

**UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL MAR**

INFORME FINAL

**PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
N° 2006-38**

**“MEJORAMIENTO DEL METODO DE PRODUCCION DIARIA
DE HUEVOS APLICADO EN PELAGICOS PEQUEÑOS”**



IQUIQUE, SEPTIEMBRE DEL 2007

Departamento de Ciencias del Mar
Universidad Arturo Prat

PROYECTO

FIP N° 2006-38 Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos aplicado en pelágicos pequeños.

REQUIRENTE

Fondo de Investigación Pesquera

UNIDAD EJECUTORA

Departamento de Ciencias del Mar
Universidad Arturo Prat

SUBCONTRATOS

Instituto de Fomento Pesquero
Jefe División IFOP: Mauricio Braun
E-mail: mbraun@ifop.cl

Universidad de Concepción
MSc. Luis Cubillos Santander
Departamento de Oceanografía
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas

JEFE PROYECTO

MSc Gabriel Claramunt Q.
Depto. de Ciencias del Mar
Universidad Arturo Prat
Casilla 121, Iquique, Chile
Tel.: 56-57-394516
Fax: 56-57-380393
E-mail: gclaramu@unap.cl

• Iquique Septiembre de 2007 •

INFORME FINAL

MEJORAMIENTO DEL METODO DE PRODUCCION DIARIA DE HUEVOS APLICADO EN PELAGICOS PEQUEÑOS

AUTORES

Gabriel Claramunt Q.
Luis Cubillos S.
Mauricio Braun
Rodolfo Serra
Mariela Canales
José Sánchez R.
Andrés Flores I.
Paola Moreno G.
Katty Riquelme
Claudio Castillo J.
Christian Valero

Jefe de Proyecto
Coordinación UdeC, Análisis espacial
Coordinación IFOP, Análisis espacial huevos
Integración biomasa en modelos de evaluación
Integración biomasa en modelos de evaluación
Análisis histológico
Análisis reproductivos
Incubación huevos de anchoveta
Incubación huevos sardina común.
Análisis espacial con geostatística
Análisis histológico

1.- Personal participante

Personal con actividades en el desarrollo del proyecto y elaboración del informe:

Personal Profesional	Función
Gabriel Claramunt Q.	Jefe de Proyecto
Luis Cubillos S.	Coordinación UdeC, Análisis espacial
Mauricio Braun	Coordinación IFOP, Análisis espacial huevos
Rodolfo Serra	Integración biomasa en modelos de evaluación
Mariela Canales	Integración biomasa en modelos de evaluación
José Sánchez R.	Análisis histológico
Andrés Flores I.	Análisis reproductivos
Paola Moreno G.	Incubación huevos de anchoveta
Katty Riquelme	Incubación huevos sardina común.
Claudio Castillo J.	Análisis espacial con geostatística
Christian Valero	Análisis histológico

HORAS HOMBRE DEL EQUIPO DE TRABAJO

a) UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

Nombre	Actividad	Meses				Total
		1	2	3	4	
Gabriel Claramunt	Total	26	25	38	56	145
Paola Moreno	Total	34	32	28	38	132
José Sánchez	Total	35	38	42	45	160

b) UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Nombre	Actividad	Meses				Total
		1	2	3	4	
Luis Cubillos	Total	12	25	26	49	112
Katty Riquelme	Total	28	25	32	36	121
Claudio Castillo	Total	30	32	33	37	132

c) INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Nombre	Actividad	Meses				Total
		1	2	3	4	
Mauricio Braun	Total	3	11	12	20	46
Mariela Canales	Total	0	0	0	28	28
Rodolfo Serra	Total	0	0	0	32	32

RESUMEN EJECUTIVO

El Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH) convencional, desarrollado en la primera mitad de los años 80, sólo permite determinar un estimado puntual de la biomasa desovante, descuidándose la componente espacial tanto de la producción diaria de huevos como de la fecundidad específica diaria. Uno de los aspectos fundamentales del método convencional lo constituyen los criterios de post-estratificación del área de desove, muchas veces no muy bien desarrollada o descrita en forma explícita. Por otra parte, la estimación de los parámetros reproductivos exige ciertos protocolos y procedimientos que deben ser considerados en términos espacio-temporales. En los últimos 25 años, el MPDH ha sido aplicado unas 120 veces a 18 especies de cinco familias de teleósteos, en una variedad de ecosistemas costeros alrededor del mundo (Stratoudakis *et al.*, 2006). En la actualidad se cuenta con mejoras metodológicas importantes al MPDH, las que se han desarrollado por investigadores europeos.

En Chile, el MPDH convencional se ha aplicado para evaluar el stock desovante de la anchoveta en la zona norte de Chile (I y II Regiones) desde el año 1992, la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur (V-X Regiones) desde el 2002 al 2005; y desde el año 2000 en jurel a través de proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera. En la aplicación del MPDH a estos recursos ha participado prácticamente el mismo equipo de trabajo, lo que constituye una ventaja desde el punto de vista de mantener consistencia al momento de establecer una serie de tiempo. No obstante, se considera oportuno revisar y establecer protocolos de diseño de muestreo y mejoras metodológicas para evaluar los stocks desovantes de los peces pelágicos pequeños, como además criterios y justificaciones técnicas que permitan incorporar estas evaluaciones en modelos de evaluación integrados.

En relación con el grado de cumplimiento del primer objetivo específico, se ha logrado consolidar la información de los cruceros de huevos realizados en el contexto del Método de Producción Diaria de Huevos. Se puede plantear que después de 22 millas náuticas, la densidad de huevos de anchoveta en la zona norte no debería estar correlacionada en un periodo de baja abundancia, y del orden de 69-70 millas náuticas en periodos de alta abundancia. Por lo que no se recomienda cambiar el diseño de crucero actual (Estaciones cada 5 millas náuticas y transectas separadas cada

10 millas náuticas), ya considerando la baja proporción de estaciones positivas (ca. 30 %) ya que podría influir en una pérdida de precisión en las estimaciones de la producción diaria de huevos. Sin embargo, se recomienda ampliar en sentido costa océano de forma de cubrir totalmente el área de desove.

En el caso de la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur, el diseño está en el límite de la distancia entre cluster de huevos o tamaño promedio de parches. No obstante, debido a que los huevos de sardina presentan un mayor grado de contagio determinando una baja proporción de estaciones positivas (ca. 14%), sería recomendable reducir ligeramente la distancia entre transectas tal vez a 5 millas náuticas (Actualmente es de 8 mn).

Respecto de los modelos de desarrollo estadio-temperatura dependientes, se ha logrado un avance significativo en términos de lograr modelos que reflejen de mejor manera la asignación de edad a los huevos colectados en el mar. No se encontraron diferencias en las tasas de desarrollo de huevos de anchoveta en función de la temperatura entre la zona norte y zona centro-sur, por lo que a una misma temperatura huevos provenientes de ambas zona eclosionarían a la misma edad. Por lo que se podría utilizar un mismo modelo de desarrollo para anchoveta en Chile.

Desde el punto de vista de la datación de huevos colectados en el plancton (determinación de la edad), los modelos multinomiales comunicados en este estudio constituyen una de las mejoras más relevante en el ámbito del Método de Producción Diaria de Huevos aplicado a pelágicos pequeños en Chile.

El proceso de desove, quedó definido por: 23 horas para anchoveta en la zona norte con una desviación estándar de 1,5 horas, 24 horas para la anchoveta en la zona centro-sur, 23 horas para la sardina común y con una desviación estándar de 2. Estos criterios se basan en la frecuencia de la abundancia relativa de huevos en el estadio I de desarrollo en función de la hora de colecta.

En relación con el establecimiento de los criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos postovulatorios, se ha convenido y estructurado una escala interpretativa que tiene por objeto lograr un procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de

hembras desovantes para anchoveta y sardina común. Esta nueva escala permite una mejor definición de las cohortes para la datación de los folículos postovulatorios. Sin embargo para comprender el proceso degenerativo en el tiempo, es necesario contar con una colección de muestras que comprendan un ciclo diario completo, lo cual no se cumple en las muestras disponibles. Situación que es más crítica en la zona centro sur, ya que estas provienen principalmente a capturas de pesca artesanal, lo que restringe la disponibilidad de muestra solo a las horas diurnas.

Para la estimación de la Producción diaria de huevos en el mar (P_0), parámetro que presenta las mayores dificultades y que genera la mayor varianza, se desarrollaron mejoras notables en las metodologías de estimación, aprovechando la experiencia del Dr Miguel Bernal (España), en un Taller desarrollado en Iquique entre el 9 y 13 de enero del 2007. La aplicación convencional de estimación de P_0 y Z por mínimos cuadrados debe ser evitada en futuras aplicaciones, sean éstas ponderadas o no por el inverso de la varianza. La estimación de P_0 y Z sobre la base de las dataciones con el procedimiento de L_0 (convencional) y con el método multinomial son más recomendables. La primera en términos de seguir evaluando la biomasa desovante en forma tradicional, y la segunda porque el procedimiento relaciona en forma correcta los datos observados con el modelo, desde el punto de vista estadístico. Ambos procedimientos deberían basarse en la estimación de P_0 y Z con GLM y familia binomial negativa.

La datación utilizando el modelo generalizado de L_0 (GAM) presenta el inconveniente de que el ajuste GAM a los datos de incubación está representando una superficie que es válida para el rango de temperaturas experimentales.

Se recomienda en futuras aplicaciones del MPDH en Chile, cuantificar la presencia de larvas con saco vitelino en las muestras de manera de poder incorporarlas en la estimación de P_0 y evitar así que se encuentren pendientes positivas, además de ayudar a reducir el coeficiente de variación.

La modelación espacial de la producción de huevos, para el caso de la anchoveta de la zona norte presentó problemas, subestimando fuertemente la producción diaria de huevos en comparación a los otros métodos. Situación que merece mayor atención especialmente en lo que se refiere a la

búsqueda de las posibles “preferencias” de hábitat para el desove de anchoveta, si es que existen, las que no son explicadas por la temperatura, latitud o longitud.

En términos de la modelación espacial de la producción de huevos, para el caso de la anchoveta en la zona centro sur en todos los años y sectores los mejores modelos fueron aquellos que consideraron la temperatura y la profundidad de fondo.

De acuerdo con Cubillos *et al.* (2007), los atributos de la fracción adulta desovante así como los patrones de distribución del desove son diferentes entre la zona centro ($34^{\circ}20'S-37^{\circ}10'S$) y la zona sur ($37^{\circ}20'S-40^{\circ}S$). En este contexto, la evaluación del stock desovante por el MPDH debe ser estratificada geográficamente y posteriormente sumada para producir la biomasa total, asimismo la varianza total es la suma de las varianzas regionales.

INDICE

1. OBJETIVOS	1
2. METODOLOGÍA	2
2.1 Objetivo 1: Determinar y evaluar el diseño de muestreo espacial de la producción de huevos total realizada para los recursos anchoveta y sardina común en sus respectivas unidades de pesquería.	2
2.1.1 Cruceros de huevos disponibles:	2
2.1.2 Número mínimo de estaciones.	7
2.1.2.1 Densidad media	7
2.1.2.2 Análisis geoestadístico convencional	8
2.1.2.3 Análisis geoestadístico paramétrico	11
2.1.2.4 Simulaciones de agregaciones de huevos y evaluación del diseño de muestreo	13
2.2 Objetivo 2: Establecer y evaluar modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el procedimiento de asignación de edad en términos probabilísticas.	14
2.2.1 Experimentos de desarrollo de huevos a temperatura regulada.	14
2.2.2 Asignación de edad en términos probabilísticos.	18
2.2.3 Simulación de modelos probabilísticos de asignación de la edad a los huevos	19
2.2.4 Re-estimación de P_0.	20
2.3 Objetivo específico 3: Establecer criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos postovulatorios y el procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes.	24
2.3.1 Establecimiento de Criterios de definición estadios de Folículos postovulatorios (FPO):	24
2.3.2 Re-análisis de placas histológicas:	30
2.4 Objetivo específico 4: Establecer modelos o procedimientos para evaluar la distribución espacial del stock desovante, incluyendo la producción diaria de huevos y la fecundidad específica diaria.	37
2.5 Objetivo 5: Determinar criterios y formulación de modelos de las observaciones para incluir la evaluación del stock desovante por el método de la producción diaria de huevos en modelos de evaluación de stock integrados.	43
2.6 Análisis no comprometidos en Oferta Técnica	46
2.6.1 Fecundidad parcial	47
2.6.2 Variabilidad espacial de los adultos	47
3. RESULTADOS	48
3.1 Objetivo 1: Determinar y evaluar el diseño de muestreo espacial de la producción de huevos total realizada para los recursos anchoveta y sardina común en sus respectivas unidades de pesquería.	48
3.1.1 Número mínimo de estaciones.	48
3.1.2 Análisis geoestadístico convencional	50
3.1.3 Análisis geoestadístico paramétrico	66
3.2 Objetivo 2: Establecer y evaluar modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el procedimiento de asignación de edad en términos probabilísticas.	80
3.2.1 Experimentos de desarrollo de huevos a temperatura regulada	80
3.2.2 Asignación de edad a través de Modelos GAM	88
3.2.3 Asignación de edad por Modelo Multinomial	91
3.2.4. Simulación del desarrollo estadio-temperatura dependiente	92

3.2.5 Re-estimación de Po.	100
3.3 Objetivo específico 3: Establecer criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos postovulatorios y el procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes.	111
3.3.1 Establecimiento de Criterios de definición estadios de FPO:.....	111
3.3.2 Re-análisis de placas histológicas:.....	134
3.4 Objetivo específico 4: Establecer modelos o procedimientos para evaluar la distribución espacial del stock desovante, incluyendo la producción diaria de huevos y la fecundidad específica diaria.	141
Zona Norte	141
Zona Centro Sur	146
3.5 Objetivo 5: Determinar criterios y formulación de modelos de las observaciones para incluir la evaluación del stock desovante por el método de la producción diaria de huevos en modelos de evaluación de stock integrados.	161
3.6 Análisis no comprometidos en Oferta Técnica	164
3.6.1 Fecundidad parcial.....	164
3.6.2 Distribución de adultos Zona Norte.....	167
4. DISCUSION	170
4.1 Objetivo 1: Determinar y evaluar el diseño de muestreo espacial de la producción de huevos total realizada para los recursos anchoveta y sardina común en sus respectivas unidades de pesquería.	170
4.2 Objetivo 2: Establecer y evaluar modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el procedimiento de asignación de edad en términos probabilísticas.	176
Re-estimación de la Producción diaria de huevos	180
Estimación de la biomasa desovante.....	183
4.3 Objetivo 3: Establecer criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos post-ovulatorios y el procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes.....	187
4.4 Objetivo 4: Establecer modelos o procedimientos para evaluar la distribución espacial del stock desovante, incluyendo la producción diaria de huevos y la fecundidad específica diaria.....	191
4.5 Objetivo 5: Determinar criterios y formulación de modelos de las observaciones para incluir la evaluación del stock desovante por el método de la producción diaria de huevos en modelos de evaluación de stock integrados.	195
4.6 Análisis no comprometidos en Oferta Técnica	196
5. RECOMENDACIONES	198
6. REFERENCIAS	203
ANEXO: TALLER DE DIFUSION.....	212

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de las principales estructuras de un Folículo Post- Ovulatorio (FPO) de sardina común (aumento 40 x).....	27
Figura 2: Estadios de degeneración de los FPO de sardina común (40 X).....	29
Figura 3: Distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta en la zona norte de Chile (de izquierda a derecha: 1996, 2000, 2002 y 2005).....	51
Figura 4: Distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta zona norte para los años 1996, 2000, 2002 y 2005.	51
Figura 5: Modelo exponencial ajustado al variograma experimental para la densidad total (huevos por 0.05 m ²) de huevos de anchoveta en la zona norte de Chile, cruceros 1996, 2000, 2002 y 2005.....	52
Figura 6: Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en la estructura espacial de la densidad de huevos de anchoveta, zona norte de Chile.	53
Figura 7: Mapas del área de estudio del norte de Chile para los años 1996, 2000, 2002 y 2005, indicando las estaciones planctónicas y la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta (huevos por 0.05 m ²) reproducida espacialmente por el kriging en el proceso estocástico para el área de estudio.	55
Figura 8: Distribución espacial y distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta en la zona centro sur de Chile (de izquierda a derecha: 2002, 2003, 2004 y 2005).	56
Figura 9: Distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta zona centro sur para los años 2002, 2003, 2004 y 2005.	57
Figura 10: Modelo exponencial (crucero 2002 y 2003) y modelo gaussiano (crucero 2004 y 2005) ajustados a los variograma experimentales de la densidad total (huevos por 0.05 m ²) de huevos de anchoveta en la zona centro-sur de Chile.	58
Figura 11: Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en la estructura espacial de la densidad de huevos de anchoveta, zona centro-sur de Chile.	59
Figura 12: Mapas del área de estudio centro sur de Chile para los años 2002, 2003, 2004 y 2005, indicando las estaciones planctónicas la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta (huevos por 0.05 m ²) reproducida espacialmente por el kriging en el proceso estocástico para el estudio.	61
Figura 13: Distribución espacial de la densidad de huevos de sardina común en la zona centro sur y sur de Chile (de izquierda a derecha: 2002 y 2005).	62
Figura 14: Distribución de frecuencia de la densidad de huevos de sardina zona centro sur y sur para los años 2002 y 2005.	63
Figura 15: Modelo exponencial (crucero 2002) y modelo esférico (crucero 2005) ajustados al variograma experimental para la densidad total (huevos por 0.05 m ²) de huevos de sardina común en la zona sur de Chile.....	63
Figura 16: Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en sardina común en la zona sur de Chile año 2005.	64
Figura 17: Mapas del área de estudio de la zona centro sur de Chile para los años 2002 y 2005, indicando las estaciones planctónicas y la distribución espacial de la densidad de huevos de sardina común (huevos por 0.05 m ²) reproducida espacialmente por el kriging en el proceso estocástico para el estudio.....	65
Figura 18: Resumen de la densidad espacial de huevos de anchoveta en la zona norte, crucero 2002.	66
Figura 19: Función de log-verosimilitud en función de los valores del parámetro de transformación Box-Cox utilizados para transformar la densidad de huevos de anchoveta colectados durante el crucero 2002, zona norte de Chile. .	67
Figura 20: Distribución de frecuencia de los valores originales y log-transformados de la densidad de huevos de anchoveta de la zona norte de Chile, año 2002.	67
Figura 21: Variograma empírico y ajuste máximo verosímil de la estructura espacial de huevos de anchoveta zona norte. La distancia está en kilómetros.	68
Figura 22: Simulación de la densidad de huevos de anchoveta en la zona norte de Chile, en el panel izquierdo se ilustra la simulación de un campo gaussiano saturado y en el panel de la derecha el campo gaussiano condicionado a la probabilidad de valores nulos.	70
Figura 23: Distribución de frecuencia de la media aritmética de la densidad de huevos real simulada para el área de estudio, y la distribución de frecuencia de la densidad media de huevos obtenida de 100 cruceros simulados con un diseño de muestreo sistemático, para anchoveta de la zona norte.	71
Figura 24: Distribución de frecuencia del sesgo en la estimación de la densidad media de huevos de anchoveta en la zona norte, considerando un muestreo sistemático similar al aplicado actualmente. (A) Medias sintransformar. (B) Medias transformadas a logaritmo.....	72
Figura 25: Resumen de la densidad espacial de huevos de anchoveta en la zona centro-sur, crucero 2002.	74

