maduro	Los ovarios cubren cerca de 2/3 de la cavidad abdominal. Color rosado a amarillento. Aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e indentificables a simple vista. Se observan vasos sanguíneos superficiales.
IV	Hidratado	Los ovarios ocupan toda la cavidad abdominal. Color naranja opaco a rosado, casi transparentes, con vasos sanguíneos superficiales poco visibles. Al presionar fluyen ovocitos hidratados, transparentes, del doble de tamaño que los ovocitos de una gónada madura.
V	En regeneración	Ovarios flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Las paredes son delgadas, flojas y lumen grande. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en desintegración, obscurecidos o translúcidos. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.

c) Principales indicadores reproductivos microscópicos

Los indicadores microscópicos provienen de muestreos realizados a bordo. Los indicadores reproductivos microscópicos que se utilizan son:

• Proporción de estados de madurez sexual microscópicos de hembras
• Índice de actividad de desove
• Talla media de madurez sexual

- **Estados de madurez sexual microscópicos de hembras:** La escala de madurez microscópica utilizada en estudios previos corresponde a los criterios establecidos por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989), y Hunter y Macewicz (1985), y se describe en la **Tabla 5** (más adelante).

- **Indice de actividad de desove:** Para calcular la incidencia de la condición desovante, se calculará el Indice de Actividad de Desove (IAD) basado en Oliva et al. (2002), el cual requiere de la observación sistemática del ovario contabilizándose la presencia de folículos postovulatorios de diferentes edades y de

los ovocitos hidratados, para estimar la proporción de individuos que alcanzaron este estado en el stock parental maduro. El Indice de Actividad de Desove (IAD), será expresado por:

$$IAD = \frac{estados(VI + VII + VIII + IX)}{estados(III + IV + V + VI + VII + VIII + IX)} \times 100$$

Básicamente, el estado VI representa hembras hidratadas, y los estados VII, VIII y IX se caracterizan por la presencia de folículos postovulatorios. A diferencia del IAD descrito por Oliva et al. (2002), el índice aquí planteado incluye hembras que potencialmente contienen todas las edades de folículos postovulatorios (hembras en actividad de desove) respecto del total de hembras activas.

- **Talla de primera madurez sexual:** A partir de los datos e información proveniente de los muestreos a bordo, se determinará la talla media de primera madurez sexual para el periodo de máxima actividad reproductiva de ambas especies, utilizándose los diagnósticos histológicos para establecer la fracción de hembras maduras.

La probabilidad de observar un individuo maduro es dependiente del tamaño o edad de los individuos, pues en algún momento del ciclo de vida los juveniles pasan a ser adultos. El modelo que será utilizado para describir la proporción de hembras maduras en función del tamaño, viene dado por la siguiente ecuación logística:

$$P_L = \left[1 + \exp(a - bL)\right]^{-1}$$

donde P_L es la proporción de hembras maduras a la talla L, a y b son constantes a ser estimadas. Se utilizará modelos lineales generalizados para estimar las constantes del modelo (ver justificación de técnicas estadísticas). La talla media de primera madurez sexual (L_m) quedará definida al nivel del 50%, i.e. $L_m = a/b$. Al considerar que los individuos están siendo clasificados en maduros ó inmaduros, la variable aleatoria sigue una distribución binomial. Esta aproximación es equivalente a maximizar la siguiente función de log-versomilitud:

$$L(a,b) = \sum k \ln(P) + (1-h)\ln(1-P)$$

El lado derecho de la ecuación representa una función densidad de probabilidad binomial, omitiéndose un término que permanece constante y no afecta la estimación de parámetros; *k* es una variable que indica madurez (= 1) o inmadurez (= 0) de una hembra, mientras que *P* es la función logística de madurez.

Análisis espacio-temporal de índices reproductivos

Se planteó como hipótesis que las hembras de mayor tamaño corporal tienen una mayor amplitud y duración de la actividad reproductiva en un ciclo anual, y que además comienzan a incrementar su condición reproductiva antes que las hembras que desovan por primera vez (e.g. Parrish et al., 1996). Este efecto de la estructura de tallas sobre la dinámica reproductiva tiene implicancias en los periodos de reposo y actividad reproductiva, y es fundamental para evaluar el impacto de vedas reproductivas.

Con el objeto de analizar el efecto de la talla sobre los índices reproductivos dentro de un ciclo anual, se utiliza GLM y GAM para modelar los efectos de factores fijos y co-variables. La aplicación de estas técnicas estadísticas permitió resumir la información y generar indicadores reprodutivos según factores espaciales (estrato geográfico) y temporales (meses), considerando el siguiente modelo para el índice gonadosomático y factor de condición:

$$\ln(IGS) = \alpha + s(L, Mes)$$

$$FC = \alpha + s(L, Mes)$$

donde α es el intercepto (media general), *L* es la longitud del pez (como factor en intervalos de 1 cm), y Mes = 1, 2, …, 12, representando a enero, febrero, …, diciembre. El símbolo s(•) representa el suavizador utilizado (penalized regression splines). Se consideró una distribución normal (familia = gaussian) y un enlace identidad (link) mediante el paquete "mgcv" para el lenguaje R. Se utilizó una función bi-variada de longitud y mes considerando que se está analizando más de un año, de tal manera de evitar los efectos independientes asociado a los meses y tallas que pueden haber ocurrido en cada año particular. Se indica que el factor de condicion (*FC*), utilizado en los diferentes cálculos fue obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$FC_i = \left(\frac{Wc_i}{Lt_i^b} \right) * 1000$$

donde FC_i es el factor de condición de la i-esimo ejemplar en la muestra, LT_i es la longitud total (cm), b es la pendiente de la relación longitud-peso y Wc_i es el peso corporal del individuo (g), y el factor 1000 solo reduce los decimales del índice.

Periodo 2005-2006

Con el objeto de establecer un patrón de comparación promedio, los datos disponibles del periodo 2005-2006, fueron analizados con énfasis en los indicadores reproductivos macroscópicos. A la base de datos de hembras provenientes del seguimiento, se agregó el muestreo de hembras obtenido durante la ejecución del crucero de adultos de agosto-septiembre, que representa el periodo de veda del año 2005.

7.4.2. Objetivo 2: Determinar cambios espacio-temporales en la proporción sexual, en número y peso, y longitud y peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común.

Proporción sexual a partir de los datos colectados en sitios de desembarque

Corresponde a la proporción de machos o hembras presentes en las capturas. Este es un atributo poblacional relacionado con la estrategia reproductiva de la población, que tiene incidencia sobre el éxito de la producción de nuevas clases anuales, como también relacionado con la abundancia poblacional en el largo plazo. La estimación de este parámetro se realizó según las siguientes expresiones:

$$\hat{p}_{hs} = \sum_{i=1}^{n_h} \frac{y_{hi}}{Y_0} \cdot \hat{p}_{hsi}$$

donde:

$$\hat{p}_{hsi} = \frac{n^*_{hsi}}{n^*_{hi}}$$

$$Y_0 = \sum_{i=1}^{n} y_i$$

y varianza dada por:

$$\hat{V}[\hat{p}_{hs}] = \left[1 - \frac{n_h}{N_h}\right] \frac{1}{n_h} \frac{1}{n_h - 1} \sum_{i=1}^{n_h} \frac{y_{hi}^2}{\hat{\bar{y}}_h^2} [\hat{p}_{hsi} - \hat{p}_{hs}]^2 + \frac{1}{N_h n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \frac{y_{hi}^2}{\hat{\bar{y}}_h^2} \left[1 - \frac{n^*_{hi}}{N^*_{hi}}\right] \frac{1}{n^*_{hi} - 1} \hat{p}_{hsi}[1 - \hat{p}_{hsi}]$$

Proporción sexual, talla, y peso con muestras obtenidas a bordo

La hora de colecta es importante en términos de los cambios que puede exhibir la proporción sexual de cardúmenes desovantes. Si las muestras son colectadas muy cerca de la hora del desove es probable que ocurra una mayor proporción de machos que de hembras considerando que en clupeiformes varios machos participan en la fecundación de una hembra (Blaxter & Hunter 1982).

Las unidad primaria de observación fue el lance de pesca y secundarimente un número fijo de ejemplares por lance. En este contexto, la proporción en peso y número de las hembras se estimará para cada lance a partir de una submuestra aleatoria de un mínimo de 50 ejemplares, los que fueron preservados en formalina con el objeto de sexar, pesar y medir posteriormente en el laboratorio. En el caso del peso promedio y la longitud de las hembras, se considera también un número fijo por lance, constituyendo aquellas que serán sometidas al examen histológico para los objetivos de fracción de hembras desovantes y fecundidad.

El promedio mensual consistió en el estimador de razón (Cochran, 1980), i.e.

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

y varianza muestral, dada por:

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

donde $\bar{\bar{y}}$ representa la media poblacional de los parámetros de adultos, i.e. proporción de hembras en número y peso (R), longitud (L), y peso (W), n es el número de lances, m_i representa el tamaño de la submuestra en número de ejemplares tanto para proporción como de hembras maduras en el caso de la longitud y peso. En la formulación, se considera el promedio por lance, i.e.

$$\bar{y} = \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij} / m_i$$

donde y_{ij} es el valor del atributo que se mide para cada hembra (j) en el i-ésimo lance.

En el caso del peso promedio, el peso observado fue ajustado en las hembras maduras con ovarios hidratados ya que su peso corporal está temporalmente sobreestimado debido a la retención de agua. El peso ajustado ($\hat{W}_{ij}$) se estimará a partir de una regresión lineal entre el peso total y el peso sin gónadas (W_{ij}^{*}) que se establece solo entre aquellas hembras que no tienen huevos hidratados, i.e.

$$\hat{W}_{ij} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} W_{ij}^{*}$$

La distribución de frecuencia observada del peso promedio de hembras por lance es usualmente simétrica aunque puede ocurrir cierta insinuación de bimodalidad si hay una clase anual mayor a 1 año. Los pesos dentro de cada lance tienden a ser homogéneos, lo que sugiere que los cardúmenes de anchoveta y sardina común son homogéneos en relación al peso.

Cambios espacio-temporales de la talla y peso promedio, y proporción sexual

Los estimadores arriba desarrollados fueron resumidos por mes (variación temporal) y por zonas (variación espacial). Sin embargo, los cambios espacio-temporales serán analizados con Modelos Lineales Generalizados (GLM), se considerará los datos individuales considerando como fuentes de variación fijas a los siguientes factores: mes, zona, y grupo de tallas. En el caso de la proporción sexual, los datos individuales colectados siguen una distribución bi-nomial, de tal manera que los cambios temporales se analizarán con GLM y considerando una estructura de error binomial y enlance logit. En el caso de la longitud y peso, se considera adecuada una estructura de error normal con enlance identidad. El análisis espacial propiamente tal será modelada utilizando el software mgcv para R (Wood, 2001, 2002, 2003).

Periodo 2005-2006

- **Proporción sexual en número:** Con el objeto de detectar un patrón promedio con propósitos comparativos, se analizó la proporción sexual con los datos biológico-específicos del período 2005-2006 mediante modelos lineales generalizados. En efecto, la proporción sexual puede ser modelada considerando que el éxito de observar un ejemplar macho se comporta como una variable binomial con valor "1" para los machos y "0" para las hembras. Si se asume que la probabilidad (π) de obtener ejemplares machos depende del mes (T) y de la longitud del ejemplar (L), esta relación puede representarse a través de:

$$\pi_{i,j} = \frac{1}{1+\exp(\alpha + T_i + L_j)}$$

o en forma equivalente, por:

$$\text{logito}(\pi) = \ln\left(\frac{\pi_{i,j}}{1-\pi_{i,j}}\right) = \alpha + T_i + L_j + \varepsilon_{i,j}$$

donde $\pi i,j$ representa la probabilidad de machos en función del mes (T_i) y Longitud del pez (L_j), respecto del nivel de referencia α. En este modelo, tanto el mes como la longitud del pez se consideran factores, donde T_i = 1,2,…12 (enero, febrero, … , diciembre), y la $L_j = L_1, L_2, \ldots, L_j$ denota clases de talla en intervalos de 1 cm. Los sub-modelos basados en la expresión antes descrita, considera sólo el factor mes, sólo el factor longitud del pez. No se consideró efectos cruzados debido a la existencia de un desbalance en términos del número de clases de longitud no fue el mismo entre los diferentes meses.

7.4.3. Objetivo 3: Determinar los cambios espacio-temporales en la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común, y establecer su dependencia con el tamaño y peso corporal de las hembras.

Estados de madurez sexual microscópicos de los ovarios

La condición reproductiva de las hembras se evaluó mediante el análisis de la proporción de los estadíos de madurez microscópica de los ovarios. Se consideró adecuada la escala microscópica específica basada en los criterios señalados por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989), y Hunter y Macewicz (1985), y resumidos en la **Tabla 5**. La escala microscópica incorpora un estadio llamado "postdesovante de tanda" que contiene un momento importante en el proceso reproductivo de desovadores parciales y que además permite definir con mayor claridad el máximo período reproductivo.

Tabla 5. Caracterización de los estadios ováricos de hembras de sardina común y anchoveta.

ESTADIO OVARICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVARICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo insterticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y de posición central, con prominentes nucléolos esféricos, próximos a la membrana nuclear. El citoplasma es escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos se observan pequeñas vesículas periféricas.
Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, abarcando no más de las ¾ partes del citoplasma. Vesícula germinativa grande, central, con numerosos nucléolos periféricos. Se destaca la presencia de vesículas periféricas. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
Estadio IV: Vitelado	Ovocitos cargados de glóbulos de vitelo, desde la periferia a la región perinuclear. Vesícula germinativa mantiene su posición central permaneciendo los nucléolos en la periferia. La zona radiata bien desarrollada. Células foliculares rectangulares en sentido transversal con núcleo esférico, central y citoplasma ligeramente basófilo.
Estadio V: Próximo a la hidratación	Ovocitos cuyo citoplasma presenta grandes glóbulos de vitelo (término de la depositación de vitelo). Vesícula germinativa excéntrica migrante hacia el polo animal. Células foliculares altas claramente distinguibles, con núcleo ovoide desplazado a la base y citoplasma claro de aspecto espumoso.
Estadio VI: Hidratado	Ovocitos con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración, los cuales se han expandido incrementando considerablemente de tamaño por incorporación de 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.

Folículos postovulatorios

Los folículos postovulatorios (FPO) se analizaron sobre la base de los criterios establecidos por Hunter y Goldberg (1980). Cada ovocito hidratado está rodeado por un folículo alargado y fino, una capa epitelial de células granulosas y una única capa externa de tejido conectivo de células con algunos capilares sanguíneos. Durante la ovulación los ovocitos completamente hidratados son liberados desde sus folículos. El folículo vacío o folículo postovulatorio no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, deteriorándose rápidamente para posteriormente ser reabsorvido en el tejido ovarico.

En la anchoveta, los folículos postovulatorios pueden ser observados hasta 56 horas después del desove. Dependiendo de las características morfo-histológicas es factible determinar si la hembra tuvo un desove reciente, la noche anterior o dos noches antes, lo que permite usar los folículos postovulatorios para estimar la frecuencia de desove. El proceso de deterioración y reabsorción del folículo debe ser dividido

en una serie de diferentes estadios histológicos, cada uno con una edad asignada. Los diferentes estadíos de degeneración han sido definidos sobre la base de criterios discretos de las características citológicas y morfohistológicas (tamaño, forma aparente, aspectos de las células de la granulosa y del lumen).

En la anchoveta y otros desovantes parciales se utiliza la clasificación por edades de los FPO que utilizan los criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Goldberg (1980) para *Engraulis mordax* y por Macewicz y Hunter (1993) para *Trachurus symmetricus*, asumiendo que dichos criterios y cambios estructurales son similares a los que expermimentan los FPO de *E. ringens* y *S. bentincki* y que fueron descritos en el FIP 97-04 (**Tabla 6**).

Tabla 6. Características morfohistológicas de los folículos postovulatorios.

FPO nuevos de día 0 (< 24 h)	Folículos postovulatorios nuevos que no muestran signos de degeneración. Estructura de forma irregular formada por una columna epitelial bien organizada con numerosas involuciones. Adyacente a las células foliculares se ubica la lámina de células tecales conectivas que pueden verse como una prominente capa. El lúmen es amplio e irregular.
FPO de día 1 (24 h < FPO 48 h)	Folículos postovulatorios en regresión, mostrando signos de degeneración. Son más pequeños que los folículos postovulatorios nuevos, el cual se ha contraído sobre sí mismo. Presencia de células foliculares con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico, cuyas paredes no son claramente distinguibles. La disposición lineal de las células se mantiene. La lámina tecal se destaca claramente. El lúmen es estrecho e irregular.
FPO de día 2 (> 48 h)	Folículos postovulatorios con marcada degeneración celular. De menor tamaño que el folículo postovulatorio de día 1. Epitelio folicular desorganizado, perdiendo la disposición lineal de sus células, las cuales se presentan en avanzado estado degenerativo, de forma irregular, con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico. Lámina tecal desarrollada. El lúmen está ocluido.

Los criterios histológicos que se describen se basan en aquellos comunicados para la anchoveta del norte (*Engraulis mordax*) por Hunter y Goldberg (1980). La clasificación de los folículos postovulatorios (FPO) se basa en los mismos criterios estructurales, y en todos los casos ellos son similares en apariencia a aquellos descritos para muchos teleosteos. Lo ideal, para establecer criterios únicos es estimar la edad de los FPO a partir de ejemplares que han desovado en laboratorio y muestrear en tiempos conocidos después del desove, tal como lo describe Hunter y Goldberg (1980). Macewicz y Hunter (1993) utiliza la hora de la colecta en un ciclo diario para describir las características de los FPO en el jurel (*Trachurus symmetricus*), y concluyen que las características histológicas fueron muy similares a la de la caballa (*Scomber japonicus*) por Dickerson et al. (1992) y de la anchoveta. En consecuencia, las características estructurales histológicas definirán una clasificación de los FPO en nuevos, jóvenes, y viejos; mientras que la hora de colecta respecto de la hora de desove permitirá asignar la edad correctamente.

Hora del desove vs hora de colecta

Como fue expuesto previamente al describir el diseño de muestreo, la hora de colecta de los adultos muchas veces depende de decisiones de los patrones de pesca de las lanchas artesanales. En nuestra experiencia, es más probable que las muestras de adultos se realicen después de la 8:00 hrs y se podrían extender hasta las 18:00 ó 20:00 hrs, máximo.

Bajo este escenario, y de acuerdo con Beverly Macewicz (comm. pers), el criterio más adecuado en tal asignación debe considerar la agrupación de los datos por "días" y no por "reloj" (es decir 1 día = 00:01 – 24:00 h) con el conocimiento de: a) la hora del desove, b) la ocurrencia de probables sesgos, y c) criterios identificables de degeneración de los FPO. La **Tabla 7**, basada en Alheit et al. (1984), muestra uno de los criterios que permitiría asignar edad a los FPO y agruparlos en "días".

En las aplicaciones del Método de la Producción Diaria de Huevos, la hora del desove en anchoveta y sardina común se asume ocurre a las 22:00 hrs. Este supuesto ha sido corroborado mediante el análisis de la incidencia del Estadio I de los huevos de ambas especie (sin división celular), determinandose que la hora del desove de anchoveta y sardina común ocurre muy cerca de las 22:00 hrs asumida, siendo a las 24.6 (DS = 3.817) y 23.1 (DS = 1.788) h, respectivamente (**Figura 1**). Estas estimaciones no son estadísticamente diferentes de la hora de desove asumida producto de la desviación estándar calculada. Se destaca que las temperaturas más frecuentes en estas estimaciones fluctúan entre 11 y 12 ºC.

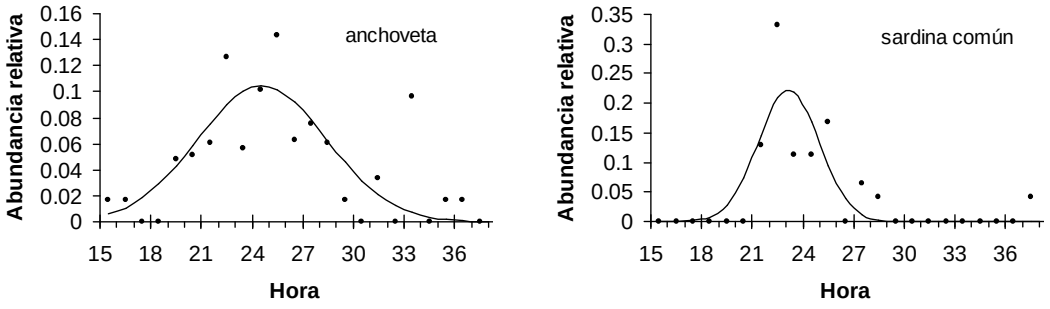

Figura 1. Distribución de la abundancia relativa del estadio I de huevos por unidad de superficie respecto de la hora de colecta (desde las 15:00 pm) y distribución esperada según una curva normal de distribución de la hora de desove. Cruceros de 2002 al 2005 (Cubillos, en preparación).

Tabla 7. Asignación de hora cronológica a los folículos postovulatorios de anchoveta y sardina común (modificada de Alheit et al. 1984).

	Horas del día	Edad del FPO Horas después del desove Día 1	Día 2
	Pico de desove		
Noche de desove	22:00		
Primer día después del desove	7 - 7.59	9	33
	8 - 8.59	10	34
	9 - 9.59	11	35
	10 - 10.59	12	36
	11 - 11.59	13	37
	12 - 12.59	14	38
	13 - 13.59	15	39
	14 - 14.59	16	40
	15 - 15.59	17	41
	16 - 16.59	18	42
	17 - 17.59	19	43
	18 - 18.59	20	44
	19 - 19.59	21	45
	20 - 20.59	22	46
	21 - 21.59	23	47
	22 - 22.59	24	48
	23 - 23.59	25	49
Segundo día después del Desove	0 - 0.59	26	50
	1 - 1.59	27	51
	2 - 2.59	28	52
	3 - 3.59	29	53
	4 - 4.59	30	54
	5 - 5.59	31	55
	6- 6.59	32	56

Fracción diaria de hembras desovantes

La fracción diaria de hembras desovantes considera solamente los ovarios con folículos postovulatorios, y en su estimación se usará las ecuaciones de Alheit et al. (1984) y Santander et al. (1984). Cuando el muestreo de hembras hidratadas o de hembras con FPO de día 1 ó de día 2 no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes en el lance i puede ser estimado por:

$$S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} \quad ó \quad \frac{m_{1,i}}{m_i} \quad ó \quad \frac{m_{2,i}}{m_i}$$

donde:

$$m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

donde:

m_{hi} = Número de hembras hidratadas en el lance i.

m_{1i} = Número de hembras de día 1 en el lance i.

m_{2i} = Número de hembras de día 2 en el lance i.

m_{ai} = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con FPO con una edad menor de 9 horas, FPO nuevos)

m_i = Número de hembras maduras en el lance i.

S_i = Fracción desovante en el lance i.

En este proyecto, las hembras serán capturadas con red de cerco y es probable que pueda ocurrir un sesgo en el número de hembras hidratadas (Alheit 1985), razón por la cual será necesario realizar una corrección. El número de hembras hidratadas (m_{hi}), se asume puede ser representada por:

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

de tal forma que la fracción de hembras desovantes de día 1 es:

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

y la fracción desovante de hembras de día 2 es:

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

donde S_i es la fracción corregida de hembras con FPO de día 1 ó de día 2, en el lance i. El número de hembras que no ha desovado se estima por: $m_{a,i} = m_i - m_{0,i} - m_{1,i} - m_{2,i} - m_{h,i}$ (se recuerda que $m_{a,i}$ incluye las hembras con FPO nuevos menores a 9 hrs, $m_{0,i}$), mientras que el número corregido de hembras maduras para el lance i viene dado por la siguiente expresión:

$$m_{y,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

Finalmente, la estimación de la fracción de hembras desovantes diarias para el lance i se realizará promediando las hembras de día 1 y 2, previo test-t de medias, mediante la siguiente expresión:

$$\overline{S}_i = \frac{S_{1,i} + S_{2,i}}{2} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2\sum m_{y,i}}$$

La fracción de hembras desovantes promedio se estimará por:

$$\overline{\overline{S}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \overline{S}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$$

con varianza igual a:

$$Var(\overline{\overline{S}}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left(\frac{m_{y,i}}{\overline{m}} \right)^2 (\overline{S}_i - \overline{\overline{S}})^2$$

donde $\overline{\overline{S}}$ es la fracción promedio de hembras desovantes por día en todos los lances, m_{yi} es el número corregido de hembras maduras en el lance i, $\overline{m}$ es el número promedio corregido de hembras maduras.

Cambios espacio-temporales de la frecuencia diaria de hembras desovantes y su dependencia del tamaño de las hembras

La formulación arriba descrita para la fracción diaria de hembras desovantes se resumió globalmente por zonas (variación espacial). No obstante, debido a que la fracción diaria de hembras desovantes es función del tamaño corporal de las hembras (Claramunt et al. 2007), se utilizó los datos obtenidos a través del método de la producción diaria de huevos (Tabla 2) para establecer la dependencia del tamaño corporal. Se utilizó GLM con una distribución binomial y enlance logit considerando como co-variable al peso de la hembra:

$$y_i = \log\left(\frac{s}{1-s} \right)_i = \mu + \beta P_i + ZONA + \varepsilon_i$$

donde y_i representa la transformación "logit" para la fracción diaria de hembras desovantes (s), en función del peso promedio de las hembras maduras (P_i), y factor fijo la zona (ZONA).

7.4.4. Objetivo 4: Determinar los cambios espacio-temporales en la fecundidad parcial, fecundidad relativa, y fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común.

Fecundidad parcial

Se utilizó el método gravimétrico para estimar la fecundidad parcial (Hunter y Goldberg 1980, Hunter et al. 1985, Santander et al. 1984, Oliva et al. 2000, 2001, Cubillos et al. 2003). El método se basa en que todos los ovocitos hidratados en el interior del ovario son liberados en corto tiempo y el número de éstos refleja la fecundidad parcial o la liberación de la tanda de huevos por noches. En este contexto, solamente aquellos ovarios hidratados fueron utilizados, razón por la cual todos los ovarios que se colectaron como hidratados (según la escala macroscópica) fueron sometidos a un examen histológico, descartándose aquellos que tendrán indicios de desove (presencia de folículos postovulatorios) y atresia, ya que la fecundidad podría ser subestimada.

El procedimiento de conteo de ovocitos consistió en las siguientes etapas: a) absorción de líquido superficial del ovario con papel filtro, b) submuestreo de la mitad más grande del ovario, tomando tres segmentos del tejido uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario; c) pesaje de las submuestras en una balanza analítica con una precisión de 0,001 gramos; d) conteo de los ovocitos en cada submuestra bajo lupa, las que serán depositadas en una cápsula pettri y cubiertas con gotas de glicerina (33%).

Se utilizó el número promedio de ovocitos hidratados de las tres submuestras para estimar el número total de ovocitos hidratados del ovario (fecundidad parcial), según:

$$F_j = \overline{n} \times \overline{W}_j$$

donde:

F_j	=	Fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario).
$\overline{W}_j$	=	Peso húmedo del ovario (g).
$\overline{n}$	=	Número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.

Para estimar la fecundidad media poblacional, es decir el número de ovocitos liberados por una hembra promedio representativa de la población de hembras maduras, se estableció un modelo de regresión lineal

entre la fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras maduras, ya que ha sido el modelo que mejor se ajusta a los datos en otros estudios (Oliva et al. 2000, 2001, Sepúlveda et al. 2000). La relación viene dada por:

$$F_j = a + bW_j^*$$

donde F_j es la fecundidad parcial de la j-ésima hembra, y W_j^* es el peso corporal definido como el peso total menos el peso de la gónada. Además, el modelo lineal es particularmente importante pues la varianza de la pendiente de esta relación se incorpora en la estimación de la varianza de la fecundidad media poblacional. Hunter et al. (1985), sostienen que un número mínimo de 50 hembras hidratadas obtenidas de todos los lances, es suficiente para establecer la relación entre la fecundidad y el peso corporal y mantener un coeficiente de variación menor a un 10%.

Por otra parte, desde el punto de vista biológico la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal (o longitud total) siempre exhibirá problemas de homocedasticidad, ya que la variación de la fecundidad parcial se mantiene constante (CV) respecto del peso corporal. Esto implica que la desviación estándar se incrementa proporcionalmente con el incremento del peso corporal (o longitud total). Un modelo alternativo, desde el punto de vista estadístico, es ponderar las observaciones por el inverso de la varianza. Sin embargo, ello determinaría cambiar los modelos de propagación de varianza para la fecundidad media poblacional. Sucede lo mismo si se establece una relación no-lineal aunque el utilizar, por ejemplo una relación potencial, no necesariamente evitaría el problema de la heterocedasticidad.

La fecundidad media de las hembras en un lance de pesca, se estimará según:

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

donde $\hat{F}_{ij}$ is el estimado de facundidad parcial para la *j-ésima* hembra en el *i-ésimo* lance de pesca, calculada desde la ecuación lineal. Se debe dejar claramente establecido que la relación lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal se utiliza en un contexto operacional para estimar solamente la fecundidad media poblacional. Hunter et al. (1985) recomiendan el modelo lineal para estimar la fecundidad media poblacional, por las siguientes razones: a) explica mejor la variación que los modelos no-lineales; b) los coeficientes de regresión tienen una interpretación biológica; c) para la estimación de la fecundidad media poblacional, la fecundidad de los ejemplares en los extremos no es tan importante como aquellos del rango promedio.

Fecundidad media poblacional y fecundidad relativa

La fecundidad parcial se determinó utilizando las hembras colectadas en el área de muestreo en función del peso corporal (peso del cuerpo de hembras sin gónada). El peso promedio corporal de las hembras maduras muestreadas aleatoriamente de cada lance fue utilizado para estimar la fecundidad promedio utilizando el modelo de regresión. La fecundidad media poblacional y su varianza se estimó siguiendo la metodología aplicada en el Método de Producción de Huevos, descrita por Hunter et al. (1985):

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

donde:

$\overline{\overline{F}}$ = Fecundidad media poblacional, m_i es el número de peces muestreados en el lance i, $\overline{F}_i$ es el promedio de la fecundidad parcial en el lance i.

Debido a que se utiliza la fecundidad parcial estimada a través del modelo de regresión, es decir, cada estimado tiene su propia varianza asociada. Entonces, la estimación de la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variación adicional, representada por:

$$Var(\overline{\overline{F}}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[\frac{(\overline{F}_i - \overline{\overline{F}})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + (w_i^* - w_h^*) s_\beta^2 \right]}{\left(\sum_{i=1}^{n} (m_i / n) \right)^2 n}$$

donde:

$\overline{\overline{F}}$ = Fecundidad media poblacional,

$\overline{F}_i$ = Fecundidad promedio en el lance i,

s^2_h = Varianza de la regresión,

n_h = Número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión,

$\overline{W}_i^*$ = Peso corporal promedio para el lance i,

$\overline{W}_h^*$ = Peso corporal promedio de hembras utilizadas en la regresión, $s^2(\beta)$ es la varianza de la pendiente de la regresión, y n es el número de lances.

La fecundidad relativa se establecerá según el cociente entre la fecundidad media poblacional y el peso promedio de las hembras maduras, teniendo unidades de número de ovocitos por gramo de hembras.

Cambios espacio-temporales en la fecundad media poblacional y fecundidad parcial

La formulación para la fecundidad media poblacional, arriba descrita, permite resumir la información en términos temporales (meses) y espaciales (zona). A su vez, la fecundidad media poblacional es función del peso corporal, pues es ésta la variable que se utiliza para su estimación a partir de la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal. Un modelo más general podría incluir factores fijos y co-variables, y utilizar GLM ó GAM para analizar la importancia de los mismos. En este caso se utilizará la fecundidad media poblacional estimada para cada lance y en consecuencia se analizará los cambios temporales y espaciales utilizando el mes y la posición del lance (latitud, longitud). Alternativamente, la zona puede ser incorporada como una fuente de variación fija. Esta formulación también es válida para la fecundidad relativa.

7.4.5. Objetivo 5: Evaluar la sincronía espacial de la actividad reproductiva y época de desove de anchoveta y sardina común, proponiendo un modelo conceptual al respecto, y evaluar el impacto de los periodos de veda actuales y alternativos sobre el potencial reproductivo de los stocks.

Hipótesis de trabajo

La hipótesis nula que se tendrá sobre el proceso reproductivo será el de sincronía del desove, es decir que tanto en la V Región, VII-VIII Regiones como en la XIV Región, la época de desove ocurre en forma simultánea, independientemente del tamaño corporal de los ejemplares. La hipótesis alternativa es la siguiente: "*Las hembras de anchoveta y sardina común del área de Corral, al ser de mayor tamaño corporal, inician el desove antes que las hembras del área de Talcahuano, y de San Antonio, exhibiendo una mayor amplitud y duración del desove"*

Integración de la información: hacia un Modelo Conceptual

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones directas de biomasa mediante el método hidroacústico (Castillo et al. 2005) y del método de producción diaria de huevos (Cubillos et al. 2005, 2006, 2007), así

como a través de los indicadores biológico-pesqueros del seguimiento de la pesquería en la VIII y XIV Regiones (Aranís et al. 2004, 2005), se puede resumir lo siguiente:

a) En enero, la fracción recluta de sardina común y anchoveta tiende a ser más importante entre los 34º30'S (norte de Constitución) y los 37º10'S (Golfo de Arauco), prevaleciendo al sur de los 38ºS y hasta los 40ºS ejemplares de mayor tamaño corporal que constituyen la fracción adulta de la biomasa.
b) En invierno (agosto-septiembre), no se ha detectado desove (huevos en el mar) en el área comprendida entre los 33ºS (Valparaíso) y los 34ºS. Exceptuando, el caso de la anchoveta en el 2005. Las áreas de desove más importantes están localizadas en dos estratos geográficos en el área de estudio; a saber: 34º30'S-37º10'S y 38ºS-39ºS, siendo el último estrato geográfico el que demuestra una consistente mayor producción diaria de huevos.
c) Las evaluaciones directas de huevos, larvas, reclutas y adultos indican una distribución similar, caracterizada por una fuerte distribución costera al interior de la isobata de 100 m de profundidad. La configuración de la costa que determina la existencia de importantes bahías y golfos, y la profundidad parecen ser factores relevantes de la distribución espacial de estos peces pelágicos pequeños.
d) En la estructura de tallas en las capturas de la flota del área de Corral no se ha detectado evidencia que la fracción recluta sea importante a lo largo del año, siendo más bien vulnerada la fracción adulta del stock.

Sobre la base de esta información, y los resultados que generará el presente proyecto, se pretende establecer un modelo conceptual de la dinámica reproductiva en el contexto del ciclo de vida de sardina común y anchoveta. Los elementos para esta tarea serán discutidos en el Taller de Discusión y de Difusión del Proyecto.

En términos de un esquema conceptual *a priori*, se postula el siguiente basado en Cubillos (1999) y Sepúlveda et al. (2003):

a) El sistema de bahías de la zona centro-sur constituyen áreas de crianza, donde juveniles y reclutas menores a un año de edad crecen y se desarrollan hasta alcanzar la talla de primera madurez sexual al término del primer año de vida (**Figura 2**).
b) Los ejemplares más longevos que constituyen la fracción adulta (mayores a 11 cm y de más de un año de edad), no habitan el área de crianza en el periodo estival (Octubre-Marzo), distribuyéndose

preferentemente hacia el norte (Carranza, desembocadura del Itata) y hacia el sur de los 37ºS (Isla Mocha a Corral).