Figura 26: Función de log-verosimilitud en función de los valores del parámetro de transformación Box-Cox utilizados para transformar la densidad de huevos de anchoveta colectados durante el crucero 2002, zona centro-sur de Chile.....	74
Figura 27: Distribución de frecuencia de los valores originales y log-transformados de la densidad de huevos de anchoveta de la zona centro sur, año 2002.....	75
Figura 28: Variograma empírico y ajuste máximo verosímil de la estructura espacial de huevos de anchoveta de la zona centro sur. La distancia está en kilómetros.	76
Figura 29: Distribución de frecuencia de la media aritmética de la densidad de huevos real simulada para el área de estudio para el caso de la anchoveta en la zona centro-sur, y la distribución de frecuencia de la densidad media de huevos obtenida de 100 cruceros simulados con un diseño de muestreo sistemático similar al del 2005.	78
Figura 30: Distribución de frecuencia del sesgo en la estimación de la densidad media de huevos de anchoveta en la zona centro-sur, considerando un muestreo sistemático similar al aplicado actualmente. (A) Medias sin transformar. (B) Medias transformadas a logaritmo.	79
Figura 31: Duración del estadio en función de la temperatura para los dos experimentos realizados en la zona norte: Soto (2001) y en este estudio en el 2006.....	84
Figura 32: Ajuste del modelo de Lo (1985) en función del estadio y la temperatura para anchoveta zona norte. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (12°, 14°, 16°, 18° y 20 °C de arriba hacia abajo respectivamente).	87
Figura 33: Ajuste del modelo de Lo (1985) en función del estadio y la temperatura para anchoveta zona Centro Sur. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (10°, 12°, 14° y 16 °C de arriba hacia abajo respectivamente).	87
Figura 34: Valores estimados según la ecuación combinada para estadio y temperatura para la zona norte y centro sur. Se entrega además los valores estimados según la ecuación dada para <i>Engraulis mordax</i> (Lo, 1985).....	88
Figura 35: Ajuste del modelo GAM a la edad de los huevos de anchoveta en la zona norte en función de la temperatura y estadio. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (12°, 14°, 16°, 18° y 20 °C de arriba hacia abajo respectivamente).	90
Figura 36: Ajuste del modelo GAM a la edad de los huevos de anchoveta en la zona Centro Sur en función de la temperatura y estadio. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (10°, 12°, 14° y 16 °C de arriba hacia abajo respectivamente).	90
Figura 37: Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación.....	91
Figura 38: Ajuste del modelo multinomial a los datos simulados de anchoveta para cuatro temperaturas (10, 12, 14 y 16 °C). Los números sobre cada curva representan al estadio de desarrollo, mientras que las letras a y b representan al estadio X y XI, respectivamente. Zona centro-sur de Chile.....	94
Figura 39: Resultados del ajuste del modelo de Lo a los datos de experimentos de incubación de huevos de sardina común (datos generados en el FIP 97-04).....	96
Figura 40: Ajuste del modelo de Lo (paramétrico) y generalizado (GAM) a los datos simulados de sardina común para los niveles de temperatura utilizados en los experimentos de incubación. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (10°, 12°, 14° y 16 °C de arriba hacia abajo respectivamente).	98
Figura 41: Ajuste del modelo multinomial a los datos simulados de sardina común para seis temperaturas (10, 11.5, 13, 15, 16 y 17 °C). Los números sobre cada curva representan al estadio de desarrollo, mientras que las letras a y b representan al estadio X y XI, respectivamente. Zona centro-sur de Chile.....	99
Figura 42: Distribución de frecuencia (N°) de huevos de anchoveta en el estadio I de desarrollo (Recientemente desovados y fertilizados) según hora de colecta para el total de cruceros realizados en zona norte.	100
Figura 43: Estimaciones de Producción diaria de huevos (N°/0,05 m ² /día), ponderado por el área para anchoveta de la zona norte, en base a las cuatro metodologías aplicadas.....	101
Figura 44: Distribución temporal de los lances de anchoveta efectuados del 2004 a 2006 en la zona norte y centro sur.	113
Figura 45: Distribución temporal del porcentaje de hembras muestreadas de anchoveta para el 2004 al 2006 en la zona norte y centro sur.	114
Figura 46: Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona norte de Chile. Líneas discontinuas representan el pico de desove (23:00 h). Línea representa un promedio móvil.	116
Figura 47: Distribución temporal de los estadios madurez microscópico y foliculo postovulatorio de la zona centro-sur de Chile. Información acumulada 2004-2005.	118
Figura 48: Folículos post ovulatorios en estadio II (40x).....	125
Figura 49: Folículos post ovulatorios en estadio III (40x).....	125

Figura 50: Folículos post-ovulatorios en estadio IV (40x)	126
Figura 51: Folículos post ovulatorios en estadio V (40x).....	126
Figura 52: Folículos post ovulatorios en estadio VI (40x)	127
Figura 53: Folículos post ovulatorios en estadio VII (40x).....	127
Figura 54: Relación entre el área (Izquierda) y el promedio del área (Derecha) del folículo post-ovulatorio en función y su estadio degenerativo en sardina común.	128
Figura 55: Distribución de frecuencia (Nº) de folículos post ovulatorios de día 1 y día 2 en función de la hora de captura para sardina en la zona centro sur para los años 2002 (A), 2003 (B), 2004 (C) y 2005 (D).....	129
Figura 56: Distribución de frecuencia (%) estado degenerativo de Folículos Postovulatorios (FPO) para el año 2002(A), 2003(B), 2004(C) y 2005(D) en función de la hora de captura, en sardina zona centro sur.	130
Figura 57: Distribución de frecuencia (%) de Folículos Post ovulatorios de día 1, día 2 y de folículos viejos (mas de 48 horas) para el año 2002(A), 2003(B), 2004(C) y 2005(D) en función de la hora de captura, en sardina zona centro sur.	131
Figura 58: Grafico de barras de estimaciones de fracción desovante y frecuencia de desove efectuados en las estimaciones anteriores(A) y con el método nuevo (B) , en sardina zona centro sur.....	133
Figura 59: FPO de <i>Engraulis ringens</i> de 14 horas Posdesove. A) 40X Forma estrellada típica, B) 100X lumen con gránulos eosinofilos (flecha negra).C) 100X Detalle organización celular de la envoltura folicular con núcleo normal (flecha amarilla) y núcleo picnotico (circulo rojo). D) 100X Límites celulares de la envoltura folicular aun fácilmente reconocibles (flechas rojas) con vacuolas citoplasmáticas próximas al núcleo.....	137
Figura 60: FPO de 25 horas Posdesove de <i>Engraulis ringens</i> . A) y B) 40X Forma característica con disminución del lumen y disociación folículo tecal evidente, con células sanguíneas incorporándose al espacio folículo-tecal (circulo). C) 100X Vacuolas citoplasmáticas de gran volumen, limite celular difuso y citoplasma granular. D) 100X Células foliculares normales que mantienen estructura ordenada pero con límites celulares difusos.....	138
Figura 61: FPO de 36 horas Posdesove de <i>Engraulis ringens</i> . A) 40 x y B) 100X; distintos grados de invasión capilar al espacio folículo tecal (flechas).C) 100X vacuolización de la envoltura folicular de manera extensa D)100X Colapso de la envoltura folicular por ruptura de vacuolas citoplasmáticas apreciándose como zonas granulares (círculos).	139
Figura 62: FPO de 42 horas Posdesove de <i>Engraulis ringens</i> . A) y B) 40X Distintos aspectos de la relación entre el FPO y el estroma ovárico que manifiesta la reducción de tamaño, C) y D) 100X. Flechas rojas indican capilar sanguíneo.	140
Figura 63: Análisis del cociente para los años 1992, 1995, 1996 y 1997 en anchoveta del norte de Chile. Barras se refieren a la variable independiente (Lat, Long o Temperatura, de izquierda a derecha). Línea roja continua es la frecuencia de estaciones con huevos. Línea roja segmentada es el intervalo de confianza. Línea negra segmentada indica el umbral sobre el cual habría una asociación significativa entre huevos y la variable ambiental	144
Figura 64: Densidad de huevos de anchoveta en la zona norte (Nº/m ²) estimadas por modelo GAM en función de Latitud, Longitud y Temperatura para los años 1992, 1995 y 2002 (izquierda a derecha). Circulos rojos son estaciones positivas.	146
Figura 65: Distribución de la temperatura superficial del mar por estrato geográfico. La leyenda de los valores es diferente entre años.	147
Figura 66: Distribución de la profundidad de fondo por estrato geográfico. La leyenda de los valores es diferente entre años.	148
Figura 67: Densidad de huevos de anchoveta en la zona centro (arriba) y sur (abajo) del año 2002, según los modelos GAM en función de la latitud-longitud, latitud-longitud y temperatura, latitud-longitud y profundidad de fondo, y en función de todas las variables (de izquierda a derecha). La escala corresponde al logaritmo de la densidad de huevos, y se grafica la densidad observada en términos proporcionales para evaluar visualmente el desempeño de cada modelo en el área de desove (positiva).	150
Figura 68: Densidad de huevos de anchoveta en la zona centro (arriba) y sur (abajo) del año 2004, según los modelos GAM.	151
Figura 69: Densidad de huevos de anchoveta en la zona centro (arriba) y sur (abajo) del año 2005, según los modelos GAM.	152
Figura 70: Densidad de huevos de sardina común en la zona centro (arriba) y sur (medio) del año 2002, y sur del año 2005 (abajo) según los modelos GAM en función de la latitud-longitud, latitud-longitud y temperatura, latitud-longitud y profundidad de fondo, y en función de todas las variables (de izquierda a derecha). La escala corresponde al logaritmo de la densidad de huevos, y se grafica la densidad observada en términos proporcionales para evaluar visualmente el desempeño de cada modelo en el área de desove (positiva).	154

Figura 71: Distribución espacial de la producción diaria de huevos de anchoveta (huevos/m ² /día) según Modelos GAM seleccionados. La escala se refiere al logaritmo de la producción diaria de huevos y es diferente para cada año.	157
Figura 72: Distribución espacial de la producción diaria de huevos de sardina común (huevos/m ² /día) según Modelos GAM seleccionados. La escala se refiere al logaritmo de la producción diaria de huevos y es diferente para cada año.	160
Figura 73: Biomasa de desovante de anchoveta estimada por ASP (líneas) y biomasa desovante por MPDH (círculos = Método de Lo; cuadrados = Multinomial) en la zona centro sur	163
Figura 74: Biomasa de desovante de sardina común estimada por ASP (líneas) y biomasa desovante por MPDH (círculos = Método de Lo; cuadrados = Multinomial).	163
Figura 75: Valores observados y líneas ajustadas a los datos de fecundidad parcial en función del peso corporal para anchoveta en la zona norte	165
Figura 76: Número de ovocitos por gramo de ovario en función del peso corporal para el total de hembras analizadas de anchoveta en la zona norte.	166
Figura 77: Gráfico de componentes de la varianza al número de ovocitos por gramo de ovario en anchoveta de la zona norte.	167
Figura 78: Distribución de los lances de pesca efectuados del año 2000 al 2006 en la zona norte	168
Figura 79: Promedio de los lances efectuados en cada año (2000 al 2006) en función de la Latitud (°S) y Longitud (°W) para Longitud Total (Primer fila) y Peso Corporal (Descontado el peso del ovario).	169
Figura 80: Tiempo a la eclosión para distintos estudios llevados a cabo en anchoveta (Valores tomados de Tarifeño <i>et al.</i> En prensa), excepto este estudio.	177
Figura 81: Biomazas estimadas por dos modelos de estimación de la producción diaria de huevos (Líneas) y el área de desove (Barras) estimada en cada año de aplicación para anchoveta de la zona norte	184
Figura 82: Fecundidad específica diaria en cada año de aplicación en anchoveta de la zona norte.	184
Figura 83: Esquema de la duración de los FPO de distintas especies de clupeiformes en función de la temperatura (Fitzhugh & Hettler, 1995; Hunter, & Macewicz. 1985)	190

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen de los cruceros de huevos realizados en la zona norte de Chile, para anchoveta.	4
Tabla 2: Resumen del crucero de huevos 2002 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.	5
Tabla 3: Resumen del crucero de huevos 2003 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.	5
Tabla 4: Resumen del crucero de huevos 2004 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.	6
Tabla 5: Resumen del crucero de huevos 2005 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.	6
Tabla 6: Descripción de los estadios de desarrollo de los huevos de <i>Engraulis ringens</i> .	16
Tabla 7: Nuevos criterios para la identificación de Folículos Postovulatorios (FPO) (Alday <i>et al.</i> , 2006).	25
Tabla 8: Características de los estadios morfohistológicos de los folículos postovulatorios (FPO) de <i>Engraulis encrasicolus</i> (ICES, 2005; Alday <i>et al.</i> , 2006).	32
Tabla 9: Tamaño mínimo de muestras para anchoveta zona norte (I y II regiones). <i>Est. Real</i> = Estaciones realizadas en el año; X = densidad media (Nº/0,05 m ²); S = Desviación estandar de la densidad media; K = Parámetro de la distribución binomial negativa; N_0 = Tamaño mínimo estimado.	49
Tabla 10: Tamaño mínimo de muestras para anchoveta zona centro sur (V a X regiones). <i>Est. Real</i> = Estaciones realizadas en el año; X = densidad media (Nº/0,05 m ²); S = Desviación estandar de la densidad media; K = Parámetro de la distribución binomial negativa; N_0 = Tamaño mínimo estimado.	49
Tabla 11: Tamaño mínimo de muestras para sardina común zona centro sur (V a X regiones). <i>Est. Real</i> = Estaciones realizadas en el año; X = densidad media (Nº/0,05 m ²); S = Desviación estandar de la densidad media; K = Parámetro de la distribución binomial negativa; N_0 = Tamaño mínimo estimado.	49
Tabla 12: Número total de muestras, muestras positivas, y densidad media de huevos de anchoveta en la zona norte de Chile. El coeficiente de variación (%) se muestra entre paréntesis.	50

Tabla 13: Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos usados durante el kriging para anchoveta zona norte.....	54
Tabla 14: Número total de muestras, muestras positivas, y densidad media de huevos de Anchoveta en la zona centro-sur de Chile. El coeficiente de variación (%) se muestra entre paréntesis.	56
Tabla 15: Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos usados durante el kriging para anchoveta zona centro sur.	60
Tabla 16: Número total de muestras, muestras positivas, y densidad media de huevos de Sardina común. El coeficiente de variación (%) se muestra entre paréntesis.	62
Tabla 17: Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos usados durante el kriging para sardina común zona centro sur.....	64
Tabla 18: Resumen de la estimación de los parámetros de la densidad media y estructura espacial basada en la función de verosimilitud.	69
Tabla 19: Estadígrafos obtenidos de 100 simulaciones de densidad de huevos de anchoveta y el desempeño de un diseño de muestreo sistemático de 47 transectas separadas por 18 km y 21 estaciones separadas cada 9 km a lo largo de cada transecta.	70
Tabla 20: Resumen de la estimación de los parámetros de la densidad media y estructura espacial basada en la función de verosimilitud para la densidad de huevos de anchoveta, zona centro-sur (crucero 2002).	77
Tabla 21: Estadígrafos obtenidos de 100 simulaciones de densidad de huevos de anchoveta y el desempeño de un diseño de muestreo sistemático de 42 transectas separadas por 14 km y 8 estaciones separadas cada 7 km a lo largo de cada transecta.	78
Tabla 22: Edades medias para cada estadio y temperatura como resultados del experimento de incubación realizado en la zona norte durante el año 2006. Stage: Estadio; Temp: Temperatura de incubación; N: Número total de huevos utilizados para estimar la edad media; Mage: Edad media; Sdage: Desviación estándar de la edad; Minage: Edad mínima; Maxage: Edad máxima.	81
Tabla 23: Edades medias para cada estadio y temperatura como resultados del experimento de incubación realizado en la zona norte durante el año 2001 (Soto, 2001). Stage: Estadio; Temp: Temperatura de incubación; N: Número total de huevos utilizados para estimar la edad media; Mage: Edad media; Sdage: Desviación estándar de la edad; Minage: Edad mínima; Maxage: Edad máxima.	82
Tabla 24: Edades medias para cada estadio y temperatura como resultados del experimento de incubación realizado en la zona Centro Sur durante el año 2006. Stage: Estadio; Temp: Temperatura de incubación; N: Número total de huevos utilizados para estimar la edad media; Mage: Edad media; Sdage: Desviación estándar de la edad; Minage: Edad mínima; Maxage: Edad máxima.	83
Tabla 25: Parámetros de las ecuaciones de edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo, para el experimento de incubación de huevos de anchoveta en la zona norte, 2006.	85
Tabla 26: Parámetros de las ecuaciones de edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo, para el experimento de incubación de huevos de anchoveta en la zona norte, Soto (2001).....	85
Tabla 27: Parámetros de las ecuaciones de edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo, para el experimento de incubación de huevos de anchoveta en la zona Centro Sur.	85
Tabla 28: Parámetros de las ecuaciones linealizadas de la edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo para los datos de la zona norte (Soto, 2001) y Centro Sur. $t_{calc} = t$ calculado para la comparación de diferencias significativas entre los parámetros.....	86
Tabla 29: Parámetros de la ecuación combinada para estadio y temperatura ajustada a los datos de anchoveta de la zona norte (Soto, 2001) y zona centro sur (E.S.= Error estándar; MSE= Error estándar residual).	86
Tabla 30: Resultados del ajuste de un modelo GAM a los datos de incubación de huevos de anchoveta zona norte.	89
Tabla 31: Resultados del ajuste de un modelo GAM a los datos de incubación de huevos de anchoveta zona Centro Sur.	89
Tabla 32: Resultados del ajuste del modelo probabilístico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.	92
Tabla 33: Resultados del ajuste de producción diaria de huevos en función de la edad de los huevos para tres metodologías (Rutinas <i>eggs</i> y <i>eggsplore</i> en plataforma R). <i>Intercept</i> corresponde al estimado del logaritmo de P_0 (N° huevos/ m^2 /día). <i>Age</i> corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (Z , en horas). <i>Std. Error</i> en el caso de P_0 corresponde al coeficiente de variación de P_0 y para Z es el error estándar. n es el número de observaciones. $Pr(> z)$ es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). <i>AIC</i> es el criterio de información de Akaike.....	102
Tabla 34: Estimaciones de Producción diaria de huevos (P_0) ponderados por la proporción del área de desove respecto del total (Ecuación 14).	103

Tabla 35: Estimaciones de la producción diaria de huevos de anchoveta según tres métodos de datación: Procedimiento automatizado de Lo con el modelo paramétrico (Po.Lo), con el modelo generalizado GAM (Po.Gen), y con el modelo multinomial (Po.Multi). <i>Age</i> corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (<i>Z</i> , en horas). <i>Std. Error</i> en el caso de Po corresponde al coeficiente de variación de Po y para <i>Z</i> es el error estándar. <i>n</i> es el número de observaciones. $Pr(> z)$ es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). <i>AIC</i> es el criterio de información de Akaike.	105
Tabla 36: Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m2/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de anchoveta en cada estrato geográfico de los años 2002, 2004 y 2005.	106
Tabla 37: Estimaciones de la producción diaria de huevos de sardina común según tres métodos de datación: Procedimiento automatizado de Lo con el modelo paramétrico (Po.Lo), con el modelo generalizado GAM (Po.Gen), y con el modelo multinomial (Po.Multi). <i>Age</i> corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (<i>Z</i> , en horas). <i>Std. Error</i> en el caso de Po corresponde al coeficiente de variación de Po y para <i>Z</i> es el error estándar. <i>n</i> es el número de observaciones. $Pr(> z)$ es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). <i>AIC</i> es el criterio de información de Akaike.	107
Tabla 38: Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m2/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de sardina común en cada estrato geográfico de los años 2002, 2004 y 2005.	108
Tabla 39: Estimaciones del área positiva de desove de anchoveta y sardina común con ‘geofun’, comparadas con las estimaciones ad hoc previas.	109
Tabla 40: Resumen de los parámetros reproductivos de anchoveta y sardina común obtenidos por estrato geográfico en el área centro-sur; S = fracción diaria de hembras desovantes, W = peso promedio de hembras maduras (g), R = proporción sexual en peso, F = fecundidad parcial (huevos por hembra), F/W = fecundidad relativa, DSF = fecundidad específica diaria, n = número de lances, m = número total de hembras; CV = coeficiente de variación.	110
Tabla 41: Clasificación histológica de los folículos postovulatorios de anchoveta según grado de degeneración.....	111
Tabla 42: Resumen por hora de las hembras de anchoveta analizadas en la zona norte. Información acumulada desde 2004 a 2006.....	112
Tabla 43: Resumen por hora de las hembras de anchoveta analizadas en la zona centro-sur. Información acumulada desde 2004 a 2005.....	113
Tabla 44: Resumen temporal de las hembras con folículos postovulatorio (estadios) de la zona norte. Información acumulada desde 2004 a 2006.	115
Tabla 45: Resumen temporal de las hembras con folículos postovulatorio (estadios) de la zona centro-sur. Información acumulada desde 2004 a 2005.	117
Tabla 46: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona norte de Chile (Desove: N° de desoves estimados en el mes).	119
Tabla 47: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona centro-sur de Chile (Desove: N° de desoves estimados en el mes).	119
Tabla 48: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona norte de Chile....	120
Tabla 49: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona centro-sur de Chile.	120
Tabla 50: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona norte de Chile....	121
Tabla 51: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona centro-sur de Chile.	121
Tabla 52: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona norte de Chile....	122
Tabla 53: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de <i>Engraulis ringens</i> de la zona centro-sur de Chile.	122
Tabla 54: Resumen de la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes a partir de la aplicación de la escala definida por Hunter y Goldberg (1980) y por ICES (2005) y Alday <i>et al.</i> (2006) en <i>Engraulis ringens</i> de la zona norte de Chile.....	122
Tabla 55: Resumen de la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes a partir de la aplicación de la escala definida por Hunter y Goldberg (1980) y por ICES (2005) y Alday <i>et al.</i> (2006) en <i>Engraulis ringens</i> de la zona centro-sur de Chile.	123
Tabla 56: Caracterización del estadio degenerativo de los Folículos post ovulatorios (FPO), modificada para hembras de sardina común.	124

Tabla 57: Numero total de placas histológicas analizadas durante este estudio (2006-38) y durante las estimaciones anteriores (Proyecto).....	128
Tabla 58: Resultados de los análisis de regresión mensual entre las estimaciones de fracción desovante con FPO de día 1 y día 2, para las estimaciones anteriores(A) y con el método nuevo(B). $t_{Calc.}$ para $H_0: FPO_1 = FPO_2$	133
Tabla 59: Comparación de la producción diaria de huevos (huevos/día, $\times 10^{11}$) y tasa diaria de mortalidad total (día^{-1}) de anchoveta Zona Norte según los diferentes métodos utilizados.....	143
Tabla 60: Resumen de los modelos GAM para la temperatura superficial del mar en el espacio.....	147
Tabla 61: Resumen de los modelos GAM para la profundidad de fondo en el espacio.....	147
Tabla 62: Resumen de los modelos GAM aplicados para la densidad de huevos de anchoveta ($\text{huevos}\cdot\text{m}^2$) en función de la latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.....	149
Tabla 63: Resumen de los modelos GAM aplicados para la densidad de huevos de sardina común ($\text{huevos}\cdot\text{m}^2$) en función de la latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.....	153
Tabla 64: Resumen de los modelos GAM aplicados para a la producción diaria de huevos de anchoveta ($\text{huevos}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$) en función de la edad (covariable continua), latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.....	155
Tabla 65: Resumen de los modelos seleccionados que explican la producción diaria de huevos de anchoveta, el coeficiente asociado a la edad (Age) representa la tasa de mortalidad total (horas^{-1}). $\text{Pr}(> z)$: Probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). GCV: Validación general cruzada (General Cross Validation).....	156
Tabla 66: Comparación de la producción diaria de huevos (huevos/día, $\times 10^{11}$) y tasa diaria de mortalidad total (día^{-1}) de anchoveta zona centro sur según los diferentes métodos utilizados.....	158
Tabla 67: Resumen de los modelos GAM aplicados para a la producción diaria de huevos de sardina común ($\text{huevos}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$) en función de la edad (covariable continua), latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.....	158
Tabla 68: Resumen de los modelos seleccionados que explican la producción diaria de huevos de anchoveta, el coeficiente asociado a la edad (Age) representa la tasa de mortalidad total (horas^{-1}).....	159
Tabla 69: Comparación de la producción diaria de huevos (huevos/día, $\times 10^{11}$) y tasa diaria de mortalidad total (día^{-1}) de sardina común según los diferentes métodos utilizados.....	160
Tabla 70: Resultados de las ecuaciones de regresión lineales ajustadas a los datos de fecundidad parcial en función del peso corporal para anchoveta en la zona norte.....	166
Tabla 71: Número de hembras por lance utilizadas para las estimaciones de fecundidad parcial en anchoveta de la zona norte.....	167
Tabla 72: Comparación de la biomasa desovante de anchoveta y sardina común según dos métodos de datación para estimar la Producción diaria de huevos.....	186
Tabla 73: Evaluación acústica de la biomasa de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile (1999-2006). Los valores se refieren a la estimación con geoestadística, indicándose el coeficiente de variación (CV).....	186
Tabla 74: Duración de los FPO (horas desde el desove) en relación a la temperatura (Fitzhugh & Hettler, 1995).	190
Tabla 75: Resumen descriptivo del formato de la base de datos de Huevos, utilizado en el MPDH, incorporado en el proyecto EU en GAM y recomendado para estandarizar el uso de la aplicaciones del MPDH (requerimientos mínimos).....	201
Tabla 76: Resumen descriptivo del formato de la base de datos de adultos utilizado en el MPDH, incorporado en el proyecto EU en GAM y recomendado para estandarizar el uso de la aplicaciones del MPDH (requerimientos mínimos).....	202

1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar y evaluar procedimientos y mejoras metodológicas del método de producción diaria de huevos en la evaluación del stock desovante de peces pelágicos pequeños en Chile.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Objetivo 1: Determinar y evaluar el diseño de muestreo espacial de la producción de huevos total realizada para los recursos anchoveta y sardina común en sus respectivas unidades de pesquería.

Objetivo 2: Establecer y evaluar modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el procedimiento de asignación de edad en términos probabilísticas.

Objetivo 3: Establecer criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos post-ovulatorios y el procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes.

Objetivo 4: Establecer modelos o procedimientos para evaluar la distribución espacial del stock desovante, incluyendo la producción diaria de huevos y la fecundidad específica diaria.

Objetivo 5: Determinar criterios y formulación de modelos de las observaciones para incluir la evaluación del stock desovante por el método de la producción diaria de huevos en modelos de evaluación de stock integrados.

2. METODOLOGÍA

A continuación se desarrollará la metodología seguida para cada uno de los objetivos específicos del proyecto.

2.1 Objetivo 1: Determinar y evaluar el diseño de muestreo espacial de la producción de huevos total realizada para los recursos anchoveta y sardina común en sus respectivas unidades de pesquería.

Se utilizan tres metodologías complementarias para evaluar el diseño muestral aplicado en las poblaciones bajo estudio, y particularmente para evaluar la producción diaria de huevos; a saber: 1) número mínimo de estaciones, considerando estimadores de la densidad media y varianza de huevos totales; 2) análisis geoestadístico convencional; y 3) simulaciones de la producción total de huevos y de muestreos sistemáticos, utilizando geoestadística paramétrica.

2.1.1 Cruceros de huevos disponibles:

Zona Norte

El diseño de muestreo utilizado ha permitido en los últimos años (2002 en adelante) cubrir un área de aproximadamente 30.000 mn² con una grilla de 649 estaciones distribuidas en 47 transectas perpendiculares a la costa, con una separación equidistante entre ellas de 10 mn, localizándose estaciones a 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55 y 60 mn. Cabe señalar que en el marco del proyecto FIP N° 2003-07 y en atención a lo expuesto en el taller de discusión de resultados, donde se señala que probablemente existirían algunas zonas donde la distribución de huevos de anchoveta se extendería más allá de las 60 mn, durante la ejecución del crucero módulo huevos y en el sector comprendido entre Punta Aña (22°00'S) y Caleta Ligate (20°30'S) y frente a Isla Alacrán (18°30'S) y Arica (18°25'S), se han prolongado las transectas hasta una distancia máxima de 80 mn.

En cada estación se obtuvo una muestra de ictioplancton mediante un muestreador CalVET (versión PAIROVET) de 0,05 m² de área de boca y 0,150 mm de abertura de malla (Smith *et al.*, 1985), el cual se remolco verticalmente desde una profundidad máxima de 70 m o desde 3 m sobre el fondo hasta la superficie en el caso de profundidades menores. El calado y virado se realizó a una velocidad nominal de 70 m/minuto, considerándose un tiempo de estabilización de 15 segundos, una vez alcanzada la profundidad máxima de muestreo. Durante la ejecución de cada lance de pesca se registró en planillas especialmente diseñadas, los siguientes datos básicos: número de estación, fecha, hora, posición, tipo de pesca, tipo de red, duración del lance (tiempo de arriado y virado), cantidad de cable arriado, lectura del clinómetro.

Zona Centro-Sur

La evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile comenzó el 2002, repitiéndose anualmente hasta el 2005. El diseño muestral de los cruceros de huevo que se han realizado, consiste básicamente en un muestreo sistemático o regular, en la cual se fija una grilla de estaciones fijas a lo largo de transectas perpendiculares a la costa (eje Este-Oeste) de longitud variable, ya que han cubierto el área delimitada por la isobata de 200 m.

En el 2002, el área de estudio cubrió entre Valparaíso (33°00'S) y el sur de Corral (40°00'S), en el que se contemplaron tres estratos geográficos; a saber: sector norte, sector central (incluyendo la Bahía de Concepción), y sector sur (Tabla 2). En este crucero, la distancia entre transectas fue de 5 millas náuticas (mn) y estaciones separadas cada 2 mn, excepto en el sector norte que se considero un área exploratoria con transectas separadas por 10 mn.

En el 2003, el crucero de huevos se extendió por casi tres meses, el diseño de muestreo consistió en estaciones separadas cada 2 mn hasta la isobata de 100 m y posteriormente cada 4 mn hasta la isobata de 200 m. La distancia entre transectas fue de 5 mn, excepto en el sector norte (Tabla 3).

Tabla 1: Resumen de los cruceros de huevos realizados en la zona norte de Chile, para anchoveta.

Cruceros	1992	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Fecha	16-08/03-09	8-08/27-08	29-06/16-08	25-08/27-09	18-08/4-09	11-08/04-09	07-08/31-08	23-08/25-09	22-08/23-09	28-08/5-10	27-08/10-10
Latitud	18°20'-23°05'	18°20'-25°00'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'	18°20'-26°03'
Longitud	70°05'-71°50'	70°06'-71°40'	70°06'-71°45'	70°05'-71°60'	70°05'-71°50'	70°09'-71°21'	70°06'-71°50'	70°07'-71°51'	70°06'-71°43'	70°05'-71°50'	70°05'-71°50'
T° promedio	16.25	15.64	15.28	18.26	15.84	15.72	15.56	15.94	15.84	16.29	15.55
Dist entre transectas	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Dist entre estaciones	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nº de transectas	34	41	59	59	53	60	46	47	46	47	47
Nº de estaciones	542	578	752	800	598	502	514	589	537	649	658
Nº de estaciones (+)	212	208	176	209	132	212	60	310	129	208	214
Densidad promedio (huevo/0.05m ²)	20	13	9	10	13	21	15	31	17.25139665	18.61171032	25.93617021
Total de huevos	10974	7555	6718	8054	7582	10473	7586	18305	9264	12079	17066
Area crucero (mn ²)	17055	18137	18353	19627	27374	19539	25921	30264.34356	26985.75	30151.8	30367.5
Area desove (mn ²)	10332	13314.9	10698	14660	7524.7	13058.8	4025.908597	18309	7597	9192.968666	12521

Tabla 2: Resumen del crucero de huevos 2002 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.

Crucero 2002		Sector Norte	Sector Central	B. Concepción	Sector Sur
Fecha		15-08/18-08	29-08/08-09	24-08/25-08	21-08/30-08
Latitud		33°00'S-35°15'S	35°19'S-37°09'S	36°36'S-36°42'S	37°30'S-40°00'S
Longitud		71°37'W-72°46'W	72°27'W-73°37'W	72°59'W-73°06'W	73°13'W-74°01'W
Temperatura promedio y rango		12,4 (11,8-13,3)	12,4 (10,0-13,8)	13,0 (12,5-13,2)	11,6 (7,0-13,1)
Distancia entre transectas (mn)		10	5	5	5
Distancia entre estaciones (mn)		2	2	2	2
N° de Transectas		17	23	4	31
N° de Estaciones		129	286	22	358
N° Estaciones Positivas	Sardina	2	22	3	84
	Anchoveta	8	78	4	103
Densidad promedio (huevos/0,05 m ²)	Sardina	2	9	1	12
	Anchoveta	0	4	0	10
Total huevos	Sardina	296	2595	31	4368
	Anchoveta	39	1238	4	3552
Desviación estándar	Sardina	19,83	89,44	4,45	86,65
	Anchoveta	1,91	18,80	0,39	38,94

Tabla 3: Resumen del crucero de huevos 2003 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.

Crucero 2003		Sector Norte	Sector Central	Sector Sur
Fecha		13-10/19-10	23-08/22-10	25-09/21-10
Latitud		33°10'S-34°50'S	35°00'S-37°05'S	38°00'S-41°20'S
Longitud		71°37'W-72°28'W	72°12'W-73°42'W	73°15'W-74°09'W
Temperatura promedio y rango		13,7 (11,5-15,7)	11,9 (10,8-13,6)	12,5 (11,0-13,8)
Distancia entre transectas (mn)		5	5	5
Distancia entre estaciones (mn)		2(<100m) 4(>100m)	2(<100m) 4(>100m)	2(<100m) 4(>100m)
N° de Transectas		8	29	34
N° de Estaciones		38	155	236
N° Estaciones Positivas	Sardina	0	23	45
	Anchoveta	2	77	107
Densidad promedio (huevos/0,05 m ²)	Sardina	0	1	1
	Anchoveta	0	35	23
Total huevos	Sardina	0	80	313
	Anchoveta	3	5367	5494
Desviación estándar	Sardina	0	2,09	4,45
	Anchoveta	0,36	97,69	68,61

En el 2004, el crucero de huevos en los sectores central y sur se desarrollaron sobre la base de estaciones cada 4 mn y transectas separadas cada 8 mn. El sector norte continuó siendo un área exploratoria, esta vez con transectas separadas cada 20 mn y estaciones cada 4 mn (Tabla 4). El 2005, las características del diseño de muestreo fueron similar a la del 2004 (Tabla 5).

Tabla 4: Resumen del cruceo de huevos 2004 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.

Crucero 2004		Sector Norte	Sector Central	Sector Sur
Fecha		24-09/26-09	21-08/13-09	
Latitud		33°00'S-34°00'S	34°30'S-37°10'S	38°00'S-41°30'S
Longitud		71°38'W-72°02'W	72°02'W-73°31'W	73°15'W-74°14'W
Temperatura promedio y rango		11,3 (10,7-11,6)	12,5 (9,0-14,5)	12,0 (11,0-13,0)
Distancia entre transectas (mn)		20	8	8
Distancia entre estaciones (mn)		4	4	4
N° de Transectas		4	21	28
N° de Estaciones		14	137	143
N° Estaciones Positivas:	Sardina	0	10	21
	Anchoveta	0	49	51
Densidad promedio (huevos/0,05 m ²)	Sardina	0	0	1
	Anchoveta	0	7	19
Total huevos	Sardina común	0	18	161
	Anchoveta	0	893	2713
Desviación estándar	Sardina	0	0,50	6,92
	Anchoveta	0	23,27	84,68

Tabla 5: Resumen del cruceo de huevos 2005 realizado en la zona centro-sur de Chile, para anchoveta y sardina común.

Crucero 2005		Sector Norte	Sector Central	Sector Sur
Fecha		21-09/22-09	30-08/15-09	21-08/31-08
Latitud		33°00'S-34°20'S	34°46'S-37°10'S	37°22'S-41°19'S
Longitud		71°37'W-72°10'W	72°07'W-73°37'W	73°15'W-74°07'W
Temperatura promedio y rango		13,4 (11,5-14,5)	12,3 (11,0-14,8)	11,7 (10,5-13,5)
Distancia entre transectas (mn)		20	8	8
Distancia entre estaciones (mn)		4	4	4
N° de Transectas		4	21	32
N° de Estaciones		18	130	140
N° Estaciones Positivas:	Sardina	0	4	36
	Anchoveta	7	39	63
Densidad promedio (huevos/0,05 m ²)	Sardina	0	0	8
	Anchoveta	3	14	35
Total huevos	Sardina	0	10	1093
	Anchoveta	55	1815	4856
Desviación estándar	Sardina	0	0,52	33,15
	Anchoveta	6,58	95,52	129,49

2.1.2 Número mínimo de estaciones.

2.1.2.1 Densidad media

El número de estaciones a realizar en el área de estudio se basa en el estudio de la densidad media de huevos por estación de los cruceros previos. De esta manera, conociendo un estimado *a priori* de la media y varianza de la densidad de huevos, la relación entre estaciones positivas y negativas y utilizando la metodología de determinación de tamaño de muestras para variables continuas (Thompson, 1992), se estima el número mínimo de estaciones positivas requerido.

De esta forma, se utiliza la relación:

$$n = \frac{Z^2 S^2}{D^2 \bar{X}^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde n es el tamaño de muestra, Z es el percentil de la distribución normal estándar, S es la desviación estándar de la densidad de huevos, D corresponde al error relativo y \bar{X} corresponde a la densidad media de huevos.

Para re-evaluar la metodología en la estimación del número mínimo de estaciones requeridas en un crucero para las especies y poblaciones bajo estudio en este proyecto (anchoveta norte y sur y sardina común), se estimó el número mínimo de estaciones positivas requeridas utilizando la metodología de determinación de tamaño de muestras para un modelo binomial negativo, que es más apropiado para distribuciones espaciales altamente contagiosas, como son los huevos en el mar (Elliot, 1977), entonces D es dado por:

$$D = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\bar{x}}{n} + \frac{\bar{x}^2}{nk}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde n es el tamaño de la muestra, D es el error relativo en términos del porcentaje del límite de confianza de la media, el valor del estadístico t será $t \approx 2$ para un 95% de nivel de probabilidad de D , S es la desviación estándar de la densidad de huevos y \bar{X} corresponde a la densidad media de huevos y K es el parámetro de la distribución binomial negativa. Quedando el tamaño de muestra expresado como:

$$n = \frac{t^2}{D^2} \left(\frac{1}{\bar{x}} + \frac{1}{k} \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

El parámetro k es estimado a través del método de máximo verosimilitud, por balanceo de la igualdad:

$$n \ln \left(1 + \frac{\bar{x}}{k} \right) = \sum \left(\frac{A_x}{k + x} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde n es el número total de unidades muestrales, y A_x es el número total de conteos que exceden x .

2.1.2.2 Análisis geoestadístico convencional

La estimación geoestadística convencional se basa en la correlación espacial entre los datos en lugar de evitarla, como en el caso de un muestreo aleatorio, y permite obtener resultados insesgados prácticamente desde cualquier tipo de diseño muestral (Conan 1985, Petitgas 1996). No obstante, se obtiene una mayor precisión al aplicar este tipo de análisis bajo estrategias de muestreo de tipo regular (Conan 1985), como es el caso de este estudio (diseño de muestreo). Las estimaciones locales de cada variable obtenidas durante el crucero son consideradas como una representación muestral del proceso aleatorio subyacente (i.e. campo de la densidad local).

El análisis geoestadístico convencional se aplicó para analizar la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común. En el caso de la anchoveta de la zona norte de Chile, se analizó los cruceros que tuvieran características de una situación de baja y alta abundancia. Específicamente, se analizó el crucero de 1996 que se caracterizó como una situación de baja abundancia, y el crucero 2000 ya que presentó una abundancia promedio menores a 20 huevos por estación. Una situación de mayor abundancia estuvo representada por el crucero 2002, y el crucero 2005 por presentar abundancia promedio por sobre 30 huevos por estación.

En la zona centro-sur, para el caso de la anchoveta el análisis geoestadístico convencional se aplicó a todos los cruceros (2002, 2003, 2004 y 2005). En el caso de la sardina común, se analizó el crucero 2002 que destaca por la mayor abundancia de sardina común y porque la grilla de estaciones es más densa (transectas cada 5 millas náuticas y estaciones separadas cada 2 millas

náuticas), mientras que el crucero 2005 de sardina común se analizó considerando el estrato geográfico sur del área de estudio. El crucero 2004 destaca por la baja abundancia de sardina común y porque el muestreo sistemático fue realizado sobre la base de una grilla de estaciones separadas cada 4 millas náuticas y transectas cada 8 millas náuticas.

En primer lugar, se realizó el análisis estructural que permite caracterizar el proceso sobre la base de las propiedades de los datos, modelando el cambio en su disimilitud en función de la distancia entre ellos. Posteriormente, este modelo de correlación espacial fue utilizado durante una interpolación por kriging puntual ordinario para asignar ponderadores óptimos a las mediciones de la variable densidad local, en cada lance. El procedimiento básico del kriging lineal consiste en la interpolación sobre el área no muestreada mediante combinaciones lineales de las observaciones provenientes del área muestreada en la grilla de transectas. Los coeficientes de las combinaciones lineales son óptimos desde el punto de vista de las desviaciones cuadráticas esperadas entre las observaciones y las interpolaciones (Isaaks y Srivastava 1989).

Para el análisis estructural, se asume la existencia de estacionalidad de segundo orden, es decir, que la media del proceso aleatorio bajo estudio es constante en el área de prospección y la covarianza entre dos puntos de muestreo sólo depende de sus distancias relativas (Isaaks y Srivastava 1989). La herramienta estructural utilizada es el variograma, definido (Journel y Huijbregts 1978) como la esperanza de la variable aleatoria $(Z(x) - Z(x+h))^2$. Bajo la hipótesis intrínseca, es posible estimar el variograma $2\gamma(h)$ a partir de los datos mediante el variograma experimental $2\gamma^*(h)$, que es la media aritmética de las diferencias al cuadrado entre dos mediciones experimentales, $z(x_i) - z(x_i+h)$, realizadas en dos puntos cualesquiera separados por el vector h . Este cálculo se realizó en varias direcciones para investigar la existencia de diferencias direccionales en la estructura del proceso (i.e. anisotropía).