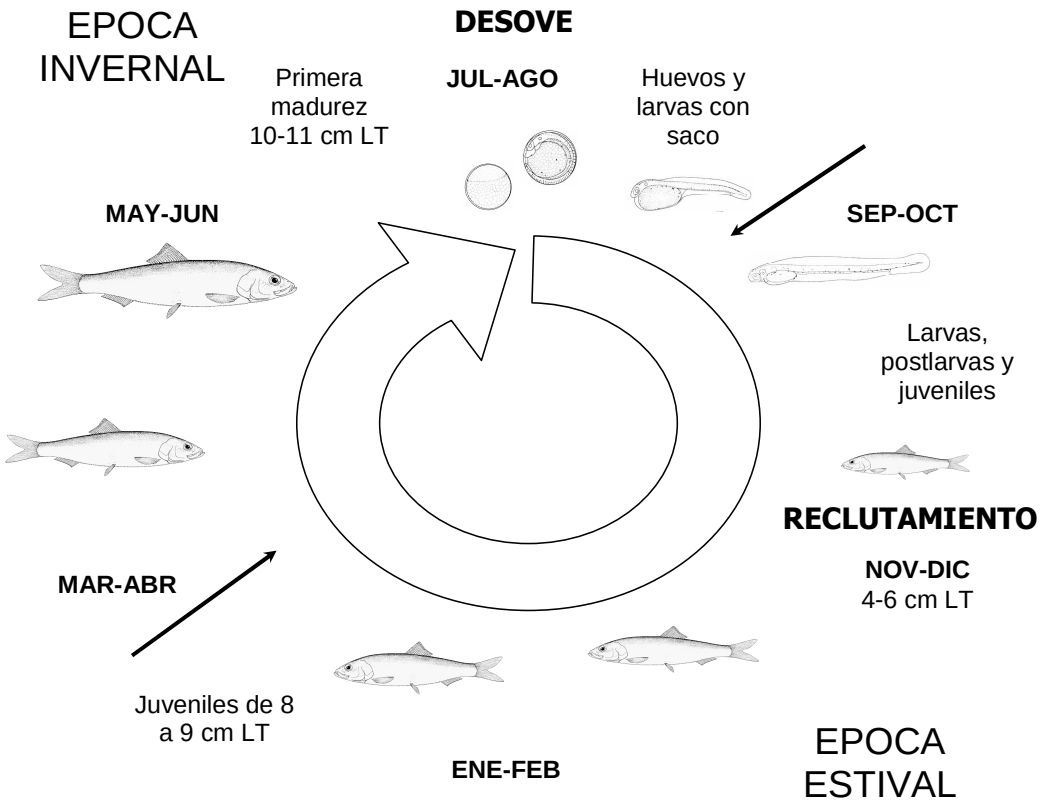

Figura 2. Esquema conceptual del ciclo de vida de sardina común en su primer año de vida en el sistema de surgencia estacional de la zona centro-sur. Se destaca el inicio (sep-oct) y término (mar-abr) del periodo estival, caracterizado por un incremento progresivo en la intensidad de la surgencia costera hacia enero-febrero y una declinación hacia los meses de marzo-abril, donde comienza la época de convergencia costera debida a la predominancia de vientos norte (Cubillos 1999).

c) Durante la transición invierno-primavera (Agosto-Septiembre), la fracción adulta ingresaría a la región más costera (sistemas de bahías) para reproducirse, particularmente porque el área de crianza pasaría a constituirse en un área de desove. De acuerdo con el régimen oceanográfico, durante la transición invierno-primavera (época de desove) ocurrire una alternancia entre convergencias costeras producidas por vientos norte que favorecerían la concentración y retención de huevos en la costa y vientos sur que promoverían el enriquecimiento de las aguas costeras con eventos de surgencia de moderada intensidad.

Bajo este esquema conceptual, el desarrollo de los individuos juveniles que han sido capaces de sobreviver en las zonas protegidas, al crecer y alcanzar la madurez al término del primer año de vida, cerrarían el ciclo de vida. De esta manera, los ejemplares que maduran por primera vez tendrían una época de desove más estrecha y retrasada. A su vez, al ser más abundantes que los peces de más viejos, contribuirían al desove en las zonas costeras donde fueron criados, transformando la zona de crianza en una zona de desove (particularmente entre Constitución y el Golfo de Arauco). Posteriormente, los individuos que han desovado por primera vez abandonarían las zonas protegidas para distribuirse hacia el norte y sur. En el sector sur, comprendido entre la Isla Mocha y Corral (38ºS-40ºS), los individuos de mayor edad localizados en esta área eventualmente podrían desarrollar una migración hacia el norte y hacia la costa, para desovar en las áreas de desove durante la época de desove ("homing behavior", Cury 1994). Eventualmente, durante el transcurso de esta migración podrían ocurrir desoves importantes. Esta estrategia debería estar relacionada con periodos reproductivos de mayor duración e intensidad temporal, desovando antes que los ejemplares que se reproducen por primera vez (Parrish et al. 1996).

Evaluación de los periodos de veda actuales

Respecto de las vedas, el IGS de anchoveta ha presentado desde el 2003 valores y tendencia distintas al promedio histórico, cabe señalar que el desove de anchoveta y sardina común está resguardado por la veda establecida desde el 21 de julio al 31 de agosto (D.S. N°115/98), lo que en el 2004, dejó de manifiesto que esta fecha debe ser revisada para la zona de Talcahuano, puesto que el desove en el ese período ha sido posterior o más extenso que la fecha establecida, por lo tanto, este cambio temporal recomendó una exhaustiva revisión (Aranis et al. 2004).

El análisis establecerá los patrones espaciales y temporales para la zona de estudio, en cuanto a la actividad pesquera y procesos vitales del ciclo reproductivo. Finalmente se propone un análisis comparativo con los indicadores de la V, VIII, y X Región, de la información obtenida del Seguimiento de Pesquerías desarrollado por IFOP.

Evaluación del periodo de veda reproductiva sobre el potencial reproductivo

El impacto de la veda reproductiva se analizará sobre el potencial reproductivo de cada especie, considerando una cohorte sometida a explotación pesquera según diferentes puntos biológicos de referencia. Para evitar el efecto del reclutamiento, se utilizará modelos que reflejen la dinámica de una

cohorte por recluta, sobre una base de edades en meses desde la edad de reclutamiento hasta 36 meses de edad (Cubillos et al. 1998).

La dinámica de la abundancia por recluta será analizada sobre una base de tiempo mensual, considerando:

$$N_j = \begin{cases} N_j = R = 1 & j = r \\ N_{j-1} \exp(-(M + v_{ij}F)) & j = r+1,...,m \end{cases}$$

donde N_j es la abundancia por recluta de una cohorte en el mes j (edad en meses, relativa al 1º de julio); i es un mes calendario (i = 1,2,..,12; enero a diciembre, respectivamente); R indica el reclutamiento en el mes $j = r$ (e.g. enero = 6 meses), M es la tasa instantánea de mortalidad natural por mes, F es la tasa de mortalidad por pesca anual, v_i es el patrón de explotación temporal dentro del año (vector constante), que se obtendrá sobre la base del aporte de las capturas promedio del mes i en la captura promedio total (eventualmente se puede considerar el esfuerzo de pesca), según:

$$v_i = \overline{C}_{ii} / \sum_{i=1}^{12} \overline{C}_i$$

La biomasa desovante por recluta (S_j) se expresará según:

$$S_j = p_j w_j N_j$$

donde p_j es la proporción de peces maduros en función de la talla de la cohorte en el mes j, w_j es el peso promedio, y N_j es la abundancia por recluta. La talla promedio de la cohorte en el mes j se estimará con la función de crecimiento estacional descrita para anchoveta y sardina común por Cubillos et al. (2001, 2002), y que servirá para estimar la proporción de hembras maduras y el peso promedio a la edad en meses de la cohorte con ayuda de la relación longitud-peso.

Esta será la función de desempeño que permitirá evaluar la duración de la veda reproductiva, asignando una mortalidad por pesca igual a cero a través del patrón de explotación temporal (v_i = 0). Se utilizará los siguientes escenarios: Veda actual (22 de julio – 31 de agosto = 39 días), Veda A (22 Julio – 20 Septiembre = 61 días), Veda B (22 Julio – 30 Septiembre = 71 días), y Veda C (01 Julio – 30 Septiembre = 102 días), y Veda D (01 Julio – 30 Octubre). En cada caso, el patrón de explotación temporal se

modificará considerando la fracción de días en meses. Por ejemplo, en el caso de la Veda A: el patrón de explotación temporal de julio debe ser multiplicado por un factor de 0,645 (que equivale a 22 días de 31 con pesca), el de agosto por 0 (31 de 31 sin pesca), y el de septiembre por 0,333 (10 días de 30 con pesca).

7.5. Taller de discusión y difusión de resultados

El Taller se realizó el día 4 de septiembre de 2008 en el Auditorio de la Dirección de Postgrado de la Universidad de Concepción (ver ANEXO).

8 Resultados

Descripción general del muestreo

Se colectó un total de 170.175 individuos durante el periodo febrero 2007 a enero 2008; 80.117 ejemplares de sardina y 90.058 ejemplares de anchoveta. En la **Tabla 8**, se entrega las características espaciales y temporales del muestreo realizado. Los ejemplares procesados se obtuvieron tanto del desembarque como muestreos a bordo de embarcaciones pertenecientes al sector artesanal e industrial, que utilizan red de cerco. Se aclara que dentro de ejemplares registrados para la VIII región, se incluyeron individuos desembarcados en Talcahuano, Lota y Coronel; verificando en primera instancia la posición geográfica de la zona de pesca. Igual situación ocurrió con los ejemplares registrados en la XIV región que incluyeron desembarques en Valdivia y Corral. En las **Figuras 3 y 4** se presenta el registró temporal de lances de pesca efectivos realizados durante el año 2007, a partir de los cuales se obtuvo las muestras necesarias para el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 8. Características espaciales y temporales de la obtención de muestras de sardina común y anchoveta durante el periodo Febrero 2007 – Enero 2008.

		REGIONES				
ESPECIE	MES	V	VIII	IX	XIV	TOTAL
SARDINA COMUN	Febrero	-	7.191	-	3.713	10.904
	Marzo	-	7.167	-	10.649	17.816
	Abril	339	1.320	-	2.413	4.072
	Mayo	59	400	175	2.287	2.921
	Junio	32	1.325	400	954	2.711
	Julio	7	1.370	-	1.693	3.070
	Agosto	-	1.844	-	242	2.086
	Septiembre	-	1.825	-	2.599	4.424
	Octubre	-	1.917	100	8.416	10.433
	Noviembre	-	4.974	69	6.204	11.247
	Diciembre	-	932	110	2.869	3.911
	Enero	958	3.995	-	1.569	6.522
	Subtotal	1.395	34.260	854	43.608	80.117
ANCHOVETA	Febrero	-	4.900	-	1.624	6.524
	Marzo	26	9.682	-	6.201	15.909
	Abril	670	7.238	-	1.426	9.334
	Mayo	330	8.416	246	2.777	11.769
	Junio	876	5.495	207	1.664	8.242
	Julio	508	2.841	-	1.991	5.340
	Agosto	-	1.752	-	529	2.281
	Septiembre	-	2.281	-	4.528	6.809
	Octubre	-	3.553	73	9.088	12.714
	Noviembre	-	3.441	89	2.373	5.903
	Diciembre	-	1.853	-	557	2.410
	Enero	422	820	-	1.581	2.823
	Subtotal	2.832	52.272	615	34.339	90.058
TOTAL		4.227	86.532	1.469	77.947	170.175

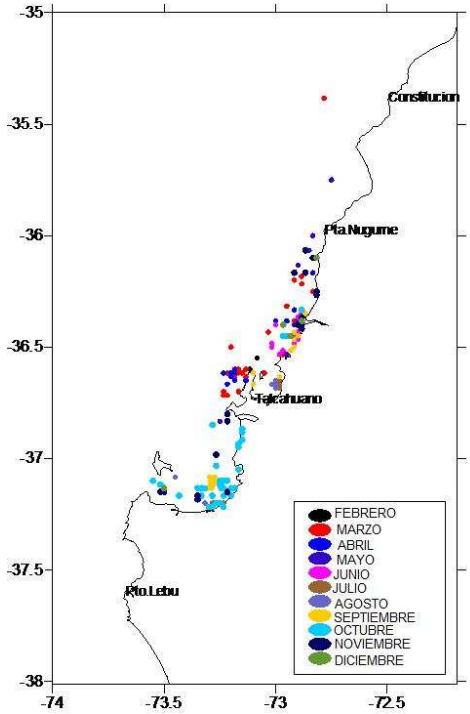

Figura 3. Distribución de los laces de pesca efectivos registrados en la zona norte durante el año 2007.

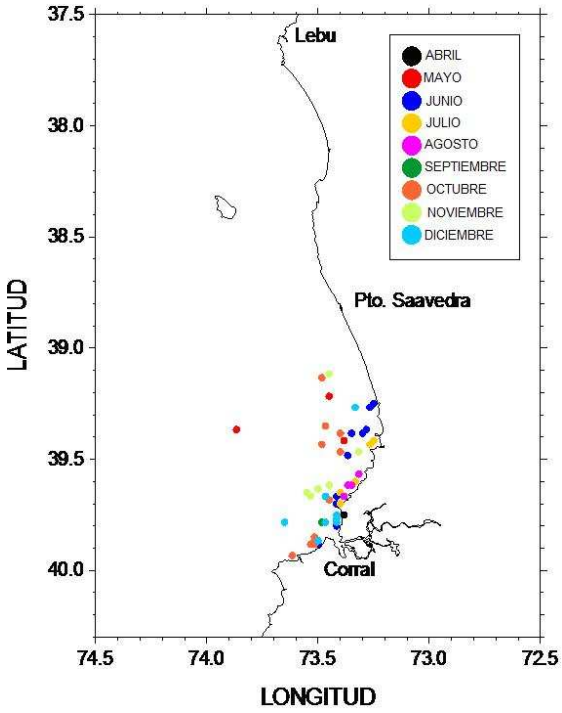

Figura 4. Distribución de los laces de pesca efectivos registrados en la zona sur durante el año 2007.

a) Muestras de frecuencia de tallas

Para la frecuencia de tallas se trabajo con un total de 122.992 datos de longitud total (en cm); 56.425 de los cuales fueron de sardina común y 66.567 de anchoveta. En la **Tabla 9** se entrega el resumen de la cantidad de datos por region obtenidos durante el periodo de estudio.

Tabla 9. Total de datos por region empleados para la determinación de la Frecuencia de Tallas. Periodo Febrero 2007 a Enero 2008.

	MUESTREO TALLAS	
Región	Sardina	Anchoveta
V	474	2047
VIII	19296	36735
IX	325	292
XIV	36452	27493
TOTAL	56425	66567

b) Muestreo biológico-específico

Para el muestreo biológico-específico se procesó un total de 47.183 individuos; 23.491 ejemplares de anchoveta y 23.692 de sardina común; más adelante se presentan en detalle los resultados, ya que el tamaño de muestra depende de los indicadores que están siendo considerados. En la **Tabla 10**, se entrega un resumen de la colecta espacial de muestras.

Tabla 10. Características espaciales de la obtención de material para muestreo biológico específico.

	MUESTREO BIOLOGICO	
Región	Sardina	Anchoveta
V	1043	785
VIII	14964	15537
IX	529	323
XIV	7156	6846
TOTAL	23692	23491

En las Regiones V y IX se presentaron múltiples dificultades para obtener muestras durante todo el periodo de estudio. Dichas dificultades fueron: i) periodos de mal tiempo, que impedían el desarrollo de la actividad extractiva; ii) finalización de las cuotas de captura, y iii) cambio del esfuerzo de pesca hacia el recurso jurel, debido a la baja presencia de sardina común y anchoveta en la zona de San Antonio. Sin embargo, se puede resaltar la obtención de 5.696 ejemplares durante el periodo de monitoreo (4.227 en la V región y 1.469 en la IX región)

c) Indicadores biológico-pesqueros generales

Estructura de tallas

La estructura de tallas de anchoveta en las distintas regiones, y para el periodo analizado, se puede observar en las **Figuras 5, 6, y 7**. En la V Región se procesó un total de 2.047 ejemplares, colectados en el puerto de San Antonio entre abril y julio de 2007, los cuales presentaron longitudes entre 9,0 y 18,5 cm. En los meses con muestreo, los individuos más frecuentes fueron aquellos con una longitud total superior a 15,0 cm con un 58,3% del total procesado (63,3% en abril, 52,3% en mayo, 62,0% junio y 43,9% en julio). Individuos pequeños, bajo la talla de primera madurez (Según normativa Subsecretaria de Pesca, 12,0 cm), se presentaron en todos los meses monitoreados pero con un porcentaje importante en abril y mayo (12,3% y 9,2% respectivamente). La estructura de tallas se presentó bimodal en todos los meses, con una longitud modal de 16,5 cm en abril, 15,0 cm en mayo, 16,0 cm en junio, y 14,0 cm en julio (**Figura 5**). Se destaca la obtención de muestras en los meses de marzo de 2007 (26 individuos) y enero de 2008 (producto del crucero de evaluación L/I Abate Molina).

En la VIII Región, se obtuvo un total de 36.735 individuos con longitudes entre 6,0 y 19,0 cm presentando una estructura de tallas unimodal durante la mayor parte del periodo de estudio, excepto en los meses de febrero y marzo de 2007, y enero de 2008 donde se apreció una clara estructura bimodal, por el ingreso de individuos pequeños (**Figura 6**). La longitud modal se registró en 16 cm en febrero, 12,5 cm en marzo, 13 cm en abril, 13,5 cm en mayo, 11 cm en junio, 11,5 cm en julio, 12,0 cm en agosto, 12,5 cm en septiembre, 14,0 cm en octubre, 14,5 cm en noviembre, 14,0 cm en diciembre y 8,5 cm en enero de 2008. En esta región, los individuos de talla pequeña (< 10 cm) fueron poco frecuentes menos del 8% del total procesado, excepto en junio (8,4%), julio (11,4%), agosto (8,8), y enero de 2008 (45,7%). Por otro lado, los individuos de mayor talla (>15,0 cm) estuvieron siempre presentes en todo el monitoreo, sin embargo, su ocurrencia fue más importante en febrero (60,6%), con una mínima presencia en agosto (8,4%). Los individuos colectados con mayor frecuencia fueron los de 13,5 cm de LT (9,2% del total procesado).

En la IX región, la anchoveta fue poco frecuente, lográndose un total de 615 individuos en todo el periodo de monitoreo. Estos ejemplares presentaron tallas entre 10,5 y 18,0 cm de LT, observándose la presencia de dos modas; con la principal centrada en los 16,0 cm y la secundaria en 12,5 cm de LT.

En la XIV región, se obtuvo 27.493 individuos, con longitudes entre 8,5 y 19,0 cm. En esta región se registró una frecuencia importante de individuos grandes (>15 cm) en todos los meses monitoreados (23,1% en febrero, 29,9% en marzo, 45,2% en abril, 57,6% en mayo, 41,5% en junio, 62,0% en julio,

81,5% en agosto, 88,2% en septiembre, 74,1% en octubre, 41,1% en noviembre, 25,5% en diciembre y 67,0% en enero/2008). Asimismo, los individuos de tallas pequeñas (<12 cm) fueron poco frecuentes durante todo el periodo, excepto en los meses de febrero y marzo donde alcanzaron el 20,9% y 11,4% respectivamente, del total procesado. La estructura de tallas se presento bimodal entre febrero y julio, para luego solo observar una moda en los siguientes meses (**Figura 7**).

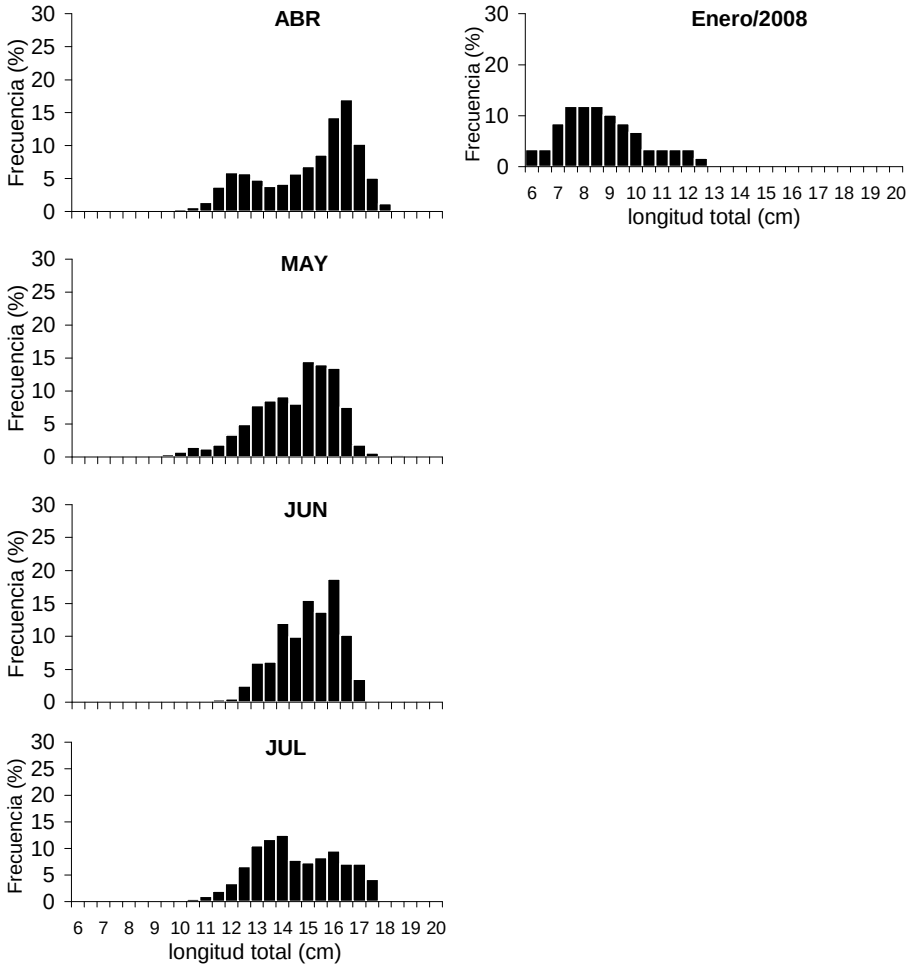

Figura 5. Estructura de talla de anchoveta en la V Región.

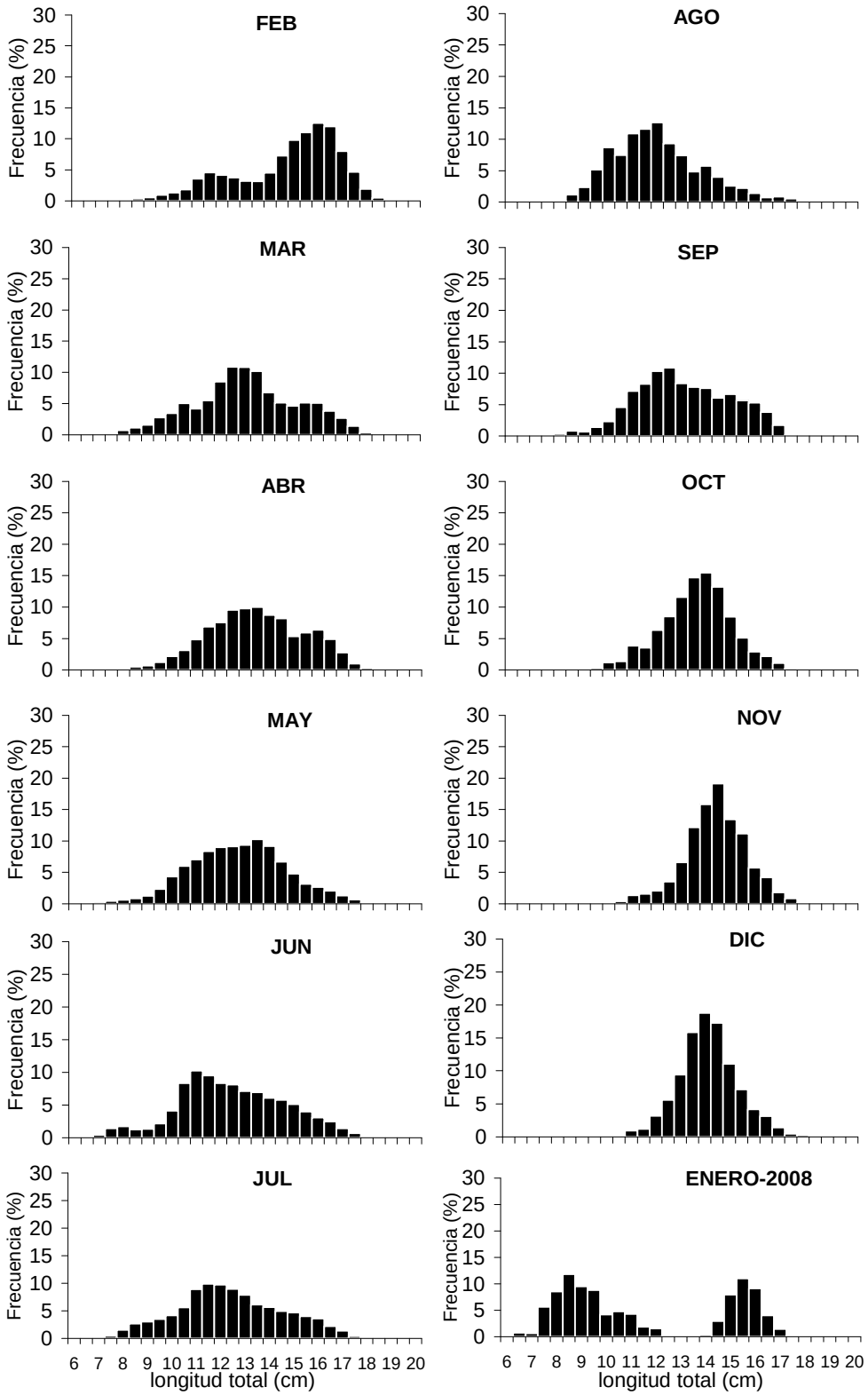

Figura 6. Estructura de talla de anchoveta en la VIII Región, Febrero 2007 – Enero 2008.

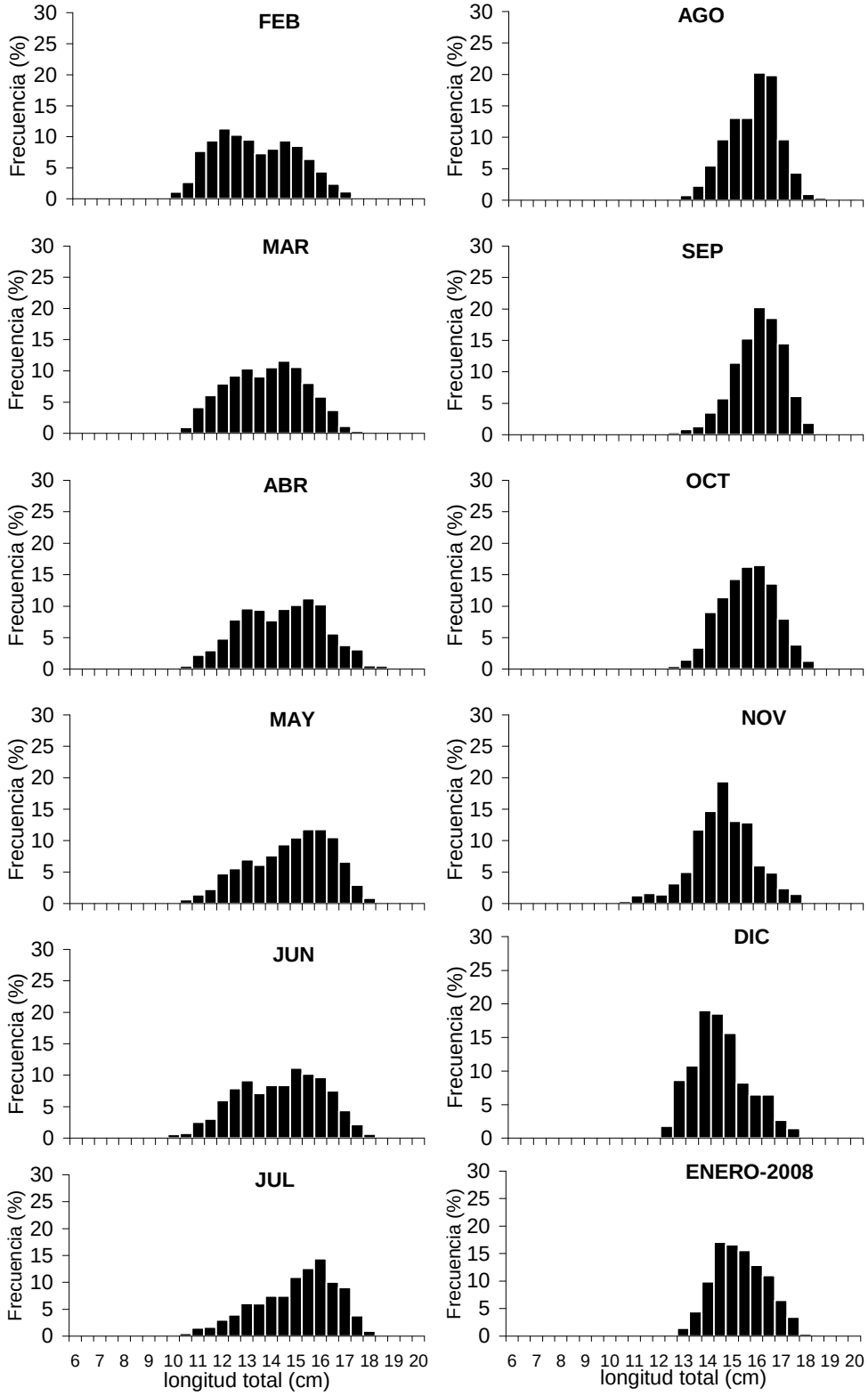

Figura 7. Estructura de talla de anchoveta en la XIV Región. Febrero 2007 – Enero 2008.

En la sardina común, la estructura de tallas se resume en las **Figura 8, 9 y 10** para las distintas regiones en el periodo analizado. En la V Región, la sardina común fue poco frecuente debido a los inconvenientes antes mencionados, obteniéndose un total de 474 individuos en todo el periodo de monitoreo. Debido al poco número de ejemplares colectados se realizó un histograma de frecuencia de tallas total (**Figura 8**), donde se puede apreciar una estructura con tres modas; la primera correspondientes a individuos pequeños (longitud modal 8,0 cm) registrados durante enero de 2008; la segunda, individuos representados por una longitud modal de 10,5cm registrados con mayor frecuencia en abril y mayo; y los individuos de mayor talla como longitud modal de 13,0 cm registrados en junio y julio.

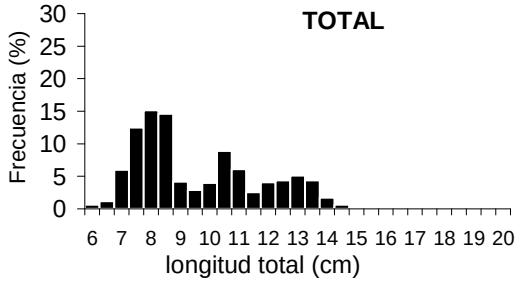

Figura 8. Estructura de talla de sardina común en la V Región.

En la VIII Región, la estructura de talla se analizó a partir de 19.296 individuos, con longitudes entre 4 y 18 cm. Los individuos pequeños (< 10 cm) se registraron durante todos los meses de monitoreo, la mayor frecuencia se presentó en enero de 2008 con 94,5% del total, y el menor registro de estos ejemplares ocurrió en julio con 3,4%. Por otro lado, individuos grandes (> 15 cm) fueron más frecuentes en agosto (18,9%), septiembre (19,4%) y octubre (23,5%). Respecto a la frecuencia de ocurrencia de individuos bajo la talla de madurez (según Subsecretaria de Pesca: 12 cm), los mayores porcentajes se registraron en febrero (77,6%), marzo (83,0%), mayo (97,0%) y junio (94,0%). La estructura de tallas se observó bimodal en la mayoria de meses monitoreados, excepto en los meses de mayo, junio, septiembre y enero de 2008. La longitud modal principal en los meses monitoreados fue de 10 cm en febrero, 10 cm en marzo, 10,5 cm en abril, 10 cm en mayo, 9 cm en junio, 11 cm en julio, 12 cm en agosto, 12 cm en septiembre, 14,0 cm en octubre, 6,5 cm en noviembre, 6,5cm en diciembre y 7,5cm en enero/2008. Por otro lado, del total de individuos medidos los más frecuentes fueron aquellos con una longitud total de 10 cm (10,4%) (**Figura 9**).

En la IX región, sardina común tambien fue poco frecuente tan solo se procesaron un total de 325 individuos en todo el periodo de monitoreo, los cuales presentaban tallas entre 9,5 y 18 cm de LT. La estructura de tallas para el periodo total (aglutinado todos los meses) indica la presencia de una longitud

modal centrada en los 13 cm de LT, al respecto, se indica que la longitud modal se reflejó de manera importante solo en el mes de junio.

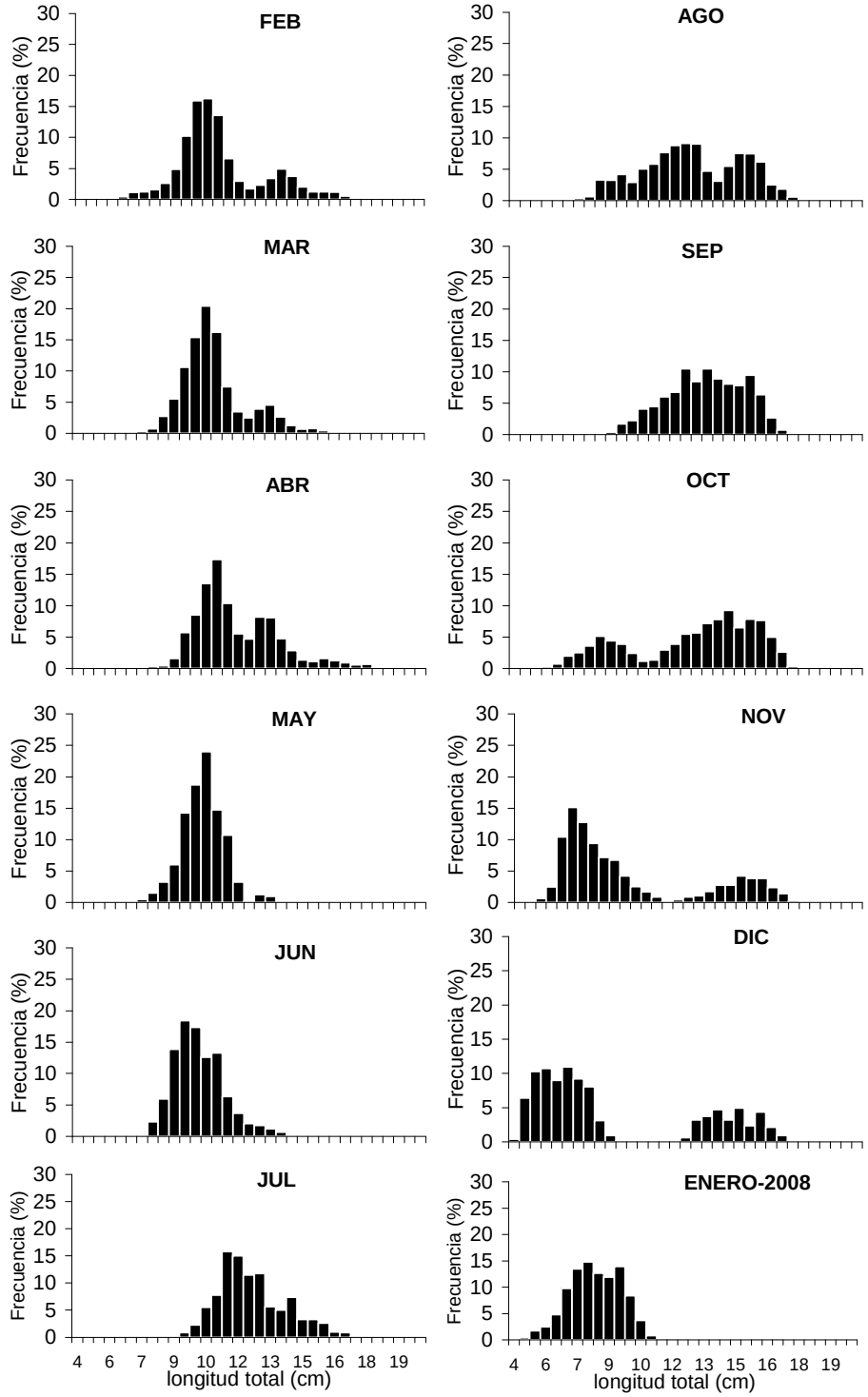

Figura 9. Estructura de talla de sardina común en la VIII Region. Febrero 2007 – Enero 2008.

En la XIV Región, se obtuvo 36452 individuos que presentaron longitudes entre los 7 y 18 cm. A diferencia de lo observado en la VIII Región, la frecuencia de ocurrencia de individuos pequeños (< 10 cm) no fue relevante durante todo el periodo monitoreado, con presencia no superior al 2% del total mensual. La frecuencia de ocurrencia de individuos grandes (>15 cm) fue importante duerante el segundo semestre del año a partir de agosto (20,2%), septiembre (32,9%), octubre (21,5%), noviembre (20,2%), diciembre (14,3%) y enero de 2008 (45,2%). Los individuos con mayor frecuencia de ocurrencia en el monitoreo fueron aquellos entre 13 y 14,5 cm, los cuales estuvieron presentes en todos los meses sobre un 30% del total procesado, excepto en el mes de febrero donde sólo fue de 13,5%. Por otro lado, los individuos más frecuentes fueron aquellos con una longitud de 14 cm de LT con 15,8% del total procesado. La estructura de tallas se presentó unimodal en todos los meses (**Figura 10**). La longitud modal en los meses monitoreados fue de 12 cm en febrero, 12 cm en marzo, 13,5 cm en abril, 13 cm desde mayo a julio, 13,5 cm en agosto, 14 cm en septiembre y octubre, 14,5 cm en noviembre y 14 cm en diciembre.