Una vez obtenido el variograma experimental, se ajustó un modelo estadístico para relacionar la estructura observada con el proceso generador. En estos variogramas, el efecto nugget caracteriza la variabilidad de micro-escala, mientras que el rango del variograma indica la distancia más allá a partir del cual los datos ya no presentan correlación. Los parámetros del variograma teórico fueron estimados mediante el método de mínimos cuadrados descrito por Cressie (1993). Este

procedimiento tiene la ventaja de disminuir la ponderación de pares menos representados en la muestra y aumentar la de puntos cercanos al origen del variograma, zona crucial en la estimación de los parámetros del modelo (Pelletier y Parma 1994). Una vez obtenido el modelo teórico, se realizó una validación cruzada de los parámetros del variograma teórico ajustado y de los parámetros a utilizar en la interpolación por kriging (i.e. parámetros del variograma teórico, radio de búsqueda, número máximo de pares a utilizar en la interpolación). El método de validación cruzada (Deutsch y Journel 1998) consiste en eliminar una a una las estaciones de muestreo y utilizar el resto de los datos para estimar el valor de la variable en la estación eliminada, utilizando el modelo de variograma y parámetros de kriging seleccionados (Maravelias *et al.* 1996). De esta forma, se define el error de predicción en cada localidad muestreada como la diferencia entre el valor medido y el estimado a partir del resto de los datos (Isaaks y Srivastava 1989). El objetivo final de este procedimiento fue obtener un criterio de decisión para seleccionar una combinación dada de parámetros del variograma teórico y del kriging.

El criterio de selección fue el error medio cuadrado (MSE), asumiendo que un buen modelo de continuidad espacial debería entregar estimaciones cuyo sesgo y dispersión de residuos se aproximen a cero. Por lo tanto, la combinación seleccionada de modelo y parámetros de kriging será aquella con el menor MSE. Sin embargo, el hecho de que la distribución univariada de los residuos cumpla con estas condiciones no es suficiente para garantizar que las predicciones del modelo espacial en localidades no visitadas serán de buena calidad. Por ello, y como ha sido sugerido por Isaaks y Srivastava (1989), se inspeccionó además el grado de sesgo condicional (i.e. correlación entre las magnitudes de las estimaciones y sus residuos) y el de correlación existente entre los estimados y las observaciones. La selección del conjunto de parámetros con mínimo MSE estuvo restringida a las combinaciones que cumplieron estos dos requisitos.

Los parámetros del variograma teórico y del kriging fueron seleccionados después de la validación cruzada. Estos fueron utilizados para calcular las ponderaciones óptimas a ser asignadas a cada estimación local de la variable, para así estimar la misma $\hat{z}(x_0, y_0)$ en cada uno de los nodos de la grilla de interpolación (x_0, y_0) . Otra posibilidad de variograma, consistió en utilizar el método “Robusto” (Cressie & Hawkins, 1980), el cual es usado cuando existen datos muy grandes en

medio de valores bajos ya que esto puede producir problemas en la definición del variograma experimental. Su ecuación es la siguiente:

$$2\gamma^*(h) = \frac{\left((1/N(h)) \sum_{i=1}^{N(h)} |z(x_i) - z(x_i + h)|^{1/2} \right)^4}{0.457 + (0.494/|N(h)|)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Los datos sugirieron si fue necesario dividir la zona de muestreo total en focos (caso de la sardina común), o si realizar el análisis global. Como se trata de un ejercicio de modelación y no de prueba de hipótesis el uso de los datos para decisiones de análisis es válido. Debido a que el modelo geoestadístico emplea distancia Euclidianas, la latitud y la longitud no son coordenadas apropiadas. Deben ser transformadas a unidades métricas. Esto fue hecho utilizando el programa CoordTrans. Se utilizó el modulo de estadística espacial del programas S-plus 2000 para el cálculo de los variogramas experimentales y teóricos, el programa SURFER 8.0 para la validación cruzada, el kriging, el cálculo de la densidad promedio y su posterior mapeo; para el cálculo de varianza de la densidad promedio se utilizó el programa EVA (Estimation Variance) propuesto por Petitgas y Prampart (1995).

2.1.2.3 Análisis geoestadístico paramétrico

El objetivo del análisis geoestadístico paramétrico es evaluar mediante simulaciones el desempeño del diseño de muestreo sistemático, principalmente de la producción total de huevos en el área de estudio. Para ello es necesario tomar en cuenta una estimación de la densidad media y una representación completa de la estructura espacial de las agregaciones de huevos sobre la base de los diseños de muestreo utilizados. Para lograr lo anterior, se revisó una condición de alta y baja abundancia de la producción total de huevos de anchoveta y sardina común. En el caso de la zona norte, se utilizó el crucero 2002. En el caso de la zona centro-sur, se utilizó el crucero 2002 para anchoveta y sardina común.

En cada caso, se procedió a estimar la densidad media y abundancia global de los recursos en el área de estudio. Como medida de densidad se utilizó los conteos de huevo por 0,05 m², y se utilizó un modelo geoestadístico formal de correlación espacial para representar la estructura espacial de las agregaciones. El método geoestadístico paramétrico considera una distribución de probabilidad

condicional normal para los datos y una función de verosimilitud normal multivariada para los parámetros.

Los métodos geoestadísticos paramétricos utilizados son descritos por Ribeiro y Diggle (2001), al documentar los algoritmos de estimación asociados al programa estadístico de análisis espacial geoR disponible para el lenguaje y programa R (Ihaka and Gentleman, 1996; <http://www.r-project.org>). La función de verosimilitud es descrita por la distribución normal multivariada, con la transformación Box-Cox para transformar los datos si éstos en su escala original no siguen una distribución normal. Se destaca que en este caso el análisis geoestadístico está orientado a la estimación máximo verosímil de la densidad media y la estructura espacial de las agregaciones, aspectos que son independientes del polígono definido para calcular el área total. La densidad media se estima simultáneamente con los parámetros de correlación espacial, y no resulta del kriging como en el caso de la geoestadística convencional. El kriging solamente constituye un proceso posterior que se utiliza para mapear las zonas de mayor y menor densidad y no necesita ser realizado en geoestadística paramétrica para la estimación de la abundancia absoluta en el área investigada. En nuestro caso, la abundancia absoluta se refiere a la producción total de huevos durante la duración del crucero en el área investigada.

En todos los casos analizados, se realizó una transformación de las coordenadas espaciales (latitud, longitud) a unidades métricas, calculando el Northing y Easting de cada observación (Isaacs y Srivastava 1989). A su vez, la estimación geoestadística de la densidad media se utilizó solamente los datos positivos. En efecto, en geoestadística paramétrica las observaciones nulas (cero) y positivas provienen de un proceso probabilístico diferente. No obstante, la proporción de estaciones positivas respecto del total constituye en sí una variable aleatoria que es tomada en cuenta en las simulaciones como un proceso binomial. Los conteos de huevo suelen estar asociados a una distribución diferente de la normal, de tal manera que se utilizó la transformación Box-Cox. Para el retrocálculo hacia la densidad media en su escala original se utiliza las formulas exactas.

2.1.2.4 Simulaciones de agregaciones de huevos y evaluación del diseño de muestreo

Para cada uno de los cruceros analizados, se utilizó el programa RandomFields (Schlather, 2001) disponible para el lenguaje y programa R (Ihaka and Gentleman, 1996; <http://www.r-project.org>) para simular las agregaciones de huevo considerando la densidad media y los parámetros de correlación espacial estimados con geoR. Las agregaciones de huevos fueron simulados utilizando un área geográfica que fue aproximada por una grilla representada por un número de celdas en el eje Este-Oeste y otras en el eje Norte-Sur, cada una representada por un cuadrado de 1 km de lado. La razón ancho/alto de la grilla fue obtenida en relación con el área cubierta por cada crucero. Debido a que cada simulación genera una grilla positiva de huevos, se utilizó la proporción de estaciones positivas para condicionar el proceso espacial. El algoritmo se basa en una distribución binomial, aceptando como premisa que un valor positivo es independiente de los ejes espaciales. De esta manera, se está asumiendo que cualquiera de las celdas de la grilla de simulación puede arrojar un valor positivo o nulo de densidad, y por ende, un número aleatorio proveniente de una distribución uniforme fue utilizado para condicionar el número de estaciones positivas. La abundancia total (producción total de huevos) en cada simulación se registró como el verdadero poblacional.

En cada simulación, se aplicó un diseño sistemático con un número fijo de transectas y de estaciones. La ubicación de la primera transecta fue determinada en el eje Este-Oeste en la primera fila de la grilla, y la primera estación fue en la primera celda de la fila para posteriormente tomar en cuenta la distancia entre estaciones utilizada en cada caso; a saber: cada 5 mn en la zona norte de Chile, y cada 4 mn en la zona centro-sur. La distancia intertransectas fue definida cada 10 mn para la zona norte y cada 8 mn en la zona centro-sur de Chile. En el caso de la zona norte, el área simulada fue descrita para la zona norte por 850 km de largo (eje Norte-Sur) y por 195 km de ancho (eje Este-Oeste), y el diseño sistemático se realizó utilizando una distancia intertransectas de 18 km ($9,71 \approx 10$ mn) totalizando 47 transectas, y a lo largo de cada transecta una distancia de 9 km entre estaciones (i.e. $4,85 \approx 5$ mn) totalizando 21 estaciones a lo largo de cada transecta. El número total de estaciones fue, por lo tanto: 987 estaciones.

Se destaca que para ajustar el modelo geoestadístico a cada una de las simulaciones se requiere de una capacidad computacional considerable, que no se dispone. En este contexto, se utilizó la media aritmética del número de huevos por $0,05 \text{ m}^2$ y su desviación estándar. El sesgo se calculó según la razón entre la Densidad Estimada y la Densidad Real, donde la densidad estimada corresponde a la densidad media proveniente del crucero sistemático y la densidad real es la densidad promedio de la población simulada e el área de estudio. Un estimador insesgado debería tener una razón igual a 1.

2.2 Objetivo 2: Establecer y evaluar modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el procedimiento de asignación de edad en términos probabilísticas.

2.2.1 Experimentos de desarrollo de huevos a temperatura regulada.

Zona norte

Los huevos fueron colectados el 23 de agosto del 2006 a través de red ictioplanctónica WP-2 de $300 \mu\text{m}$ y fueron trasladados al laboratorio en frascos de vidrio de 1 litro, dentro de hieleras para mantener la temperatura estable. Una vez que los huevos llegaron al laboratorio se clasificaron por estadio de desarrollo de acuerdo a lo informado por Moser y Ahlstrom (1985), mediante la observación a lupa y luego fueron depositados en frascos de vidrio esterilizados y con agua de mar filtrada ($0,2 \mu\text{m}$) y esterilizada (UV), con densidades no mayores a 100 huevos por litro. Los frascos fueron colocados en baños termoregulados a $12^\circ, 14^\circ, 16^\circ, 18^\circ, 20^\circ \text{ C}$ con precisión de 0.1°C

Los controles de observación y descripción de los huevos, se realizó cada 1 hora mediante la toma de submuestras ($n = 5$) por baño.

Para la zona norte, además se utilizaron datos obtenidos en marzo del 2001, de incubaciones a distintas temperaturas de huevos obtenidos de desoves espontáneos de ejemplares de hembras de anchoveta durante su primera noche en cautiverio, realizados en marzo del 2001 (Soto, 2001). Para esto, ejemplares vivos de anchoveta fueron trasladados a estanques circulares de 2000 l, provistos

con colectores de malla fina a la salida del agua para la retención de los huevos. Una vez producido el desove espontáneo durante la primera noche en cautiverio, los huevos se distribuyeron en baños termoregulados a 12°, 14°, 16°, 18° y 20° C.

Zona Centro Sur

En la zona centro-sur de Chile, y con el objeto de realizar un experimento de incubación de huevos a diferentes temperaturas, se colectó huevos del plancton entre la Bahía Coliumo y la desembocadura del río Itata. El muestreo se realizó el 31 de octubre a bordo de la lancha de investigación Kay Kay de la Universidad de Concepción, realizándose 5 lances de plancton al azar entre 0,27 y 1,5 millas náuticas. Cada lance se realizó con una red Bongo (diámetro de boca 60cm, 300 μ m de trama, equipada con un flujómetro digital General Oceanics para la cuantificación del volumen de agua muestreada y con un depresor de 30 kg aproximadamente). La velocidad de arrastre fue de 2 nudos y los lances fueron oblicuos, desde superficie hasta 25 m de profundidad, y en cada lance se registró la temperatura superficial con un termómetro de mercurio ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). Las muestras colectadas durante el crucero fueron contenidas en baldes plásticos, mantenidos en cajas plásticas utilizando agua mar como sistema de refrigeración.

Los huevos se trasladaron al laboratorio de la estación de Biología Marina de la Universidad de Concepción en Dichato. Los huevos fueron separados del plancton. Se destaca que la presencia de huevos de sardina común fue nula en esta salida, razón por la cual los experimentos de incubación fueron desarrollados solamente para anchoveta. Es probable que ausencia de huevos de sardina en el plancton se deba a que esta especie ya no se encuentra en actividad reproductiva. Una vez separados los huevos de anchoveta del plancton, se agruparon según estadios para realizar la incubación según Moser y Ahlstrom (1985) (Tabla 6). Se seleccionaron 100 huevos viables por cada baño termoregulado y se distribuyeron en recipientes circulares de vidrio de 1 litro de capacidad. Para la incubación se utilizó agua de mar filtrada (0,5 μ m) y esterilizada (UV). Las temperaturas a incubar fueron 10, 12, 14 y 16 °C, y se controló su variación cada una hora con un termómetro de una variación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Los controles de observación y descripción de los huevos, se realizaron cada 3 horas a la temperatura de 16 °C, cada 4 horas a 14 °C, 5 horas a 12 °C y 6 horas a 10 °C, mediante la toma de una submuestra de 5 huevos por baño. A cada submuestra se le tomaron fotos digitales y se registro fecha, hora, sistema (10, 12, 14, 16°C), aumento y posteriormente se fijó en una solución de formalina con agua de mar al 5%, tamponada con tetraborato de sodio (bórax). Se realizaron 3 réplicas independientes para el experimento de incubación, los cuales se iniciaron prácticamente a la misma hora. Como criterio para considerar el tiempo transcurrido en el paso de un estadio a otro, se consideró el estado de desarrollo presentes en la submuestra de 5 huevos.

Tabla 6: Descripción de los estadios de desarrollo de lo huevos de *Engraulis ringens*.

ESTADO	DESCRIPCION
I	Presenta una acumulación de citoplasma en el polo animal (disco embrionario), que dará origen al blastodisco. Con respecto al espacio previtelino se encuentra bien formado en los dos polos y el vitelo vesiculado, es decir, dividido en numerosos alvéolos claramente visibles.
II	Se inicia con la segmentación en el polo animal (blastodisco), hasta que toma una apariencia de mórula, el cual da paso a la formación de la capa blastodérmica
III	Comprende del comienzo de la migración del blastodermo extraembrionario hasta el momento en que su reborde (anillo blastopórico) llega hasta a un 1/3 en relación al eje longitudinal del huevo
IV	El inicio de este estadio es por extensión del cubrimiento del blastodermo extraembrionario sobre el vitelo, que va desde un 1/3 a 2/3 en relación al eje longitudinal del huevo. El espesor del blastodermo aparece igual a ambos lados y el anillo blastopórico se presenta en posición perpendicular al eje longitudinal del huevo. También hay esbozos de zonas de desarrollo del embrión
V	Comienza cuando el anillo blastopórico sobrepasa los 2/3 del eje longitudinal del huevo hasta el inicio del cierre del blastoporo y además son visibles los primeros miómeros a lo largo del cuerpo del embrión. El esbozo cefálico es ya bastante pronunciado o claramente visible, juntamente con una incipiente notocorda.
VI	Se inicia por el cierre del blastoporo hasta que el extremo caudal del embrión (Polo vegetativo) empieza a desprenderse del saco vitelino. Las vesículas ópticas aparecen claramente visibles
VII	Al principio de este estadio el extremo caudal empieza a separarse hasta que la porción libre es de alrededor de ½ de la longitud de la cabeza. La porción libre permanece en el mismo plano que el cuerpo y la longitud del embrión sobrepasa el eje longitudinal del huevo
VIII	Se inicia cuando la porción libre sobrepasa ½ de la longitud de la cabeza hasta alcanzar la longitud total de la cabeza del embrión. Otro carácter es cuando la porción libre llega a ¼ con respecto al eje longitudinal del saco vitelino, además la cola comienza a doblarse hacia fuera del eje del cuerpo
IX	Comienza cuando la porción libre tiene la misma longitud de la cabeza, otro carácter es que la porción libre sobrepasa ¼ hasta ½ de la longitud del saco vitelino. Los ojos ocupan gran parte de la cabeza
X	El inicio de este estadio es cuando la porción libre de la cola sobrepasa ½ hasta ¾ de la longitud del saco vitelino y además es dos veces mayor con respecto a la longitud de la cabeza
XI	El principio de este estadio es cuando la porción libre a sobrepasado ¾ de la longitud del vitelo. Los ojos y miómeros están bien limitados (Fig. 13). Además ojos no están pigmentados.
XII	Larva con saco vitelino: El cuerpo es alargado y cilíndrico, la cabeza es más ancha que éste, los ojos son grandes y carente de pigmentos. El tubo digestivo, largo y delgado. Con respecto al saco vitelino es muy alargado y perifórmico.

Para asignar la edad a los huevos colectados en el medio natural, se consideró el tiempo transcurrido entre la hora de la captura y la hora pico de desove. En el caso de los huevos obtenidos

de desoves en cautiverio, esto no es necesario dado que se conoce la edad cero, que corresponde al desove.

Modelos de desarrollo en función de la temperatura

Se evaluaron tres metodologías para describir el desarrollo de los huevos en función de la temperatura y edad, esto es: 1) El modelo clásico de Lo (1985); 2) Un modelo GAM implementado en la rutina *eggsplore* en R y 3) Modelo Multinomial

Los modelos utilizados para describir la tasa de desarrollo en función de la temperatura fueron los utilizados por Lo (1985):

$$y_{i,t} = a_i e^{b_i t} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$y_{i,t} = a e^{(bt+ci)} t^d \quad \text{Ecuación 7}$$

donde:

$y_{i,t}$: Es la edad de huevos del estadio i a una temperatura t .

a, b, c y d : Parámetros.

i : Estadio de desarrollo

t : Temperatura en grados Celsius

La primera (6) describe el desarrollo en función de la temperatura para cada estadio. La segunda (7), es una combinación de estadio y temperatura (Lo, 1985). Además se exploró el ajuste a través de un modelo GAM a los datos de incubación. Los datos de las incubaciones de huevos fueron analizados con el software *eggs* y *eggsplore* desarrollados en R (Ihaka and Gentleman, 1996; <http://www.r-project.org>). En este se ingresan la temperatura, estadio y el número de huevos en el estadio correspondiente a cada edad. El programa corrige así las edades medias a cada estadio y temperatura debido a diferente número de observaciones (n). De acuerdo a las edades medias a cada estadio y temperatura se ajustan los modelos por mínimos cuadrados no lineales o GAM según el caso.

2.2.2 Asignación de edad en términos probabilísticos.

Bernal *et al.* (2001), desarrolló un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad, y fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas GLM y GAM del *MPDH*. Entre el 9 y 13 de enero del 2007 se contó con la presencia del Dr Bernal en un taller de trabajo, en el cual se desarrollaron y aplicaron las rutinas desarrolladas por él en plataforma R. Dentro del procedimiento se utilizó la misma información que el método tradicional, i.e:

- Información del crucero: abundancia de huevos por estadios de desarrollo, hora de colecta, y condiciones ambientales que afectan la tasa de desarrollo durante la embriogénesis (usualmente la temperatura).
- Información de experimentos de incubación: el desarrollo de los estadios morfológicos de los huevos durante la embriogénesis en función del tiempo y la temperatura.
- Información sobre la dinámica reproductiva de la especie: distribución de la actividad del desove en un ciclo diario.