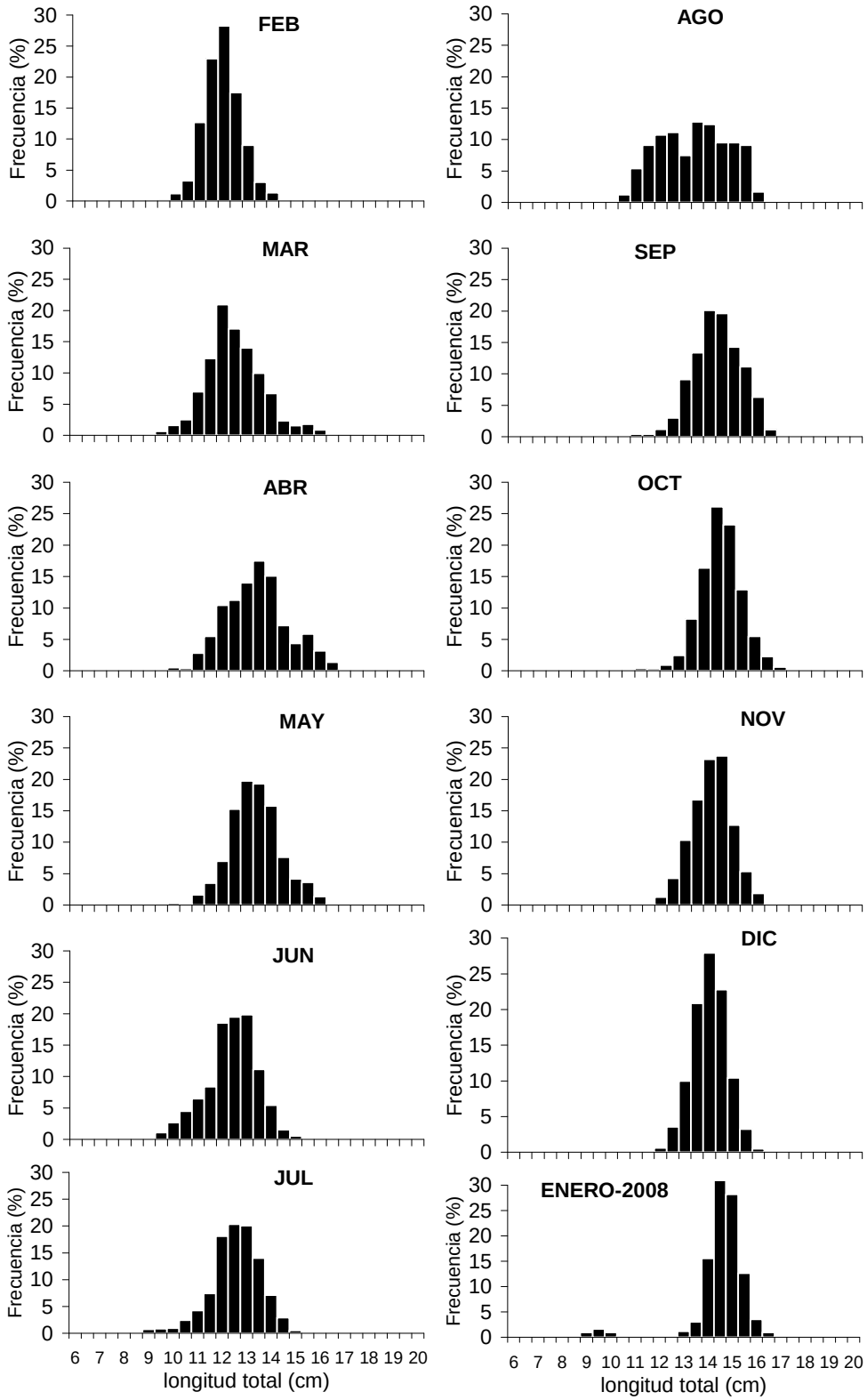

Figura 10. Estructura de talla de sardina común en la XIV Región. Febrero 2007- Enero 2008.

8.1. Objetivo 1: Determinar los periodos de reposo, de mayor actividad reproductiva, y de desove de anchoveta y sardina común en un contexto espacio-temporal, en función del tamaño y peso corporal de las hembras

8.1.1. Indicadores macroscópicos

a) Indice gonadosomático

Para este indicador se procesaron un total de 20.661 ejemplares hembra (11.661 de anchoveta y 9.000 de sardina común), con el objetivo de determinar la evolución temporal del índice gonadosomático (IGS). El número de individuos obtenidos por región se resume en 236, 7718, 240 y 3467 ejemplares de anchoveta en la V, VIII, IX y XIV Regiones, respectivamente. En sardina común, se cuenta con 112 ejemplares en la V, 5196 en la VIII, 217 en la IX y 3475 en la XIV Región.

En la V región, la irregular operación de la flota determinó dificultades para lograr muestras durante todo el período. El IGS sólo fue posible calcularlo entre abril y julio para la sardina común y de marzo a julio del 2007 y en enero de 2008 para anchoveta. En la sardina común el promedio mensual del IGS presentó valores de 1,0 en abril; 1,21 en mayo; 4,12 en junio y 6,54 en julio; mientras que en anchoveta el IGS fue de 0,8 en marzo; 1,55 en abril; 1,13 en mayo; 5,85 en junio; 6,76 en julio y 4,74 en enero de 2008.

El IGS promedio mensual de ambas especies se resume en la **Tabla 11** para la VIII y XIV Regiones. En la VIII Región, el IGS se calculó sobre la base de 13.342 ejemplares hembra (8.171 de anchoveta y 5.171 de sardina común). Se observa que tanto para anchoveta como para sardina común el IGS comienza a incrementar a partir del mes de junio, revelando con esto un aumento de la actividad reproductiva, alcanzando un máximo en septiembre para anchoveta y agosto para sardina común; para posteriormente disminuir gradualmente en sardina común, mientras que en anchoveta se mantiene en valores altos hasta diciembre (**Figura 11**). En la XIV región, el IGS se calculó a partir de 6.507 ejemplares hembra (3.501 de anchoveta y 3.006 de sardina común). Al igual que en la VIII Región, en ambos recursos se observa una mayor actividad reproductiva a partir del mes de junio (incremento de valores de IGS); sin embargo, en esta región la anchoveta alcanzó un máximo GS promedio en octubre y sardina común lo alcanza en septiembre (un mes de diferencia respecto de la VIII Región); para luego registrar en ambos recursos una disminución gradual del valor promedio de este indice (**Figura 11**). En las **Figuras 12** y **13**, se presenta la evolucion temporal del IGS por recurso en las diferentes regiones monitoreadas, resaltando la variabilidad observada en los meses de mayor actividad reproductiva, tipico de una especie desovante por tandas.

Tabla 11. Indice gonadosomático promedio (IGS) de anchoveta y sardina común en la VIII y XIV Regiones.

VIII Región:		FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Ene/2008
Anchoveta	IGS	2,20	1,58	1,58	2,02	3,24	5,44	6,70	8,62	7,81	7,92	7,47	3,70
	Varianza	2,00	0,80	0,58	1,81	4,94	10,64	6,18	11,29	6,88	6,68	5,93	3,02
	DS	1,42	0,89	0,76	1,34	2,22	3,26	2,49	3,36	2,62	2,59	2,43	1,74
	CV	0,64	0,57	0,48	0,67	0,69	0,60	0,37	0,39	0,34	0,33	0,33	0,47
	n	721	787	694	896	888	439	424	754	1056	847	85	182
SARDINA	IGS	2,09	1,87	2,10	2,09	3,04	8,68	9,76	8,44	8,21	5,14	3,10	2,81
COMUN	Varianza	2,54	2,77	3,77	2,32	5,38	7,91	13,86	17,09	17,15	11,01	2,98	2,65
	DS	1,60	1,66	1,94	1,52	2,32	2,81	3,72	4,13	4,14	3,32	1,73	1,63
	CV	0,76	0,89	0,93	0,73	0,76	0,32	0,38	0,49	0,50	0,65	0,56	0,58
	n	612	543	142	69	370	306	337	811	999	756	196	30
XIV Región:		Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septi	Octu	Noviem	Diciem	Ene/2008
ANCHOVETA	IGS	1,37	1,27	1,37	1,53	1,95	2,90	4,72	7,81	9,84	6,98	5,26	2,07
	Varianza	0,17	0,15	0,17	0,30	0,42	1,92	2,86	15,81	15,88	6,75	8,09	1,73
	DS	0,41	0,38	0,42	0,55	0,65	1,39	1,69	3,98	3,99	2,60	2,84	1,32
	CV	0,30	0,30	0,30	0,36	0,33	0,48	0,36	0,51	0,41	0,37	0,54	0,64
	n	135	149	217	175	273	113	26	1109	444	216	115	529
SARDINA	IGS	1,26	1,21	1,24	1,88	2,93	3,89	4,56	8,24	5,44	2,56	1,41	1,29
COMUN	Varianza	0,31	0,52	0,16	0,47	2,84	3,86	9,90	15,66	13,71	6,73	3,50	0,19
	DS	0,56	0,72	0,40	0,68	1,68	1,97	3,15	3,96	3,70	2,59	1,87	0,43
	CV	0,44	0,60	0,32	0,36	0,57	0,51	0,69	0,48	0,68	1,10	1,33	0,34
	n	118	149	199	175	211	47	106	284	667	492	148	417

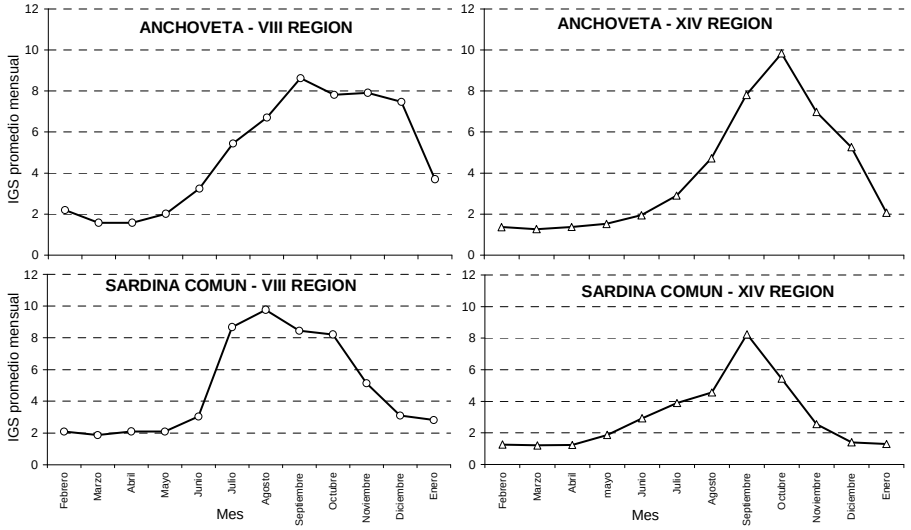

Figura 11. Indice gonadosomático (IGS) promedio mensual, periodo febrero/2007- enero/2008.

Los cambios temporales en el IGS pueden ser debidos al efecto del tamaño de las hembras. En otras palabras, el IGS debe ser calculado a partir de un rango de tamaños similar con el objeto de evitar variabilidad temporal no debida al proceso reproductivo poblacional en el ciclo anual. En este contexto, en la VIII región cambios en el IGS por mes y talla de las hembras en ambos recursos, revelan un aumento de este indice a partir de los 10,5 cm de LT en sardina comun y de los 11,5 cm de LT en anchoveta; aumento que similar pero leve para todas las tallas entre febrero y mayo (para ambos recursos), observandose un brusco aumento del IGS para todas las tallas a partir del mes de junio (**Figura 14A y C**). Para el segundo semestre en la VIII region, sardina comun alcanza los maximos valores de IGS a la talla en el mes de

agosto y apartir de alli se observa una disminución temporal de este indice en todas las tallas (**Figura 14B**); por otro lado, en anchoveta se registra un maximo de IGS a la talla en el mes de septiembre, sin embargo y a diferencia de sardina comun, los valores se mantienen altos con una leve disminución temporal hasta el mes de diciembre (**Figura 14D**).

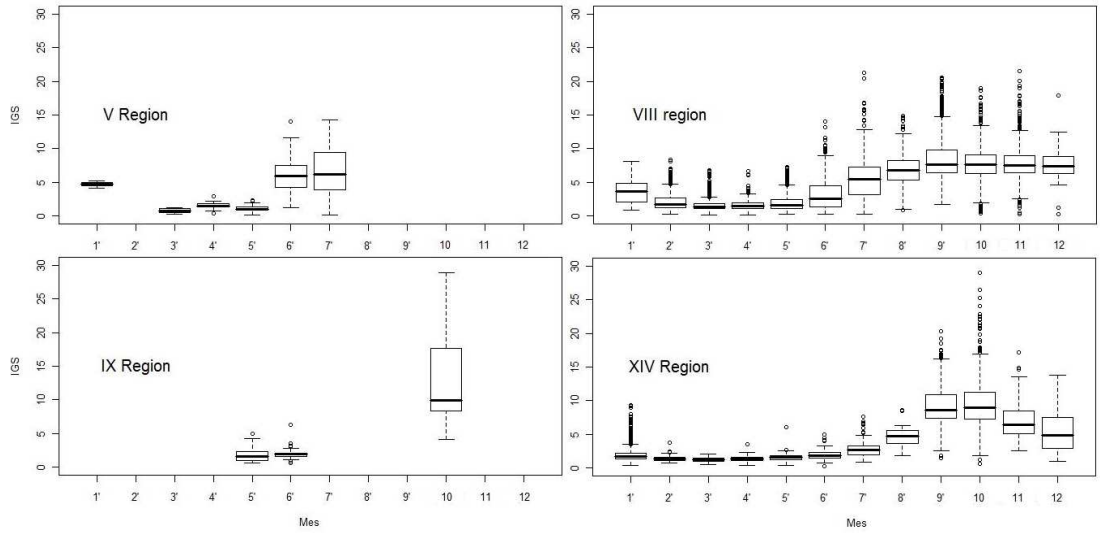

Figura 12. Indice gonadosomático (IGS) promedio mensual y su variabilidad asociada para el recurso anchoveta en las diferentes regiones demonitoreo y para todo el periodo de estudio (febrero/2007-enero/2008).

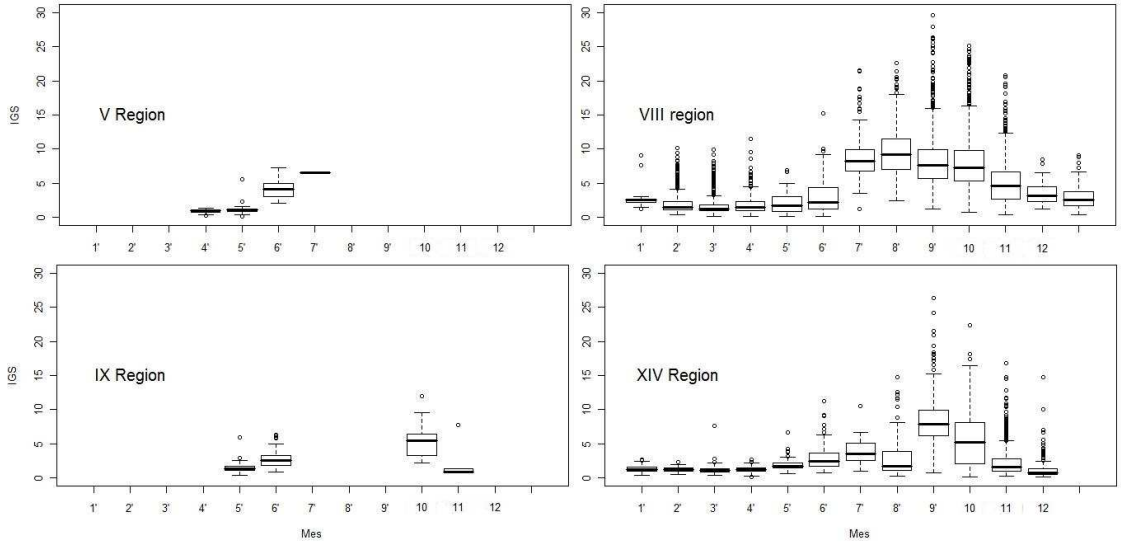

Figura 13. Indice gonadosomático (IGS) promedio mensual y su variabilidad asociada para el recurso sardina comun en las diferentes regiones demonitoreo y para todo el periodo de estudio (febrero/2007-enero/2008).

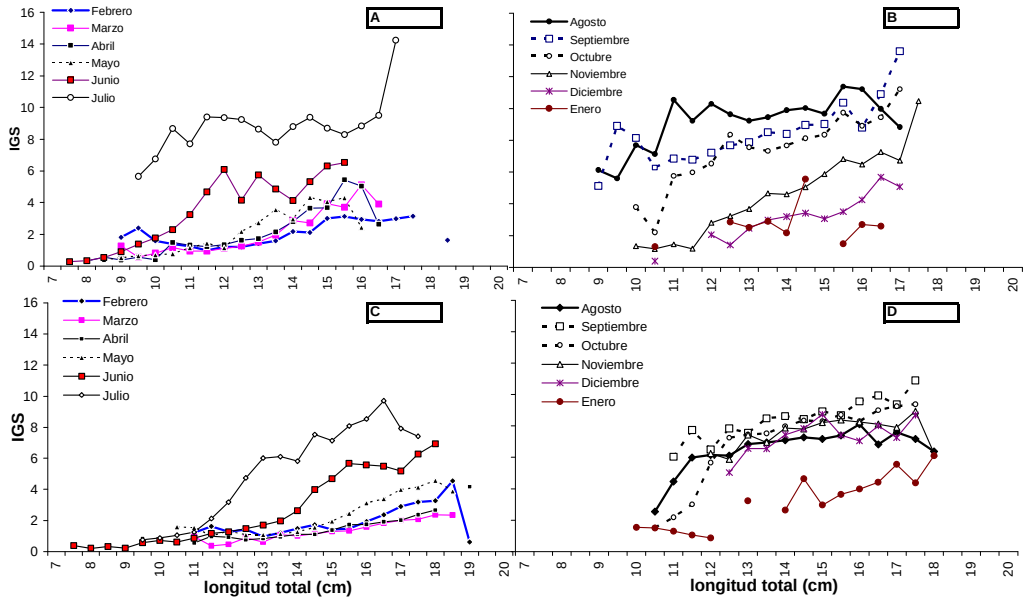

Figura 14. Indice gonadosomático (IGS) promedio por clases de talla en la VIII region. Sardina comun (A y B); Anchoveta (C y D).

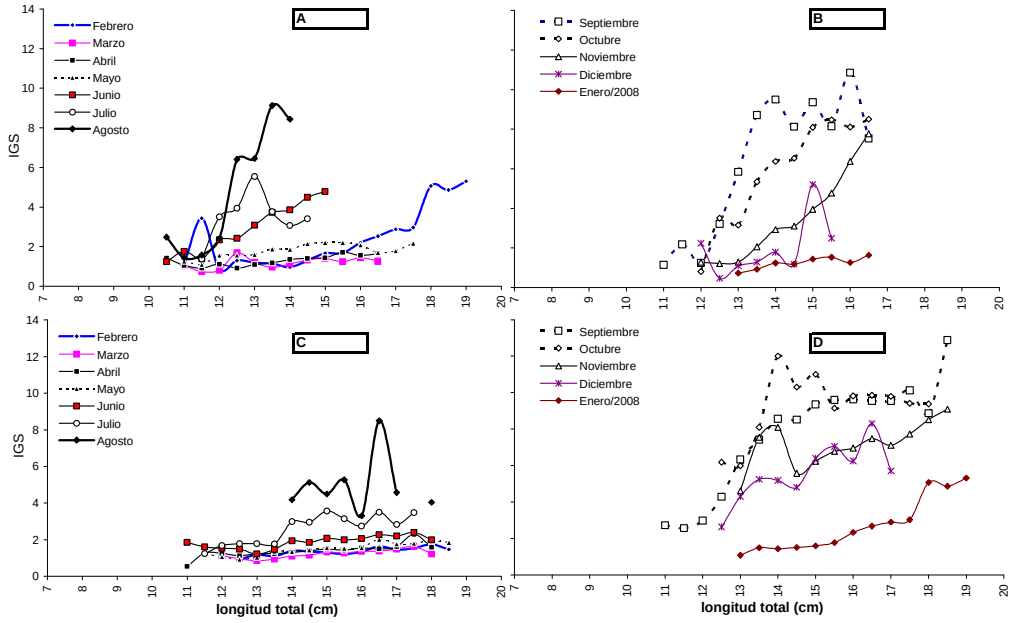

Figura 15. Indice gonadosomático (IGS) promedio por clases de talla en la XIV region. sardina común (A y B); anchoveta (C y D).

En la XIV Región, en la sardina común se observa una situación parecida a la del primer semestre en la VIII region, i.e. bajos valores de IGS para todas las tallas de febrero a mayo y un incremento importante a partir del mes de junio a partir de los 11,5 cm de LT (**Figura 15A**). En la anchoveta, para el primer

semestre -y a diferencia de lo observado en la VIII region-, el incremento del IGS a la talla se registró sólo a partir de julio y a los 13,5 cm de LT (**Figura 15C**). En el segundo semestre de monitoreo se observó una disminución temporal del IGS para todas las tallas, a partir de un máximo en septiembre para sardina comun y octubre para anchoveta (**Figura 15B y D**).

b) Estados de madurez macroscópicos

El estado de madurez macroscopicos de las hembras en la VIII y XIV regiones se resume en las **Tablas 12** y **13**, respectivamente. En la VIII Región se observó para ambos recursos un predominio del EMS II (Virgen) durante la primera mitad del año, con alta frecuencia entre febrero y junio, para luego disminuir en los meses siguientes. En julio, se observó un cambio en la frecuencia del los estados de madurez de las hembras, siendo más frecuente el EMS III (maduro) en ambos recursos; con una persistencia observada entre julio y diciembre. Por otro lado, el registro de hembras en EMS IV (hidratado en desove) presentó una alta incidencia de septiembre a diciembre para anchoveta (maximo en noviembre, 15,8%); y de agosto a noviembre en sardina común (maximo en octubre, 21,7%) (**Tabla 12**).

Tabla 12. Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual macroscópicos registrados en ambas especies para VIII Región.

VIII Región:	EMS	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE/2008
Anchoveta	I	--	3 (0,4)	--	217 (17,8)	222 (19,1)	--	--	--	--	--	--	150 (45,9)
	II	599 (83,1)	737 (96,8)	678 (97,7)	784 (64,3)	519 (44,7)	87 (19,8)	67 (15,8)	24 (3,2)	52 (4,9)	111 (13,1)	9 (10,6)	58 (17,7)
	III	122 (16,9)	21 (2,8)	16 (2,3)	218 (17,9)	403 (34,7)	338 (77,0)	352 (83,0)	631 (83,9)	901 (85,2)	602 (71,1)	68 (80,0)	119 (36,4)
	IV	--	--	--	--	17 (1,5)	13 (3,0)	5 (1,2)	97 (12,9)	103 (9,7)	134 (15,8)	8 (9,4)	--
	V	--	--	--	--	--	1 (0,2)	--	--	1 (0,1)	--	--	--
Sardina	I	14 (1,9)	8 (1,4)	5 (3,3)	11 (13,1)	85 (17,8)	--	--	--	--	49 (6,4)	--	480 (93,9)
Comun	II	609 (83,9)	468 (83,1)	120 (80,0)	52 (61,9)	269 (56,4)	13 (4,2)	16 (4,7)	12 (1,5)	36 (3,6)	181 (22,3)	41 (20,9)	26 (5,1)
	III	96 (13,2)	86 (15,3)	22 (14,7)	21 (25,0)	121 (25,4)	274 (89,5)	296 (87,8)	722 (88,9)	750 (74,1)	519 (63,9)	153 (78,1)	3 (0,6)
	IV	--	1 (0,2)	3 (2,0)	--	2 (0,4)	19 (6,2)	25 (7,4)	78 (9,6)	220 (21,7)	59 (7,3)	--	--
	V	7 (1,0)	--	--	--	--	--	--	--	6 (0,7)	4 (0,5)	2 (1,0)	2 (0,4)

Tabla 13. Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual macroscópicos registrados en ambas especies para XIV Región.

XIV Región:		FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Ene/2008
Anchoveta	I	8 (4,8)	3 (1,6)	2 (1,1)	--	--	--	--	--	--	--	--	2 (0,2)
	II	157 (95,2)	184 (98,4)	215 (99,1)	191 (100)	267 (97,8)	163 (99,4)	25 (96,2)	10 (4,7)	59 (13,3)	86 (39,8)	29 (25,2)	734 (82,6)
	III	--	--	--	--	6 (2,2)	1 (0,6)	--	187 (87,4)	338 (76,1)	128 (59,3)	52 (45,2)	118 (13,3)
	IV	--	--	--	--	--	--	1 (3,8)	16 (7,5)	47 (10,6)	--	34 (29,6)	34 (3,8)
	V	--	--	--	--	--	--	--	1 (0,5)	--	2 (0,9)	--	1 (0,1)
Sardina	I	21 (12,1)	10 (5,4)	8 (3,4)	--	2 (0,9)	--	--	--	--	--	4 (2,7)	21 (3,0)
Comun	II	152 (87,4)	173 (94,0)	229 (96,6)	193 (98,0)	143 (65,6)	38 (69,1)	77 (72,6)	48 (16,9)	303 (45,3)	432 (85,9)	132 (89,2)	669 (97,0)
	III	--	--	--	4 (2,0)	71 (32,6)	10 (18,2)	13 (12,3)	220 (77,5)	311 (46,5)	68 (13,5)	2 (1,4)	--
	IV	--	--	--	--	1 (0,5)	7 (12,7)	16 (15,1)	15 (5,3)	50 (7,5)	2 (0,4)	10 (6,8)	--
	V	1 (0,6)	1 (0,5)	--	--	1 (0,5)	--	--	1 (0,4)	5 (0,7)	1 (0,2)	--	--

En la X región, se observó en la anchoveta una predominancia de hembras en EMS II (Virgen) entre febrero y agosto, y a partir de septiembre se presentó un cambio que se tradujo en un mayor predominio del EMS III (maduro), con un maximo en septiembre (87,4%). El registro de hembras en EMS IV (hidratado en desove) tambien fue importante entre septiembre y diciembre. En la sardina común, se observó una predominancia de hembras en EMS II para todos los meses, excepto en septiembre donde fueron mas frecuentes las hembras en EMS III. Asimismo, las hembras en EMS III fueron importantes durante todo el segundo semestre (junio-diciembre), con un maximo de frecuencia en septiembre (77,5%). Las hembras en EMS IV fueron registradas entre julio y diciembre con un maximo en agosto (15,1%) (**Tabla 13**).

c) Análisis espacio-temporal integrado

Con el objeto de analizar la significancia del efecto del tamaño de los ejemplares sobre los principales indicadores reproductivos macroscópicos; a saber: a) índice gonadosomático (IGS), b) factor de condición (FC), y c) proporción de hembras maduras (P_m), se analizó con GAM. Los resultados para la zona norte (V a VIII Región), se presentan en la **Tabla 14**, observándose que el efecto del tamaño y mes son significativos en explicar los cambios temporales de los indicadores macroscópicos en cada zona.

Tabla 14. Resultados con GAM para la relación que considera el índice gonadosomatico (IGS), factor de condición (FC), y proporción de hembras maduras (Pm) en función del mes y tamaño de las hembras de anchoveta y sardina común. El intercepto representa la media global, y te(Month,Length) es el término suavizador spline. El error estandard se muestra entre paréntesis, GCV score es el índice general de validación cruzada para el ajuste del modelo. Periodo de estudio (febrero/2007- enero/2008).

	Regiónes V - VIII		Regiones IX - XIV	
	Anchoveta	Sardina común	Anchoveta	Sardina común
Variable dependiente: IGS				
Intercepto	1,095*	1,285*	0,931*	0,643*
te(Month,Length)	23.94*	22,38*	17,73*	20,36*
Deviance explained (%)	76,5	67,9	77,8	59,6
R^2 (adj.)	0,765	0,677	0,777	0,593
GCV score	0,190	0,276	0,189	0,359
Variable dependiente: FC				
Intercepto	0,699*	0,904*	0,672*	0,821*
te(Month,Length)	22,96*	22,6*	21,68*	19,85*
Deviance explained (%)	49,8	37,3	19,7	31,8
R^2 (adj.)	0,496	0,371	0,191	0,314
GCV score	0,004	0,007	0,004	0,005
Variable dependiente: Pm				
Intercepto	-0,331*	0,802*	-2,290*	-2,507*
te(Month,Length)	24,72*	19,88*	19,88*	10,84*
Deviance explained (%)	61,2	56,7	60,3	45,5
R^2 (adj.)	0,681	0,629	0,662	0,480
UBRE score	-0,456	-0,437	-0,488	-0,364
N	7815	5261	3035	3312
*p < 0.01				

En la zona norte, que agrupa las Regiones V a VIII, la anchoveta muestra cambios en el IGS dependientes del tamaño y que quedan reflejados en la mayor amplitud e intensidad que exhiben las hembras de mayor tamaño (**Figura 16**). Las hembras de 10 cm no contribuyen de forma importante, ya que el IGS se mantiene bajo a lo largo del año, mientras que las hembras de 11 cm exhiben un incremento importante en septiembre, mientras que las hembras de 12 cm contribuyen con altos IGS desde agosto a octubre. Las hembras mayores a 13 cm exhiben una mayor amplitud en el IGS incorporando incluso diciembre.

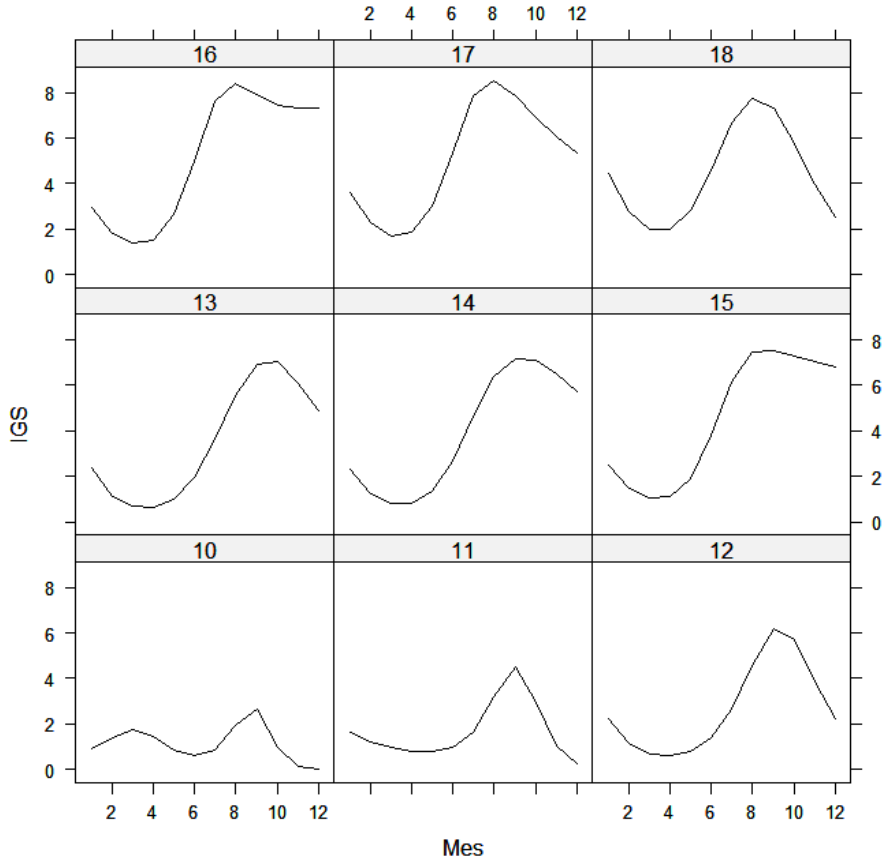

Figura 16. Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de anchoveta, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

El factor de condición de la anchoveta tiende a presentar los más bajos valores entre junio y julio, justo antes del incremento significativo que ocurre en el IGS, y posterior un incremento sostenido hasta alcanzar altos valores en la época estival, de octubre a marzo (**Figura 17**). A su vez, la señal estacional de la fracción de hembras maduras muestra también una dependencia del tamaño de la hembra, con las hembras más grandes exhibiendo una mayor amplitud (**Figura 18**).

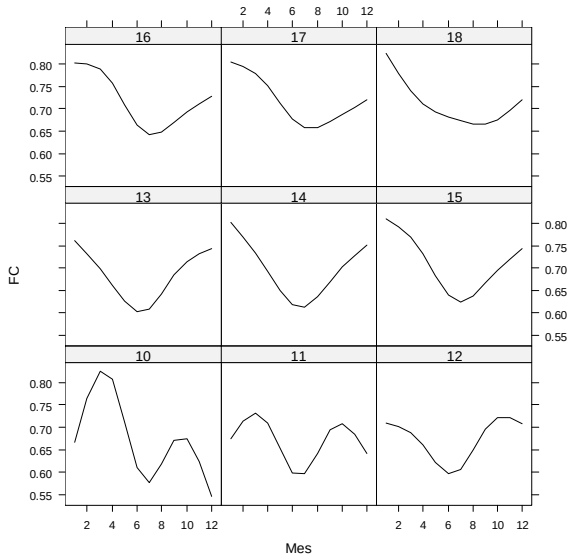

Figura 17. Señal estacional del factor de condición de las hembras en función del tamaño de las hembras de anchoveta, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

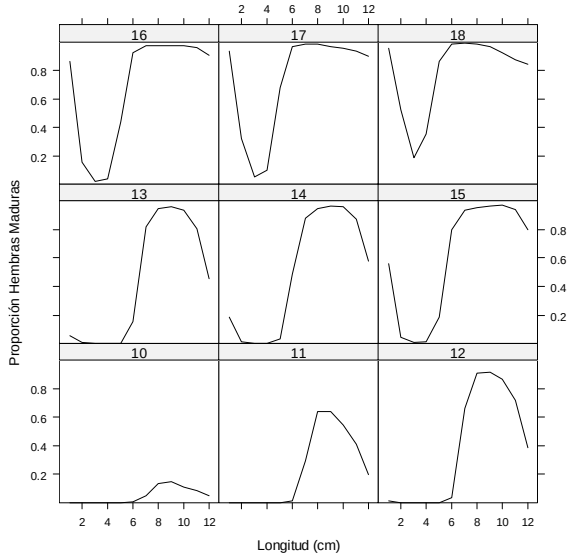

Figura 18. Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de anchoveta. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

En la zona sur, que comprende las Regiones IX-XIV, el IGS de anchoveta muestra un patrón diferente al observado en la zona norte (V-VIII Regiones). El IGS revela una estación reproductiva más estrecha, con máximo entre septiembre y noviembre, con las hembras más grandes expresando una mayor amplitud temporal (**Figura 19**).

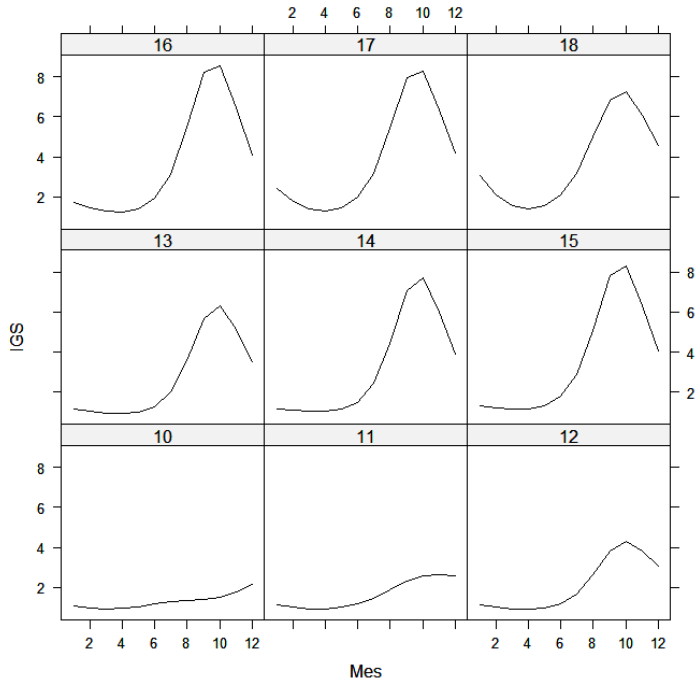

Figura 19. Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de anchoveta, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

El factor de condición de anchoveta en la IX-XIV Regiones, no muestra cambios significativos a lo largo del año en las hembras de más de 13 cm de longitud total. En las hembras de 10 a 12 cm se observó cambios en el Factor de Condición similares a las que expresan las hembras entre la V y VIII Región; esto es, un incremento hacia la época estival (**Figura 20**). El comportamiento de la fracción de hembras maduras revela es similar al observado en el IGS, con la mayor participación de hembras maduras entre septiembre y noviembrte, y con las hembras de mayor tamaño cubriendo una mayor amplitud temporal (**Figura 21**).