La embriogénesis discretizada en estadios de desarrollo de los huevos es función de la temperatura (e.g. Pepin, 1991), y en menor grado por otros parámetros ambientales. Usualmente, la información sobre la tasa de desarrollo de los huevos en función del estadio de desarrollo y de la temperatura se obtiene a partir de experimentos de incubación. En el nuevo procedimiento metodológico de asignación de edad se consideró un proceso multinomial, en el cual la probabilidad de pertenecer a uno de los once estadios de desarrollo depende de la edad de los huevos (conocida dada la hora del desove) y la temperatura. De esta manera, a partir de un experimento de incubación de huevos se planteó el siguiente modelo probabilístico multinomial:

$$p(s | a, T) \quad \text{Ecuación 8}$$

que representa la probabilidad de permanecer en el estadio s dada la edad a y temperatura T . Cuando una especie muestra sincronía diaria en el desove, la información sobre la distribución de la actividad de desove durante el ciclo diario afectará el proceso de asignación de edad. Si el desove ocurre solamente en cierto momento del día, los huevos podrían tener una cierta edad considerando el tiempo transcurrido entre la hora del desove y la observación (hora de colecta). En un caso extremo, si el desove es perfectamente sincrónico (los huevos son desovados a un hora

dada del día, e.g. medianoche) y el desarrollo dura hasta la eclosión en un día, los huevos observados pueden tener solamente una edad exacta dada por el tiempo transcurrido entre el desove (medianoche) y la hora de colecta. Si la duración del desarrollo del huevo dura más de un día, entonces una edad promedio aproximada y observada en el experimento de incubación puede ser utilizada para decidir en que noche los huevos fueron desovados, y entonces utilizar el tiempo transcurrido entre el evento de desove y la época del crucero para atribuir una edad exacta. La sincronía del desove puede ser formalizada como una función densidad de probabilidad (pdf) de edad dada la fecha del crucero, i.e. $f_i(a|\tau)$. Un descubrimiento reciente es que la mortalidad debería ser utilizada para asignar una edad adecuada a los huevos, ya que los huevos más viejos son menos probables de ser encontrados y así, cuando diferentes cohortes diarias pueden ser asignadas a un huevo, es más probable que éste sea más joven que viejo.

Considerando el Teorema de Bayes, se obtuvo la distribución de edades dada la información obtenida durante los cruceros (estadios de huevos, temperatura, hora de colecta) que se expresa por:

$$\hat{p}(a|s, T, \tau) \propto f_i(a|\tau)p(s|a, T) \quad \text{Ecuación 9}$$

de esta manera se asignará una edad a cada estadio de desarrollo muestreando desde la distribución posterior $\hat{p}(a|s, T, \tau)$, o clasificar los huevos en cohortes diarias directamente utilizando la distribución posterior. El nuevo procedimiento de asignación de edad presenta varias ventajas respecto del método tradicional, tanto en relación a cómo se modela la información que proviene de los experimentos de incubación y en relación a cómo se asigna la edad en el método tradicional.

2.2.3 Simulación de modelos probabilísticos de asignación de la edad a los huevos

Los modelos de desarrollo de huevos temperatura-estadio dependientes disponibles para anchoveta y sardina común en la zona centro-sur fueron desarrollados sobre la base de muestras de plancton colectadas del ambiente, y los datos básicos comienzan a partir del estadio III. Con el objeto de evaluar estos modelos de desarrollo del tipo Lo (1985) a un modelo probabilístico, se procedió a estudiar el comportamiento de la desviación estándar a cada estadio y cada temperatura experimental. La desviación estándar alrededor del tiempo de desarrollo promedio fue modelada en función del estadio y la temperatura. Se probó la estructura de los siguientes modelos: a) Modelo I:

desviación estándar independiente del estadio y de la temperatura; b) Modelo II: desviación estándar dependiente del estadio e independiente de la temperatura; c) Modelo III: desviación estándar independiente del estadio y dependiente de la temperatura; d) Modelo IV: desviación estándar dependiente del estadio y la temperatura. El modelo se seleccionó sobre la base de criterios de bondad de ajuste (suma de cuadrados, criterio de información de Akaike). Una vez que se contó con el modelo que mejor describió la desviación estándar, se simularon 200 valores alternativos e igualmente probables del tiempo de desarrollo (a) para cada estadio de desarrollo (rango I a XI) a cada temperatura experimental, utilizando simulación Monte Carlo, según la siguiente expresión:

$$a^R = f(a | s, T) + \sigma \times z_{0,1} \quad \text{Ecuación 10}$$

donde a^R es el tiempo de desarrollo en la simulación R-ésima, $f(a|s,T)$ es el modelo que estima la edad media (tiempo de desarrollo) en función del estadio (s) y la temperatura experimental (T), σ es la desviación estándar de la edad media (uno de los modelos antes descritos), y $z_{0,1}$ es un número aleatorio que proviene de una distribución normal estándar ($\sim N(0,1)$). A partir de estas simulaciones se ajustaron los modelos multinomial, de acuerdo con la metodología previamente descrita.

2.2.4 Re-estimación de P_o .

Hora de desove

Con el fin de verificar la hora pico de desove utilizada en la asignación de edad a los huevos, se construyó una distribución de frecuencia de los huevos recién fertilizados (Estadio 1) en función de la hora de coleta para el total de cruceros realizados en anchoveta en la zona norte ($n = 7.208$).

Modelos:

En un Taller desarrollado en Iquique entre el 9 y 13 de enero con la presencia del Dr Bernal (España), se aplicaron y desarrollaron las rutinas específicas para la evaluación de la producción diaria de huevos. Durante este proyecto se evaluaron cuatro metodologías para la estimación de la Producción diaria de huevos (P_o):

1) Modelo de Lo ajuste No lineal

2) Modelo de Lo GLM

3) Modelo Generalizado

4) Modelo multinomial

Modelo de Lo ajuste No lineal: La metodología seguida hasta el momento en Chile para la estimación de la Producción Diaria de Huevos, involucra la agrupación por cohortes diarias, la inclusión de las estaciones “cero” dentro del área de desove y en casos en que se esperan cohortes, pero éstas no son muestreadas y finalmente por el ajuste a través de una regresión no lineal ponderada por el inverso del error estándar a intervalos de 0,5 días. La metodología a seguir es:

- a) Una vez que se ha asignado la edad según estadio, temperatura, hora de colecta y pico de desove diario, según el modelo desarrollado para *Engraulis mordax* en el caso de la anchoveta en Chile, se acumulan los huevos de los estadios según cohortes diarias (<1, 1, 2, 3 y 4 días). Según la temperatura de la estación pueden resultar hasta 4 cohortes diarias. La edad corresponde a un promedio ponderado por el número de huevos en cada estadio. En aquellas cohortes que no se encontraron huevos se les asignó la edad esperada según hora de colecta y pico de desove diario (i.e. 22:00 h).
- b) Se incluyeron las estaciones negativas (sin huevos) que quedaron circunscritas en lo que se define como área de desove. Se les asignó la edad según hora de colecta y pico de desove.
- c) Se excluyeron los huevos menores a 4 horas por estar muy cercanos al pico de desove (submuestreo).
- d) Se excluyeron los huevos en edades superiores, que por estar cercanas a la eclosión son submuestreados. Se puede aplicar un corte del 15-20% de las edades superiores o al 90% de la edad de eclosión según la temperatura promedio o la mayor del crucero. Para el 2005 se cortó según el 90% de la edad según temperatura de la estación.
- e) Se estimó el error estándar del número de huevos según categorías de 0,5 días.
- f) Se realizó el ajuste no lineal ponderado por el inverso del error estándar del número de huevos según categorías de edad (0,5 días)

Modelo de Lo GLM: Una metodología basada en el modelo de Lo (1985) para el desarrollo de huevos en función de la temperatura y asignación de edades según Lo (*op. cit.*), pero con la estimación de P_0 y Z a través de una estimación por GLM con distribución binomial negativa. Se

incluyen las estaciones negativas dentro del área de desove, se excluyen huevos menores a 4 horas y el corte de edades superiores correspondió al 95% de la edad de eclosión de acuerdo a la temperatura de la estación.

Modelo Generalizado: Una basada en la asignación de edades por el modelo GAM de desarrollo de huevos en función de la temperatura. Se incluyen las estaciones negativas dentro del área de desove, se excluyen huevos menores a 4 horas y el corte de edades superiores correspondió al 95% de la edad de eclosión de acuerdo a la temperatura de la estación.

Modelo multinomial: Basado en el modelo de desarrollo de huevos multinomial y asignación de la edad por método Bayesiano. Los cortes se realizan automáticamente dada la probabilidad de eclosionar y hora pico de desove.

En la metodología seguida en Chile (Método 1), la producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad son estimadas según el modelo de regresión no lineal de tipo exponencial dado por el modelo:

$$P_t = P_0 e^{(-zt^*)} \quad \text{Ecuación 11}$$

donde:

P_{t^*} = Número de huevos por 0,05 m² en la edad t^{*}

P_0 = Producción diaria de huevos por unidad de área (0,05 m²)

z = Tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos

t^{*} = Edad en días de los huevos

En el modelo el intercepto P_0 representa la producción diaria de huevos en t^{*} = 0, mientras z indica la tasa de mortalidad de huevos. Este modelo asume que todos los huevos son desovados y fertilizados a una hora fija y que están afectados por una tasa de mortalidad constante z.

La varianza de los parámetros se obtuvo de la matriz de varianzas covarianzas de los parámetros del modelo una vez que el criterio de convergencia de la solución mínimo cuadrática ponderada se ha cumplido.

Luego de haber estimado los parámetros y sus varianzas asociadas, se estimó el coeficiente de variación ($CV[P_0]$), que en el caso de la producción de huevos queda expresado como:

$$CV[\hat{P}_0] = \frac{\sqrt{\hat{v}(P_0)}}{\hat{P}_0} \quad \text{Ecuación 12}$$

donde :

$v(P_0)$ = Varianza estimada de P_0

En la metodología 2, “Modelo de Lo GLM” y “Modelo Generalizado” la estimación es por GLM en donde se pondera por el área que representa cada estación:

$$\log\left(\frac{N_{age}}{area}\right) = \log(D_0) - z age \longrightarrow \log(N_{age}) = \log(area) + \log(D_0) - z age \quad \text{Ecuación 13}$$

Se continúa con la metodología ya aplicada, es decir se expande la producción diaria de huevos por unidad de área (número de huevos/0,05 m²) al área total de desove del recurso.

En el caso del Modelo Multinomial, la asignación de edades y estimación de P_0 y Z es por un proceso iterativo con análisis Bayesiano.

En los modelos basados en GLM y multinomial en los cuales se utiliza una distribución binomial negativa en la estimación, el error estándar asociado al intercepto ($\ln(P_0)$) es equivalente al coeficiente de variación de la producción de huevos (P_0).

El cálculo de la producción diaria de huevos ponderada para el área total (P) se realizó desde el valor de P_0 y el área ponderada por estratos, de esta manera:

$$P = \left(P_{01} \frac{A_1}{A} + P_{02} \frac{A_2}{A} \right) K \quad \text{Ecuación 14}$$

donde P_{01} y P_{02} corresponden a la producción diaria de huevos por unidad de muestreo para el área de desove (A_1) y el área negativa (A_2) respectivamente y A es el área total del crucero ($A_1 + A_2$). K es un factor de conversión desde la unidad muestral a mn^2 .

La varianza ajustada de P para post-muestreo estratificado se estimó como:

$$S^2(P) = \left(1 + \frac{I}{n} \right) \left(\frac{A_1}{A} S^2(P_{01}) + \frac{A_2}{A} S^2(P_{02}) \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

la cual no incorpora el estrato 0, presumiendo que su varianza es igual a cero.

2.3 Objetivo específico 3: Establecer criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos postovulatorios y el procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes.

2.3.1 Establecimiento de Criterios de definición estadios de Folículos postovulatorios (FPO):

Anchoveta (Norte y Centro Sur)

Para conseguir una mayor definición del proceso de degeneración de los Folículos Postovulatorios (FPO) se construyó una clasificación de estadios de degeneración de estos, de acuerdo a lo planteado por Alday *et al.* (2006), en el Simposio “Dinámica reproductiva de peces pelágicos pequeños y el método de la producción diaria de huevos” durante el XXVI Congreso de Ciencias del Mar, 22 al 26 de mayo, Iquique. El que consiste en subdividir el proceso de reabsorción de los FPO en varios estadios de degeneración. En Tabla 7 se muestra un ejemplo de la escala utilizada por Alday *et al.* (2006). Para esta propuesta se construyó una nueva escala ajustada a los requerimientos específicos para anchoveta y sardina común, tomando en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear (ubicación y grado de picnosis), aspecto del citoplasma, relación límites de células vecinas, presencia de vacuolas citoplasmáticas, láminas celulares y pliegues, aspecto del conjunto y características del lumen.

Tabla 7: Nuevos criterios para la identificación de Folículos Postovulatorios (FPO) (Alday *et al.*, 2006).

0	Ovarios sin FPO
1	FPO nuevos
2	Primeros signos de degeneración. Primeras vacuolas
3	Pequeñas vacuolas afectando menos del 50% de las células de la granulosa
4	Masiva incidencia de vacuolas
5	Reducción o ausencia del lumen. Ruptura de las paredes celulares
6	FPO muy reducidos. Pocas vacuolas y pocos núcleos picnóticos
7	No se distinguen células. Algunos núcleos picnóticos

Una vez definida la nueva escala de clasificación se revisaron las placas histológicas para asignarlas a uno de los estadios, sin consideraciones de la hora de la captura.

Sardina común

Para el caso de la sardina común, se analizó las placas histológicas de los cruceros del 2002 al 2005. En primera instancia se realizó un taller metodológico contribuido al proyecto en la que participó la Dra. Beverly Macewicz. En dicho taller se revisó los criterios morfohistológicos que tradicionalmente se han utilizado en los cruceros del 2002 al 2005. Dichos criterios dicen relación con la clasificación de edades de los FPO en base a los criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Godlberg (1980) para *Engraulis mordax*, y por Macewicz y Hunter (1993) para *Trachurus symmetricus*. En el caso de la sardina común, se asume que dichos criterios, cambios estructurales, y temporales son similares a los que experimentan los folículos de anchoveta (Cubillos *et al.*, 2005), lo que ha permitido reconocer hembras con FPO de día 0, de día 1, y de día 2.

Como resultado de dicho taller, se identificó las siguientes observaciones:

- a) El muestreo de hembras básicamente se ha realizado entre las 6:00 y 20:00 hrs, razón por la cual la incidencia de hembras con FPO de día 0 es prácticamente nula. Si el pico de desove ocurre a las 22:00 hrs, entonces no deberían encontrarse folículos postovulatorios nuevos.
- b) Al analizar la frecuencia de hembras con FPO de día 1 y día 2, se ha evidenciado que la fracción de hembras con FPO de día 2 ha sido siempre mayor que la fracción de hembras

con FPO de día 1. Al considerar que la temperatura superficial del mar en el periodo de muestreo es por lo general menor a 13 °C, es probable que los folículos de sardina común tengan un periodo de residencia mas prolongado en la gónada, tal vez de más de 72 horas después de efectuado el evento de desove (Macewicz, *com pers.*).

- c) Debido a lo anterior, es necesario diseñar una escala propia para la sardina común en el que se caracterice histológicamente el proceso de degeneración de los folículos post-ovulatorios en función del tiempo, y a partir de ello, definir criterios para establecer la edad de dichas estructuras, y utilizarlas para la estimación directa de la frecuencia del desove.

En un taller de trabajo realizado en Iquique entre el 25 de septiembre y 02 de octubre de 2006, se analizó los criterios para construir dicha escala sobre la base de los aspectos comunicados por Uriarte (*com pers*) y de acuerdo a lo planteado por Alday *et al.* (2006) (datos no publicados), donde se postula que es necesario dividir el grado de deterioro y los procesos de reabsorción del folículo en una serie de distintas etapas histológicas, cada uno con una edad asignada y la duración tomando en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear. La comprensión de este proceso es requerido para datarlos y posteriormente hacer la valoración de frecuencia de desove.

Para una adecuada asignación de edades de los folículos es necesario entender algunos conceptos generales de las estructuras morfohistológicas más importantes, además de identificar las señales de degeneración y reabsorción, las siguientes son los principales puntos considerados para la datación adecuada de los folículos post-ovulatorios de sardina común:

- **Tamaño del FPO:** A medida que aumenta el tiempo de desove, el tamaño de los folículos va en decrecimiento, debido al proceso de degeneración y reabsorción, sin embargo, este es un criterio que no esta exento de error, ya que el tamaño del folículo va a depender del plano en el que se realice el corte histológico (Figura 1).

- **Presencia y forma del lumen:** En las primeras horas de desove los folículos presentan una forma altamente enrollada con lumen muy amplio, a medida que avanza el proceso este se torna menos plegado y el lumen mas estrecho, hasta prácticamente desaparecer en los folículos con edad más avanzada (Figura 1)

- **Disposición y aspecto de las células granulosas (foliculares):** En las primeras horas se observa un tejido folicular muy sano, las células granulosas son grandes, bien definidas y se pueden observar claramente los límites celulares. Se encuentran en una organización más o menos lineal. A medida que el proceso degenerativo aumenta se pierde la disposición lineal de las células foliculares, se hace cada vez más difícil la diferenciación de las paredes celulares, y gradualmente aparecen núcleos picnóticos, esto quiere decir, que los núcleos se ven cada vez más irregulares y basófilos (más teñidos con hematoxilina) (Figura 1).

- **Presencia y tamaño de vacuolas:** Las vacuolas son indicadores del inicio de la degeneración celular, siendo, en las primeras horas de pequeño tamaño y aumentando su número y diámetro a medida que avanzan las horas posteriores del desove (Figura 1).

- **Capa de células tecales:** La capa de células tecales es una diferencia más notable entre los folículos de anchoveta y de sardina, debido a que en las últimas esta se torna más gruesa a medida que avanza el proceso degenerativo (Figura 1).

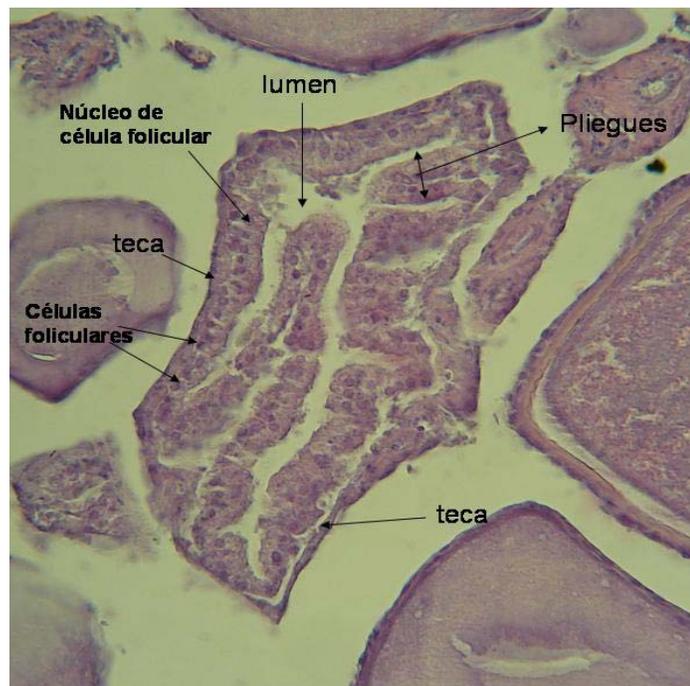


Figura 1: Esquema de las principales estructuras de un Folículo Post- Ovulatorio (FPO) de sardina común (aumento 40 x)

Obtención de las muestras

Las muestras de adultos fueron colectadas por la flota artesanal entre la V a la X regiones (Chile) entre los años 2002 al 2005. Correspondiendo a estudios de estimación de biomasa desovante dentro del marco de los proyectos: FIP 2002-14; 2003-06; 2004-03 y 2005-02. De cada lance se seleccionan 30 hembras al azar y se identificó el estado de madurez sexual macroscópico de acuerdo con la escala de madurez de 5 puntos adaptada de Holden & Raitt (1975) *fide* Cubillos *et al.*, 2005, y se fijaron las gónadas en Formalina al 10%. Los cortes histológicos de las gónadas se efectuaron según lo el método tradicional (Alzola, 2001; Oliva, *et al* 1986). Se asignó un estado de madurez microscópica de acuerdo a la tabla de caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos según Cubillos *et al.*, 2005. Se emplearan solamente las placas que presenten folículos post ovulatorios.

Construcción de la escala

Para la caracterización de los folículos es necesario entender algunos conceptos generales de las estructuras morfohistológicas más importantes, además de identificar las señales de degeneración y reabsorción, siendo las mas importantes: el tamaño, la disposición y aspectos de las células tecales y granulosa y la forma y tamaño del lumen.