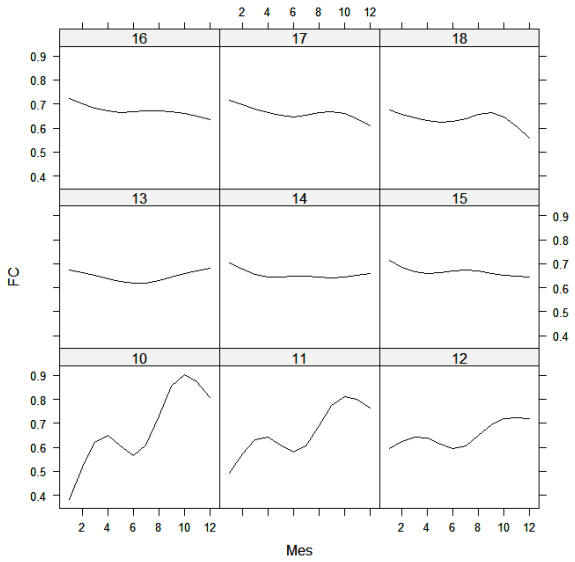

Figura 20. Señal estacional del factor de condición de las hembras en función del tamaño de las hembras de anchoveta, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

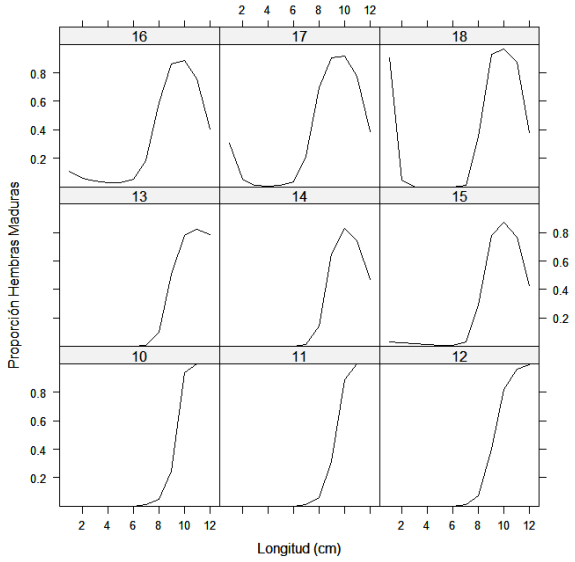

Figura 21. Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de anchoveta, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

El IGS de la sardina común, en la V-VIII Región, muestra valores máximos entre agosto y septiembre, con las hembras de mayor tamaño con una mayor amplitud temporal (**Figura 22**). A diferencia de la anchoveta, el IGS de la sardina común declina rápidamente en noviembre y diciembre.

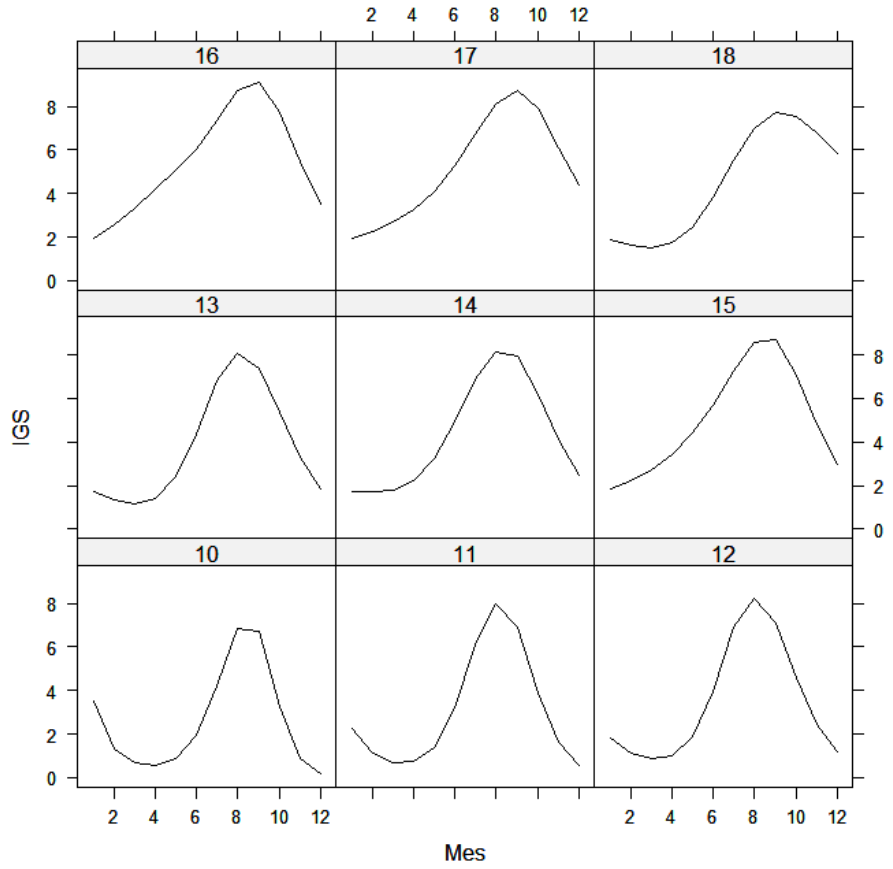

Figura 22. Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de sardina común, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

El factor de condición presenta cambios estacionales marcados, con una mejor condición en la época estival (**Figura 23**). A su vez, los cambios en la fracción de hembras maduras reflejan mejor la mayor amplitud temporal que tienen las hembras de mayor tamaño (**Figura 24**).

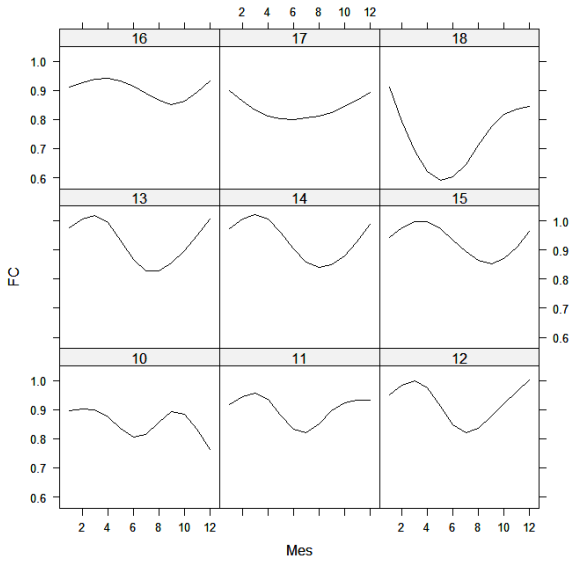

Figura 23. Señal estacional del factor de condición de las hembras en función del tamaño de las hembras de sardina común, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

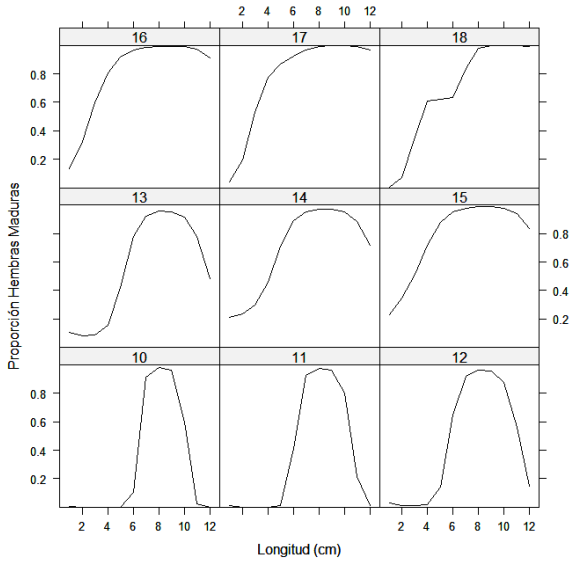

Figura 24. Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de sardina común, V-VIII Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

En la zona sur, Regiones IX-XIV, el IGS de sardina común muestra un patrón diferente al observado en la zona norte (V-VIII Regiones). Las hembras menores de 13 cm no participan en forma activa dado los valores del IGS, y las hembras de mayor tamaño alcanzan maximos hacia octubre – noviembre (**Figura 25**).

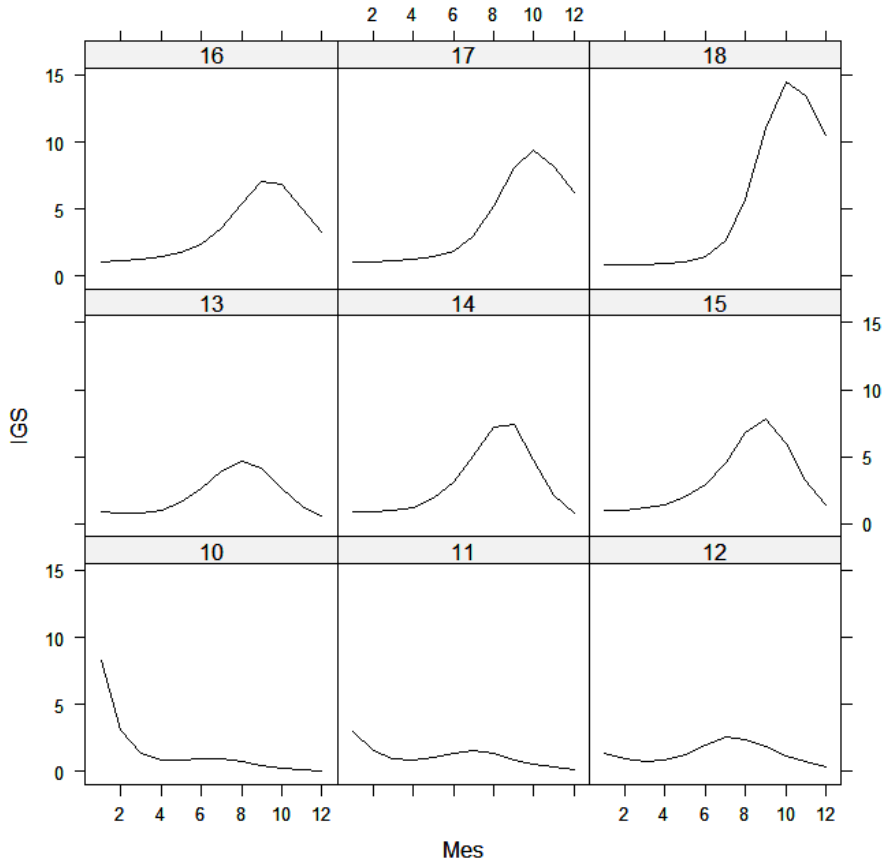

Figura 25. Señal estacional del índice gonadosomático en función del tamaño de las hembras de sardina común, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

En la zona sur, el factor de condición de la sardina común muestra cambios estacionales en la fracción de hembras menor a 12 cm, sin cambios notables en los ejemplares de 13 a 15 cm, mientras que las hembras de 16, 17 y 18 cm exhiben en general uan mejor condición en la época estival (**Figura 26**). Por su parte, la proporción de hembras maduras refleja bien la sincronía y mayor amplitud temporal que exhiben las hemabras de mayor tamaño corporal (**Figura 27**), siendo coherente con la señal del IGS.

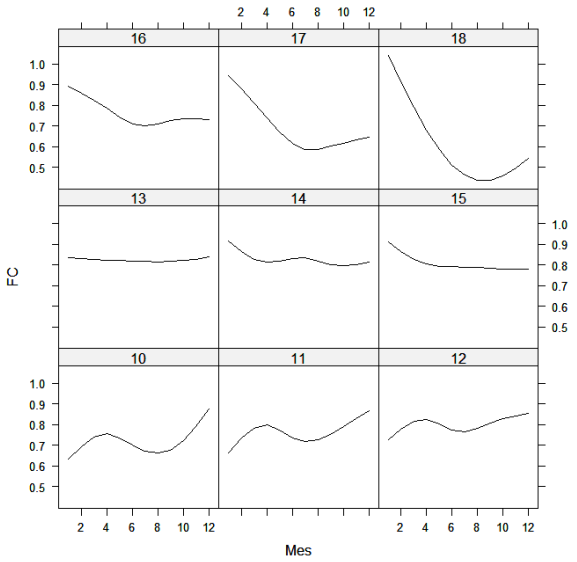

Figura 26. Señal estacional del factor de condición en función del tamaño de las hembras de sardina común, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

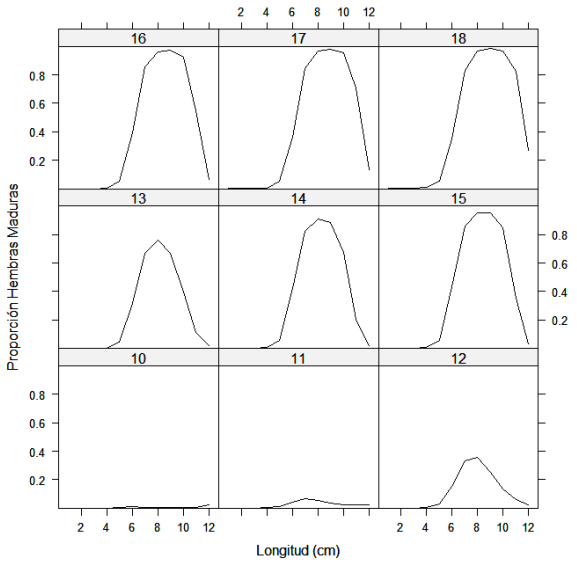

Figura 27. Señal estacional de la proporción de hembras maduras en función del tamaño de las hembras de sardina común, IX-XIV Región. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

d) Periodo 2005-2006

En el periodo 2005-2006, la señal estacional del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) obtenido a través de un modelo GAM se muestra en la **Figura 28**. El modelo utiliza el logaritmo del IGS en función del mes, y explicó 66% y 58,8% de la devianza en anchoveta y sardina común, respectivamente. En el caso del factor de condición, la devianza explicada por el modelo explicó 41,1% (anchoveta) y 41,1 % (sardina). En la anchoveta, el IGS se incrementa fuertemente en julio y permanece alto hasta noviembre; en tanto el factor de condición revela un ciclo inverso con una mejor condición de las hembras desde noviembre hasta abril. En el caso de la sardina común, el IGS muestra altos valores entre julio y octubre, declinando hasta diciembre. En esta especie, el factor de condición de las hembras comienza a incrementarse desde septiembre hasta abril. Sin embargo, se destaca que en la base de datos no se cuenta con observaciones en enero ni en febrero.

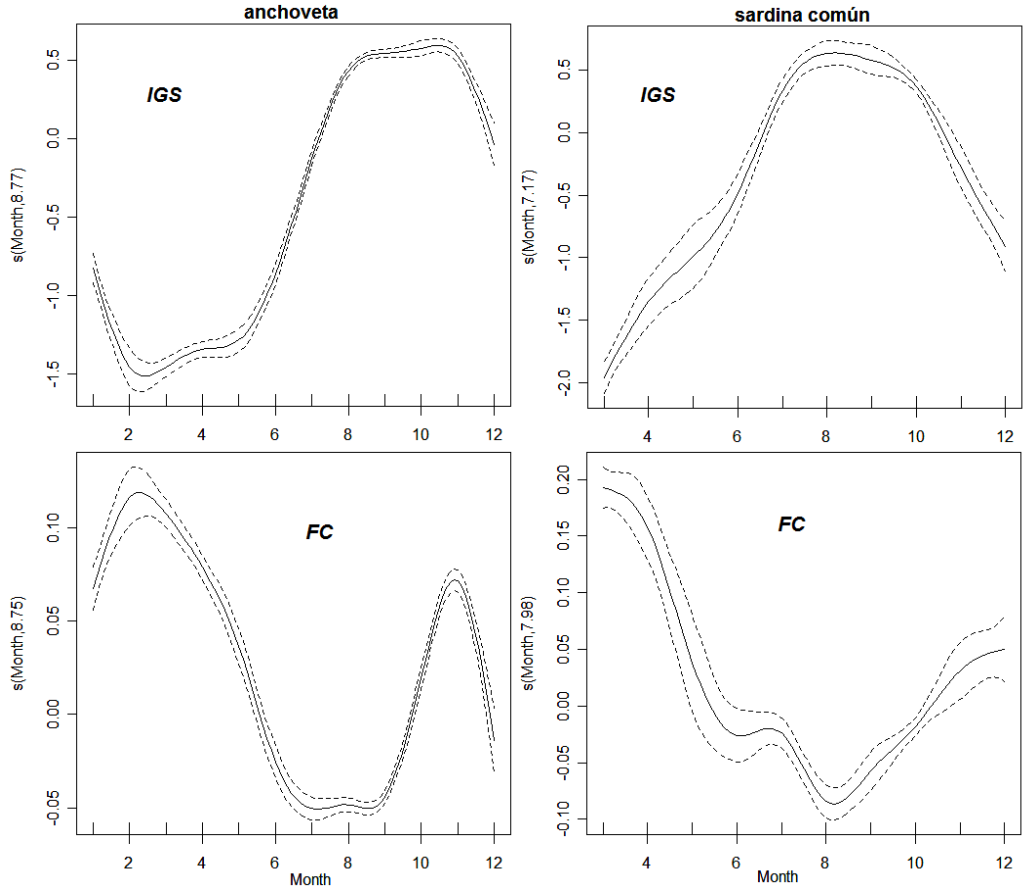

Figura 28. Señal estacional del índice gonadosomático y factor de condición de las hembras de anchoveta y sardina común en el periodo 2005-2006. La representación corresponde a la salida de un modelo GAM que utiliza el mes como predictor.

Al incluir el efecto del tamaño de las hembras, la devianza explicada fue mejor en ambos indicadores (**Tabla 15**). El efecto del tamaño de las hembras se ilustra en la **Figura 29** para ambas especies. En anchoveta se observa que el IGS de las hembras de tamaño menor a 12 cm exhibe un ciclo estacional más estrecho y de menor amplitud que aquél de las hembras de mayor tamaño. Asimismo, conforme la estación reproductiva progresa, las hembras de mayor tamaño (> 13 cm) logran un máximo retrasado (octubre-noviembre) que las hembras de menor tamaño (agosto-septiembre). En esta especie, el factor de condición exhibe un ciclo inverso al del IGS en todos los estratos de tamaño, siendo las hembras de mayor tamaño (>13 cm) las que logran indices más altos en el ciclo anual y principalmente entre enero y abril (**Figura 28**).

Tabla 15. Resultados con GAM para la relación que considera el índice gonadosomatico (IGS) y factor de condición (FC) en función del mes y tamaño de las hembras de anchoveta y sardina común. El intercepto representas la media global, y s(Month,Length) es el término suavizador spline. El error estandard se muestra entre paréntesis, GCV score es el índice general de validación cruzada para el ajuste del modelo. Periodo 2005-2006.

	Anchoveta	Sardina común
Variable dependiente: IGS		
Intercepto	1,139* (0,007)	1,340* (0,017)
s(Month,Length)	27.82*	19,81*
Deviance explained (%)	75,8	72,5
R^2 (adj.)	0,757	0,719
GCV score	0,214	0,311
Variable dependiente: CF		
Intercepto	0,662* (<0.001)	0,842* (0,003)
s(Month,Length)	26,02*	24,69*
Deviance explained (%)	45,9	53,5
R^2 (adj.)	0,455	0,524
GCV score	0,004	0,007
n	4265	1014
*p < 0.01		

En el caso de la sardina común, las hembras de 10 a 12 cm exhiben también un ciclo estacional estrecho y de menor amplitud que el de las hembras más grandes, observándose en este caso que las hembras más grandes comienzan el ciclo reproductivo antes que las hembras de menor tamaño. Al igual que la anchoveta, el factor de condición es más alto en los meses de enero-abril (**Figura 29**).

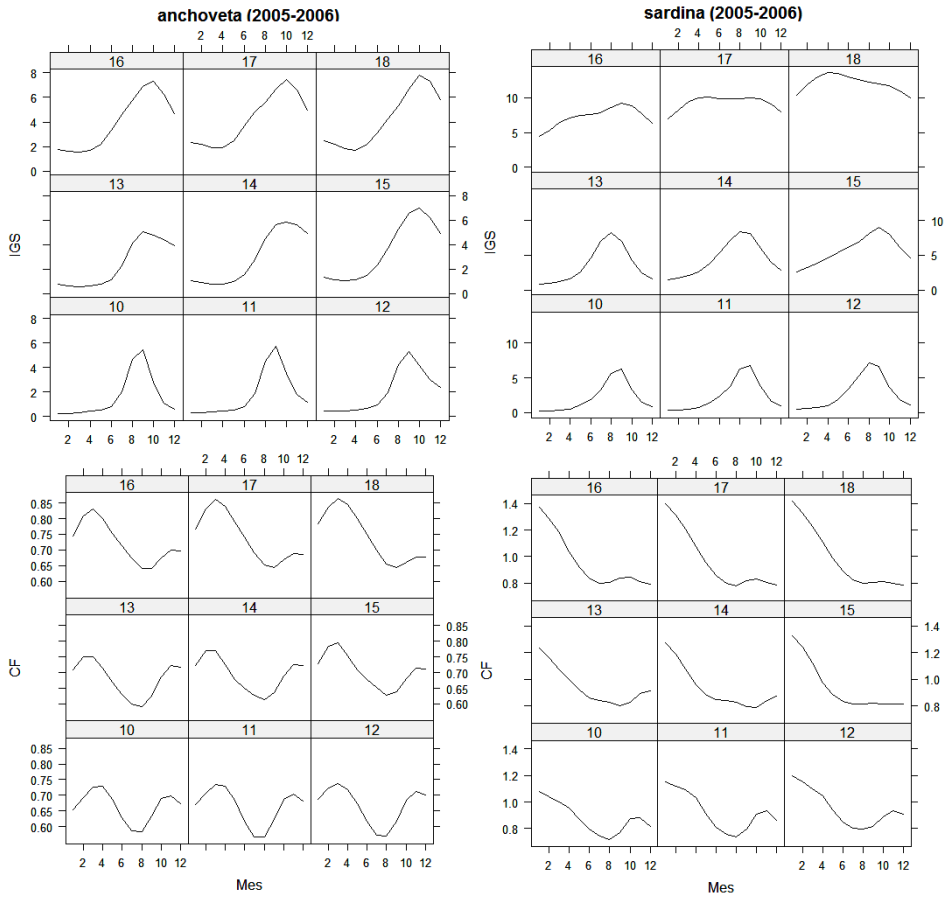

Figura 29. Señal estacional del índice gonadosomático (panel superior) y factor de condición (panel inferior) en función del tamaño de las hembras de anchoveta y sardina común en el periodo 2005-2006. Los números encima de cada gráfico representa la longitud total (cm) de las hembras.

e) Estructura de edad

Con el objeto de analizar la estructura de edad, se han obtenido 3532 otolitos de anchoveta y 3178 otolitos de sardina común durante el año 2007. En este periodo no se cuenta con muestras de enero, debido a la veda de los recursos. Asimismo, en San Antonio no se registró muestras de otolitos producto de la baja actividad pesquera y dificultades para la toma de información.

En sardina común, se realizó la lectura de 1857 otolitos en Talcahuano y 1321 en Corral, representados por ejemplares de entre 5,5 y 17,5 cm LT, los cuales se distribuyeron en cuatro grupos de edad (GE 0 al IV) (**Tabla 16**). Para Talcahuano, entre el primer y segundo trimestre (febrero a junio) los grupos de edad mas frecuentes fueron el 0 y I (42% y 35% en 1er trimestre y 42% y 37% en 2do trimestre). A partir del tercer trimestre la frecuencia de grupos de edad cambia presentandose mas frecuentes los grupos de edad I

y II entre julio a septiembre (52% y 31%, respectivamente); para el ultimo trimestre el grupo de edad mas frecuente es la edad II (49%) (**Tablas 17 a 20**).

Tabla 16. Número de otolitos de sardina común recopilados por puerto, año 2007.

	Sardina comun		
Mes	Talcahuano	Corral	Total
Feb	278	99	377
Mar	185	217	402
Abr	147	159	306
May	98	152	250
Jun	154	139	293
Jul	129	87	216
Agos	186	35	221
Sep	112	129	241
Oct	171	119	290
Nov	304	107	411
Dic	93	78	171
Total	1.857	1.321	3.178

Tabla 17. Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Talcahuano. Primer Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																													
TALLAS	ENERO							FEBRERO							MARZO							1º TRIMESTRE							
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	
3.0																													
3.5																													
4.0																													
4.5																													
5.0																													
5.5																													
6.0								1	1													1	1						
6.5								4	4													4	4						
7.0								10	10													10	10						
7.5								5	5													5	5						
8.0								7	7													7	7						
8.5								8	8													8	8						
9.0								12	12						5	5						17	17						
9.5								15	15						7	7						22	22						
10.0								15	15						11	11						26	26						
10.5								15	15						19	19						34	34						
11.0								19	19						16	16						35	35						
11.5								12	8	4					13	11	2					25	19	6					
12.0								16		16					5	2	3					21	2	19					
12.5								14		14					10	1	9					24	1	23					
13.0								18		17	1				15	2	13					33	2	30	1				
13.5								20		19	1				18		16	2				38		35	3				
14.0								18		12	6				16		12	4				34		24	10				
14.5								16		10	6				13		5	8				29		15	14				
15.0								15		1	14				16		6	9	1			31		7	23	1			
15.5								15			15				13		1	11	1			28		1	26	1			
16.0								14			14				7			5	2			21			19	2			
16.5								7			6	1			1			1				8			7	1			
17.0								2			1	1										2			1	1			
17.5																													
18.0																													
TOTAL								278	119	93	64	2			185	74	67	40	4			463	193	160	104	6			
%								100	43	33	23	1			100	40	36	22	2			100	42	35	22	1			

Tabla 18. Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Talcahuano. Segundo Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																													
TALLAS	ABRIL							MAYO							JUNIO							2º TRIMESTRE							
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	
3.0																													
3.5																													
4.0																													
4.5																													
5.0																													
5.5																													
6.0																													
6.5																													
7.0																													
7.5																													
8.0															1	1						1	1						
8.5	10	10						1	1													11	11						
9.0	10	10													6	6						16	16						
9.5	15	15						5	5						6	6						26	26						
10.0	15	15						7	7						7	6	1					29	28	1					
10.5	18	18						11	11						14	10	4					43	39	4					
11.0	10	8	2					9	9						15	10	5					34	27	7					
11.5	2	2													14	10	4					16	12	4					
12.0	3		3												15	5	8	2				18	5	11	2				
12.5	7	1	6					10		6	4				15		13	2				32	1	25	6				
13.0	15		11	4				10		7	3				16		14	2				41		32	9				
13.5	14		11	3				11		9	2				14		11	3				39		31	8				
14.0	12		9	3				7		1	6				13		10	3				32		20	12				
14.5	5		2	3				10		1	8	1			10		7	3				25		10	14	1			
15.0	5			4	1			12			10	2			5		2	3				22		2	17	3			
15.5	5			5				4			3	1			3			3				12			11	1			
16.0	1			1				1				1										2			1	1			
16.5																													
17.0																													
17.5																													
18.0																													
TOTAL	147	79	44	23	1			98	33	24	36	5			154	54	79	21				399	166	147	80	6			
%	100	54	30	16	1			100	34	24	37	5			100	35	51	14				100	42	37	20	2			

Tabla 19. Claves Edad-Talla de sardina común en la zona de Talcahuano. Tercer Trimestre 2007.

	GRUPOS DE EDAD																													
TALLAS	JULIO							AGOSTO							SEPTIEMBRE							3er. TRIMESTRE							
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	
3.0																													
3.5																													
4.0																													
4.5																													
5.0																													
5.5																													
6.0																													
6.5																													
7.0																													
7.5																													
8.0																													
8.5																													
9.0								1		1					2		2					3		3					
9.5	2		2					1		1					3		3					6		6					
10.0	4		4					8		8					3		3					15		15					
10.5	16		16					10		10					6		6					32		32					
11.0	23		23					12		11	1				6		5	1				41		39	2				
11.5	23		23					19		19					5		5					47		47					
12.0	21		14	7				16		16					8		4	4				45		34	11				
12.5	18		13	5				17		16	1				8		5	3				43		34	9				
13.0	5		1	4				11		9	2				9		1	8				25		11	14				
13.5	9			9				7		1	6				10		2	8				26		3	23				
14.0	3			3				12			12				8			7	1			23			22	1			
14.5	2			2				14			14				8			7	1			24			23	1			
15.0								16			13	3			8			3	5			24			16	8			
15.5	1			1				14			3	11			13			3	10			28			7	21			
16.0	2			1	1			15			4	11			9				9			26			5	21			
16.5								12			1	10	1		3				3			15			1	13	1		
17.0								1					1		3				2	1		4				2	2		
17.5																													
18.0																													
18.5																													
19.0																													
19.5																													
20.0																													
TOTAL	129		96	32	1			186		92	57	35	2		112		36	44	31	1		427		224	133	67	3		
%	100		74	25	1			100		49	31	19	1		100		32	39	28	1		100		52	31	16	1		

Tabla 20. Claves Edad-Talla de sardina común en la zona de Talcahuano. Cuarto Trimestre de 2007.

	GRUPOS DE EDAD																								
TALLAS	OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE							4º TRIMESTRE						
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V
3.0																												
3.5																												
4.0																												
4.5																												
5.0																												
5.5								3	3													3	3					
6.0								8	8													8	8					
6.5								10	10													10	10					
7.0								12	12													12	12					
7.5								12	12													12	12					
8.0								13	13													13	13					
8.5								14	14													14	14					
9.0								14	14													14	14					
9.5								15	15													15	15					
10.0								15	15													15	15					
10.5								12		12												12		12				
11.0	1		1					5		1	4											6		2	4			
11.5	7		5	2				7		4	3											14		9	5			
12.0	9		7	2				20		11	9				3		2	1				32		20	12			
12.5	13		5	8				14		9	5				5		4	1				32		18	14			
13.0	18		7	11				17		7	10				12		7	5				47		21	26			
13.5	21		1	20				14		2	12				12		6	6				47		9	38			
14.0	21		2	19				15		3	12				12		3	9				48		8	40			
14.5	22		1	19	2			14			13	1			12		2	10				48		3	42	3		
15.0	16			11	5			15			11	4			11			11				42			33	9		
15.5	15			8	7			15			10	5			10			9	1			40			27	13		
16.0	13			3	10			15			8	7			10			9	1			38			20	18		
16.5	12			4	7	1		14			5	8	1		5			1	4			31			10	19	2	
17.0	3				2	1		9			7	2			1				1			13			7	5	1	
17.5								2				2										2				2		
18.0																												
18.5																												
19.0																												
19.5																												
20.0																												
TOTAL	171		29	107	33	2		304	116	49	109	29	1		93		24	62	7			568	116	102	278	69	3	
%	100		17	63	19	1		100	38	16	36	10	0		100		26	67	8			100	20	18	49	12	1	

En la zona de Corral, los grupos de edad mas frecuentes durante todo el periodo de monitoreo fueron el I y II (para todos los meses); el grupo de edad I fue mas frecuente en el primer y segundo trimestre (68% y 61%, respectivamente), mientras que en el tercer y cuarto trimestre se presento con mayor frecuencia individuos en edad II (72% y 76%, respectivamente). Por otro lado, individuos del grupo de edad 0 solo fueron registrados en el primer y segundo trimestre (10% y 16%, respectivamente) (**Tablas 21 a 24**).

Tabla 21. Claves Edad-Talla de sardina comun en la zona de Corral- Valdivia. Primer Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																																			
TALLAS	ENERO							FEBRERO							MARZO							1er. TRIMESTRE														
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V								
3.0																																				
3.5																																				
4.0																																				
4.5																																				
5.0																																				
5.5																																				
6.0																																				
6.5																																				
7.0																																				
7.5																																				
8.0																																				
8.5																																				
9.0															1	1						1	1														
9.5															7	6	1					7	6	1												
10.0								1	1						12	10	2					13	11	2												
10.5								3	3						14	6	8					17	9	8												
11.0								6	1	5					16	3	13					22	4	18												
11.5								15		15					14		11	3				29		26	3											
12.0								14		14					20		17	3				34		31	3											
12.5								13		13					18		16	2				31		29	2											
13.0								15		15					20		17	3				35		32	3											
13.5								13		11	2				19		15	4				32		26	6											
14.0								12		11	1				20		16	4				32		27	5											
14.5								4		3	1				19		12	7				23		15	8											
15.0								1		1					15			11	4			16		1	11	4										
15.5								2			2				14			10	4			16			12	4										
16.0															6			5	1			6			5	1										
16.5															2			1	1			2			1	1										
17.0																																				
17.5																																				
18.0																																				
TOTAL								99	5	88	6				217	26	128	53	10			316	31	216	59	10										
%								100	5	89	6				100	12	59	24	5			100	10	68	19	3										

Tabla 22. Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Segundo Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																																			
TALLAS	ABRIL							MAYO							JUNIO							2º TRIMESTRE														
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V								
3.0																																				
3.5																																				
4.0																																				
4.5																																				
5.0																																				
5.5																																				
6.0																																				
6.5																																				
7.0																																				
7.5																																				
8.0																																				
8.5																																				
9.0	2	2																				2	2													
9.5	7	7						1	1						6	6						14	14													
10.0	12	12						2	2						8	7	1					22	21	1												
10.5	9	6	3					3	2	1					12	11	1					24	19	5												
11.0	12	1	11					9	3	6					14	5	9					35	9	26												
11.5	12		12					15		15					16	7	9					43	7	36												
12.0	12		12					13		13					14	1	5	8				39	1	30	8											
12.5	12		12					16		16					15		7	8				43		35	8											
13.0	8		8					15		15					15		10	5				38		33	5											
13.5	12		9	3				15		14	1				15		13	2				42		36	6											
14.0	14		12	2				13		12	1				10		7	3				37		31	6											
14.5	10		7	3				15		15					12		9	3				37		31	6											
15.0	11		3	8				15		5	10				2		1	1				28		9	19											
15.5	12			10	2			13		1	11	1										25		1	21	3										
16.0	10			7	3			7			6	1										17			13	4										
16.5	4			3	1																	4			3	1									
17.0																																				
17.5																																				
18.0																																				
TOTAL	159	28	89	36	6			152	8	113	29	2			139	37	72	30				450	73	274	95	8										
%	100	18	56	23	4			100	5	74	19	1			100	27	52	22				100	16	61	21	2										

Tabla 23. Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Tercer Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																							
TALLAS	JULIO							AGOSTO							SEPTIEMBRE							3er. TRIMESTRE						
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V
3.0																												
3.5																												
4.0																												
4.5																												
5.0																												
5.5																												
6.0																												
6.5																												
7.0																												
7.5																												
8.0																												
8.5																												
9.0																												
9.5	1		1					1		1												2		2				
10.0	1		1					1		1												2		2				
10.5	8		8					3		2	1				1		1					12		11	1			
11.0	12		10	2				7		4	3				3		3					22		17	5			
11.5	10		4	6				7		1	6				3		3					20		8	12			
12.0	12		1	11				7			7				8		5	3				27		6	21			
12.5	12			12				7			7				14		3	11				33		3	30			
13.0	12			12				2			2				15		1	14				29		1	28			
13.5	12			12											13			13				25			25			
14.0	7			7											15			15				22			22			
14.5															16			15	1			16			15	1		
15.0															15			12	3			15			12	3		
15.5															15			8	7			15			8	7		
16.0															9			1	8			9			1	8		
16.5															2			1	1			2			1	1		
17.0																												
17.5																												
18.0																												
18.5																												
19.0																												
19.5																												
20.0																												
TOTAL	87		25	62				35		9	26				129		16	93	20			251		50	181	20		
%	100		29	71				100		26	74				100		12	72	16			100		20	72	8		

Tabla 24. Claves Edad-Talla de sardina comun en zona de Corral- Valdivia. Tercer Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																							
TALLAS	OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE							4º TRIMESTRE						
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V	Frec.	0	I	II	III	IV	V
3.0																												
3.5																												
4.0																												
4.5																												
5.0																												
5.5																												
6.0																												
6.5																												
7.0																												
7.5																												
8.0																												
8.5																												
9.0																												
9.5																												
10.0																												
10.5																												
11.0	2		2																			2		2				
11.5	2		1	1																		2		1	1			
12.0	8		7	1				4		3	1											12		10	2			
12.5	12		6	6				13		7	6				1		1					26		14	12			
13.0	15		5	10				14		7	7				3		1	2				32		13	19			
13.5	12			12				14		4	10				14		3	11				40		7	33			
14.0	14			13	1			15		1	14				12			12				41		1	39	1		
14.5	14			14				14			14				16			16				44			44			
15.0	16			16				17		1	14	2			16			16				49		1	46	2		
15.5	15			8	7			14			11	3			13			11	2			42			30	12		
16.0	8			2	5	1		2				2			1			1				11			3	7	1	
16.5	1				1										2			1	1			3			1	2		
17.0																												
17.5																												
18.0																												
18.5																												
19.0																												
19.5																												
20.0																												
TOTAL	119		21	83	14	1		107		23	77	7			78		5	70	3			304		49	230	24	1	
%	100		18	70	12	1		100		21	72	7			100		6	90	4			100		16	76	8	0	

En anchoveta, se realizó la lectura de 1226 otolitos en Talcahuano y 1066 en Corral, representados por ejemplares de entre 8,5 y 19,0 cm LT, los cuales se distribuyeron en cuatro grupos de edad (GE 0 al IV) (**Tabla 25**). Para Talcahuano, a diferencia de lo registrado en sardina comun, los grupos de edad mas frecuentes fueron el I y II para todo el periodo de muestreo (32,7% y 36,6% en 1er trimestre; 46,3% y 35,9% en 2do trimestre; 56,0% y 34,5% en 3er trimestre y 53,1% y 30,6% en 4to trimestre). Solo en el 1er trimestre se hace importante la presencia de individuos en el grupo de edad III (24,5%) (**Tablas 26 a 29**).

Tabla 25. Número de otolitos de anchoveta recopilados por puerto, año 2007.

	Anchoveta		
Mes	Talcahuano	Corral	Total
Feb	138	124	262
Mar	119	98	217
Abr	139	128	267
May	139	148	287
Jun	143	116	259
Jul	98	101	199
Agos	130		130
Sep	111	96	207
Oct	101	98	199
Nov	108	90	198
Dic		67	67
Total	1.226	1.066	2.292

Tabla 26. Claves Edad-Talla de anchoveta en la zona de Talcahuano. Primer Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																					
TALLAS	ENERO						FEBRERO						MARZO						1er.TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5																								
9.0																								
9.5																								
10.0													1		1				1		1			
10.5							5		5										5		5			
11.0							5		5				2		2				7		7			
11.5							5		5										5		5			
12.0							7		7				7		7				14		14			
12.5							10		10				10		10				20		20			
13.0							8		8				9		9				17		17			
13.5							10		5	5			7		7				17		12	5		
14.0							10		2	8			5		1	4			15		3	12		
14.5													5			5			5			5		
15.0							10			10			9			9			19			19		
15.5							11			11			9			9			20			20		
16.0							8			7	1		10			7	3		18			14	4	
16.5							11			3	8		10			6	4		21			9	12	
17.0							10			3	7		10			5	3	2	20			8	10	2
17.5							10				9	1	10			2	7	1	20			2	16	2
18.0							7				6	1	5				2	3	12				8	4
18.5							10				8	2	9				5	4	19				13	6
19.0							1					1	1					1	2					2
19.5																								
20.0																								
TOTAL							138		47	47	39	5	119		37	47	24	11	257		84	94	63	16
%							100.0		34.1	34.1	28.3	3.6	100.0		31.1	39.5	20.2	9.2	100.0		32.7	36.6	24.5	6.2

Tabla 27. Claves Edad-Talla de anchoveta en la zona de Talcahuano. Segundo Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																					
TALLAS	ABRIL						MAYO						JUNIO						2º.TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5													1	1					1	1				
9.0													1	1					1	1				
9.5							1		1				1	1					2	1	1			
10.0							2		2				4	2	2				6	2	4			
10.5							2		2				6	1	5				8	1	7			
11.0	7		7				8		8				9		9				24		24			
11.5	9		9				10		10				9		9				28		28			
12.0	11		11				10		10				9		9				30		30			
12.5	9		9				10		10				9		9				28		28			
13.0	9		8	1			10		9	1			9		9				28		26	2		
13.5	11		10	1			11		10	1			9		4	5			31		24	7		
14.0	9		7	2			8		4	4			9		4	5			26		15	11		
14.5	9		3	5	1		10		2	8			11		3	8			30		8	21	1	
15.0	9			7	2		10			10			9			9			28			26	2	
15.5	8			7	1		10			8	2		8			8			26			23	3	
16.0	10			8	2		9			8	1		8			5	3		27			21	6	
16.5	8			2	6		10			5	5		7			3	4		25			10	15	
17.0	10			5	5		9			1	8		9			6	3		28			12	16	
17.5	11			4	6	1	6			4	2		9			3	6		26			11	14	1
18.0	8			3	3	2	2				1	1	6			4	1	1	16			7	5	4
18.5							1					1							1					1
19.0	1					1													1					1
19.5																								
20.0																								
TOTAL	139		64	45	26	4	139		68	50	19	2	143	6	63	56	17	1	421	6	195	151	62	7
%	100.0		46.0	32.4	18.7	2.9	100.0		48.9	36.0	13.7	1.4	100.0	4.2	44.1	39.2	11.9	0.7	100.0	1.4	46.3	35.9	14.7	1.7

Tabla 28. Claves Edad-Talla de anchoveta en la zona de Talcahuano. Tercer Trimestre 2007.

	GRUPOS DE EDAD																					
TALLAS	JULIO						AGOSTO						SEPTIEMBRE						3er. TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5																								
9.0							2	2											2	2				
9.5							1	1											1	1				
10.0							1	1											1	1				
10.5	1		1				9	4	5										10	4	6			
11.0	1		1				9	2	7				2	1	1				12	3	9			
11.5	5		5				4		4				4	1	3				13	1	12			
12.0	9		9				9		9				4	1	3				22	1	21			
12.5	9		9				9		9				9	2	7				27	2	25			
13.0	9		9				9		9				9		9				27		27			
13.5	9		9				9		9				7		7				25		25			
14.0	9		8	1			8		7	1			9		9				26		24	2		
14.5	9		5	4			9		6	3			9		7	2			27		18	9		
15.0	9		3	6			9		2	7			9		6	3			27		11	16		
15.5	9		1	8			9		1	8			9		3	6			27		5	22		
16.0	9		1	8			8		1	7			9		3	6			26		5	21		
16.5	7			7			10			7	3		8		2	4	2		25		2	18	5	
17.0	1			1			8			6	2		9			8	1		18			15	3	
17.5	2				2		6			4	2		7			5	1	1	15			9	5	1
18.0							1			1			7			4	2	1	8			5	2	1
18.5																								
19.0																								
19.5																								
20.0																								
TOTAL	98		61	35	2		130	10	69	44	7		111	5	60	38	6	2	339	15	190	117	15	2
%	100.0		62.2	35.7	2.0		100.0	7.7	53.1	33.8	5.4		100.0	4.5	54.1	34.2	5.4	1.8	100.0	4.4	56.0	34.5	4.4	0.6

Tabla 29. Claves Edad-Talla de anchoveta en la zona de Talcahuano. Cuarto Trimestre de 2007.

	GRUPOS DE EDAD																							
TALLAS	OCTUBRE						NOVIEMBRE						DICIEMBRE						4° TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5																								
9.0																								
9.5																								
10.0																								
10.5																								
11.0																								
11.5							3	2	1										3	2	1			
12.0							3	1	2										3	1	2			
12.5	5		5				7	5	2										12	5	7			
13.0	9		9				9	3	6										18	3	15			
13.5	9		8	1			9	1	8										18	1	16	1		
14.0	9		9				9	1	8										18	1	17			
14.5	11		10	1			9		9										20		19	1		
15.0	9		7	2			8		4	4									17		11	6		
15.5	8		3	5			9		6	3									17		9	8		
16.0	10		3	5	2		10		**5**	4	1								20		8	9	3	
16.5	9		2	7			8		**4**	3	1								17		6	10	1	
17.0	9			7	2		9			7	2								18			14	4	
17.5	10			8	2		9			4	5								19			12	7	
18.0	3			1	2		6			2	4								9			3	6	
18.5																								
19.0																								
19.5																								
20.0																								
TOTAL	101		56	37	8		108	13	55	27	13								209	13	111	64	21	
%	100.0		55.4	36.6	7.9		100.0	12.0	50.9	25.0	12.0								100.0	6.2	53.1	30.6	10.0	

Anchoveta en la zona de Corral, al igual que lo registrado para sardina comun, los grupos de edad mas frecuentes durante todo el periodo de monitoreo fueron el I y II (para todos los meses). Individuos en el grupo de edad I fueron mas frecuente en el tercer y cuarto trimestre (48,7% y 58,0%, respectivamente), mientras que en el primer y segundo trimestre se presento con mayor frecuencia individuos en edad II (45,9% y 50,5%, respectivamente). Por otro lado, individuos del grupo de edad 0 solo fueron registrados en el tercer y cuarto trimestre (1,0% y 0,4%, respectivamente). Los individuos en el grupo de edad III, siempre fueron registrados en todo el periodo de muestreo (11,7% en 1er trimestre; 12,5% en 2do trimestre; 11,2% en 3er trimestre y 7,5% en 4to trimestre (**Tablas 30 a 33**).

Tabla 30. Claves Edad-Talla de anchoveta en la zona de Corral- Valdivia. Primer Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																					
TALLAS	ENERO						FEBRERO						MARZO						1er.TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5																								
9.0																								
9.5																								
10.0							6		6				1		1				7		7			
10.5							8		8				8		8				16		16			
11.0							7		7				7		7				14		14			
11.5							10		8	2			10		10				20		18	2		
12.0							10		6	4			10		10				20		16	4		
12.5							9		1	8			10		10				19		11	8		
13.0							9		3	6			5		4	1			14		7	7		
13.5							9			9			5		1	4			14		1	13		
14.0							10			10			6			6			16			16		
14.5							10			10			4			4			14			14		
15.0							10			9	1		4			3	1		14			12	2	
15.5							10			7	3		4			3	1		14			10	4	
16.0							9			5	4		5			4	1		14			9	5	
16.5							4			1	3		3			2	1		7			3	4	
17.0							3			1	2		7			2	5		10			3	7	
17.5													8			1	4	3	8			1	4	3
18.0													1					1	1					1
18.5																								
19.0																								
19.5																								
20.0																								
TOTAL							124		39	72	13		98		51	30	13	4	222		90	102	26	4
%							100.0		31.5	58.1	10.5		100.0		52.0	30.6	13.3	4.1	100.0		40.5	45.9	11.7	1.8

Tabla 31. Claves Edad-Talla de anchoveta en zona de Corral- Valdivia. Segundo Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																							
TALLAS	ABRIL						MAYO						JUNIO						2º.TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5																								
9.0																								
9.5																								
10.0																								
10.5	2		2				6		6				1		1				9		9			
11.0	7		7				9		9				7		7				23		23			
11.5	10		10				10		10				7		7				27		27			
12.0	10		10				10		9	1			9		9				29		28	1		
12.5	10		9	1			10		7	3									20		16	4		
13.0	10		4	6			10		6	4			10		4	6			30		14	16		
13.5	10		6	4			10		1	9			8		5	3			28		12	16		
14.0	10			10			10		1	9			9		4	5			29		5	24		
14.5	10			10			9			9			9			9			28			28		
15.0	10			9	1		10			9	1		9			9			29			27	2	
15.5	10			9	1		10			9	1		9			9			29			27	2	
16.0	10			8	2		9			7	2		8			8			27			23	4	
16.5	9			6	3		10			5	5		8			5	3		27			16	11	
17.0	9			5	3	1	8			3	5		9			5	4		26			13	12	1
17.5							10			2	7	1	6			1	5		16			3	12	1
18.0	1					1	5				2	3	5				4	1	11				6	5
18.5							2					2	1					1	3					3
19.0													1					1	1					1
19.5																								
20.0																								
TOTAL	128		48	68	10	2	148		49	70	23	6	116		37	60	16	3	392		134	198	49	11
%	100.0		37.5	53.1	7.8	1.6	100.0		33.1	47.3	15.5	4.1	100.0		31.9	51.7	13.8	2.6	100.0		34.2	50.5	12.5	2.8

Tabla 32. Claves Edad-Talla de anchoveta en zona de Corral- Valdivia. Tercer Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																					
TALLAS	JULIO						AGOSTO						SEPTIEMBRE						3er. TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5																								
9.0																								
9.5																								
10.0																								
10.5	1		1																1		1			
11.0	4		4																4		4			
11.5	7		7																7		7			
12.0	4		4										2	1	1				6	1	5			
12.5	9		9										6	1	5				15	1	14			
13.0	9		9										6		6				15		15			
13.5	4		4										5		5				9		9			
14.0	8		2	6									7		7				15		9	6		
14.5	9		4	5									9		9				18		13	5		
15.0	9			9									9		8	1			18		8	10		
15.5	9			9									8		4	4			17		4	13		
16.0	9			9									9		5	4			18		5	13		
16.5	9			6	3								9		2	6	1		18		2	12	4	
17.0	7			2	5								9			7	2		16			9	7	
17.5	3			1	1	1							9			5	4		12			6	5	1
18.0													7			2	5		7			2	5	
18.5																								
19.0													1				1		1				1	
19.5																								
20.0																								
TOTAL	101		44	47	9	1							96	2	52	29	13		197	2	96	76	22	1
%	100.0		43.6	46.5	8.9	1.0							100.0	2.1	54.2	30.2	13.5		100.0	1.0	48.7	38.6	11.2	0.5

Tabla 33. Claves Edad-Talla de anchoveta en zona de Corral- Valdivia. Cuarto Trimestre del 2007.

	GRUPOS DE EDAD																					
TALLAS	OCTUBRE						NOVIEMBRE						DICIEMBRE						4º. TRIMESTRE					
(cm)	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV	Frec.	0	I	II	III	IV
4.0																								
4.5																								
5.0																								
5.5																								
6.0																								
6.5																								
7.0																								
7.5																								
8.0																								
8.5																								
9.0																								
9.5																								
10.0																								
10.5																								
11.0																								
11.5																								
12.0																								
12.5	8	1	7																8	1	7			
13.0	6		6				2		2				4		4				12		12			
13.5	9		9				9		9				8		8				26		26			
14.0	8		7	1			9		8	1			9		9				26		24	2		
14.5	9		8	1			9		8	1			9		9				27		25	2		
15.0	9		7	2			9		6	3			9		9				27		22	5		
15.5	9		6	3			9		6	3			7		5	2			25		17	8		
16.0	9		4	5			9		3	6			9		2	7			27		9	18		
16.5	9		3	6			9		1	7	1		8		1	7			26		5	20	1	
17.0	10			6	4		9			5	4		3			3			22			14	8	
17.5	9		1	7	1		9			5	4		1			1			19		1	13	5	
18.0	3			2	1		6			3	3								9			5	4	
18.5							1				1								1				1	
19.0																								
19.5																								
20.0																								
TOTAL	98	1	58	33	6		90		43	34	13		67		47	20			255	1	148	87	19	
%	100.0	1.0	59.2	33.7	6.1		100.0		47.8	37.8	14.4		100.0		70.1	29.9			100.0	0.4	58.0	34.1	7.5	

f) Relación longitud-peso

En la **Tabla 34** se comunica los resultados de la relación longitud-peso de anchoveta y sardina común. La relación longitud-peso se utilizará sobre una base trimestral, conjuntamente con datos de capturas, para determinar la composición en miles de las capturas por tallas y edades.

Tabla 34. Parámetros de la relación longitud-peso de anchoveta y sardina común en la VIII y XIV Región.

VIII Región	Anchoveta				Sardina común			
Mes	a	b	r^2	n	a	b	r^2	n
FEB	0,0043	3,219	0,93	1382	0,0036	3,369	0,98	1792
MAR	0,0028	3,364	0,93	1477	0,0049	3,284	0,95	1144
ABR	0,0021	3,448	0,95	1294	0,002	3,610	0,98	326
MAY	0,0027	3,333	0,94	1795	0,0027	3,483	0,97	200
JUN	0,0026	3,327	0,95	1877	0,0031	3,396	0,96	736
JUL	0,0033	3,244	0,97	702	0,0052	3,194	0,96	593
AGO	0,0053	3,074	0,91	791	0,0077	3,039	095	741
SEP	0,0092	2,873	0,88	1618	0,0079	3,034	0,92	1527
OCT	0,0097	2,876	0,93	2086	0,0167	2,762	0,91	1931
NOV	0,0073	2,991	0,91	1575	0,0062	3,140	0,96	1629
DIC	0,0124	2,798	0,92	120	0,0169	2,801	0,92	350
ENE/08	0,0015	3,603	0,99	820	0,0032	3,405	0,95	3995
XIV Región	a	b	r^2	n	a	b	r^2	n
FEB	0,0025	3,315	0,98	155	0,0034	3,306	0,96	85
MAR	0,0031	3,268	0,98	317	0,0034	3,321	0,98	371
ABR	0,0027	3,341	0,97	388	0,0029	3,389	0,97	472
MAY	0,0033	3,247	0,98	399	0,0138	2,793	0,89	389
JUN	0,003	3,281	0,96	493	0,0031	3,367	0,93	453
JUL	0,0024	3,348	0,95	247	0,0019	3,535	0,86	121
AGO	0,0067	2,977	0,85	45	0,002	3,527	0,89	185
SEP	0,0158	2,702	0,92	1369	0,0083	2,987	0,88	575
OCT	0,0113	2,811	0,82	945	0,0241	2,586	0,83	1199
NOV	0,02	2,575	0,82	537	0,0147	2,769	0,75	1069
DIC	0,0078	2,945	0,90	194	0,0217	2,644	0,81	365
ENE/08	0,0044	3,179	0,87	1581	0,0037	3,339	0,94	1569

8.1.2. Indicadores microscópicos

a) Estados de madurez sexual

En el caso de la anchoveta, durante el periodo de estudio se analizó histológicamente un total de 2.987 hembras, con longitudes entre 8,6 y 17,9 cm LT, las cuales fueron obtenidas a bordo. Para efectos del análisis y ante la poca información colectada en la V región, la zona de estudio se subdividió en: zona Norte (V a VIII región) y zona Sur (IX a XIV región). Para la anchoveta, en la zona norte se analizaron histológicamente 1.935 hembras, mientras que en la zona sur se procesaron 1.052 ejemplares. Los estados de Madurez Microscópicos (EMMi) determinados se presentan en la **Tabla 35.** En el caso de la sardina común, se analizaron 2.861 preparaciones histológicas; en la zona norte se procesaron 1.477 ejemplares y 1.384 en la zona sur. Los estados de Madures Microscópicos (EMMi) determinados se presentan en la **Tabla 36.** Cabe señalar que no fue posible obtener muestras de anchoveta a bordo en julio, agosto, ni octubre; y no fue posible preservar muestras del desembarque de otras lanchas por su condición en avanzada descomposición. Similar caso se planteo para la sardina común en julio.

Tabla 35. Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual microscópicos e índice de actividad de desove (IAD, %), registrados para anchoveta en ambas zonas.

Anchoveta	EMMi	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Zona Norte	I	41 (77,4)	39 (53,1)	8 (19,0)	15 (10,0)	--	14 (21,2)	--	--
	II	12 (22,6)	36 (47,4)	26 (61,9)	78 (52,0)	17 (6,7)	23 (34,8)	--	--
	III	--	--	--	9 (6,0)	4 (1,6)	--	2 (0,2)	--
	IV	--	--	--	19 (12,7)	42 (16,5)	13 (19,7)	219 (19,6)	17 (9,7)
	V	--	--	--	24 (16,0)	46 (18,1)	5 (7,6)	147 (13,1)	22 (12,5)
	VI	--	1 (1,3)	--	--	31 (12,2)	--	116 (10,4)	35 (19,9)
	VII	--	--	--	--	4 (1,6)	--	2 (0,2)	--
	VIII	--	--	--	--	99 (39,0)	8 (12,1)	629 (56,3)	102 (58,0)
	IX	--	--	8 (19,0)	5 (3,3)	11 (4,3)	3 (4,5)	3 (0,3)	--
IAD (%)		-	-	-	8,8	61,2	37,9	67,1	77,8
Zona Sur	I	--	23 (67,6)	2 (4,0)	2 (4,1)	--	--	--	--
	II	--	10 (29,4)	26 (52,0)	12 (24,5)	--	--	86 (9,4)	
	III	--	--	2 (4,0)	9 (18,4)	--	--	39 (4,2)	--
	IV	--	--	10 (20,0)	7 (14,3)	--	--	196 (21,3)	--
	V	--	--	--	2 (4,1)	--	--	28 (3,0)	--
	VI	--	--	1 (2,0)	--	--	--	95 (10,3)	--
	VII	--	--	--	--	--	--	3 (0,3)	--
	VIII	--	--	2 (4,0)	--	--	--	454 (49,4)	
	IX	--	1 (2,9)	7 (14,0)	17 (34,7)	--	--	18 (2,0)	--
IAD (%)		-	-	45,5	48,6			68,4	

Tabla 36. Frecuencia en número y porcentaje (%) de los estados de madurez sexual microscópicos e índice de actividad de desove (IAD, %), registrados en sardina común en ambas zonas.

Sardina común	EMMi	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Zona	I	8 (80,0)	20 (40,8)	6 (35,3)	3 (8,1)	--	1 (0,8)	--	1 (0,9)	--	--
	II	1 (10,0)	25 (51,0)	10 (58,8)	21 (56,8)	--	--	--	--	--	--
	III	--	--	--	6 (16,2)	3 (1,9)	1 (0,8)	--	--	--	--
	IV	1 (10,0)	--	1 (5,9)	6 (16,2)	25 (15,6)	27 (20,8)	54 (5,6)	35 (30,2)	--	--
	V	--	--	--	1 (2,7)	36 (22,5)	9 (6,9)	87 (9,1)	7 (6,0)	--	--
	VI		1 (2,0)	--	--	7 (4,4)	8 (6,2)	40 (4,2)	3 (2,6)	--	--
	VII	--	--	--	--	2 (1,3)	2 (1,5)	16 (1,7)	--	--	--
	VIII	--	--	--	--	87 (54,4)	81 (62,3)	760 (79,3)	69 (59,5)	--	--
	IX	--	3 (6,1)	--	--	--	1 (0,8)	1 (0,1)	1 (0,9)	--	--
IAD (%)		-	-	-	-	55,6	71,3	85,3	63,5		
Zona Sur	I	--	16 (53,3)	--	--	--	11 (22,4)	29 (2,8)	15 (13,5)	--	--
	II	--	14 (46,7)	--	14 (28,0)	--	24 (49,0)	33 (3,1)	27 (24,3)	42 (97,7)	44 (91,7)
	III	--	--	--	18 (36,0)	--	1 (2,0)	5 (0,5)	1 (0,9)	1 (2,3)	2 (4,2)
	IV	--	--	--	11 (22,0)	--	3 (6,1)	195 (18,5)	22 (19,8)	--	2 (4,2)
	V	--	--	--	--	--	--	162 (15,4)	2 (1,8)	--	--
	VI	--	--	--	--	--	--	69 (6,6)	4 (3,6)	--	--
	VII	--	--	--	--	--	--	2 (0,2)	--	--	--
	VIII	--	--	--	--	--	1 (2,0)	404 (38,4)	24 (21,6)	--	--
	IX	--	--	--	7 (14,0)	--	9 (18,4)	154 (14,6)	16 (14,4)	--	--
IAD (%)		-	-	-	19,4		71,4	63,5	63,8	-	-

El Índice de Actividad de Desove (IAD) muestra que en el periodo principal de desove (julio-octubre) sobre el 60 % de las hembras estaba activa (**Tabla 35** y **36**), excepto en el caso de la anchoveta en agosto y en la zona de la V-VIII Región (**Tabla 36**).

b) Talla de primera madurez sexual

La mayor cantidad de muestras de hembras obtenida en septiembre de 2007 en la zona sur (**Tablas 35** y **36**), permitió contar con una estimación de la talla media de primera madurez sexual de sardina común y anchoveta (**Tabla 37**). La ojiva de madurez sexual resultante se presenta en la **Figura 30**, donde se ha superimpuesto la proporción de hembras maduras a la talla.

En la sardina común, la talla media de primera madurez sexual se estimó en 11,2 cm de longitud total y en 12 cm para la anchoveta.

Tabla 37. Estimación de la talla media de madurez sexual (L_m) para la fracción de la población que se distribuye entre el sur de la Isla Mocha y Punta Galera (38°20'S-40°S). Los parámetros de la función logística (*a* y *b*) fueron estimados mediante GLM, familia binomial y enlace logit. El error estándar de los parámetros se muestra entre paréntesis. El asterisco indica la significancia de los parámetros, i.e. Pr(>|z|) < 0,05.

Parámetros	Sardina común	Anchoveta
a	-18,442* (2,459)	-16,427* (1,559)
b	1,644* (0,196)	1,370* (0,124)
L_m	11,2	12,0
Deviance nula	489,84	706,27
Deviace residual	402,05	428,34
Deviance explicada (%)	82,1	60,6
n	1025	872

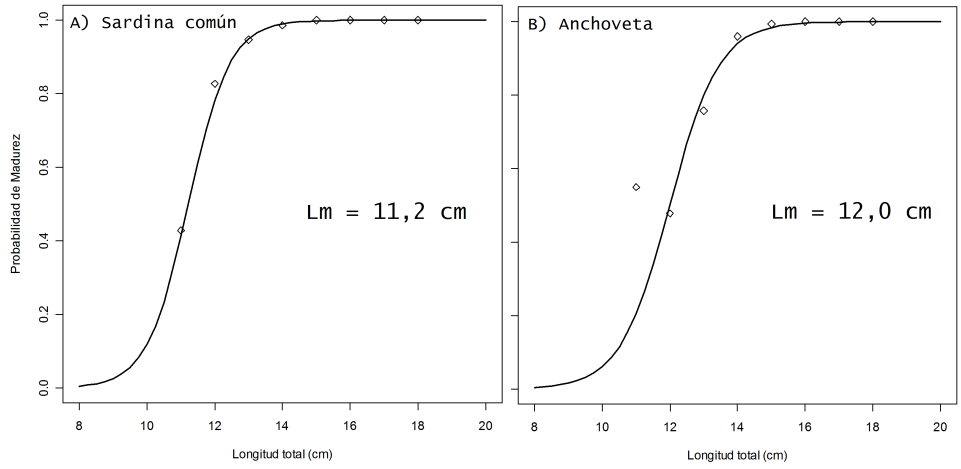

Figura 30. Talla media de madurez sexual de sardina y anchoveta en la zona sur, comprendida entre el sur de la Isla Mocha y Punta Galera (38°20'S-40°S).

8.2. Objetivo 2: Determinar cambios espacio-temporales en la proporción sexual, en número y peso, y longitud y peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común.

a) Proporción sexual a partir de los datos colectados en sitios de desembarque

En el caso de la anchoveta, se utilizó un total de 23.376 registros de los cuales 10.677 fueron machos (45,7%), 12.372 fueron hembras (52,9%), y 327 ejemplares indeterminados (1,4%); y cuya estructura de tallas revela una mayor proporción de hembras en tallas mayores (**Figura 31**). En efecto, aunque la frecuencia de ocurrencia por longitud es similar para ambos sexos, ocurre una mayor frecuencia de hembras a partir de los 15 cm de LT. A su vez, en individuos de longitudes pequeñas (< 10 cm) catalogados como indeterminados, fueron registrados principalmente en el mes de Enero de 2008.

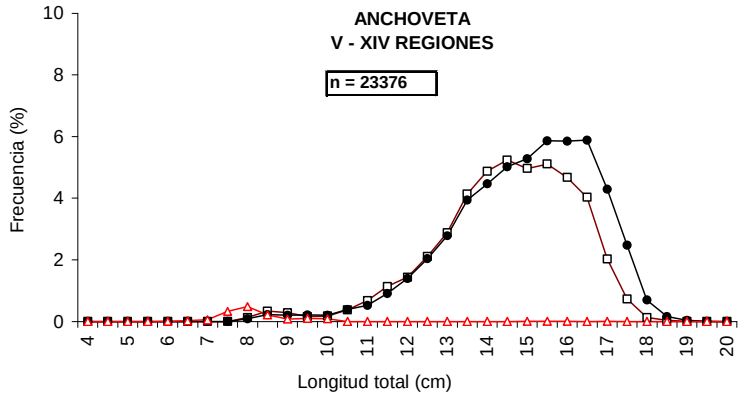

Figura 31. Frecuencia sexual observada para anchoveta en la macrozona (V-XIVregiones) durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.

En la V región, la frecuencia sexual de anchoveta se determino a partir de 785 ejemplares registrándose 36,4% de machos (286 individuos), 45,1% de hembras (354 individuos) y un 18,5% de individuos sin determinación de sexos (145 individuos) (**Figura 32**). Al igual, que lo observado para la macrozona (V-XIV), también se presenta una frecuencia levemente mayor de machos para tallas intermedias (11,5 – 13,5 cm), y en tallas mayores (>15,0 cm) la frecuencia en levemente mayor para hembras; los ejemplares intederminados se centraron entre los 7,0 y 8,5 cm de LT.

En la VIII región, se procesaron un total de 15.537 ejemplares donde un 47,9% fueron machos 51,0% fueron hembras y un 1,2% de individuos sin determinación de sexos (**Figura 32**). Para esta región se observó que la frecuencia de ocurrencia por longitud es similar para ambos sexos, con una ocurrencia

levemente mayor de machos de los 11,0cm a 14,5 cm de LT, para luego ser mas frecuentes las hembras a partir de los 15,0 cm de LT. En la XIV región, la frecuencia sexual para este recurso se determino a partir de 6731 ejemplares registrándose un 42,7% machos y 57,3% hembras. Se resalta una leve mayor presencia de hembras para todas las tallas (**Figura 32**).

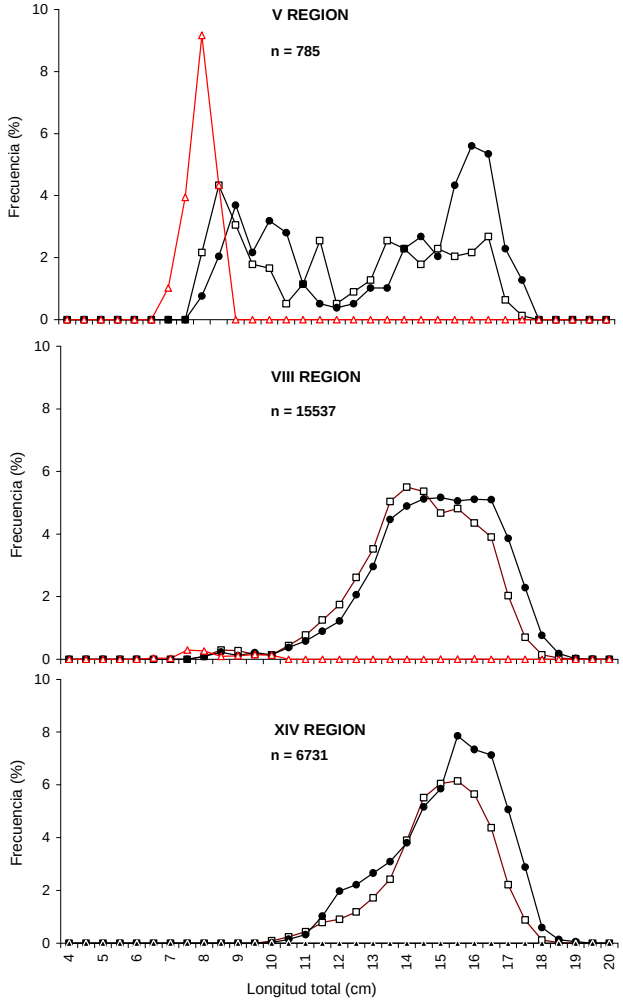

Figura 32. Frecuencia sexual observada para anchoveta en la V, VIII, y XIV Región durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.

En el registro temporal de la proporcion sexual, en la VIII Región se presenta con una tendencia similar para ambos sexos, excepto en julio y diciembre donde se observa una mayor ocurrencia de hembras a partir de los 12 cm de LT. La ocurrencia mensual por sexos se presenta de la siguiente manera: 49,4% machos y 50,6% hembras en febrero; 46,7% machos y 53,3% hembras en marzo; 46,4% machos y 53,6% hembras en abril; 50,0% machos y 50,0% hembras mayo; 52,7% machos y 47,3% hembras en junio;

37,5% machos y 62,5% hembras en julio; 46,3% machos y 53,7% hembras en agosto; 53,4% machos y 46,6% hembras en septiembre; 49,4% machos y 50,6% hembras en octubre; 46,2% machos y 53,8% hembras en noviembre; 29,2% machos y 70,8% hembras en diciembre y 38,9% machos y 39,9% hembras en enero/2008) (**Figura 33**).

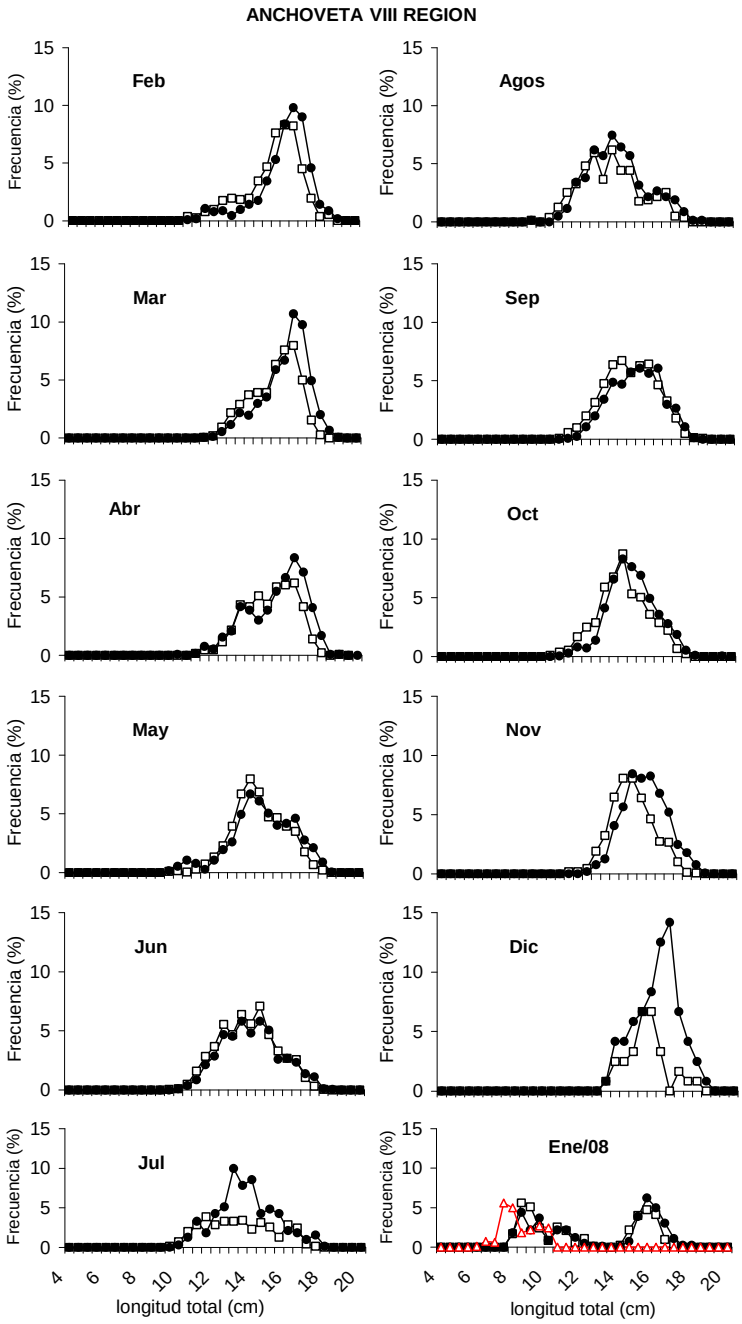

Figura 33. Temporalidad en proporcion sexual observada para anchoveta en la VIII Región durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.

El analisis temporal para la XIV region, indica una ocurrencia similar para todos los meses, excepto para septiembre donde son mas frecuentes las hembras (**Figura 34).** La ocurrencia mensual por sexos se presenta de la siguiente manera: 56,1% machos y 43,9% hembras en febrero; 41,0% machos y 59,0% hembras en marzo; 44,1% machos y 55,9% hembras en abril; 52,1% machos y 47,9% hembras mayo; 44,6% machos y 55,4% hembras en junio; 54,3% machos y 45,7% hembras en julio; 42,2% machos y 57,8% hembras en agosto; 19,0% machos y 81,0% hembras en septiembre; 53,0% machos y 47,0% hembras en octubre; 48,8% machos y 51,2% hembras en noviembre; 40,7% machos y 59,3% hembras en diciembre y 49,1% machos y 50,9% hembras en enero/2008).