Se construyó una escala de degeneración de los FPO de acuerdo a lo planteado por Alday *et al.*, (2006) (Artículo en prensa) donde se postula que es necesario dividir el grado de deterioro y los procesos de reabsorción del folículo en una serie de distintas etapas histológicas, donde se toma en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear (Figura 2). La comprensión de este proceso es requerido para datarlos y posteriormente hacer la valoración de frecuencia de desove.

Una vez definida la nueva escala de clasificación se revisaron las placas histológicas para asignarlas a uno de los estadios, sin consideraciones de la hora de la captura. Una vez analizados todos los ejemplares, se observara la incidencia de los distintos estadios de FPO según la hora de captura, de forma de dilucidar el grado de degeneración de los FPO en ciclos de 24 horas. Para esto se utilizarán las placas histológicas con FPO obtenidas en las distintas aplicaciones del MPDH en cada zona.

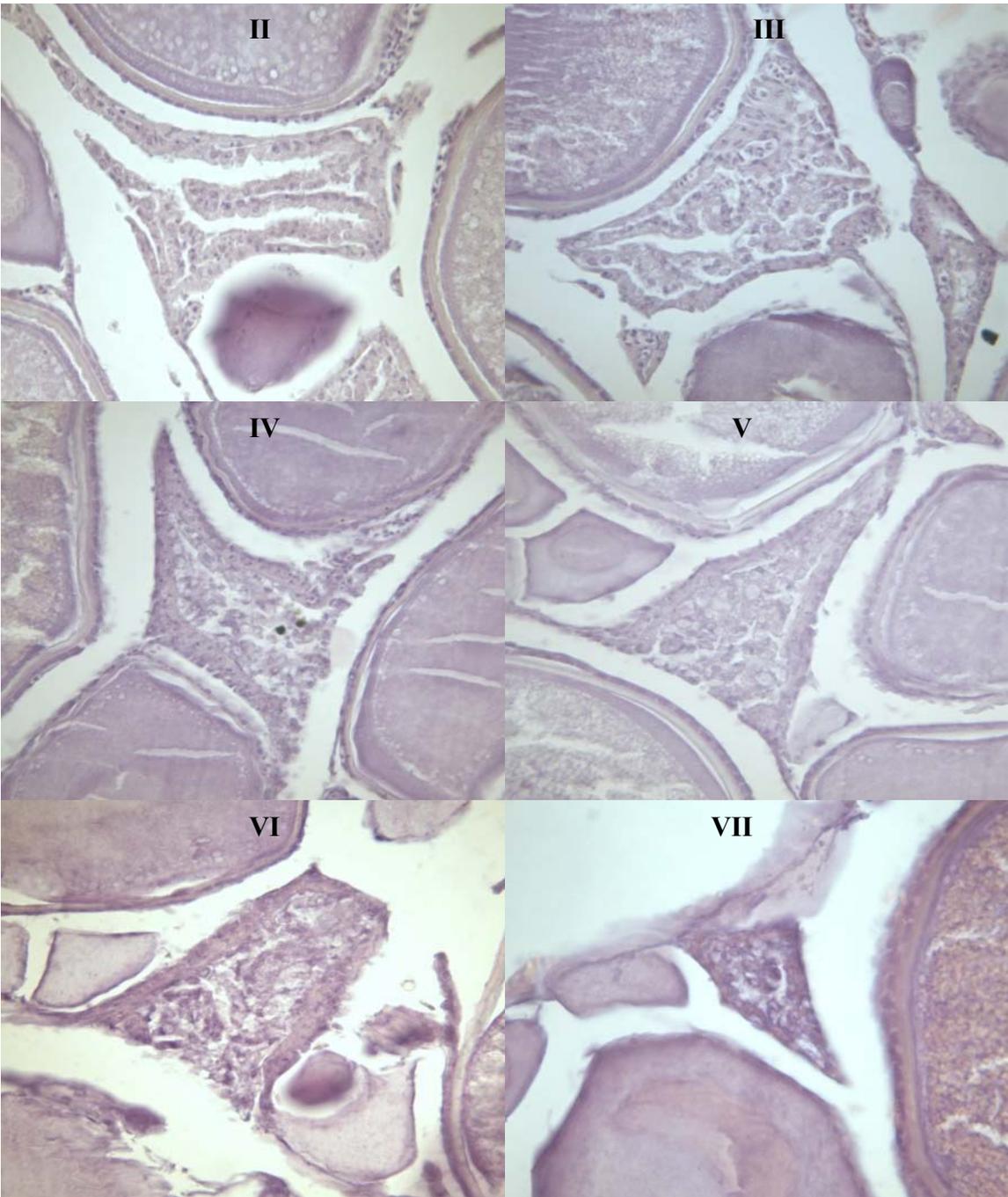


Figura 2: Estadios de degeneración de los FPO de sardina común (40 X).

Análisis de placas histológicas

La selección de las placas histológica a revisar es independiente de la hora de la captura, independientemente del crucero. Aplicando similar criterio de tamaño mínimo de lances y número de hembras por lance que en los cruceros aplicados hasta el momento.

Obtención de imágenes de los folículos

Luego de asignados estadios a los folículos, se seleccionaron placas de cada estadio (Figura 2) para la obtención de imágenes digitales. Con el fin de encontrar algunas medidas (área y perímetro de los FPO, número de núcleos sanos, número de núcleos picnóticos, número de vacuolas, etc.) que permitan mostrar alguna tendencia, con el fin de utilizar en el largo plazo medidas cuantitativas como complemento a la asignación de estadio degenerativo de los FPO.

Para la obtención de las imágenes se empleó una cámara digital PowerShot S70, mediante el programa Shooting-RemoteCapture y la edición con el programa ZoomBrowser Ex. Se trabajó con el máximo zoom óptico de la cámara (3.6x) y con un aumento de 10X del microscopio. Las imágenes tienen una extensión JPG y una calidad de 3072*2304 mega píxeles

2.3.2 Re-análisis de placas histológicas:

2.3.2.1 Ejemplares en cautiverio (Anchoveta)

a) Utilización de información disponible

Se utilizaron placas histológicas de hembras que desovaron en cautiverio y de las cuales se tiene la hora del desove y por tanto se puede seguir detalladamente el proceso de degeneración de los Folículos Postovulatorios (FPO). Los ejemplares de *Engraulis ringens*, fueron obtenidos del sistema de cultivo del proyecto “Desarrollo de un sistema de cultivo masivo de postlarvas de anchoveta para exportación FDI-CORFO 99RE1-PTO5” y que se encontraban en acondicionamiento de inducción de maduración y desove espontáneo.

Los ejemplares se mantuvieron en dos estanques, uno con 37 individuos y en régimen de fotoperíodo 4L:20D durante 3 meses, y otro denominado con 171 ejemplares en régimen de luz

permanente durante 5 meses. Los peces se alimentaban en forma diaria con alimento peletizado molido y húmedo a razón de 1,5 % de la biomasa total del estanque, de acuerdo a la metodología ocupada en el centro de cultivo, y mantenidos en flujo permanente de agua con caudal 20 lts / min., con limpieza diaria del estanque y sanitización semanal con formalina 50 ppm. En ambos estanques se registró la condición reproductiva de acuerdo al seguimiento de la mortalidad y de los desoves no inducidos artificialmente, por lo que esos antecedentes permitieron establecer el inicio o fecha de la administración hormonal y posterior muestreo biológico.

El experimento de inducción al desove se inició con el adormecimiento de los peces mediante el anestésico MS-222 (Tricaina metanosulfonato) en forma individual, en balde de 20 litros de capacidad a una concentración de 75 mg/litro, para luego administrar inyecciones de HcG (Gonadotropina corionica Humana), en dos dosis, las que se prepararon de acuerdo a Leong (1971) y Kucharczyk *et al*, (1999); utilizando una jeringa tuberculina de 50 µl, intra abdominal en la región pélvica (Leong, 1971; Varela, 1982), cautelando no dañar vísceras abdominales. La primera dosis (50 UI) se implementó 40 horas previo al muestreo. Con el objeto verificar si la HcG funcionó como inductor y descartar la manipulación o trauma, se separaron 40 peces sin tratamiento hormonal en un estanque control. La segunda inyección de HcG se aplicó 24 horas después de la primera y en dosis de 100 UI a cada ejemplar. A contar de la administración, la vigilancia de los estanques fue a intervalo horario. Ambas dosis se comenzaron a suministrar a las 11 AM. A las 40 horas de iniciado el experimento se encontró huevos en el colector de los estanques experimentales, y de acuerdo al estado de desarrollo de éstos se estableció la hora de la evacuación. A partir del hallazgo de huevos en el colector del estanque de los peces inoculados, se procedió a la toma de muestras, que involucro el sacrificio de los peces a las 14, 25, 36, 42 y 48 horas postdesove. En el laboratorio, a los ejemplares se les tomó registros de sexo, talla (0,1 cm. precisión), peso total y gonadal (0,01 gr. Precisión) y se obtuvo una muestra de ovario para histología, utilizando técnicas de rutina.

b) Desoves en cautiverio (Anchoveta)

Aprovechando la experiencia de mantener ejemplares vivos de anchoveta en cautiverio en la zona norte, se tenía previsto intentar nuevamente el estudio del proceso de reabsorción de los FPO en

ejemplares mantenidos en cautiverio, sin embargo, dada la baja en las capturas de anchoveta en la zona norte y lo impredecible de su comportamiento (Conocimiento de Zonas de pesca y recaladas), durante la ejecución de este estudio no se pudo realizar.

2.3.2.2 Reanálisis de placas histológicas de cruceros previos

Las muestras histológicas de las hembras adultas obtenidas a partir del método producción diaria de huevos (MPDH) de la zona norte (2004 a 2006) y centro-sur (2004 a 2005) de Chile, recopiló 4708 y 2619 hembras maduras respectivamente. De las cuales, 2000 hembras con folículos postovulatorio (FPO) correspondieron a la zona norte y 874 hembras con FPO en el tejido ovárico de la zona centro-sur de Chile.

Para la estimación de la frecuencia de desove, a las hembras con FPO de la zona de estudio se le aplicó una nueva clasificación de estadios de FPO basado solamente en sus características de degeneración, propuesto por el grupo de trabajo de ICES (2005) y Alday *et al.* (2006), resumido en la Tabla 8, la cual fue modificada según las características de anchoveta y sardina común.

Tabla 8: Características de los estadios morfohistológicos de los folículos postovulatorios (FPO) de *Engraulis encrasicolus* (ICES, 2005; Alday *et al.*, 2006).

Estadios de FPO		I	II	III	IV	V	VI	VII
Tamaño		Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Restos de FPO
Aspecto		Forma de pliegues sueltos o doblados	Pliegues más apretados	Ligeramente reducido	Notablemente reducido	Pocos pliegues y forma más regular	Muy deteriorado	Largo o poligonal que permanece entre ovocitos
Granulosa	Células	Ordenada, columnar ligeramente hipertrofiada	Marcado alineamiento característico	Alineamiento característico muy visible	Desorganización notable	Desorden completo	Ausencia de paredes celulares	Ausencia de células
	Núcleo	Muy grande	Prominente con pocos picnóticos	Muchos picnóticos	Picnóticos	Picnóticos	Escasos picnóticos	Muy escasos picnóticos
	Vacuolas	Ausencia	Pocos	Afectan <50% de las células	Afectan >50% de las células	Masivo	Pocos	Ausencia
Teca		Notable separación de la granulosa	Con capilares Separados de la granulosa	Notable adherencia a la granulosa	Llega a ser más delgada y más estrechamente adherida a la granulosa	Aún visible núcleos picnóticos	Menos claro la incorporación al estroma	No visible
Lumen		Grande, irregular con material granular	Grande con material granular. Más regular	Fácilmente visible, con aún posible material granular	Reducido	Muy reducido- Ausencia	Ausencia	Ausencia

Dependiendo de las características morfohistológicas de los FPO es factible determinar su incidencia en ciclos diarios de 24 horas, es decir, si la hembra tuvo un desove reciente, la noche anterior o dos noches antes de la captura (Cubillos *et al.*, 2005), lo que permite estimar con mayor precisión la frecuencia de desove. Además, la incidencia de algunos estadios ováricos también fue considerada para la estimación de la frecuencia de desove, según los criterios de Macewicz y Hunter (1993), estos son las gónadas que presentaron ovocitos con núcleo en migración e hidratados que permiten definir si la hembra desovará al día siguiente o en el mismo día de la captura respectivamente. Para el análisis de la distribución horaria de los estadios ováricos y FPO se utilizó la hora del desove estimada a partir de una distribución de frecuencia de los huevos recién fertilizados (Estadio 1) en función de la hora de coleta para el total de cruceros realizados en anchoveta en la zona norte ($n = 7208$).

La frecuencia de desove (S) para anchoveta de la zona norte, es decir, la proporción de hembras desovantes por día, fue estimada bajo los siguientes criterios:

1er. criterio: Las hembras fueron agrupadas en cuatro cohortes relativas a la hora de la captura y de acuerdo a su estado de madurez ovárica y estadio de degeneración de FPO:

- Día (-2)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron dos noches antes de la captura, cuyos ovarios presentan FPO V al VII.
- Día (-1)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron la noche previa a la captura, cuyos ovarios presentan FPO I al IV.
- Día (0)= Corresponden a la proporción de hembras que desovarán la noche a la captura, cuyos ovarios presentan ovocitos hidratados.
- Día (+1)= Corresponden a la proporción de hembras que desovarán al día siguiente de la captura, cuyos ovarios presentan ovocitos con núcleo en migración.

2do. criterio: Con respecto a la cohorte de día (-2), los FPO VII se excluyó de la estimación de la fracción diaria desovante, dado que se caracterizan por ser restos de FPO o viejos que perduran por más tiempo en el ovario y que no son fácilmente distinguible de estructuras atrésicas (Hunter y Macewicz, 1980). Con relación a la cohorte (0), se asumió que las hidratadas y los FPO I (nuevos) coinciden en la misma noche de la captura (Hunter y Macewicz, 1980; Motos, 1996), dado que los

FPO I no muestran señales de procesos de degeneración y ocurren inmediatamente después del desove (ICES, 2005). Por lo que las hembras fueron agrupadas en cuatro cohortes relativas a la hora de la captura y de acuerdo a su estado de madurez ovárica y estadio de degeneración de FPO:

- Día (-2)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron dos noches antes de la captura, cuyos ovarios presentan FPO V al VI.
- Día (-1)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron la noche anterior de la captura, cuyos ovarios presentan FPO II al IV.
- Día (0)= Corresponden a la proporción de hembras que desovarán más las que desovaron en la noche de la captura, cuyos ovarios presentan ovocitos hidratados y FPO I.
- Día (+1)= Corresponden a la proporción de hembras que desovarán al día siguiente de la captura, cuyos ovarios presentan ovocitos con núcleo en migración.

3er. criterio: La cohorte día (+1) no fueron usado para la estimación de la fracción diaria desovante, debido a que no se asegura que su incidencia sería consistentemente determinada para un posterior desove, es decir, puede haber una combinación de hembras con núcleo en migración temprana (comienzo del desplazamiento del núcleo hacia el polo animal) y tardía (núcleo alrededor del polo animal y con membrana nuclear aparente) y no se conoce cuanto se demora en migrar el núcleo hacia el polo animal (estadio inmediatamente previa a la hidratación), por lo que no se asegura que todas las hembras estén reclutadas en este estadio dentro de las 24 horas. Para la estimación de la fracción diaria desovante, las hembras fueron agrupadas en tres cohortes de acuerdo a su estado de madurez ovárica y estadio de degeneración de FPO:

- Día (-2)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron dos noches antes de la captura, cuyos ovarios presentan FPO V al VI.
- Día (-1)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron la noche anterior de la captura, cuyos ovarios presentan FPO II al IV.
- Día (0)= Corresponden a la proporción de hembras que desovarán más las que desovarán en la noche de la captura, cuyos ovarios presentan ovocitos hidratados y FPO I.

4to. criterio: En este último, se utilizó el mismo criterio de Alheit *et al.* (1984), en donde se considera sólo las hembras con FPO, dada que las hidratadas y FPO nuevos (*i.e.* FPO I) pueden

estar sub o sobremuestreadas. Para la estimación de la fracción diaria desovante, las hembras fueron agrupadas en dos cohortes de acuerdo sólo a su estadio de degeneración de FPO:

- Día (-2)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron dos noches antes de la captura, cuyos ovarios presentan FPO V al VI.
- Día (-1)= Corresponden a la proporción de hembras que desovaron la noche anterior de la captura, cuyos ovarios presentan FPO II al IV.

La media y la varianza de la fracción diaria de hembras desovantes fueron estimadas a partir de la ecuación Alheit *et al.* (1984) y Picquelle y Stauffer (1985), pero modificada según criterios del presente estudio (excepto el 4to. criterio):

$$S_i = \frac{m_{+1,i}}{m_i} \dot{\text{ó}} \frac{m_{0,i}}{m_i} \dot{\text{ó}} \frac{m_{-1,i}}{m_i} \dot{\text{ó}} \frac{m_{-2,i}}{m_i} \quad \text{Ecuación 16}$$

donde:

$$m_i = m_{+1,i} + m_{0,i} + m_{-1,i} + m_{-2,i} + m_{a,i} \quad \text{Ecuación 17}$$

$m_{+1,i}$: Número de hembras que desovarán la noche siguiente de la captura en el lance i.

$m_{0,i}$: Número de hembras que desovarán la misma noche de la captura en el lance i.

$m_{-1,i}$: Número de hembras que desovaron una noche antes de la captura en el lance i.

$m_{-2,i}$: Número de hembras que desovaron dos noches antes de la captura en el lance i.

$m_{a,i}$: Número de hembras que no han desovado (los estados ováricos vitelados) en el lance i.

m_i : Número de hembras maduras en el lance i.

S_i : Fracción diaria de hembras desovantes en el lance i.

En los primeros tres criterios, como se consideró las hembras con núcleos migrantes e hidratadas, no se aplicó la corrección de hembras hidratadas en el iésimo lance. Además, en la combinación de la fracción desovante a partir de las distintas cohortes involucradas, se cuadruplicaron (1er. y 2do. criterio), triplicaron (3er. criterio) y duplicaron (4to. criterio) el número de hembras maduras. De esta forma, la fracción desovante del lance i, según los criterios del presente estudio, es:

- 1^{er} y 2^o. criterio: sin corrección de hembras maduras en el iésimo lance.

$$\bar{S}_i = \frac{\sum (m_{+1,i} + m_{0,i} + m_{-1,i} + m_{-2,i})}{4 \sum m_i} \quad \text{Ecuación 18}$$

- 3^{er}. criterio: sin corrección de hembras maduras en el iésimo lance.

$$\bar{S}_i = \frac{\sum (m_{0,i} + m_{-1,i} + m_{-2,i})}{3 \sum m_i} \quad \text{Ecuación 19}$$

- 4^o. criterio: corrección del submuestreo de hembras hidratadas, bajo la premisa que la verdadera fracción de hembras hidratadas es la misma que la fracción que desovó una noche o dos noches antes de la captura, $m_{0,i}$ se reemplazó por:

$$m_{0,i} = \frac{m_{-1,i} + m_{-2,i}}{2} \quad \text{Ecuación 20}$$

De esta forma, la fracción desovante del lance i es:

$$\bar{S}_i = \frac{\sum (m_{-1,i} + m_{-2,i})}{2 \sum \left(\frac{m_{-1,i} + m_{-2,i}}{2} + m_{+1,i} + m_{-1,i} + m_{-2,i} + m_{a,i} \right)} = \frac{\sum (m_{-1,i} + m_{-2,i})}{2 \sum m_{y,i}} \quad \text{Ecuación 21}$$

Finalmente, a partir de lo anterior, se obtiene la fracción promedio total de hembras desovantes para cada criterio, de la forma:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ecuación 22}$$

cuya varianza es:

$$V(\bar{S}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left(\frac{m_i}{\bar{m}} \right)^2 \left(\bar{S}_i - \bar{S} \right)^2 \quad \text{Ecuación 23}$$

donde:

\bar{S} : Fracción promedio de hembras desovantes por día en todos los lances.

\bar{m} : Número promedio de hembras maduras en el pésimo lance, según los criterios considerados:

n : Número de lances.

2.4 Objetivo específico 4: Establecer modelos o procedimientos para evaluar la distribución espacial del stock desovante, incluyendo la producción diaria de huevos y la fecundidad específica diaria.

Este nuevo enfoque utiliza modelos aditivos generalizados (GAM) que han sido especialmente diseñadas para resolver los problemas y limitaciones de la aplicación convencional del *MPDH*.