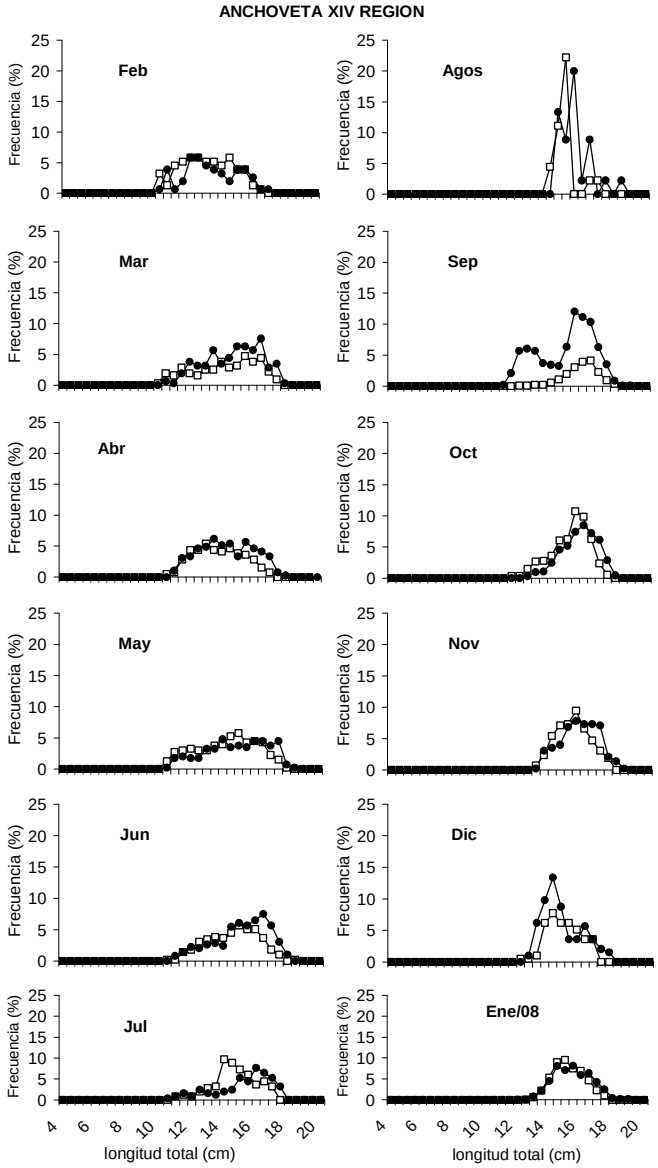

Figura 34. Temporalidad en proporcion sexual observada para anchoveta en la XIV Región durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras.

En el caso de la sardina común, durante el periodo monitoreado, se procesaron 23.485 ejemplares de los cuales el 40,5% fueron machos (9.502), 41,2% hembra (9.671) y a un 18,4% no se les pudo identificar sexo (4312, Indeterminados) (**Figura 35**). En tal sentido, se observa que la frecuencia de ocurrencia por longitud es similar para ambos sexos, con una ocurrencia levemente mayor de machos entre los 9,0cm y 13,0cm de LT, para luego ser mas frecuentes (levemente) las hembras a partir de los 15,0 cm de LT; por otro lado, individuos de longitudes pequeñas (< 10 cm) catalogados como indeterminados, fueron registrados principalmente en el mes de Enero/2008.

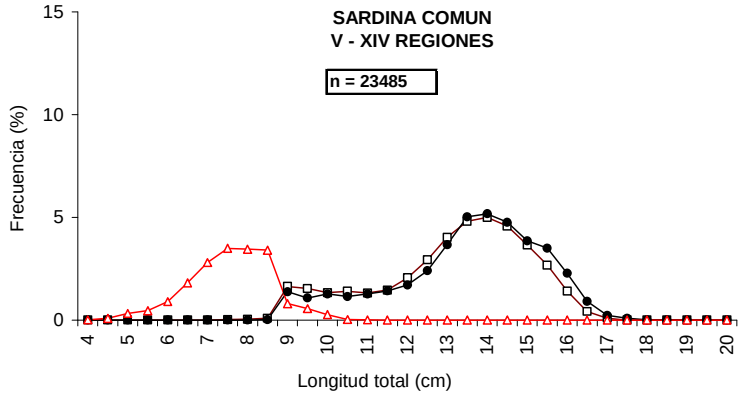

Figura 35. Frecuencia sexual observada para sardina comun en la macrozona (V-XIV regiones) durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.

En la V región, para la frecuencia de sexos en sardina común se han procesado durante este periodo 1.043 individuos, 76 machos (7,3%), 112 hembras (10,7%) y un gran porcentaje sin determinación de sexo (82,0%) los cuales fueron colectados principalmente en el mes de enero/2008. La poca cantidad de ejemplares colectados no permite realizar un analisis certero de la proporcion temporal de sexos para esta región, sin embargo, a la luz de los datos obtenidos podemos establecer una clara predominancia de individuos machos en longitudes menores a los 11,0 cm de LT, para luego presentarse las hembras con mayor ocurrencia a partir de los 12,5cm de LT (**Figura 36**).

En la VIII región, la proporcion sexual para sardina comun se registro a partir de 14.964 individuos de los cuales 5.676 fueron machos (37,9%), 5.867 fueron hembras (39,2%) y a 3.421 individuos no se les pudo determinar el sexo macroscópicamente (22,9%) (**Figura 36**). Este recurso presenta una tendencia similar en la frecuencia de ocurrencia sexual para todas las tallas; sin embargo, se presenta una leve dominancia (mayor ocurrencia) de machos entre los 9 y 13 cm de LT, para luego ser mas frecuentes (levemente) las hembras a partir de los 15 cm de LT. En la X región, este recurso presento la mayor semejansa en

ocurrencia sexual a partir de 6.949 ejemplares procesados donde el 49,5% fueron machos y el 50,0% hembras (**Figura 36**).

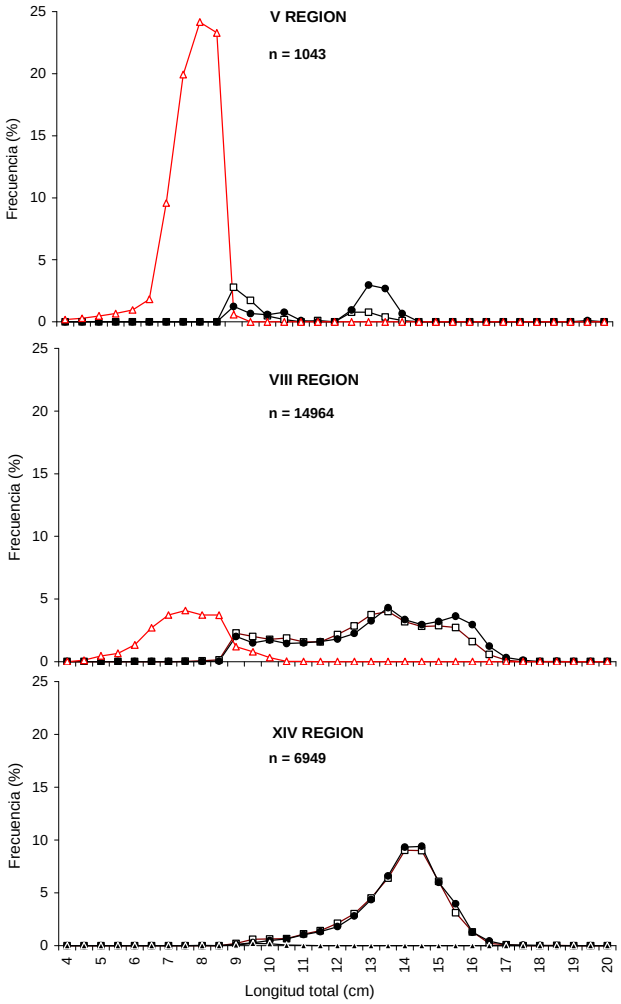

Figura 36. Frecuencia sexual observada para sardina común en la V, VIII y XIV región durante el periodo analizado. Se incluye la frecuencia de individuos indeterminados. (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.

La frecuencia temporal de ocurrencia de sexos en la VIII región, fue muy similar para todos los meses, excepto en mayo donde los machos fueron mas frecuentes. La ocurrencia temporal de sexos se presento de la siguiente manera: 30,2% machos y 32,1% hembras en febrero; 37,0% machos y 34,2% hembras en marzo; 48,1% machos y 46,0% hembras en abril; 29,8% machos y 31,6% hembras en junio y 50,1% machos y 49,9% hembras en julio. La frecuencia de individuos indeterminados fue relevante en los meses de abril y enero/2008 (**Figura 37**).

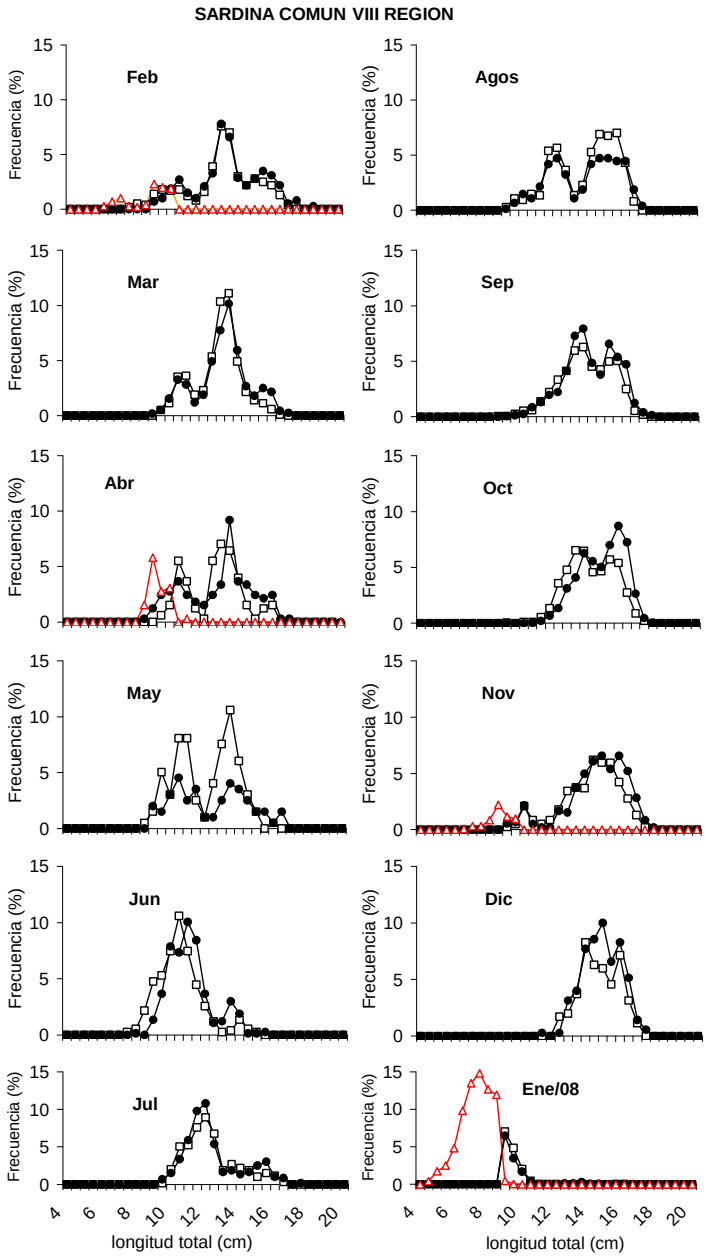

Figura 37. Temporalidad en proporcion sexual observada para sardina comun en la VIII Región durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.

La frecuencia temporal de ocurrencia de sexos en la XIV región fue muy similar (50,6% machos y 49,4% hembras en febrero; 49,9% machos y 50,1% hembras en marzo; 53,1% machos y 46,9% hembras en abril; 49,2% machos y 50,8% hembras mayo, 51,8% machos y 42,8% hembras en junio y 49,4% machos y 43,8% hembras en julio). Los individuos indeterminados solo fueron registrados en el mes de enero/2008 y al igual que en las otras regiones están relacionados con ejemplares de tallas pequeñas (< 10,0 cm) (**Figura 38**).

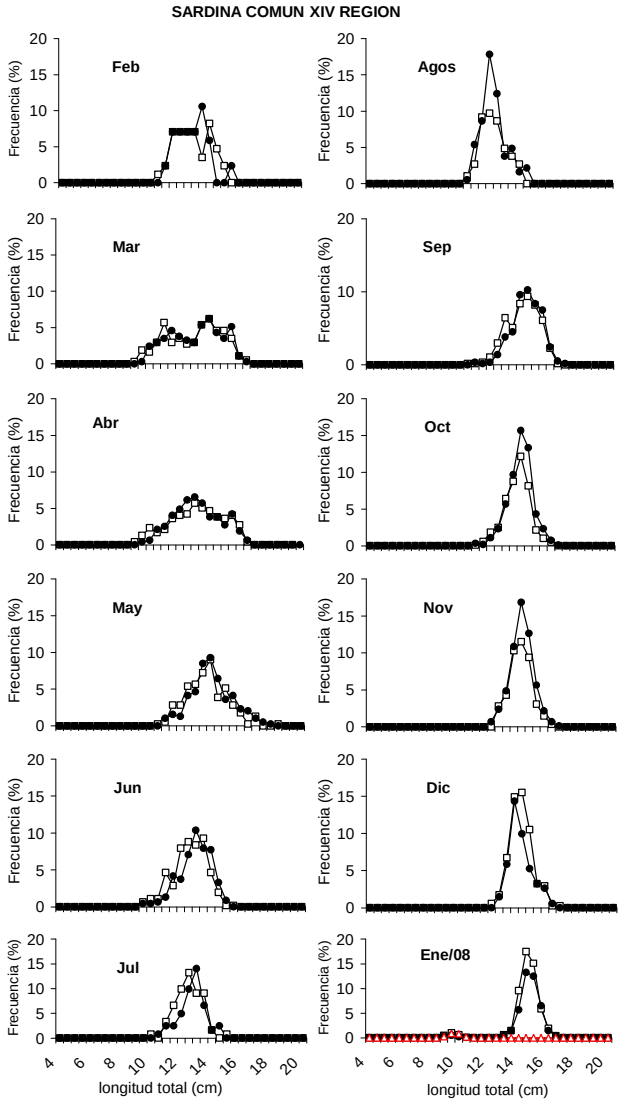

Figura 38. Frecuencia sexual por mes observada para sardina común en la XIV región durante el periodo analizado (Feb/2007 a Enero/2008). (□)Machos, (●) Hembras, (Δ) Indeterminados.

b) Resumen de cambios espacio-temporales

En el caso de la anchoveta, en el área comprendida entre la V y VIII Región, la proporción sexual en número fluctúo entre 0,29 (diciembre) y 0,56 (junio) machos, mientras que la proporción anual de machos fue de 0,51 (**Tabla 38**). En la zona sur, básicamente en la XIV Región, la proporción de machos fluctúo entre 0,41 (marzo) y 0,55 (diciembre), siendo la proporción anual de machos de 0,50 (**Tabla 38**). Los cambios mensuales y en función del tamaño en cada zona se resumen en la **Figura 39**, y la **Tabla 39** indica que el modelo que toma en cuenta el factor MES y LONGITUD fue mejor en explicar los cambios en la proporción sexual al interior de cada zona (**Figura 41**).

Tabla 38. Número de individuos por sexo de anchoveta en la zona norte (V-VIII Región) y sur (IX y XIV Región), periodo febrero de 2007-enero de 2008. F (Hembra/famale); M (Macho/male).

	Norte			Sur			
MES	F	M	SubTotal	F	M	Subtotal	Total
Ene	448	453	901	804	777	1581	2482
Feb	721	656	1377	165	166	331	1708
Mar	758	690	1448	187	130	317	1765
Abr	627	625	1252	183	171	354	1606
May	856	897	1753	191	208	399	2152
Jun	788	989	1777	276	276	552	2329
Jul	298	324	622	48	49	97	719
Ago	380	279	659	26	19	45	704
Sep	754	864	1618	215	260	475	2093
Oct	914	1029	1943	387	463	850	2793
Nov	763	706	1469	209	199	408	1877
Dic	85	35	120	30	37	67	187
Totales	7392	7547	14939	2721	2755	5476	20415

Tabla 39. Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes, el tamaño de los ejemplares de anchoveta y la hora de captura. SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).

ZONA NORTE (V-VIII Región)

FACTOR	g.l.	SC	CM	F		Pr(>F)
MES	11	20,6	1,90	7,517		4,90E-13
Residuales	14927	3713,8	0,20			
FACTOR						
LONGITUD	11	115,1	10,50	43,137	<	2,20E-16
Residuales	14927	3619,3	0,20			
FACTOR						
HORA	1	1,38	1,38	5,557		0.01854
Residuales	1479	368,5	0,25			
FACTOR						
LONGITUD	11	115,10	10,50	43,39	<	2,20E-16
MES	11	24,10	2,20	9,10		2,02E-07
Residuales	14927	3595,20	0,20			

ZONA SUR (IX-XIV Región)

FACTOR	g.l.	SC	CM	F		Pr(>F)
MES	11	6,2	0,56	2,257		0,0098
Residuales	5464	1362,76	0,25			
FACTOR						
LONGITUD	9	42,73	4,75	19,568	<	2,20E-16
Residuales	5464	1326,22	0,24			
FACTOR						
HORA	1	12,34	12,34	51,606		1,17E-12
Residuales	1226	293,22	0,24			
FACTOR						
LONGITUD	9	42,73	4,75	19,72	<	2,20E-16
MES	11	12,75	1,16	4,81		2,02E-07
Residuales	5455	1313,47	0,24			

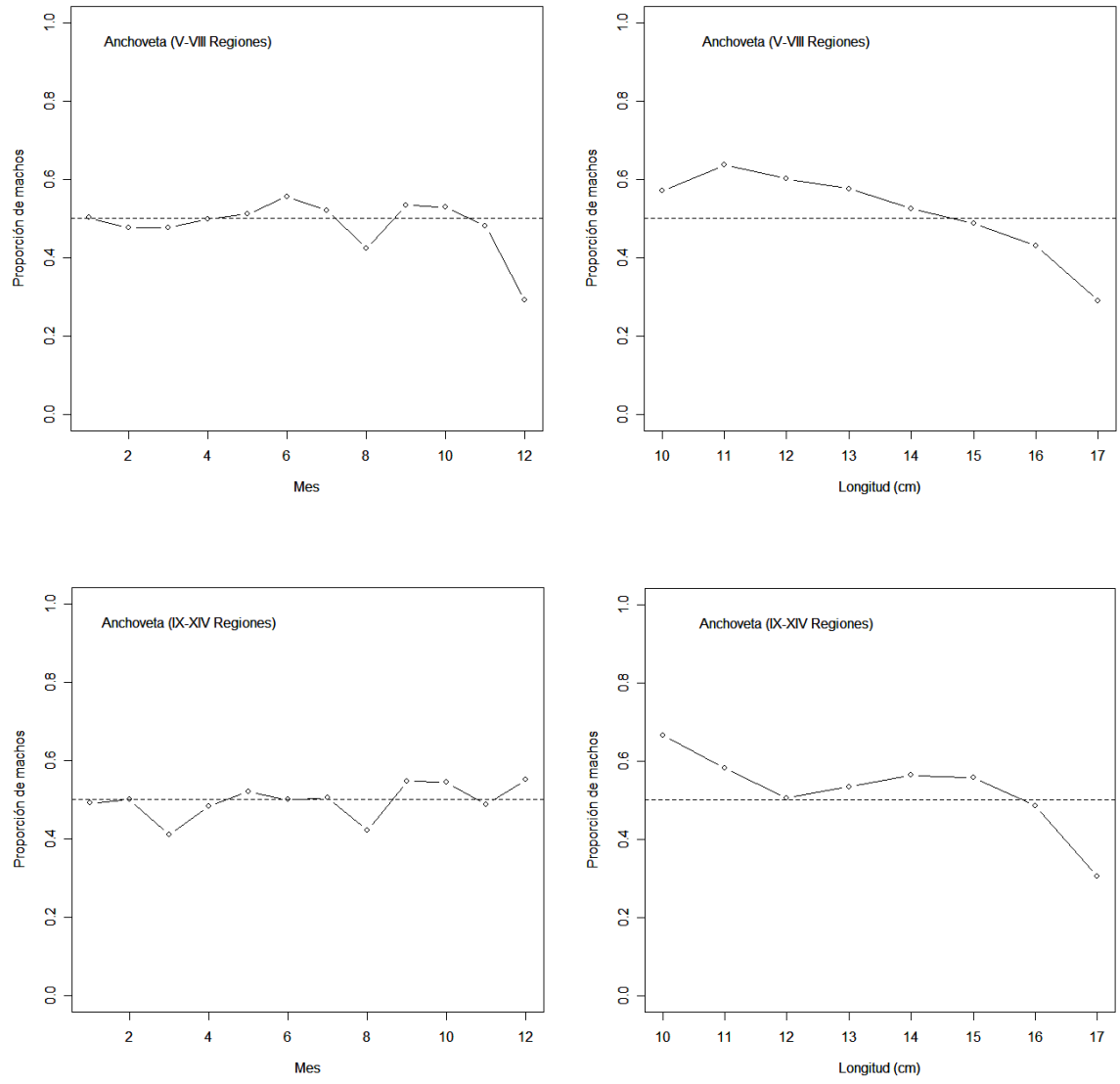

Figura 39. Proporción de machos de anchoveta en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha).

Los cambios en la proporcion sexual en función de la hora de captura en cada zona se presentan dentro de la **Tabla 39** y **Figura 40**; indica que el modelo que toma en cuenta el factor MES y LONGITUD fue mejor en explicar los cambios en la proporción sexual al interior de cada zona.

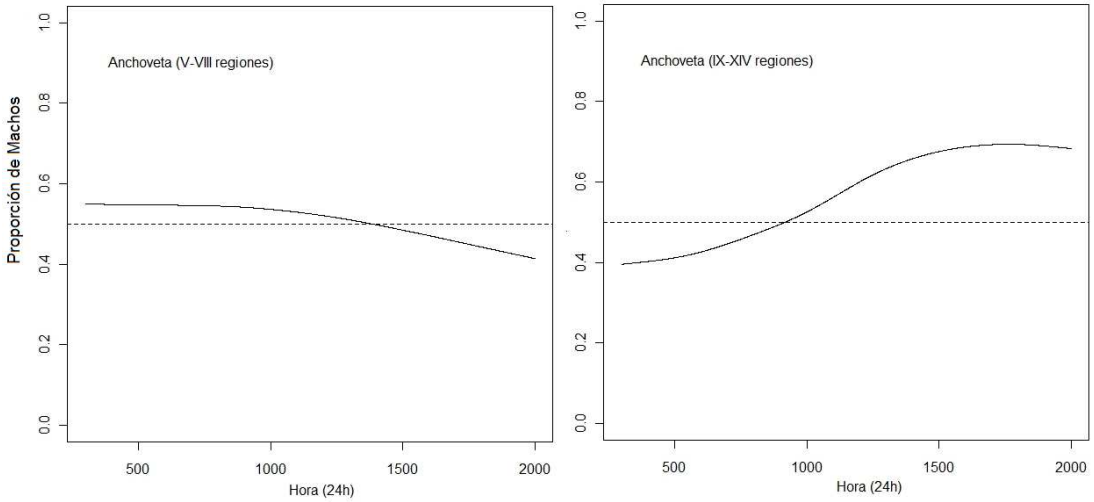

Figura 40. Proporción de machos de anchoveta en en función de la hora de captura. Izquierda (Zona Norte); Derecha (Zona Sur).

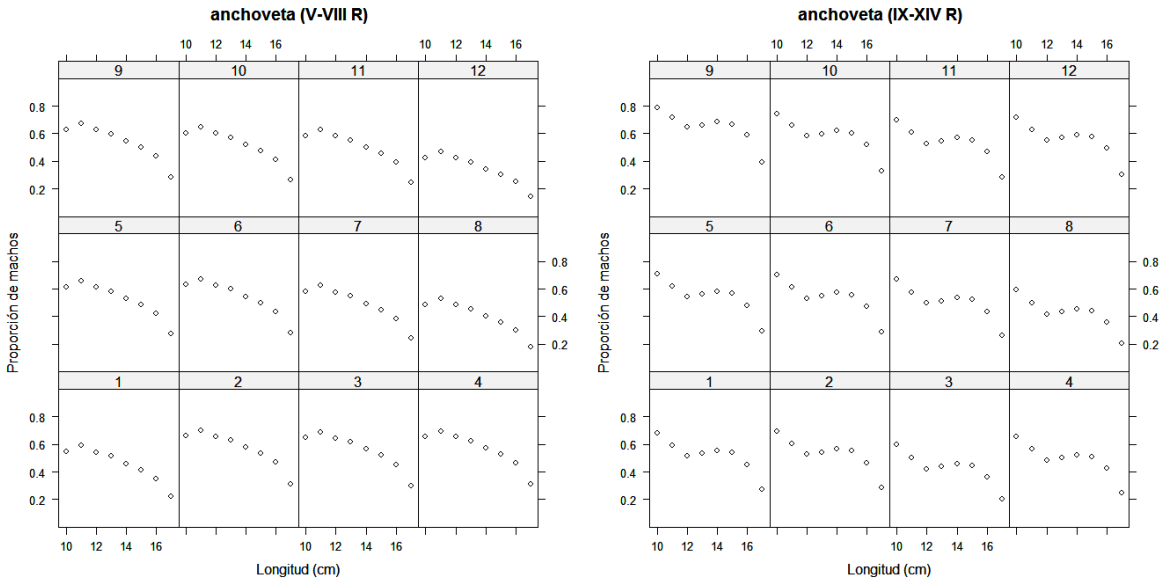

Figura 41. Efectos de la longitud y mes sobre la proporción sexual de anchoveta en la zona norte (izquierda) y sur (derecha).

En el caso de la sardina, la proporción de machos fluctúo entre 0,44 (diciembre) y 0,63 (mayo) en la zona norte (V-VIII Región), y un valor anual de 0,5 machos. En la zona sur, IX-XIV Región, la proporción de machos de sardina común fluctúo entre 0,43 (noviembre) y 0,71 (diciembre) con una proporción anual de machos de 0,53 (**Tabla 40**).

Los cambios mensuales y en función del tamaño se resumen en la **Figura 42**. Los factores MES y LONGITUD del ejemplar resultaron ser significativos y ambos explican mejor los cambios observados en la proporción de machos de sardina común en cada zona (**Tabla 41**, **Figura 44**).

Tabla 40. Número de individuos por sexo de sardina común en la zona norte (V-VIII Región) y sur (IX y XIV Región), periodo febrero de 2007-enero de 2008.

	Norte			Sur			
MES	F	M	SubTotal	F	M	Subtotal	Total
Ene	526	630	1156	690	878	1568	2724
Feb	726	692	1418	184	170	354	1772
Mar	553	579	1132	184	183	367	1499
Abr	125	132	257	207	234	441	698
May	145	244	389	197	191	388	777
Jun	334	352	686	256	345	601	1287
Jul	307	293	600	55	66	121	721
Ago	259	284	543	56	79	135	678
Sep	810	716	1526	268	257	525	2051
Oct	921	961	1882	490	467	957	2839
Nov	847	813	1660	364	274	638	2298
Dic	196	154	350	87	215	302	652
Total	5749	5850	11599	3038	3359	6397	17996

Tabla 41. Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes, tamaño de los ejemplares de sardina y hora de captura. SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).

ZONA NORTE (V-VIII Región)

FACTOR	g.l.	SC	CM	F		Pr(>F)
MES	11	12,4	1,13	4,524	<	7,15E-07
Residuales	11587	2887,1	0,25			
FACTOR						
LONGITUD	11	51,1	4,65	18,901	<	2,20E-16
Residuales	11587	2848,4	0,25			
FACTOR						
HORA	1	0,46	0,46	1,836		0,1757
Residuales	1355	338,7	0,25			
FACTOR						
LONGITUD	11	51,12	4,65	18,962	<	2,20E-16
MES	11	11,01	1,00	4,083		5,17E-06
Residuales	11587	2837,40	0,25			

ZONA SUR (IX-XIV Región)

FACTOR	g.l.	SC	CM	F		Pr(>F)
MES	11	23,6	2,15	8,732		1,45E-15
Residuales	6385	1571,58	0,25			
FACTOR						
LONGITUD	9	10,18	1,13	4,557		5,20E-06
Residuales	6387	1585,04	0,25			
FACTOR						
HORA	1	1,78	1,78	7,165		0,00751
Residuales	1630	405,63	0,25			
FACTOR	g.l.	SC	CM	F		Pr(>F)
LONGITUD	9	10,18	1,13	4,62		4,05E-06
MES	11	25,53	2,32	9,49	<	2,02E-07
Residuales	6376	1559,52	0,24			

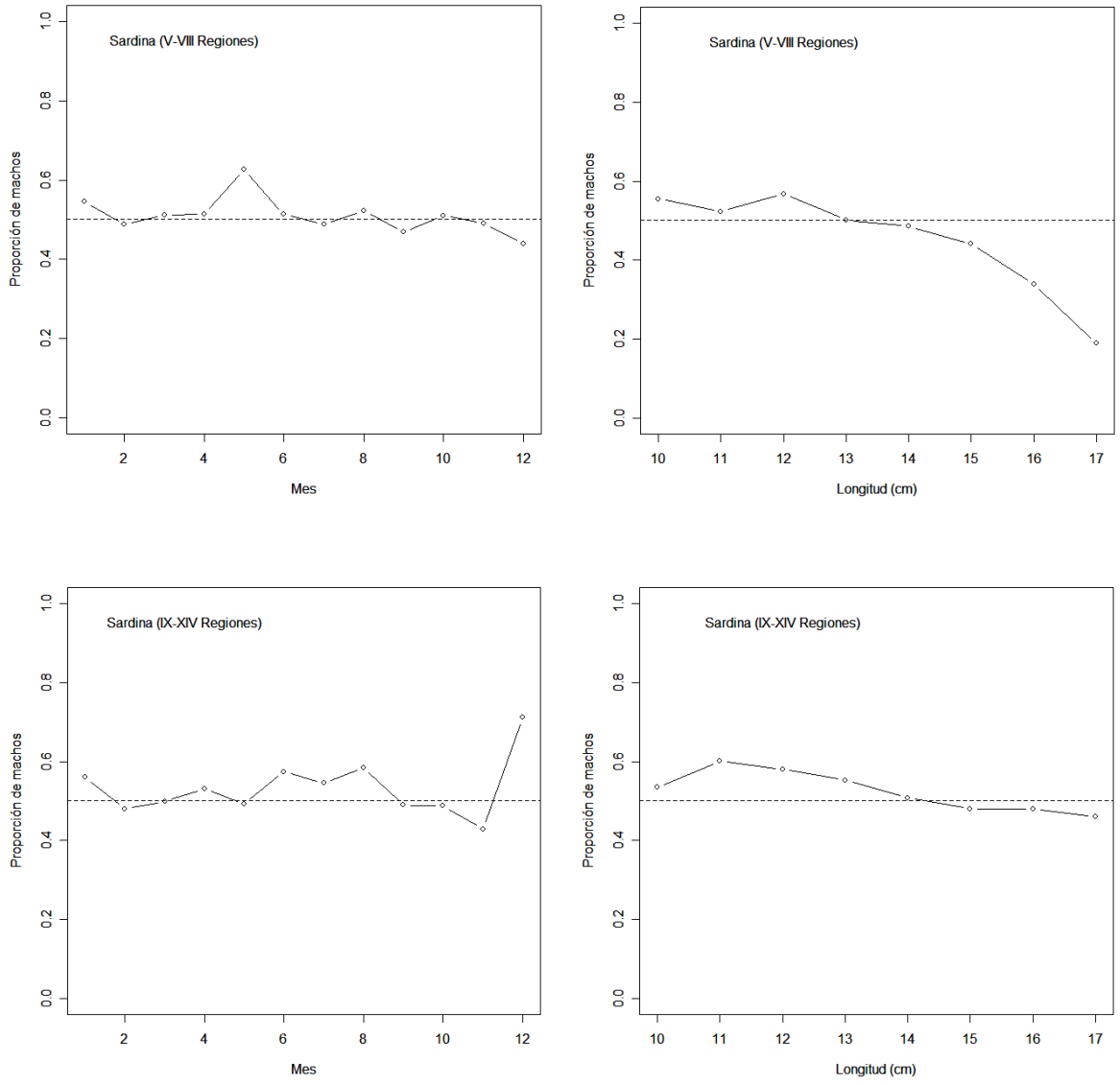

Figura 42. Proporción de machos de sardina común en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha).

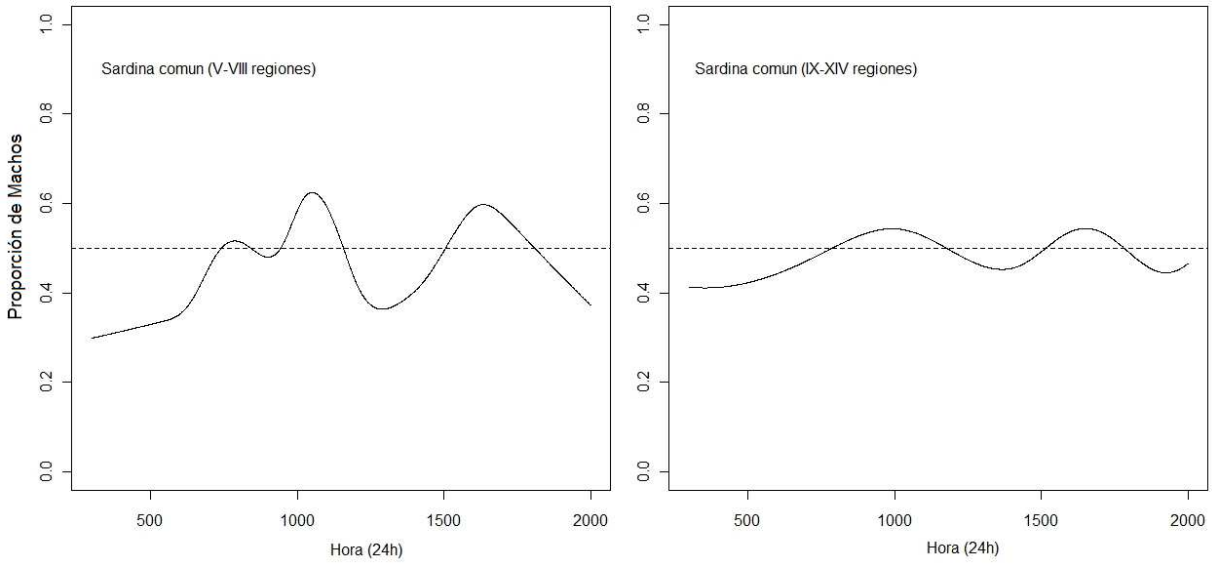

Figura 43. Proporción de machos de sardina comunen en función de la hora de captura. Izquierda (Zona Norte); Derecha (Zona Sur).

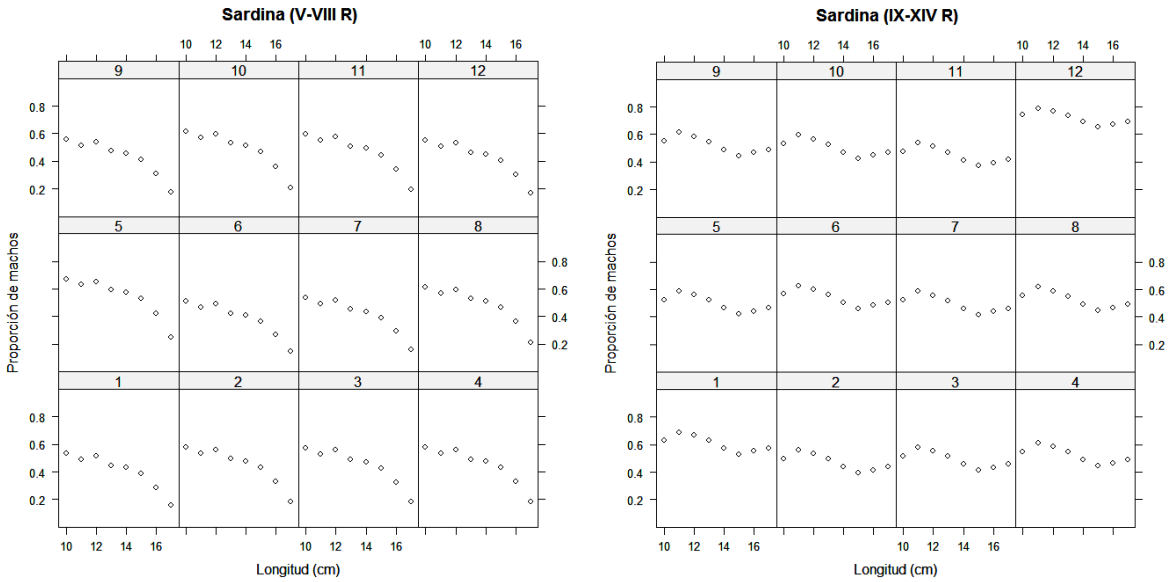

Figura 44. Efectos de la longitud y mes sobre la proporción sexual de sardina común en la zona norte (izquierda) y sur (derecha).

c) Periodo 2005-2006

La proporción sexual en número de la anchoveta, en el periodo 2005-2006, reveló cambios significativos entre meses (**Figura 45**, **Tabla 42**), observándose que los machos dominan desde diciembre a junio aproximadamente. El efecto del tamaño de los ejemplares también revela cambios significativos, observándose que las hembras dominan en las tallas mayores a 15 cm de longitud (**Figura 45**, **Tabla 42**). Al considerar los dos factores simultáneamente, se observa que la significancia de ambas variables se mantiene y así también el efecto del tamaño de los individuos a través de los meses (**Figura 46**, **Tabla 42**).