Los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) han demostrado ser una poderosa herramienta para modelar la distribución de huevos y la producción diaria de huevos (e.g. Borchers *et al.*, 1997; Bernal, 1999; Stratoudakis *et al.*, 2003), pero varios problemas metodológicos no habían podido ser resueltos para ser utilizados adecuadamente en el *MPDH*. Dichos problemas metodológicos han sido superados recientemente a través de un proyecto de la Unión Europea “Using environmental variables with improved DEPM methods to consolidate the series of sardine and anchovy estimates” (EU Study 99/080, <http://ruwpa-st.andrews.ac.uk/depmodel>), cuyas mejoras se pueden resumir en:

- Rutinas para la selección de modelos utilizando GAM, lo que previamente había sido realizado sobre una base *ad hoc* con elementos subjetivos.
- Modelación independiente del sistema de coordenadas en GAM, de esta manera los modelos deberían ser insensitivos a cambios en el sistema de coordenadas.
- Modelación de interacciones con GAM, cuyo principal tópico es cómo escalar la covarianza relativa de las variables.
- Mejor desempeño de la inferencia con modelos GAM
- Asegurar estabilidad del modelo con datos que se caracterizan por una alta presencia de ceros
- Facilitar el uso de las nuevas rutinas a usuarios interesados en mejorar estimaciones con el *MPDH*.

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

común.

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

$$E[N_i] = g^{-1}(\text{offset} + s(x_1, by = P_0) + s(x_2, by = \text{edad})) \quad \text{Ecuación 24}$$

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

Las estimaciones de la edad y N_i serán obtenidas directamente desde las muestras mediante un nuevo procedimiento de asignación de edad (ver más adelante). El parámetro *offset* es fijo y toma en cuenta diferencias en el tamaño de las muestras (i.e. volumen de agua filtrada o superficie efectiva muestreada). Se utilizará el área efectiva muestreada, calculada mediante el producto entre el área de la boca de la red CalVET y el coseno del ángulo del cable.

Las funciones suavizadoras son automáticamente seleccionadas por el nuevo conjunto de algoritmos desarrollado para GAM utilizando validación cruzada general (General Cross-Validation, GCV). No obstante, el conjunto de co-variables utilizadas para explicar la producción de huevos y la tasa de mortalidad serán seleccionadas por el equipo de trabajo sobre la base del conocimiento de la especie y las características del hábitat reproductivo.

Area de estudio y estimación de los límites del crucero

Idealmente, en estudios de inferencia diseño-basados (que es la forma de inferencia tradicional en la aplicación convencional del MPDH), la región del crucero debe ser definida antes de aplicar el

diseño. En la práctica, el diseño de tales cruceros es algo adaptativo con el esfuerzo de muestreo continuado fuera de la costa (transectas perpendiculares a la línea de costa) hasta que los huevos están lo suficientemente dispersos como para reunir algún criterio de corte. El análisis diseño-basado de estos cruceros asigna áreas que no se superponen para cada punto muestral (lance) y la región de estudio se considera como la suma de esas áreas. Esto constituye algo parecido a un diseño sistemático sin un punto de partida aleatorio, el cual no es un diseño ideal, pero con la intensa cobertura de puntos que estos cruceros tienen se aproximan satisfactoriamente a un muestreo aleatorio simple (Smith y Hewitt, 1985).

Para el análisis GAM-basado, se requiere una región del crucero cuyos límites queden claramente definidos con el objeto de que el modelo sea capaz de predecir solamente sobre los puntos que están dentro del área del crucero y evitar las extrapolaciones. Los supuestos y protocolos para definir el área del crucero fueron establecidos claramente en la discusión del proyecto de la UE, y un algoritmo que define automáticamente el área fue desarrollado. Las decisiones para definir el área del crucero fueron:

- Los límites exteriores son definidos por los puntos finales de cada transecta, pero se agrega una distancia equivalente a la mitad de la distancia entre puntos (estaciones) de la transecta.
- Límites sobre el comienzo y fin del crucero son definidos por los puntos de las transectas externas, pero agregando la mitad de la distancia entre transectas.
- Los límites internos (costeros) son definidos por una versión suavizada de la línea de costa. Esto es para evitar extrapolaciones a puntos cercanos a la costa. Sin embargo, en nuestra aplicación este tema quedó pendiente ya que es necesario modelar la línea de costa con el objeto de que sea apropiada a los fines requeridos. Esta es una tarea pendiente para el mejoramiento del método de producción diaria de huevos en Chile.

Al conocer el área exacta representada por un punto de muestreo (o cualquier otro punto sobre el cual la predicción toma lugar) es muy importante tanto para la aplicación tradicional como para la estimación GAM-basada. La producción de huevos se mide en unidades de individuos por m^2 por día, así el área de mar superficial representado por cada punto se necesita para obtener una estimación de la producción diaria en el área total del crucero. Es necesario evitar las

extrapolaciones y estimar tan precisa como sea posible el área exacta asociada a cada punto, en particular en puntos cercanos a la línea de costa donde una estimación imprecisa podría generar extrapolaciones sobre la tierra. La estimación del área representada por cada punto dentro del área del crucero debería considerar la distancia desde el punto a cualquiera de los puntos que lo rodean y a los límites del área del crucero de tal manera que el área de cada punto no se sobreponga con otros y la suma del área representada por dichos puntos sea igual al área total del crucero. El programa implementado en el programa GAM, calcula automáticamente el área que representa cada punto ya sea sobre una grilla regular o irregular.

Ajuste del modelo y selección de modelos

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

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

Los primeros tres puntos y el último están relacionados con una mejoría notable de ajuste de GAM

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

Los tres paquetes computacionales que permiten ajustar un modelo GAM en general (*mgcv*), en el contexto del MPDH (*depmodel*), y la resolución de la problemática espacial de los datos asociados al MPDH (*geofun*) fueron desarrollados dentro del proyecto GAM de la UE. Los programas fueron desarrollados como librerías de funciones en *R* (<http://www.cran.r-project.org>, Ihaka & Gentleman, 1996). *R* es un programa de libre distribución bajo los términos del “Free Software Foundation’s GNU General Public License (Hornik, 2002). Una breve descripción de cada programa es el siguiente:

- *mgcv*, es el programa principal para ajustar GAM. Los principales métodos estadísticos y computacionales han sido publicados (Wood, 2003) o están en preparación. 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.
- *eggs*, permite una estimación GAM-basada del MPDH, incluyendo funciones para: a) ajuste de modelos a datos provenientes de experimentos de incubación utilizando un modelo flexible multinomial; b) asignación de edades a datos de huevos por estadios de desarrollo observados utilizando un nuevo método Bayesiano de asignación de edades, sobre la base del modelo de desarrollo de los datos de incubación y función densidad de probabilidad para la sincronía del desove; c) agrupación de huevos en cohortes diarias y estimación de la abundancia promedio y edad promedio; d) ajuste de un modelo GAM para estimar la producción diaria de huevos y la mortalidad; y e) obtención de muestras bootstrap no paramétricas para la producción diaria de huevos, con incertidumbre asociada al procedimiento de asignación de edades. Otras funciones generales para obtener resúmenes estadísticos, gráficos, entre otras facilidades son también

incluidas en el programa.

- *geofun*, el programa está diseñado para modificar los datos espaciales para ser utilizados adecuadamente en la modelación espacial (e.g. usando GAM) y provee de funciones para representar mapas de distribución y salidas de los modelos. Las principales características son: a) transformación de pares de variables (usualmente latitud y longitud) a lo largo de una línea de referencia (e.g. línea de costa, isóbata) y perpendiculares a ésta; b) encuentra los límites del área del crucero y detecta los puntos que están dentro de dichos límites; c) estima el área de los puntos de una grilla de muestreo regular o irregular dentro de los límites del crucero mediante Dirichlet Tessellation, d) estima el área representada por los puntos localizados en el borde del crucero; e) provee funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).

Aplicación

El enfoque descrito se aplicó a los datos de anchoveta y sardina común de la zona centro-sur, considerando que para estos cruceros existe una influencia de la profundidad del fondo de mar y la temperatura superficial del mar (Castillo-Jordán *et al.*, 2007). Para el caso de la zona norte de Chile, no se realizó un análisis espacial pues se ha demostrado que la temperatura del mar no influye en la densidad de huevos, y al momento de evaluar otras variables (salinidad, sigma-t, clorofila), estos datos no estaban consolidados en las bases de datos rescatadas del FIP.

Aunque la fecundidad específica diaria también puede ser modelada en el espacio con modelos GAM, asumiendo un proceso isotrópico para la distribución de la fecundidad específica diaria en el espacio (latitud y longitud), y co-variables que podrían explicar tal distribución (e.g. temperatura, profundidad, distancia de la costa), este enfoque no se aplicó ya que para lograr una buena modelación el contraste espacial de los lances de pesca de adultos en el espacio es un requisito fundamental, situación que no se cumple para los datos disponibles en la zona centro-sur ni norte de Chile.

El enfoque de modelamiento consistió en un análisis exploratorio de la densidad total en función de la latitud y longitud geográfica (influencia espacial del hábitat), temperatura superficial del mar, profundidad de fondo. La estructura de error consideró la familia quasipoisson con enlace log, y la

forma de los suavizadores spline estuvieron restringido a valores comprendidos entre 1/5 a 1/3 de los grados de libertad disponibles con el objeto de minimizar la influencia de ocurrencia de pocos valores excesivamente altos de densidad de huevos. La devianza explicada, el puntaje de la validación cruzada general, y el examen visual de los resultados en el espacio fueron considerados para la selección de los modelos.

2.5 Objetivo 5: Determinar criterios y formulación de modelos de las observaciones para incluir la evaluación del stock desovante por el método de la producción diaria de huevos en modelos de evaluación de stock integrados.

El MDPH para estimar la biomasa desovante fue desarrollado específicamente para la anchoveta de California, pez desovador múltiple, por la necesidad de contar con un método de estimación adecuado para este objetivo (R. Lasker (ed.) 1985). Se pensaba entonces y la práctica lo ha demostrado después, que este método también es adecuado para estimar la biomasa desovante de otros clupeidos con desove múltiple como sardinas y machuelos, pero su aplicación se ha extendido también a jurel e incluso merluzas. Cabe indicar que si el crucero para el muestreo del ictioplancton tiene una cobertura adecuada, es decir cubre toda el área de desove, y el muestreo de los adultos representa la situación del stock desovante, entonces se puede obtener una estimación de la biomasa desovante que puede ser considerada una estimación absoluta. Esta es la situación de su aplicación en la anchoveta de Sudáfrica (De Oliveira, 2002). De hecho una fortaleza del método es que todos los parámetros pueden ser estimados por medio del crucero y con niveles de precisión conocidos. La condición es sin embargo que las muestras para la estimación de los parámetros adultos deben representar adecuadamente la condición de los adultos tanto de la fracción que desovó como la que no desovó, esto es, que ambas partes del stock desovante estén igualmente disponibles al arte de pesca. Esta condición ha sido rara vez evaluada y en particular en los estudios realizados en Chile ha sido difícil en la práctica la obtención de muestras de ejemplares adultos, lo que ha afectado tanto la cantidad (número de muestras obtenidas) como la calidad (tallas representadas, cobertura espacial) de las muestras.

Los métodos modernos de evaluación de stock (Quinn y Deriso, 1999) al igual que el análisis de población virtual (APV) necesitan de disponer de “información auxiliar” con el fin de “calibrar” o “sintonizar” la evaluación para obtener estimaciones confiables de abundancia, en especial de los años más recientes de la serie.

La información auxiliar que se identifica como necesaria en stocks de peces pelágicos pequeños son preferentemente indicadores de la abundancia obtenidos de fuentes independientes de la pesquería, por medio de cruceros de investigación (evaluación hidroacústica y el MDPH).

En la pesquería de anchoveta del norte el método hidroacústico ha sido desestimado y se utiliza la BD estimada por el MDPH; en los stocks de anchoveta y sardina de la pesquería centro-sur en cambio los resultados del MDPH no han sido utilizados y si los de hidroacústica. En ambos casos las estimaciones de biomasa se utilizan como índices relativos.

La relación funcional que asocia la biomasa desovante obtenida con el MDPH con la biomasa desovante estimada con el modelo de evaluación de stock es:

$$BD_{ASP} = q * BD_{MPDH} \quad \text{Ecuación 25}$$

donde: BD es biomasa desovante y q es una constante de proporcionalidad. Si $q = 1$ entonces BD_{MPDH} es un índice absoluto; si $q < 1$ entonces es un índice relativo. La decisión sobre cual q usar depende de la cobertura espacial del crucero del área de desove.

Para la anchoveta de la zona norte de Chile la BD_{MPDH} se considera un índice relativo puesto que el área de desove de la anchoveta se extiende hacia el sur del Perú, zona no cubierta por el crucero y por tanto $q < 1$. Aquí la diferencia entre la BD estimada por el modelo de evaluación es hasta un factor de 10 respecto de la estimada por el MDPH, lo que se considera una diferencia grande y que a la fecha no ha podido ser resuelta.

Aspectos que inciden en la relación son: área prospectada, fecha de los cruceros, condiciones oceanográficas y muestreo de los adultos.

Los cambios en el tamaño del área prospectada y en la fecha de realización de los cruceros de

muestreo del ictioplancton son una fuente adicional de variación de los datos y que afectan su comparación. En el mismo sentido la ocurrencia por ejemplo del fenómeno “El Niño” puede modificar la distribución del desove de la anchoveta del norte y afectar su comparación en la serie.

Respecto de la anchoveta y sardina común de la zona centro sur, las estimaciones de la BD con el MDPH no han sido incluidas aún en los modelos de evaluación de stock. Al respecto se ha considerado necesario una instancia formal de análisis para su inclusión en la evaluación de stock y segundo la serie contaba con un número restringido de observaciones ya que comenzó a construirse el año 2002, contando recién en la actualidad con cuatro observaciones. En este sentido este estudio cobra relevancia ya que permite abordar formalmente el análisis respecto de las ventajas y/o desventajas de su inclusión explícita en la evaluación de ambos recursos.

Para la anchoveta de la zona norte la serie de estimaciones de BD que existen por MDPH corresponden a los años 1992, 1995, 1996, 1997 y desde 1999 en adelante. Son en total once puntos para el análisis. La serie de la anchoveta y sardina común de la zona centro sur es más corta; existen estimaciones desde el año 2001 que pueden ser consideradas en la evaluación de stock.

Desde el punto de vista de la modelación, y considerando como enfoque de modelación los modelos estadísticos, las estimaciones del MDPH corresponden a observaciones, cuya forma está definido por la ecuación (25).

La estimación en el modelo de evaluación de stock corresponde a un estimador de máxima verosimilitud, que asume que los errores de observaciones tienen una distribución log-normal, y donde la función objetivo a minimizar para la biomasa desovante corresponde a:

$$-\frac{1}{2 * cv^2} * \sum_a (LnBD_{obs} - Ln(q * BD_{est}))^2 \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde cv es el coeficiente de variación, BD es la biomasa desovante; a es año; BD_{obs} es la biomasa desovante estimada por MDPH; q es el coeficiente de proporcionalidad; y BD_{est} es la biomasa desovante estimada con el modelo de evaluación de stock.

A su vez, la verosimilitud parcial es parte de función de minimización global que integra todas las

piezas de información que alimentan el modelo de la dinámica del stock, la cual queda definida por:

$$-LnL(\theta / data) = -\sum_i L(i) - p \quad \text{Ecuación 27}$$

Cuando se agrega una pieza de información al modelo de evaluación de stock, será necesario medir la contribución total al ajuste de la información correspondiente al MPDH, para entre otros criterios definir el indicador con informativo para el modelo de la dinámica planteado. Para ellos se plantea la necesidad de revisar antecedentes de literatura que permitan la generación de tal indicador.

En definitiva las series disponibles para la anchoveta de la zona norte y pelágicos pequeños centro sur serán evaluadas en su utilidad para el proceso de evaluación de stock considerando los siguientes criterios:

- a) Cobertura del área del crucero respecto del área de desove.
- b) Cobertura espacial del muestreo de adultos.
- c) Distribución de tallas/edad de los ejemplares muestreados y proporción sexual.
- d) Comparación antes de la evaluación con otros indicadores de tendencias
- c) Contribución a la verosimilitud del modelo de evaluación

Asimismo la magnitud de las estimaciones de BD por el MDPH será examinada frente a los resultados disponibles de la evaluación de stock; y finalmente la estructura del estimador de verosimilitud puede ser revisada a la luz de los antecedentes en la literatura internacional.

2.6 Análisis no comprometidos en Oferta Técnica

Dada la oportunidad de realizar una revisión exhaustiva a todos los parámetros y variables involucradas en la estimación de biomasa por el método, es que además de los temas comprometidos en la Oferta Técnica, se han realizado otros análisis complementarios.

2.6.1 Fecundidad parcial

Dado que las ecuaciones de regresión para la fecundidad parcial en función del peso corporal en la zona norte han tenido problemas de ajuste en determinados años, es que se realizó un estudio comparativo entre años para dilucidar la fuente de variabilidad. Para lo cual se probó la significancia del intercepto de las ecuaciones lineales mediante test t. Se compararon las pendientes de regresión mediante análisis de covarianza y Test Tukey.

Dado que en estimaciones de fecundidad parcial, lo que se cuenta directamente es el número de ovocitos hidratados en muestras de tejido ovárico y posteriormente se expande al ovario, se realizó un análisis del número de ovocitos por gramo de ovario en función del peso corporal de la hembra para el total de hembras analizadas ($n = 1035$), para verificar influencia del tamaño de la hembra. Además, para verificar la fuente de variabilidad se realizó un análisis de componentes de la varianza (i.e. lances y años) al número de ovocitos por gramo de ovario.

2.6.2 Variabilidad espacial de los adultos

Para el análisis de la posible variabilidad en los parámetros de adultos de las hembras, se utilizó la información de los promedios por lance de las tallas de las hembras de los años 2000 al 2006, en función de la Latitud, Longitud y Año.

3. RESULTADOS

3.1 Objetivo 1: Determinar y evaluar el diseño de muestreo espacial de la producción de huevos total realizada para los recursos anchoveta y sardina común en sus respectivas unidades de pesquería.

3.1.1 Número mínimo de estaciones.

El tamaño mínimo de estaciones estimado según la ecuación para muestreo al azar (Ecuación 1), no rinde resultados satisfactorios debido a lo altamente contagioso de la distribución espacial de huevos (Numerosas estaciones “cero”), rindiendo números imposibles de realizar (del orden de miles). El parámetro de la binomial negativa (K) es un índice de dispersión (Elliot, 1977), que tiende a cero al máximo contagio, por lo que los valores estimados indican un alto grado de agregación (Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11). Al utilizar la distribución binomial negativa para el cálculo de tamaño mínimo de estaciones (Ecuación 3), resultan tamaños mínimos que están bajo de lo realizado hasta el momento en las prospecciones de anchoveta en ambas zonas (Tabla 9 y Tabla 10), excepto para el año 2001 en anchoveta de la zona norte, que dado lo altamente agregada de la distribución de huevos (60 estaciones positivas de un total de 514), se estima un número mínimo de 1403 estaciones a realizar.

Caso contrario a anchoveta es la sardina común de la zona centro sur (Tabla 11), en que este análisis indica una distribución más agregada de los huevos, con valores de K muy bajos, por lo que serían necesarias un mayor número de estaciones que las realizadas hasta el momento. Solamente el año 2003 se completó el número mínimo.

Tabla 9: Tamaño mínimo de muestras para anchoveta zona norte (I y II regiones). *Est. Real* = Estaciones realizadas en el año; *X* = densidad media ($N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2$); *S* = Desviación estandar de la densidad media; *K* = Parámetro de la distribución binomial negativa; N_{θ} = Tamaño mínimo estimado.

Año	Est. Real.	X	S	K	N_{θ}
1992	542	20.2	52.47	0.089	282
1995	578	13.3	77.52	0.084	300
1996	752	8.9	41.79	0.050	504
1997	800	10.0	52.09	0.055	457
1999	598	12.7	86.05	0.042	593
2000	502	20.9	60.98	0.099	254
2001	514	14.5	123.03	0.018	1403
2002	589	31.1	97.52	0.131	191
2003	537	17.3	107.94	0.044	576
2004	649	19.1	84.41	0.067	372
2005	658	25.9	127.89	0.063	397
2006	799	14.3	97.93	0.058	434

Tabla 10: Tamaño mínimo de muestras para anchoveta zona centro sur (V a X regiones). *Est. Real* = Estaciones realizadas en el año; *X* = densidad media ($N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2$); *S* = Desviación estandar de la densidad media; *K* = Parámetro de la distribución binomial negativa; N_{θ} = Tamaño mínimo estimado.