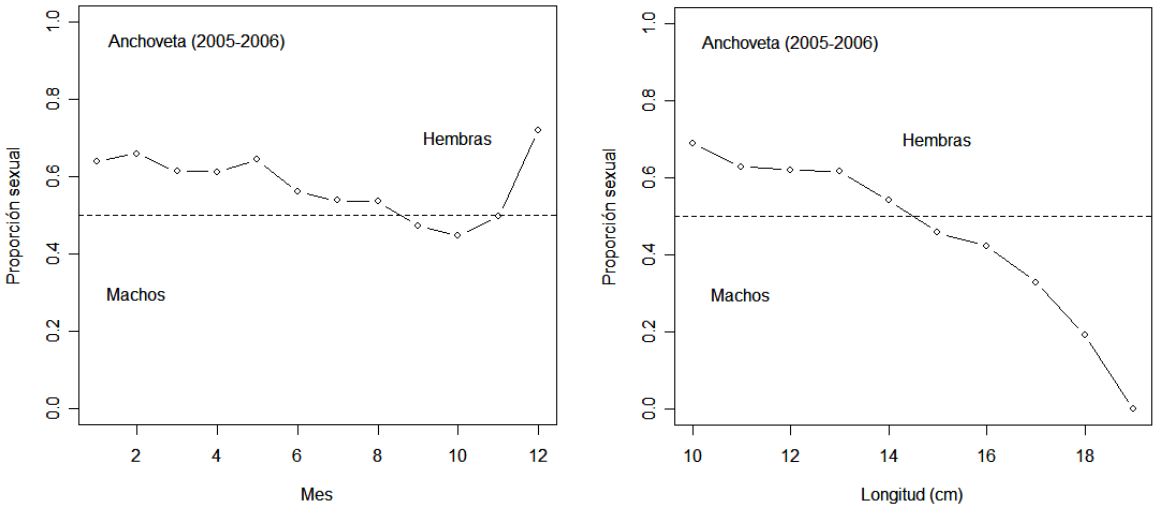

Figura 45. Proporción sexual de anchoveta en el periodo 2005-2006 en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha).

Tabla 42. Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes y el tamaño de los ejemplares de anchoveta (periodo 2005-2006). SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).

FACTOR	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
MES	11	36.79	3.34	13.788 <	2.20E-16
Residuales	6943	1684	0.24		
FACTOR					
LONGITUD	10	50.25	5.03	20.888 <	2.20E-16
Residuales	6944	1670.53	0.24		
FACTOR					
LONGITUD	10	50.25	5.03	21.29 <	2.20E-16
MES	11	34.16	3.11	13.157 <	2.20E-16
Residuales	6933	1636.37	0.24		

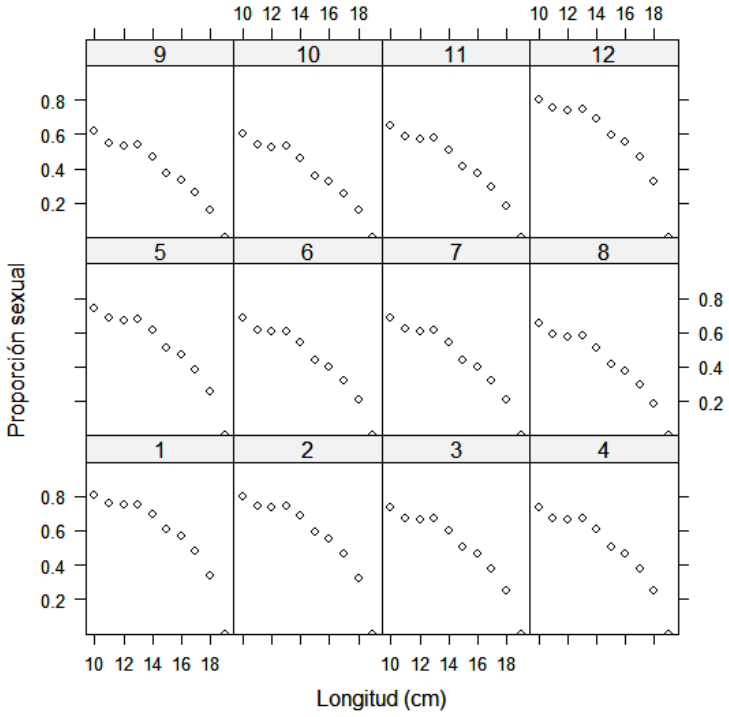

Figura 46. Proporción de machos de anchoveta en el periodo 2005-2006 en función del tamaño de los ejemplares. Los números en cada figura señalan el mes.

En el caso de la sardina común, la proporción de machos en número en el periodo 2005-2006, reveló cambios significativos entre meses (**Figura 47**, **Tabla 43**), observándose que los machos dominan desde noviembre a junio a excepción de abril. Cabe señalar que la base de datos de sardina no se cuenta con muestras para los meses de enero y febrero. El tamaño de los ejemplares también genera cambios significativos en la proporción sexual, observándose que las hembras dominan en las tallas mayores a 15 cm de longitud (**Figura 47**, **Tabla 43**). Al considerar los dos factores simultáneamente, se observa que la significancia de ambas variables se mantiene y así también el efecto del tamaño de los individuos a través de los meses (**Figura 48**, **Tabla 43**).

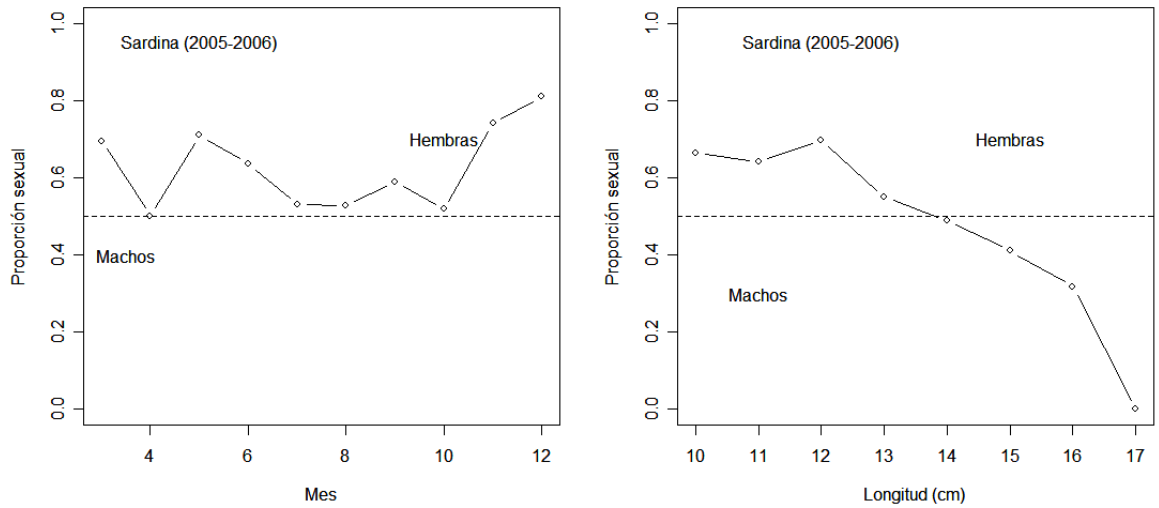

Figura 47. Proporción sexual de sardina común en el periodo 2005-2006 en el ciclo anual (izquierda) y en función del tamaño de los ejemplares (derecha).

Tabla 43. Análisis de varianza para los modelos GLM que consideran el mes y el tamaño de los ejemplares de sardina común (periodo 2005-2006). SC (suma de cuadrados); CM (cuadrados medios); Pr (valor de probabilidad).

FACTOR	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
MES	9	24.96	2.77	11.987<	2.20E-16
Residuales	2523	583.71	0.23		
FACTOR					
LONGITUD	9	29.02	3.22	14.037<	2.20E-16
Residuales	2523	579.65	0.23		
FACTOR					
LONGITUD	9	29.02	3.22	14.4533<	2.20E-16
MES	9	18.7	2.08	9.3101	5.05E-14
Residuales	2514	560.95	0.22		

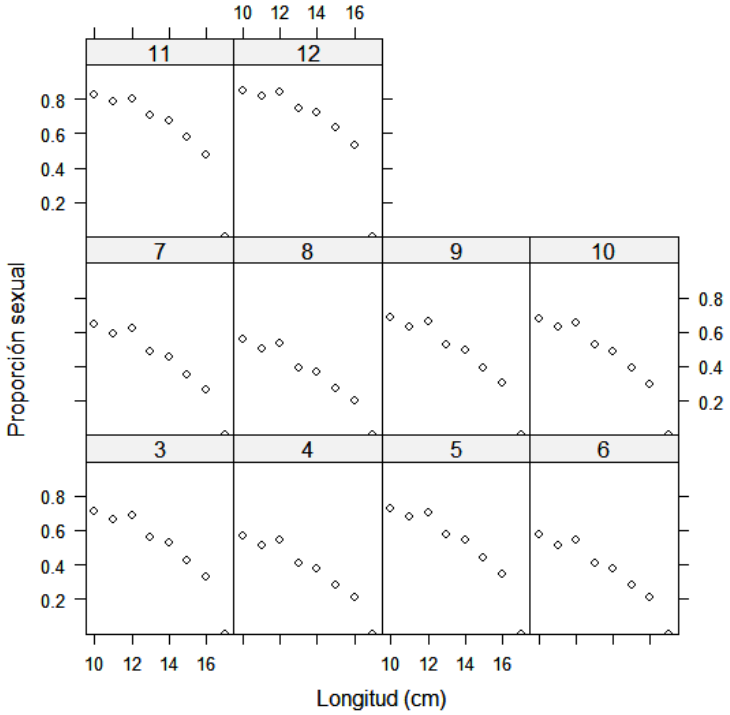

Figura 48. Proporción de machos de sardina común en el periodo 2005-2006 en función del tamaño de los ejemplares. Los números en cada figura señalan el mes.

b) Peso promedio de hembras maduras

El peso promedio de hembras maduras se determinó para ambos recursos en cada zona de estudio (Norte y Sur) (**Figura 49**). Para este procedimiento se emplearon solo hembras colectadas durante el periodo de maxima actividad reproductiva (julio a octubre) e identificadas como maduras mediante procedimiento histológico; es decir estados de madurez microscopica VI, VII, VIII y IX. De esta manera los resultados indican que el peso promedio de hembras adultas de anchoveta es 20,4 g en la zona norte y 23,6 g en la zona sur. En el caso de la sardina comun, en la zona norte se registró un peso de 22,2 g y en la zona sur de 20,3 g. Analisis de varianza indican que no existen diferencias entre zonas para ambos recursos (F-statistic = 110,1; P<0,05 en anchoveta y F-statistic = 31,9; P<0,05 en sardina comun).

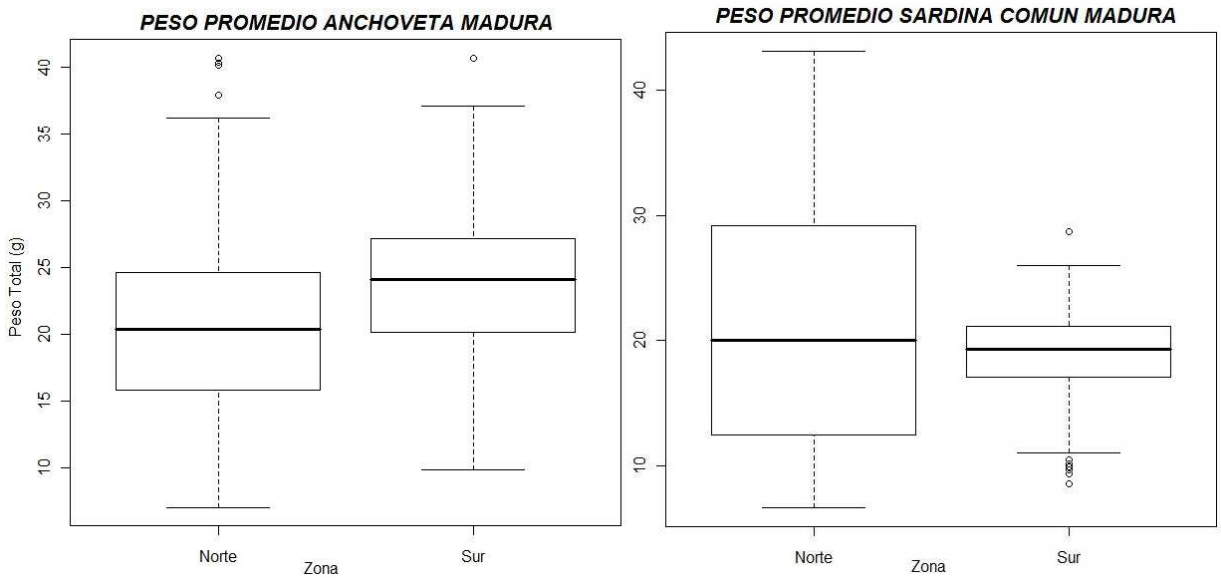

Figura 49. Peso promedio de hembras maduras en ambos recursos para las zonas norte y sur durante el periodo julio – octubre de 2007.

En relación con las hembras maduras que provienen del monitoreo macroscópico, se observó en el caso de la anchoveta que el peso promedio fluctúo entre 30 – 34 g entre enero y marzo en la zona centro. Posteriormente, el peso promedio disminuyó hasta alcanzar 16,3 g en junio para volver a incrementarse hasta alcanzar los 28 g en diciembre (**Figura 50**). Sobre esta dinámica se sobrepuso los cambios en la fracción de hembras maduras (Pm), que al multiplicarlo por el peso promedio (W*Pm) genera un indicador que permite visualizar en que momento del año se debe medir el 100% del peso promedio de las hembras maduras. En la zona sur, en cambio, el peso promedio de las hembras maduras fluctúa mucho menos que en la zona norte. No obstante, en el caso de la zona norte y sur, el peso promedio de hembras maduras está referido al mes de septiembre cuando se logra la mayor fracción de hembras maduras (**Figura 50**).

En el caso de la sardina común, entre enero y marzo el peso promedio de las hembras maduras fue del orden de 25 g, diminuyó a 12 g en junio, y comenzó a incrementarse hasta diciembre en la zona centro (**Figura 51**). Entre julio y octubre, el peso promedio de las hembras representa casie 100% de las hembras maduras. En la zona sur, el peso promedio de las hembras maduras disminuye progresivamente desde 29 g en enero hasta 13 g en agosto, para luego incrementárse a 24 g en septiembre y permanecer cerca de 22 g hasta diciembre (**Figura 51**).

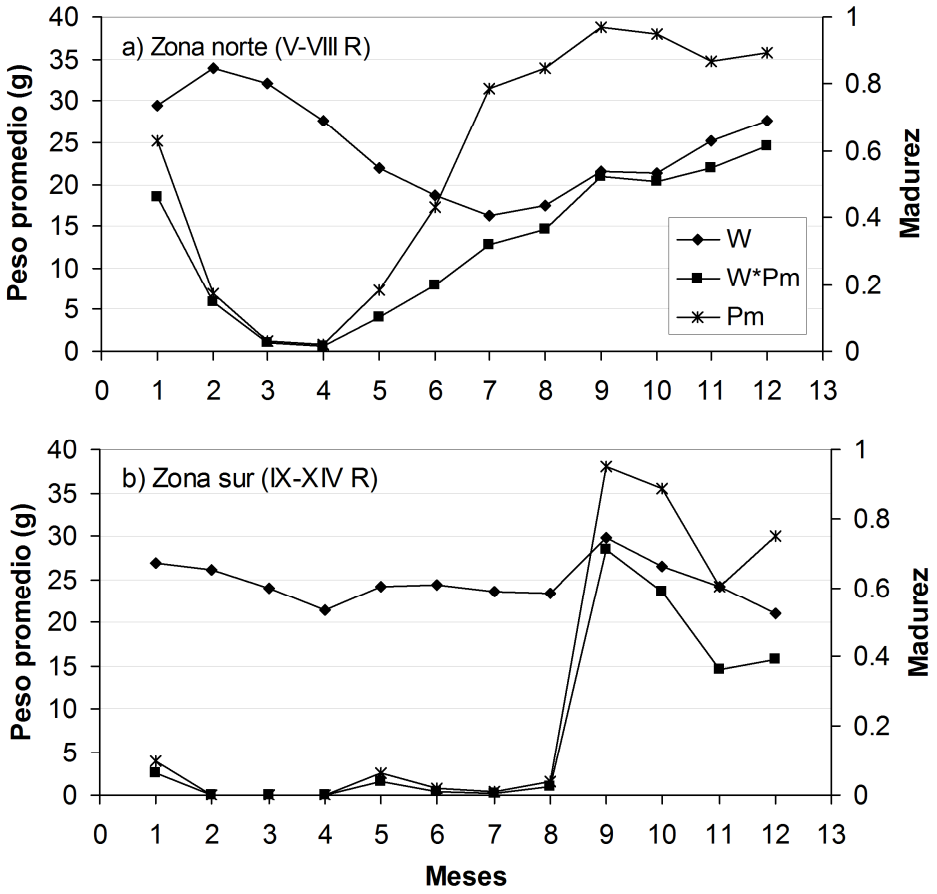

Figura 50. Anchoveta, cambios mensuales en el peso promedio de hembras maduras (W), en la fracción de hembras maduras (Pm), y fracción del peso promedio en la población (W*Pm).

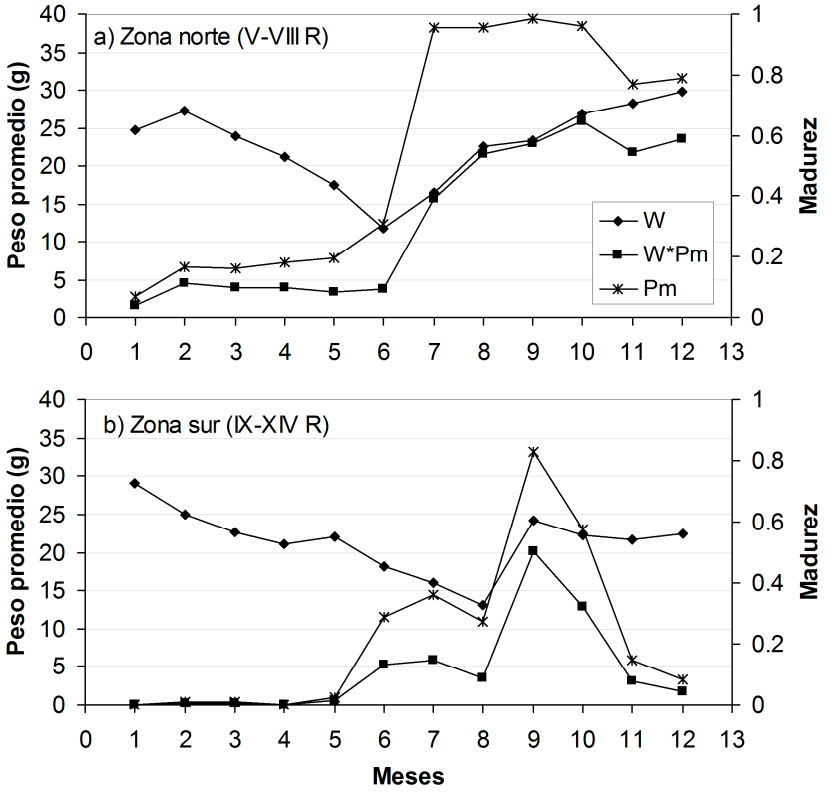

Figura 51. Sardina común, cambios mensuales en el peso promedio de hembras maduras (W), en la fracción de hembras maduras (Pm), y fracción del peso promedio en la población (W*Pm).

Adicionalmente, se determino el peso promedio de las hembras maduras en el mes donde se observo la mayor actividad reproductiva, en septiembre de 2007, cuando hubo un 100% de hembras maduras, identificadas histológicamente, el peso promedio de las hembras se resume en la **Tabla 44**.

Tabla 44. Peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007.

		Zona norte	Zona sur
Anchoveta	Peso promedio (g)	22,7	22,8
	CV (%)	3,5	5,6
	n	1118	873
Sardina común	Peso promedio (g)	24,3	21,5
	CV (%)	5,1	2,8
	n	948	1033

8.3. Objetivo 3: Determinar los cambios espacio-temporales en la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común, y establecer su dependencia con el tamaño y peso corporal de las hembras.

a) Fracción diaria de hembras desovantes

La fracción diaria de hembras desovantes de ambas especies se calculó a partir del muestreo de septiembre de 2007, sobre la base de FPO de día 1. En la anchoveta, la fracción desovante promedio por lance fluctúo entre 0,02 y 0,4 en la zona centro (28 lances, 1118 hembras), y entre 0 y 0,67 en la zona sur (22 lances, 873 hembras). La fracción desovante promedio de anchoveta fue de 0,21 (CV = 0,09) en la zona centro y de 0,28 (CV = 0,16) en la zona sur. En la sardina común, la fracción desovante promedio por lance fluctuó entre 0,08 y 0,63 en la zona centro (24 lances, 949 hembras) y entre 0 y 0,59 en la zona sur (26 lances, 1033 hembras). La fracción desovante promedio de sardina común fue de 0,26 (CV = 0,11) en la zona centro y de 0,15 (CV = 0,23) en la zona sur (**Tabla 45**).

Tabla 45. Fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007.

		Zona norte	Zona sur
Anchoveta	Fracción desovante	0,21	0,28
	CV (%)	9,0	16,0
	n	1118	873
Sardina común	Fracción desovante	0,26	0,15
	CV (%)	11,0	23,0
	n	948	1033

b) Fracción desovante y su dependencia con el peso corporal

Para establecer la dependencia existente entre la fracción diaria de hembras desovantes y el peso corporal, se utilizó las estimaciones disponibles para el método de la producción diaria de huevos, y que se resume en la **Tabla 46**, y se utilizó los valores que han sido revisados en el marco del Proyecto FIP 2006-38 (Claramunt et al. 2007). En la tabla se incluye la transformación logito para la fracción diaria de hembras desovante, lo que permite aplicar una regresión logística con el peso promedio de las hembras maduras como variable independiente.

Tabla 46. Fracción diaria de hembras deosvante (S), peso promedio de hembras maduras (W) y transformación logito (n = número de lances, m = número de hembras). Zona Norte = V-VIII Región, y zona Sur = IX-XIV Región.

Anchoveta	2002		2004		2005		2007	
Parámetros	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur
S	0.15	0.07	0.20	0.17	0.10	0.09	0.21	0.28
W	14.22	22.18	19.08	19.72	11.68	21.95	22.67	22.83
logito	-1.75	-2.66	-1.36	-1.61	-2.19	-2.26	-1.33	-0.97
n	14	18	27	16	31	9	28	22
m	459	702	842	549	930	217	1118	873
Sardina	2002		2004		2005		2007	
Parámetros	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur
S	0.14	0.03	0.10	0.12	0.07	0.08	0.26	0.15
W	19.50	24.56	15.32	16.52	13.09	13.96	24.36	21.50
logito	-1.85	-3.46	-2.23	-2.03	-2.59	-2.44	-1.05	-1.76
n	32	20	21	12	31	4	24	26
m	771	494	695	380	1326	75	949	1033

La relación entre la fracción diaria de hembras desovante (transformación logito) y el peso promedio de hembras maduras se muestra en la **Figura 52**; en esta figura se omitieron los datos de ambas especies en la zona sur del año 2002, y del año 2005 en el caso de la anchoveta (zona sur). El modelo logístico en escala original se muestra en la **Figura 53**, con los datos que fueron omitidos de la regresión. La omisión de datos es respaldada según procedimiento de verificación basado en los resultados entregados por Claramunt *et al*. 2007 (Proyecto FIP 2006-38), donde la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta para la zona centro-sur (estimada por cuatros criterios) debiera variar entre 0,12 y 0,17; es decir, que para un periodo de muestreo de 30 días, una hembra desovaría en promedio, 4 a 5 veces, o cada 8 a 6 días respectivamente. En este contexto, valores de S de 0,07 y 0,09 para hembras maduras de anchoveta con un peso promedio de 22,18 g y 21,95 g respectivamente (como los registrados para el año 2002 y 2005); indicarían solamente 2 ó 3 desoves en promedio. Similar situación se observa para sardina común en el año 2002 (S = 0,03); sin embargo, los valores registrados para el año 2005 (S_{norte} = 0,07 y S_{sur} = 0,08 - Tabla 46); si fueron incluidos en el análisis debido a que es posible que hembras pequeñas (13,09 g y 13,96 g peso promedio), posiblemente en su primer periodo de desove, puedan solamente tener 2 sucesos de desove. Por ultimo, se resalta que para un mismo peso promedio de las hembras, la sardina común presenta una fracción diaria de hembras desovante menor que la anchoveta.

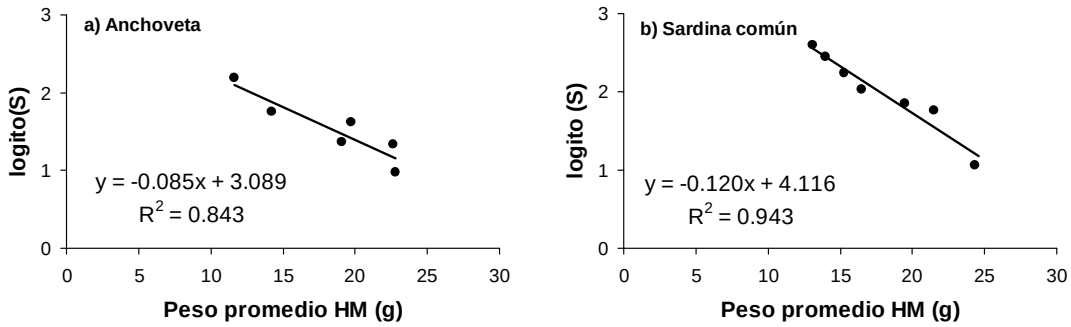

Figura 52. Regresión logística entre la fracción diaria de hembras desovante y el peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común, periodo 2002-2007.

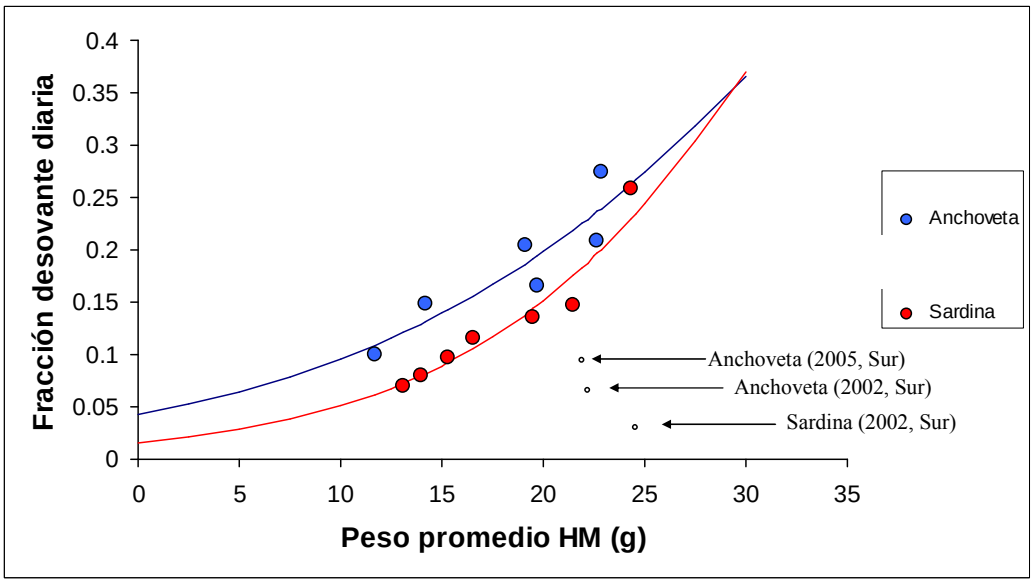

Figura 53. Relación entre la fracción diaria de hembras desovante y el peso promedio de hembras maduras de anchoveta y sardina común, periodo 2002-2007.

8.4. Objetivo 4: Determinar los cambios espacio-temporales en la fecundidad parcial, fecundidad relativa, y fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común.

Los resultados de la regresión de la fecundidad parcial en función del peso corporal por zona se presentan en **Tabla 47**, e indican que no existen diferencias entre las rectas de las zonas (Test t, P<0,05). En consecuencia, la ecuación global se utilizó para estimar la fecundidad promedio en cada zona y así aumentar la precisión del estimado de fecundidad media poblacional (**Figura 54**).

En anchoveta, la fecundidad media por lance fluctúo entre 4678 y 12909 ovocitos en la zona norte, y entre 4628 y 11756 ovocitos en la zona sur. La fecundidad media poblacional fue de 8837 ovocitos en la zona norte (CV = 0,04) y de 8903 ovocitos en la zona sur (CV = 0,07) (**Tabla 48**). En el caso de la sardina común, la fecundidad media por lance fluctúo entre 5892 y 11057 ovocitos en la zona norte, y entre 5892 y 11052 ovocitos en la zona sur. La fecundidad media poblacional fue de 9267 ovocitos (CV = 0,063) en la zona norte y de 8211ovocitos (CV = 0,037) en la zona sur (**Tabla 48**).

Tabla 47. Regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal, septiembre de 2007.

a) Anchoveta

Parámetro	Zona Norte	Zona Sur	Total Zona
Intercepto (a)	133.07	2532.42	-574.21
Pendiente (b)	390.11	346.50	445.11
S_a	702.21	3190.15	734.85
S_b	35.47	124.91	33.36
Error típico (S_{yx})	1503.05	2112.18	1807.76
n	59	33	92
r^2	0.68	0.20	0.66
P(b = 0)	1.03E-15	0.0093	4.8E-23

b) Sardina común:

Parámetro	Zona Norte	Zona Sur	Total Zona
Intercepto (a)	-1324.73	-1919,25	-1825,27
Pendiente (b)	496.80	463,78	496,64
S_a	509.54	1440,31	490,26
S_b	22.33	68,85	22,20
Error típico (S_{yx})	1583.18	1438,16	1641,08
n	66	43	109
r^2	0.88	0,53	0,82
P(b = 0)	8,07E-32	3,89E-08	3,76E-42

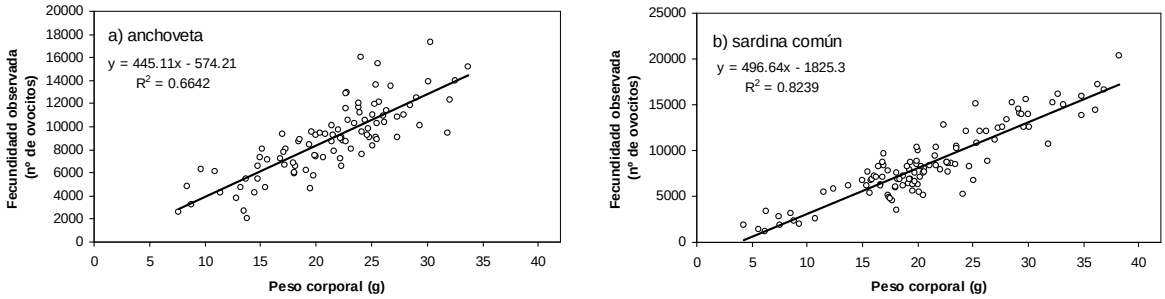

Figura 54. Relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal de anchoveta y sardina común.

Tabla 48. Fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007.

RECURSO		Zona norte	Zona sur
Anchoveta	Fecundidad media	8837	8903
	CV (%)	4,0	7,0
	n	1118	873
Sardina común	Fecundidad media	9267	8211
	CV (%)	6,3	3,7
	n	948	1033

Referente a los cambios temporales en la fecundidad media poblacional, se determino para los meses de mayor actividad reproductiva (julio – octubre), tomando como base datos de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal obtenidos para el mes de septiembre de 2007 (**Tabla 47**); los resultados se presentan en la **Tabla 49** y **Figura 55**.

Tabla 49. Cambios temporales en la Fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, periodo julio - septiembre de 2007.

RECURSO	ZONA		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
Anchoveta	NORTE	Fecundidad	6368		8837	8251
		CV (%)	11,0		4,0	6,0
		n	223		1118	141
	SUR	Fecundidad			8903	10515
		CV (%)			7,0	12,9
		n			873	44
Sardina común	NORTE	Fecundidad	4928	9338	9267	11154
		CV (%)	6,0	30,0	6,3	7,5
		n	153	122	948	113
	SUR	Fecundidad		4204	8211	6459
		CV (%)		39,3	3,7	6,6
		n		70	1033	107

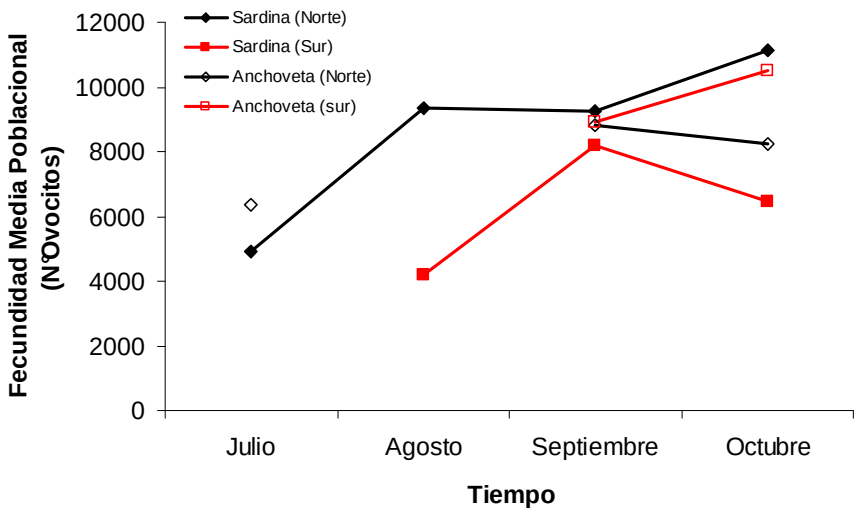

Figura 55. Cambios temporales en la Fecundidad media poblacional de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, periodo julio - septiembre de 2007.

La fecundidad relativa promedio para anchoveta en el area de estudio entrego un valor de 390 ovocitos/g de hembra (igual valor para ambas zonas) (**Tabla 50**). En sardina comun, se obtuvo una fecundidad relativa para el area de estudio de 382 ovocitos/g de hembra (381 ovocitos/g de hembra para la zona norte y 382 ovocitos/g de hembra para la zona sur) (**Tabla 50**).

Tabla 50. Fecundidad relativa de anchoveta y sardina común, por estrato geográfico, septiembre de 2007. W=Peso Total promedio de hembras maduras (gramos); WC= Peso corporal promedio (peso libre de gonada) (gramos).

RECURSO		Zona norte	Zona sur
Anchoveta	Fecundidad relativa	390	390
	W	22,67	22,83
		(CV = 0,03)	(CV = 0,06)
	WC	21,14	11,09
		(CV = 0,03)	(CV = 0,07)
Sardina común	Fecundidad relativa	381	382
	W	24,31	21,50
		(CV = 0,05)	(CV = 0,03)
	WC	22,34	20,22
		(CV = 0,05)	(CV = 0,03)

8.5. Objetivo 5: Evaluar la sincronía espacial de la actividad reproductiva y época de desove de anchoveta y sardina común, proponiendo un modelo conceptual al respecto, y evaluar el impacto de los periodos de veda actuales y alternativos sobre el potencial reproductivo de los stocks.

a) Modelo conceptual en terminos de la sincronia del desove

En términos del proceso de desove de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur, los principales hallazgos encontrados en este estudio constituyen evidencia en contra de la hipótesis de sincronía espacial del desove de ambas especies. A su vez, también se rechaza la hipótesis alternativa que había sido planteada en la Oferta Técnica ("*Las hembras de anchoveta y sardina común del área de Corral, al ser de mayor tamaño corporal, inician el desove antes que las hembras del área de Talcahuano, y de San Antonio, exhibiendo una mayor amplitud y duración del desove"*). Es decir, aunque las hembras de anchoveta y sardina común en el área de Corral tienden a ser de mayor tamaño corporal, no iniciarian el proceso de desove antes que las hembras observadas en el área de Talcahuano, ni tampoco presentarian un proceso de desove de mayor amplitud y duración.

En términos poblacionales, el estado del conocimiento y los mismos resultados encontrados en el monitoreo, permiten efectivamente establecer que en el área sur se distribuye la fracción adulta del stock de anchoveta y sardina común (i.e. IX-XIV Región). Hacia fines del invierno, el área de desove principal se localiza en esta región (Isla Mocha-Corral), mientras que en la zona norte (34°30'S-37°10'S, Cubillos et al. 2007) el desove es de menor magnitud aunque también contribuyen al desove hembras de 22-24 g (14 cm LT en promedio). Se resalta que en la zona norte la mayor contribución al desove de fines del invierno (agosto-septiembre) es realizada por la fracción de individuos que madura por primera vez (**Figura 2**). Estos ejemplares que han crecido en el sistema de bahías que caracteriza la región comprendida entre Constitución y el Golfo de Arauco, alcanzan la madurez al término del primer año de vida; estos presentarian un desove de amplitud y duración menor. En consecuencia en años cuando la fracción adulta es menos abundante y la abundancia de juveniles es alta, el desove podría quedar muy restringido temporalmente.

En efecto, existe una fuerte dependencia demográfica de la dinámica reproductiva que generaria una gran variabilidad interanual tanto en el patrón espacial del desove como en la duración del proceso, lo cual pudiese se magnificado si la estructura de tallas es impactada por la pesca. En tal sentido, se reconoce que

las hembras de mayor tamaño de ambas especies tienen una mayor amplitud y duración del desove, tanto en el IGS como en la dinámica temporal de la fracción de hembras maduras.

En términos de la expresión temporal del ciclo reproductivo, se plantea la existencia de una asincronía espacial de este proceso. En tal sentido, el desove presenta una mayor amplitud y duración en la zona norte (V-VIII Región) que en la zona sur (IX-XIV Región). Mientras las hembras de ambas especies comienzan la actividad reproductiva en julio en la zona norte, alcanzando máximos entre agosto y octubre (sardina) o diciembre (anchoveta), en la zona sur la mayor actividad reproductiva está acotada a los meses de septiembre y octubre principalmente. El modelo conceptual, en términos de la asincronía del desove se puede representar a través del esquema mostrado en la **Figura 56**. Asi mismo, se puede observar en esta figura como el recurso anchoveta, presenta una mayor amplitud y duración del desove que el recurso sardina común en la zona norte; mientras que en la zona sur presetan una misma amplitud y duracion del proceso de desove.

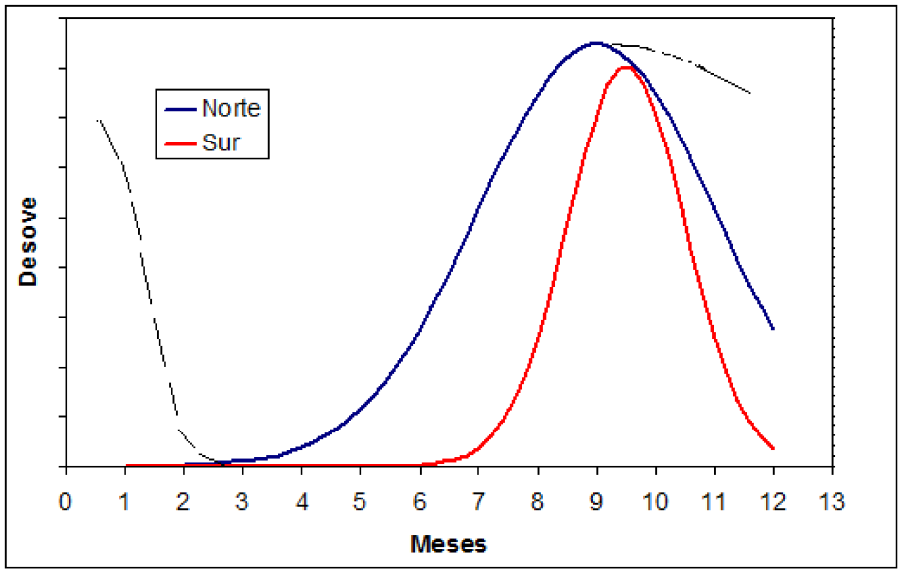

Figura 56. Esquema del ciclo reproductivo de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur. La zona norte implica el área comprendida entre la V-VIII Región (azul: sardina, negro: anchoveta) y la zona sur esencialmente el área comprendida entre la IX-XIV Región (rojo: ambas especies).

b) Evaluación del periodo de veda reproductiva sobre el potencial reproductivo

El impacto de la veda reproductiva se analizó sobre el potencial reproductivo de cada especie, considerando una cohorte sometida a explotación pesquera según diferentes puntos biológicos de

referencia. Se utilizaron modelos que reflejen la dinámica de una cohorte sin efecto del reclutamiento, sobre una base de edades en meses, 60 meses para la sardina común y 72 meses para la anchoveta (Cubillos *et al.*, 1998).

Dinámica de la cohorte

La dinámica de la abundancia por recluta se analizó sobre una base de tiempo mensual, considerando:

$$N_j = \begin{cases} N_j = R = 1 & j = r \\ N_{j-1} \exp(-(M + v_{ij}F)) & j = r+1,...,m \end{cases}$$

donde N_j es la abundancia por recluta de una cohorte en el mes j (edad en meses, relativa al 1º de julio); i es un mes calendario (i = 1,2,..,12; enero a diciembre, respectivamente); R indica el reclutamiento en el mes $j = r$ (e.g. enero = 6 meses), M es la tasa instantánea de mortalidad natural por mes para el caso de la sardina común M= 0.083 (mes^{-1}) y anchoveta M= 0.058 (mes^{-1}), F es la tasa de mortalidad por pesca anual (F66%, F60%, F50%).

Patrón de explotación temporal

El patrón de explotación temporal dentro del año (vector constante, v_i), se obtuvo sobre la base del aporte de los desembarques promedio del mes i en el desembarque promedio total verificado por especie durante el año 2007, según:

$$v_i = \overline{C}_{ii} / \sum_{i=1}^{12} \overline{C}_i$$

La **Figura 57**, muestra el patrón de explotación temporal de ambas especies utilizado en este estudio, donde se desprende una estación de pesca principal de febrero a mayo, donde ocurren los niveles de mortalidad por pesca mas altos al interior del año, con un desfase temporal de un mes entre sardina común y anchoveta, y una estación secundaria entre septiembre y noviembre donde los niveles se reducen a menos 20% del desembarque anual con la consecuente disminución de la mortalidad por pesca.

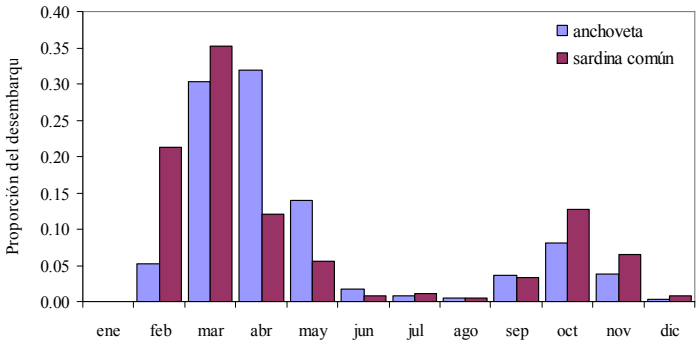

Figura 57. Patrón de explotación temporal para anchoveta y sardina común centro sur.

La variable de comportamiento para medir el efecto de las vedas reproductivas sobre el stock de anchoveta y sardina común fue, la biomasa desovante por recluta (S_j). Los parámetros de entrada para estimar la fracción de hembras maduras para cada especie se tomaron del estudio de Cubillos *et al.,* (1999), y la talla promedio de la cohorte en el mes *j* se estimo con la función de crecimiento estacional descrita para anchoveta y sardina común por Cubillos *et al.*, (2001, 2002) con la cual se estimo la proporción de hembras maduras y el peso promedio a la edad en meses de la cohorte con ayuda de la relación longitud-peso. Los parámetros para dicha relación fueron obtenidos del muestreo biológico de anchoveta y sardina común centro sur del muestreo llevado a cabo en este proyecto.

Escenarios de veda reproductiva

En la **Tabla 51**, se resumen los escenarios de veda reproductivo considerado en el presente estudio. Solo en el caso del escenario A, el patrón de explotación fue modificado en función de los días que efectivamente hubo actividad pesquera.

Tabla 51. Escenario de Veda Reproductiva**.**

Vedas	Período	Días
Actual	22 julio - 31 agosto	41
Veda A	22 julio - 20 septiembre	61
Veda B	22 julio - 30 septiembre	71
Veda C	01 julio - 30 septiembre	102
Veda D	01 julio - 30 octubre	133

La **Tabla 52** resume los resultados del incremento en el stock desovante por recluta para los distintos escenarios de vedas reproductiva de la sardina común. El incrementó en el stock desovante por recluta para los escenarios de veda A, B, C solo superan la condición actual en un 1.3% - 2.8%. En el escenario D

que implica cerrar la pesquería durante cuatro meses se logra un incremento mayor en el stock desovante por recluta, que fluctúa entre 8.4 -10.8% dependiendo del nivel de mortalidad por pesca que se aplique. En la **Figura 58**, se observa que independiente del nivel de mortalidad por pesca que se aplique sobre el stock, la mayor ganancia en el stock desovante siempre ocurre bajo el escenario D.

Tabla 52. Rendimiento por recluta (YPR), stock desovante por recluta (SPR), stock desovante por recluta virginal (SPRo), incremento porcentual respecto al SPRo.

Sardina común centro sur						
Vedas	**Días**	YPR	SPR	F (año^{-1})	% veda actual	% SPRo
F66%						
Actual	41	5.03	5.68	0.53		38.7%
Veda A	61	4.99	5.75	0.52	1.2%	39.1%
Veda B	71	4.98	5.77	0.51	1.7%	39.3%
Veda C	102	4.96	5.80	0.50	2.2%	39.5%
Veda D	133	4.74	6.15	0.44	8.4%	41.9%
F60%						
Actual	41	5.46	4.66	0.66		31.7%
Veda A	61	5.43	4.72	0.64	1.3%	32.1%
Veda B	71	5.42	4.74	0.63	1.9%	32.3%
Veda C	102	5.41	4.77	0.63	2.5%	32.5%
Veda D	133	5.22	5.10	0.54	9.5%	34.7%
F50%						
Actual	41	5.98	3.19	0.93		21.7%
Veda A	61	5.97	3.24	0.90	1.5%	22.0%
Veda B	71	5.96	3.26	0.89	2.1%	22.2%
Veda C	102	5.95	3.28	0.88	2.8%	22.3%
Veda D	133	5.84	3.53	0.77	10.8%	24.1%

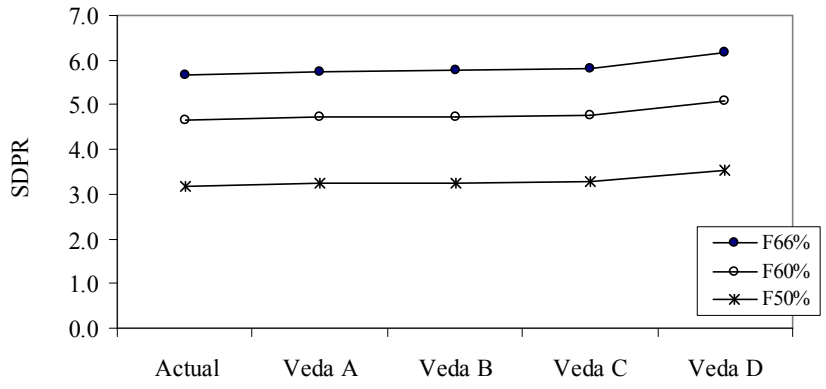

Figura 58. Variación del stock desovante por recluta de sardina común por escenario de veda y nivel de mortalidad por pesca.

En el caso de la anchoveta (**Tabla 53**, **Figura 59**) se observo una respuesta similar a la sardina común, en términos de los efectos de una extensión de la veda reproductiva respecto de la condición actual, sin

embargo, la ganancia en el incremento del stock desovante fue levemente superior a la sardina común. Así para los escenarios de veda A, B, C la ganancia máxima no supera el 10%, pero al aumentar la veda de 41 (actual) días a 133 (D) meses podría variar entre 13% a un 22% dependiente de la mortalidad por pesca. En forma similar a la sardina común, solo bajo una veda de 133 (D) días se genera un efecto mayor de recuperación sobre el stock desovante mas allá del nivel de pesca que se aplique (**Figura 59**).

Tabla 53. Rendimiento por recluta (YPR), stock desovante por recluta (SPR), stock desovante por recluta virginal (SPRo), incremento porcentual respecto al SPRo.

Anchoveta centro sur						
Vedas	**Días**	YPR	SPR	F (año^{-1})	% veda actual	% SPRo
F66%						
Actual	41	3.38	3.63	0.51		23.2%
Veda A	61	3.37	3.72	0.50	2.5%	23.8%
Veda B	71	3.36	3.76	0.49	3.7%	24.0%
Veda C	102	3.35	3.81	0.49	4.9%	24.3%
Veda D	133	3.27	4.10	0.44	12.8%	26.1%
F60%						
Actual	41	3.50	2.49	0.66		15.9%
Veda A	61	3.49	2.56	0.64	3.1%	16.4%
Veda B	71	3.49	2.60	0.63	4.4%	16.6%
Veda C	102	3.49	2.63	0.63	5.9%	16.8%
Veda D	133	3.44	2.88	0.58	15.7%	18.4%
F50%						
Actual	41	3.41	1.09	1.01		7.0%
Veda A	61	3.42	1.14	0.98	4.1%	7.3%
Veda B	71	3.43	1.16	0.97	5.9%	7.4%
Veda C	102	3.43	1.18	0.96	8.1%	7.5%
Veda D	133	3.44	1.33	0.88	21.6%	8.5%

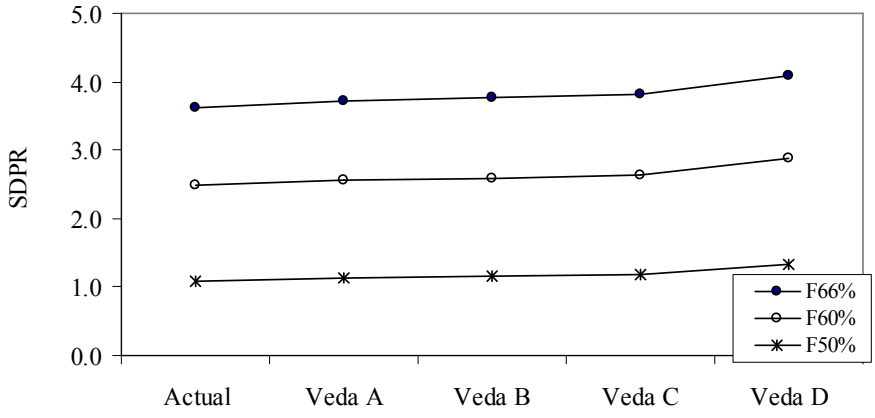

Figura 59. Variación del stock desovante por recluta de anchoveta por escenario de veda y nivel de mortalidad por pesca.

9 Análisis de los resultados

En peces pelágicos desovantes múltiples se sabe que la mayoría de parámetros reproductivos son dependientes del tamaño, tal como la fecundidad, madurez, y el número de desoves por año (Claramunt y Roa 2001; Claramunt et al. 2007). En este estudio, se encontró la estación reproductiva es dependiente del tamaño en la anchoveta y sardina común, y además que existen diferencias geográficas importantes.

Los resultados sugieren que la estructura de tallas de anchoveta y sardina común tiene el potencial para determinar cambios intra e interanuales en la duración e intensidad de la estación reproductiva. En efecto, según el índice gonadosmático y la proporción de hembras maduras, las hembras más grandes de sardina común y anchoveta (desovantes repetidos) tienden a tener una actividad reproductiva de mayor amplitud y duración en la estación que las hembras más pequeña en primera reproducción. A su vez, en el caso de la sardina común, se observó que en la zona norte (V-XIV Región) el ciclo reproductivo evaluado a través del IGS es relativamente sincrónico entre hembras de diferente tamaño, con un pico entre agosto (10-12 cm) y septiembre-octubre (13-18 cm). En el caso de la anchoveta, se observó que las hembras grandes (>15 cm) tienen un pico en agosto comparado con las hembras en primera reproducción (12 cm), que tienen un pico en septiembre-octube en la zona norte. En la zona sur, el ciclo anual del IGS es más sincrónico entre diferentes tamaños de las hembras de anchoveta, pero en sardina común las hembras de mayor tamaño se retrasan respecto de las más pequeñas. Aunque la estrategia reproductiva de las especies es la misma, en términos de una adaptación al ecosistema estacional de surgencia de la zona centro-sur de Chile (Cubillos et al. 2001), aquí se postula que el desove de ambas especies es más retrasado y restringido en la zona sur con respecto de la zona norte.

Los efectos de la estructura de tallas sobre la época reproductive han sido estudiados en otras especies pelágicas. Parrish et al. (1986) analizaron cambios edad-dependientes en la fecundidad, número de desoves por año, proporción sexual, y madurez en la anchoveta del norte (*Engraulis mordax*). Los autores concluyeron que la magnitud y duración de los estados de madurez sexual fueron tamaño y edad dependientes con un máximo de desove ocurriendo tempranamente en la estación en los ejemplares más pequeños. Herrera et al. (1994) describió la dinámica ovárica de sardina (*Sardinops sagax*) del norte de Chile, y encontró que las hembras de mayor tamaño alcanzaron un periodo de madurez ovárica de mayor amplitud que los ejemplares más pequeños. Lambert (1987) estudió la duración e intensidad del desove del arenque (*Clupea harengus*), y encontró que los desovantes en primera madurez generalmente desovan más tarde que los desovantes repetidos, sugiriendo que el desove procede consecutivamente a través de las clases anuales desde las más viejas a las más jóvenes debido a una madurez diferencial. Silva et al. (2006)

investigaron la variación espacial y temporal en los patrones de madurez de la sardina (*Sardina pilchardus*) y discutieron sus implicancias en la estructura del stock. Los autores encontraron que los peces más pequeños tienen estaciones reproductivas más cortas, pero el máximo de actividad de clases de tamaño diferentes fue sincronizado.

En el presente estudio, los resultados confirman que la actividad reproductiva no está sincronizada entre las regiones (espacialmente). El IGS comenzó alto en la V y VIII Región, pero en la IX-XIV Región aún permanecía bajo en julio, lo que se confirmó con la frecuencia de estados de madurez sexual macro y microscópicos. Aunque el ciclo reproductivo de anchoveta y sardina común es espacialmente asincrónico, es probable que la duración e intensidad del ciclo reproductivo sea similar en ambas especies. Este es un aspecto que no pudo ser cubierto en este proyecto.

En términos de la frecuencia diaria de hembras desovantes, éste se calculó solo para el mes de septiembre de 2007, cuando se observó la mayor frecuencia de hembras maduras (casi 100%) en el ciclo anual. La frecuencia del desove fue alta, cada 3,6-3,8 días en la zona norte, y la más baja en la sardina en la zona sur (cada 7 días). A su vez, con estimaciones previas obtenidas en el marco de la evaluación del stock desovante (Claramunt et al. 2007b), se demuestra en este estudio que la fracción diaria de hembras desovantes es dependiente del peso promedio de las hembras maduras tal y como ha sido sugerido por Claramunt et al. (2007) para otras especies similares. Esto implica que las hembras de mayor tamaño corporal desovan con mayor frecuencia (mayor número de desoves) que las hembras de menor tamaño, y por lo tanto que la biomasa desovante no es un buen indicador del potencial reproductivo (Marshall et al. 2003).

Cubillos et al. (2001) plantearon que la estrategia reproductiva de ambas especies es combinada con una estrategia de almacenaje de energía durante la época estival de surgencias activas. La energía almacenada sería usada para la reproducción varios meses después. De esta manera, el estado de condición y las reservas de grasa acumuladas durante el verano podrían también afectar la intensidad y duración del desove durante la estación reproductiva causada por variaciones ambientales que impactan directamente la disponibilidad de alimento. Los resultados corroboran que las hembras de ambas especies tienen una mejor condición en la época estival, sugiriéndo que la estructura de tallas de las hembras está sincronizada en términos de tomar ventaja de la disponibilidad de alimento.

En términos de la proporción sexual, el hallazgo más significativo, nuevamente, es que en los especimenes de mayor tamaño dominan las hembras en ambas especies. Este patrón se observó tanto en la zona norte

(V-VIII Región) como en la zona sur (IX-XIV Región), y fue también corroborado con los datos del periodo 2005-2006. Ello nuevamente tiene implicancias en términos que la estructura de tamaños de la población podría tener el potencial para generar cambios intra e interanuales en el ciclo reproductivo.

El tamaño medio de primera madurez sexual fue estimado en 11,2 cm para sardina común y 12 cm para anchoveta. Estos valores son similares a los que han sido reportados para ambas especies (Mujica y Rojas 1984, Cubillos y Arancibia 1993, Arancibia et al. 1994, Cubillos et al. 1999). A su vez, la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal no presentó diferencias entre zonas, la que además es similar a las relaciones que han sido encontradas en el marco del método de la producción diaria de huevos (Cubillos et al., 2007). La fecundidad media poblacional, que es función del peso promedio de las hembras, fue también similar entre zonas en el mes de máxima actividad reproductiva.

El modelo conceptual del proceso reproductivo implica una asincronía espacial y estructural (tamaño de las hembras), que determina el incio en julio en la zona norte y extendiendose hasta octubre (sardina común) o diciembre (anchoveta) mientras que en la zona sur el proceso reproductivo está restringido temporalmente a dos meses de mayor actividad (septiembre-octubre) tanto en anchoveta como sardina común.

Desde el punto de vista de la veda reproductiva, solamente una veda de cuatro meses (133 días) genera un impacto positivo en la biomasa desovante por recluta. Esto es un incremento del orden de 8,4-10,8% en la sardina común y de 13 a 22% en la anchoveta. La función de desempeño no es la más adecuada, ya que se basa en la magnitud del stock desovante por recluta, y no en el número de huevos por ejemplo. Sin embargo, ya que se usó una aproximación per cápita bajo condiciones de una población estado-estable, los resultados podrían ser similares. Los 131 días fueron determinados para el periodo comprendido entre el 01 de julio y 30 de octubre. Aunque el número de días parece ser excesivo, podría ser una medida efectiva.

10 Conclusiones

a) La estación reproductiva es dependiente del tamaño en la anchoveta y sardina común, existiendo diferencias geográficas importantes en la dinámica reproductiva de las dos especies entre la V-VIII Región (zona norte) y IX-XIV Región (zona sur).
b) Cambios en la estructura de tallas de anchoveta y sardina común determinaría potencialmente cambios intra e interanuales en la duración e intensidad del proceso de desove.
c) El modelo conceptual del proceso de desove implica una asincronía espacial y estructural (tamaño de las hembras), que determina el inicio en julio en la zona norte (V-VIII Región) y extendiéndose hasta octubre (sardina común) o diciembre (anchoveta) mientras que en la zona sur (IX-XIV Región) el proceso de desove está restringido temporalmente a dos meses de mayor actividad (septiembre-octubre) tanto en anchoveta como sardina común.
d) Solamente una veda reproductiva de 133 días, comprendidos entre el 1 de julio y 30 de octubre, genera un incremento significativo en la biomasa desovante por recluta de ambas especies. La medida es efectiva en términos de consolidar el tamaño del stock desovante, pero no asegura el éxito reproductivo.

11 REFERENCIAS

Aguayo, M., 1976. Edad y Crecimiento de la anchoveta (*Engraulis ringens*, Jennyns) del norte de Chile (Arica-Iquique). Ser. Invest. Pesq. Inst Fom. Pesq., Chile 23: 51p.

Alheit, J., Alarcón, V.H., Macewicz, B.J., 1984. Spawning frequency and sex ratio in Peruvian anchovy. CalCOFI Report 25: 43-52.

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*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 59-61.

Aranis, A., Caballero, L., Böhm, G., Martinez, C., Nilo, M., Vera, C., 2004. Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur 2004. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq., Valparaíso, Chile, Chile. 135 p.+Anexos.

Aranis, A., Caballero, L., Böhm, G., Martinez, C., Nilo, M., Palta, E., Cerna, F., Vera, C., Bocic, V., Gómez, A., Rosson, G., Troncoso, M., Machuca, C., 2005. Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur 2004. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq., Valparaíso, Chile, Chile. 175 p+Anexos.

Blaxter, J.H.S., Hunter, J.S. 1982. The biology of the clupeoid fishes. Adv. Mar. Biol. 20: 201-223.

Castillo, J., Saavedra, A., Gálvez, P., 2005. Evaluación acústica de la biomasa, abundancia, distribución espacial y caracterización de cardúmenes de anchoveta y sardina común durante el periodo de reclutamiento. Zona Centro-Sur. Verano 2005. In: Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informes Técnicos FIP – IT/2004-05, 205 p. +anexos.

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

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

Castro L.R., Salinas, G.R., Hernández, E.H. 2000. Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. Marine Ecology Progress Series 197: 247-258.

Claramunt, G., Roa, R. 2001. An indirect approach of estimating spawning fraction as applied to *Sardinops sagax* from northern Chile. Scientia Marina 65: 87-94.

Claramunt, G., Roa, R., Cubillos, L. 2003. Estimating daily spawning fraction using the gonadosomatic index: application to three stocks of small pelagic fish from Chile. In: Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm-and cold-water fish and squids. O.S. Kjesbu, J.R. Hunter and P.R. Witthames (Eds.) IMR series Fisken og Havet 12, p. 43-50.

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

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

Cleveland, W.S., 1979, Robust locally weigthed regression and soothing scatterplots. J. Am. Stat. Assoc. 74, 829-836.

Cochran, W.G. 1980. Técnicas de muestreo. Compañia Editorial Continental S.A. de C.V. México.

Cubillos, L., Arancibia, H., 1993. On the seasonal growth of common *sardine (Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. Rev. Biol.. Mar. (Valparaíso) 28(1), 43-49.

Cubillos, L., Canales, M., Hernández, A., Bucarey, D., Vilugrón, L., Miranda, L., 1998a. Poder de pesca, esfuerzo de pesca y cambios estacionales e interanuales en la abundancia relativa de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el área frente a Talcahuano, Chile (1990-97). Invest. Mar. Valparaíso, 26:3-14.

Cubillos, L., Alarcón, R., Bucarey, D., Canales, M., Sobarzo, P., Vilugrón, L., 1998b. Evaluación indirecta del stock de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur. Informes Técnicos Fondo de Investigación Pesquera, FIP-IT/96-10, 223 p.

Cubillos, L., 1999. Estrategia reproductiva, crecimiento y reclutamiento de Strangomera bentincki (Norman, 1936) en el sistema de la zona centro-sur de Chile. Tesis Magister en Ciencias (Oceanografía), Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, 180 p.

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.

Cubillos, L.A., Arcos, D.F., Canales, M., Bucarey, D., 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano (37°S-73°W), Chile: a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? Aquat. Living Resour. 14, 115-124.

Cubillos, L.A., Bucarey, D.A., Canales, M. 2002. Monthly abundance estimation for common sardine *Strangomera bentincki* and anchovy *Engraulis ringens* in the central-south Chile (34-40°S). Fisheries Research 57: 117-130.

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

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

Cubillos, L., Castro, L., Oyarzún, C. 2005. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informe Final FIP 2004-03.

Cubillos, L., L. Castro, G. Claramunt, C. Oyarzún. 2006. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005. Preinforme Final Proyecto FIP Nº 2005-02.

Cubillos, L.A., Ruiz, P., Claramunt, G., Gacitúa, S., Núñez, S., Castro, L.R., Riquelme, K., Alarcón, C., Oyarzún, C., y 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.

Cury, P. 1994. Obstinate nature: an ecology of individuals: thoughts on reproductive behavior and biodiversity. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 51: 1.664-1.673.

De Vlaming V., G. Grossman & F. Chapman. 1982. On the use of the gonosomatic index. Comparative Biochemistry and Physiology, 73A:31-39.

Dickerson, T.L., Macewicz, B.J., Hunter, J.R. 1992. Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep., 33:130-140.

Hastie, T., and Tibshirani, R., 1990. Generalized additive Models. Chapman & Hall, New York, 559pp.

Herrera, G., Claramunt, G., Pizarro, P. 1994. Ovarian dynamics of the spanish sardine (*Sardinops sagax*) in northern Chile, period April 1992-March 1993 analysis by size stratum. Revista de Biología Marina Valparaíso 29: 147-166.

Holden, M.J., Raitt, D.F.S., 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Téc. FAO. Pesca (115), Rev. 1, 211 p.

Hornik, 2002. The R FAQ, http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html

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

Hunter, J. R. and B. J. Macewicz. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin: Vol 83 Nº 2. 119-136.

Hunter, J. R. and S. R. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish Bull., U.S. 77: 641-652.

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

Ihaka, R, and Gentleman, R. 1996. R: a languaguage for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphics Statistics, 5(3):299-314.

Lambert, T.C. 1987. Duration and intensity of spawning in herring *Clupea harengus* as related to the age structure of the mature population. Marine Ecology Progress Series 39: 209-220.

Macewicz, B. and R. Hunter. 1993. Spawning frecuency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California durig 1991. CalCOFI Rep. 34: 112-121.

McCullagh, P., Nelder, J.A., 1989. Generalized Linear Models. Chapman & London, 394 pp.

Nielsen and Schoch, 1980. Errors in estimating mean weight and other statistic from mean length. Trans. of the Am. Fish. Soc. 109 : 319 - 322.

Oliva, J., Braun, M., Cordova, Castillo, J., Valenzuela, V., Catasti, V., Blanco, J., Martínez, C., 2000. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, 1999. Informe Final FIP 99-10, Informes Técnicos FIP – IT / 99-10, 97 p.

Oliva, J., Montenegro, C., Braun, M., Rojas, O., Díaz, E., Catasti, V., Reyes, H., Barría, P., Serra, R., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Escribano, R., Oliva, M., 2001. Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Informe Final FIP 2000-06, Informes Técnicos FIP – IT /2000-06, 116 p.

Oliva, J., Montenegro, C., Braun, M., Rojas, O., Reyes, H., Catasti, V., Díaz, E., Barría, P., Serra, R., Baros, V., Vargas, A., Claramunt, C., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Muñoz, Y., Escribano, R., y M. Oliva. 2002. Evaluación del stock desovante de la anchoveta por el método de la producción diaria de huevos en la I y II Regiones, año 2001. Informe Final FIP 2001-10, Informes Técnicos FIP – IT/2001-10, 86 p.

Parrish, R. H, D.L Mallicoate and R. A. Klingbeil. 1986. Age dependent fecundity number of spawning per year, sex ratio and maduration stage in northern anchovy. Fish Bull., U.S. 84 (3): 503-517 pp.

Picquelle, S., 1985. Sampling requirements for the adult fish survey. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36, 55-57.

Pienaar L. and W. Ricker, 1968. Estimating mean weight from length statistic. J. Fish. Res. Board of Can. 25: 2743 - 2747.

Ricker W.,1958. Handbook of computations for biological statistics of fish population. Bull. Fish. Res. Bd. Can., Nº 119.

Santander, H., J. Alheit and P. E. Smith. 1984. Estimación de la biomasa de la población desovante de anchoveta peruana, *Engraulis ringens*, en 1981 por aplicación del "Método de Producción de Huevos ". Bol. Inst. Mar Perú, Callao. 8: 209-250.

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

Sepúlveda, A., Cubillos, L., Arcos, D. 2003. Pesquerías pelágicas chilenas: una síntesis sobre la incertidumbre biológica. In: Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile, E. Yánez (Ed.). Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, p. 91 – 107.

Sepúlveda, A., más 14 autores (2000). Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V a IX Regiones. Informe Final FIP 97-04. Informes Técnicos FIP – IT/97-04, 199 p.

Silva, A., Santos, M.B., Caneco, B., Pestana, G., Porteiro, C., Carrera, P., Stratoudakis, Y. 2006. Temporal and geographic variability of sardine maturity at length in the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. ICES Journal of Marine Science 63: 663-676.

Sparre, P. and S. Venema. 1995. Introduction to tropical fish stock assessment. Part I - Manual. FAO Fish. Tech. Paper 306/1.

Venables, W.N. y B.D. Ripley, 2002 Modern Applied Statistics with S. Springer, 495 p.

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

Wood, S. 2001. mgcv: GAMs and Generalizad Ridge Regresión in R. News, The Newsletter of the R project 1/2: 21-25

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

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

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

12 ANEXO

12.1. Taller de Trabajo

Presentación

El Taller de Discusión de Resultados del Proyecto FIP 2006-13, se realizó el día 04 de septiembre de 2008 en el Auditorio de la Dirección de Posgrado, Edmundo Larenas 234, 2do piso. El Taller tuvo por objetivo analizar y discutir la dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, según los resultados obtenidos durante el año 2007.

Agenda de Trabajo

El Taller se desarrolló según el siguiente programa:

9:30 – 9:40	**Bienvenida y presentación del proyecto**
9:45 – 10:30	**Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur** *Luis Cubillos*
12:00 - 12:30	**Mesa redonda y conclusiones del Taller** *Moderador*

Recomendaciones del Taller

a) Sobre el comportamiento del índice reproductivo:

Es necesario comparar los cambios en el IGS y frecuencia de hembras maduras con una señal de más largo plazo con el objeto de saber si el ciclo descrito se ajusta a lo normal, o si está retrasado respecto de un patrón promedio.

b) Sobre el modelo conceptual:

Habría que detallar mejor el modelo conceptual en términos de incorporar la dinámica de la anchoveta, ya que al parecer solo refleja a la sardina común.

Participantes

- Sergio Mora, IFOP
- José Acevedo, SUBPESCA
- Patricia Ruiz, Inpesca

- Claudio Gatica, Inpesca
- Rubén Alarcón M, Inpesca
- Claudio Castillo, UdeC
- Sandra Cahuín, UdeC
- Carolina Alarcón Muñoz, UdeC
- Lorena Rozas, UdeC
- Gustavo Aedo, UdeC
- Christian Valero, UdeC
- María José Zuñiga, UdeC
- Leonardo Castro, UdeC
- Ciro Oyrazún, UdeC
- Luis Cubillos, UdeC

13 HORAS HOMBRE DEL EQUIPO DE TRABAJO

Instituto de Fomento Pesquero:

Antonio Aranis	207
Mariella Canales	175
Eduardo Díaz	380
Alejandra Gómez	135
Cecilia Machuca	288
Amalia López	288
1 Asist Lab	420
1 Téc Muestreador	540

Universidad de Concepción:

Luis Cubillos	176
Gabriel Claramunt	142
José Sánchez	132
Santiago Gacitúa	100
Carolina Alarcón	132
Milton Pedraza	110
Claudio Castillo	110
Christian Valero	132
Gustavo Aedo	100
Germán Vásquez	864
Técnico 1	864
Técnico 2	864
Técnico 3	864

BASE DE DATOS

La base de datos que contiene toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del Proyecto FIP 2006-13 "Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, zona centro-sur año 2006", se encuentra almacenada en el Disco Compacto adjunto, según la siguiente descripción:

FIP2006-13 CD-1: Disco compacto conteniendo solamente la base de datos, según lo solicitado en las bases administrativas y especiales, con la siguiente estructura y descripción de los archivos:

RUTA	ARCH	DESCRIPCIO
Base de datos_FIP2006-13	BDBIOLSCANSur.xls	Datos biologicos macroscópicos zona sur
	BDBIOLSCANNorte.xls	Datos biológicos macroscópicos zona norte
	FECUND07.xls	FECUNDIDAD PARCIAL
	HMADAN07.xls	HEMBRAS MADURAS SEP DE ANCHOVETA
	HMADSC07.xls	HEMBRAS MADURAS SEP DE SARDINA
	BDMicro.xls	Datos biologicos microscópicos
	Descriptor_ FECUND07.xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_ HMADAN07.xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_ HMADSC07.xls	Descriptor de los campos
	Descriptor_BDMicro.xls	Descripto de campos
	Descriptor_ BDBIOLSCAN_Norte_Sur.xls	Descriptor de los campos