Año	Est. Real.	X	S	K	N_{θ}
2002	795	6.1	28.69	0.059	431
2003	429	25.3	78.16	0.099	253
2004	293	12.3	61.41	0.078	324
2005	287	23.4	111.14	0.076	332

Tabla 11: Tamaño mínimo de muestras para sardina común zona centro sur (V a X regiones). *Est. Real* = Estaciones realizadas en el año; *X* = densidad media ($N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2$); *S* = Desviación estandar de la densidad media; *K* = Parámetro de la distribución binomial negativa; N_{θ} = Tamaño mínimo estimado.

Año	Est. Real.	X	S	K	N_{θ}
2002	795	9.2	79.53	0.025	1014
2003	429	0.9	3.56	0.062	429
2004	293	0.6	4.86	0.037	716
2005	288	3.8	23.40	0.030	841

3.1.2 Análisis geoestadístico convencional

a) Anchoqueta, zona norte de Chile.

El análisis geoestadístico convencional se aplicó para analizar la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoqueta en la zona norte, considerando los cruceros resumidos en la Tabla 12. La localización geográfica de las transectas y estaciones de estos cruceros fue transformada a distancia en millas náuticas. En ese sistema de referencia, la distribución espacial y la frecuencia de la abundancia de huevos de anchoqueta zona norte se presenta en las Figura 3 y Figura 4, observándose que los núcleos de mayor abundancia se localizan en el sector centro del área de estudio, al sur del río Loa. La mayor frecuencia de la abundancia es menor a 100 huevos/0,05 m², y por sobre este nivel la frecuencia de abundancias altas es más bien poco frecuente y local.

Tabla 12: Número total de muestras, muestras positivas, y densidad media de huevos de anchoqueta en la zona norte de Chile. El coeficiente de variación (%) se muestra entre paréntesis.

Crucero	Total estaciones	Estaciones (+) (%)	Densidad media de huevos (huevos 0.05 m ⁻²) y CV (%)	
			Aritmética	Geostadística
2005	658	32,67	25,926 (493,30)	30,553 (3,367)
2002	589	52,63	31,078 (313,80)	34,009 (8,243)
2000	502	42,23	20,863 (292,32)	24,271 (13,731)
1996	752	23,40	8,933 (467,81)	15,538 (13,528)

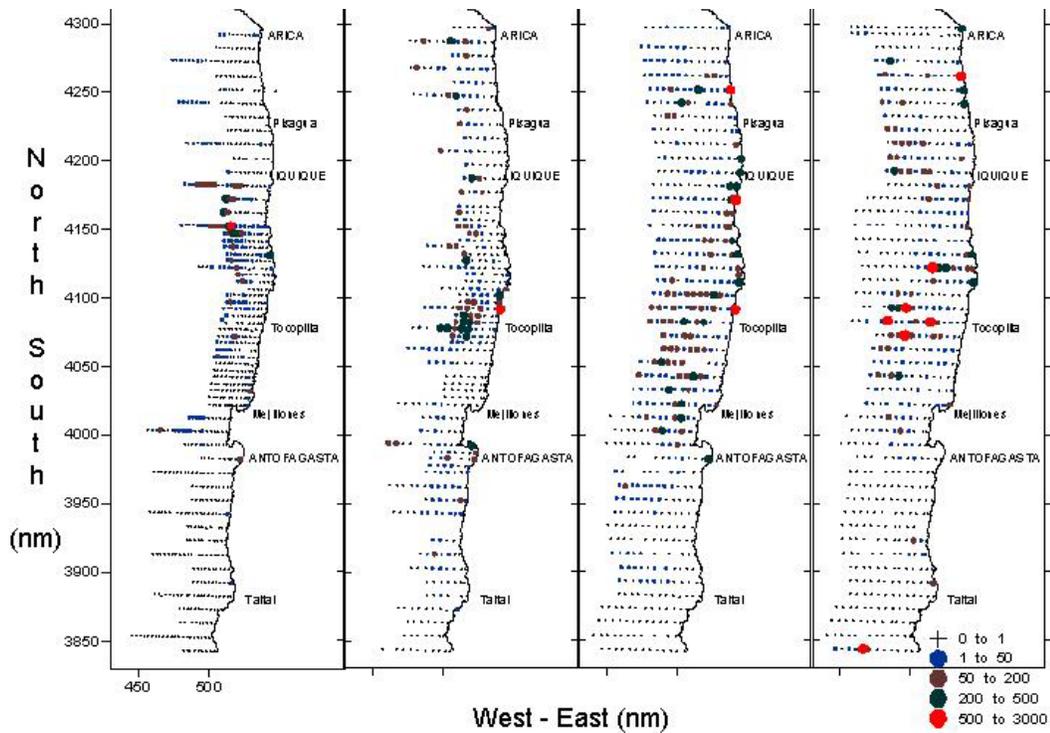


Figura 3: Distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta en la zona norte de Chile (de izquierda a derecha: 1996, 2000, 2002 y 2005).

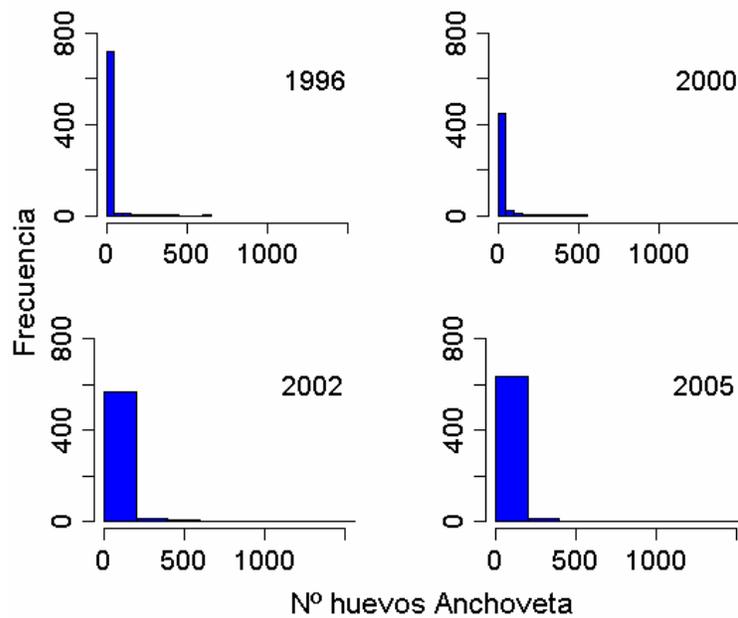
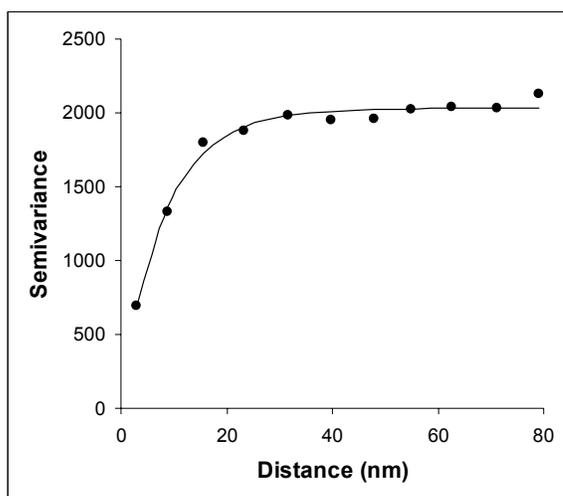


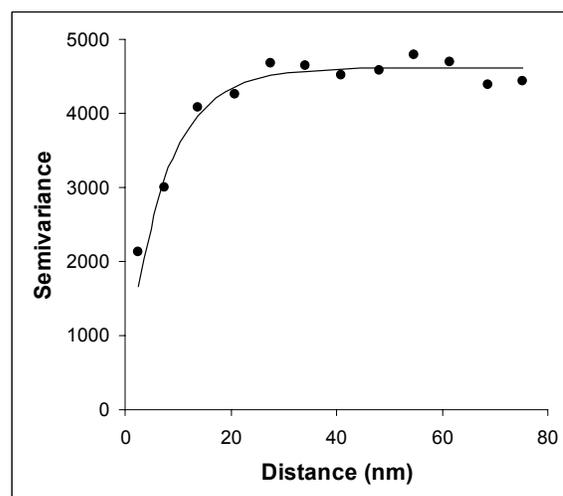
Figura 4: Distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta zona norte para los años 1996, 2000, 2002 y 2005.

Los variogramas experimentales y teóricos ajustados, para anchoveta zona norte se muestran en las Figura 5, que resultaron ser omnidireccionales (ausencia de anisotropía, Figura 6) del tipo Exponencial, con un tamaño de agregaciones, cluster o parches de huevos determinados por el rango del variograma teórico definido junto a los demás parámetros en la Tabla 13. Es decir, aunque la distancia entre transectas evitó la autocorrelación, la distancia entre estaciones fue marginalmente inferior al rango del variograma.

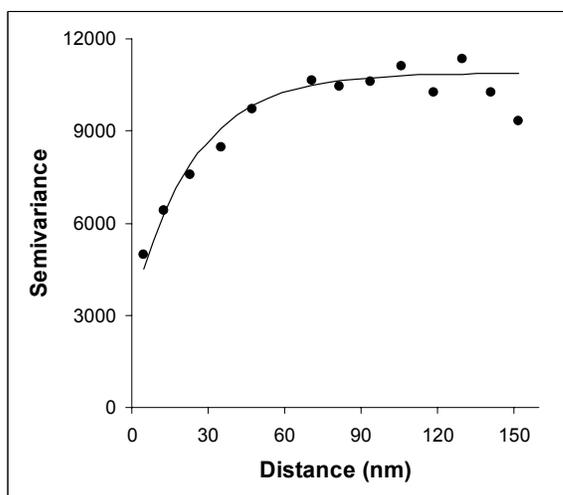
Crucero 1996



Crucero 2000



Crucero 2002



Crucero 2005

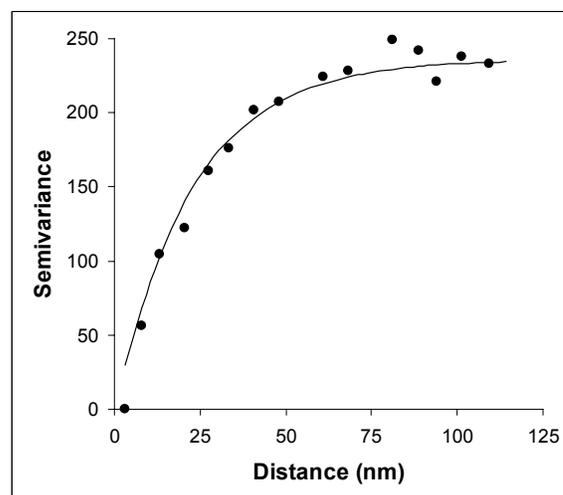
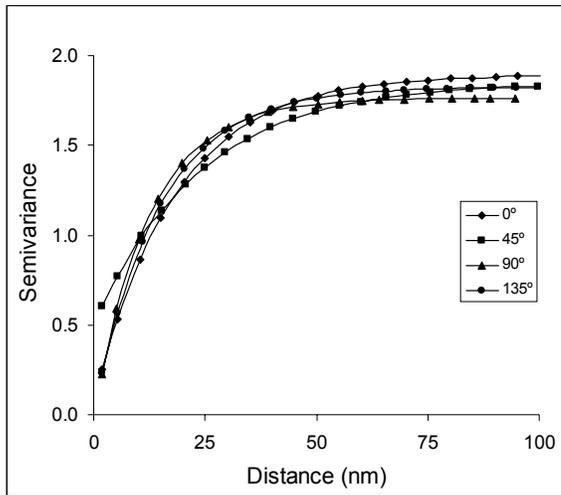
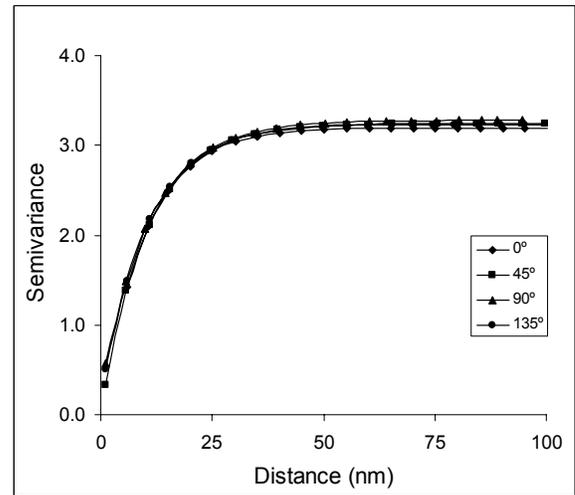


Figura 5: Modelo exponencial ajustado al variograma experimental para la densidad total (huevos por 0.05 m^2) de huevos de anchoveta en la zona norte de Chile, cruceros 1996, 2000, 2002 y 2005.

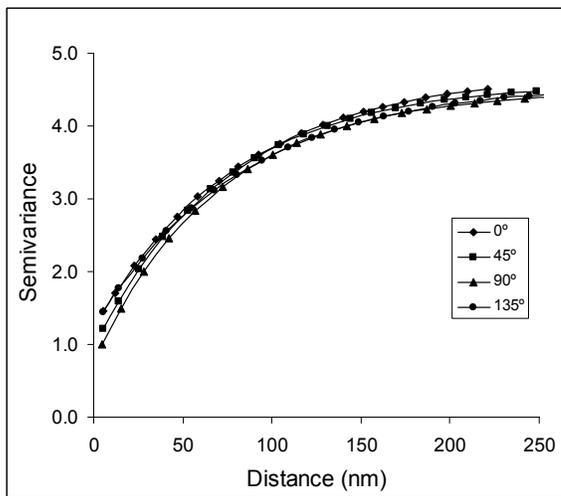
Crucero 1996



Crucero 2000



Crucero 2002



Crucero 2005

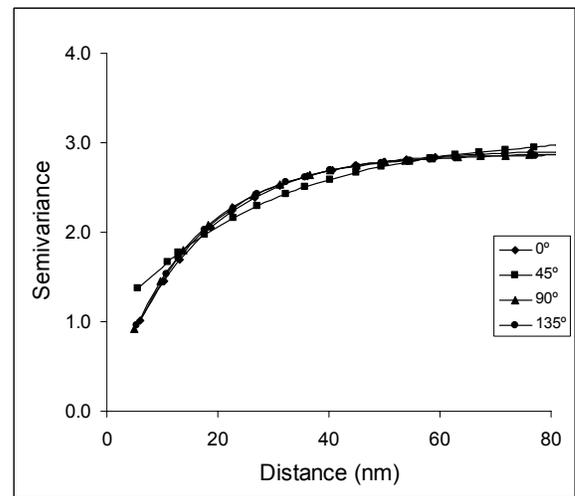


Figura 6: Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en la estructura espacial de la densidad de huevos de anchoveta, zona norte de Chile.

Tabla 13: Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos usados durante el kriging para anchoveta zona norte.

	Anchoveta zona norte			
	2005	2002	2000	1996
Método	Robusto	Clásico	Clásico	Clásico
Modelo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Nugget	0	3085,10	472,78	148,29
Sill	236,15	10887,68	4612,46	2029,73
Rango (millas náuticas)	68,7	71,6	22,2	25,6
Número de sectores	1	1	1	1
Máximo numero de puntos	4	7	4	4
Sesgo (huevos 0,05 m ⁻²)	0,290	0,034	0,005	9,600E-5
Residuos SD (huevos 0,05 m ⁻²)	60,273	37,050	27,503	17,164
MSE (huevos ² 0,0025 m ⁻⁴)	3633,144	1372,743	756,417	294,615

La reproducción del patrón de distribución espacial de anchoveta considerando la estructura de auto correlación espacial descrita por los parámetros del variograma y el kriging puntual ordinario se muestra en la Figura 7, observándose que describe muy bien el patrón observado en la distribución de la abundancia de huevos de anchoveta. Se observa la baja abundancia de huevos de anchoveta en el sector sur en los años seleccionados, y el núcleo de mayor importancia localizado en el sector centro del área de estudio se ha mantenido en el transcurso del tiempo, con un núcleo importante al sur del río Loa. A pesar de esto, la modelación geoestadística revela que el núcleo de abundancia fue cubierto por los cruceros de evaluación en la zona norte de Chile.

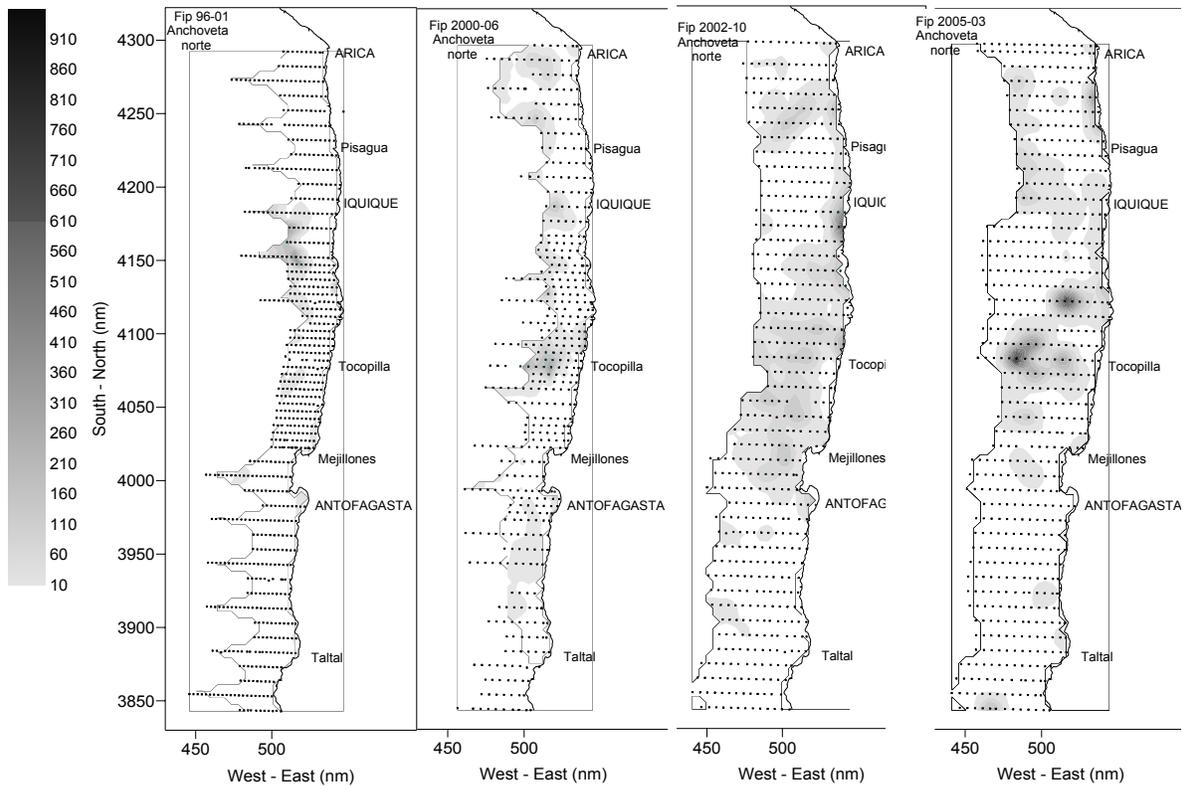


Figura 7: Mapas del área de estudio del norte de Chile para los años 1996, 2000, 2002 y 2005, indicando las estaciones planctónicas y la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta (huevos por 0.05 m^2) reproducida espacialmente por el kriging en el proceso estocástico para el área de estudio.

b) Anchoqueta, zona centro-sur

El análisis geoestadístico convencional se aplicó para analizar la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta en la zona centro-sur, considerando los cruceros resumidos en la Tabla 14.

La distribución espacial y la frecuencia de la abundancia de huevos de anchoveta para la zona centro sur se presentan en las Figura 8 y Figura 9, observándose que los núcleos de mayor abundancia se localizan en el sector sur del área de estudio y ligeramente fuera de la costa. La mayor frecuencia de la abundancia es menor a $100 \text{ huevos}/0,05 \text{ m}^2$, y por sobre este nivel la frecuencia de abundancias altas es más bien poco frecuente y local.

Tabla 14: Número total de muestras, muestras positivas, y densidad media de huevos de Anchoveta en la zona centro-sur de Chile. El coeficiente de variación (%) se muestra entre paréntesis.

Anchoveta Crucero	Total estaciones	Estaciones (+) (%)	Densidad media de huevos (huevos 0.05 m ⁻²) y CV (%)	
			Aritmética	Geostadística
2005	288	37,15	23,128 (477,09)	49,009 (17,62)
2004	294	34,35	12,282 (500,86)	19,361 (17,52)
2003	429	43,36	25,324 (308,64)	27,983 (3,60)
2002	795	24,28	6,079 (21,19)	10,071 (1,29)

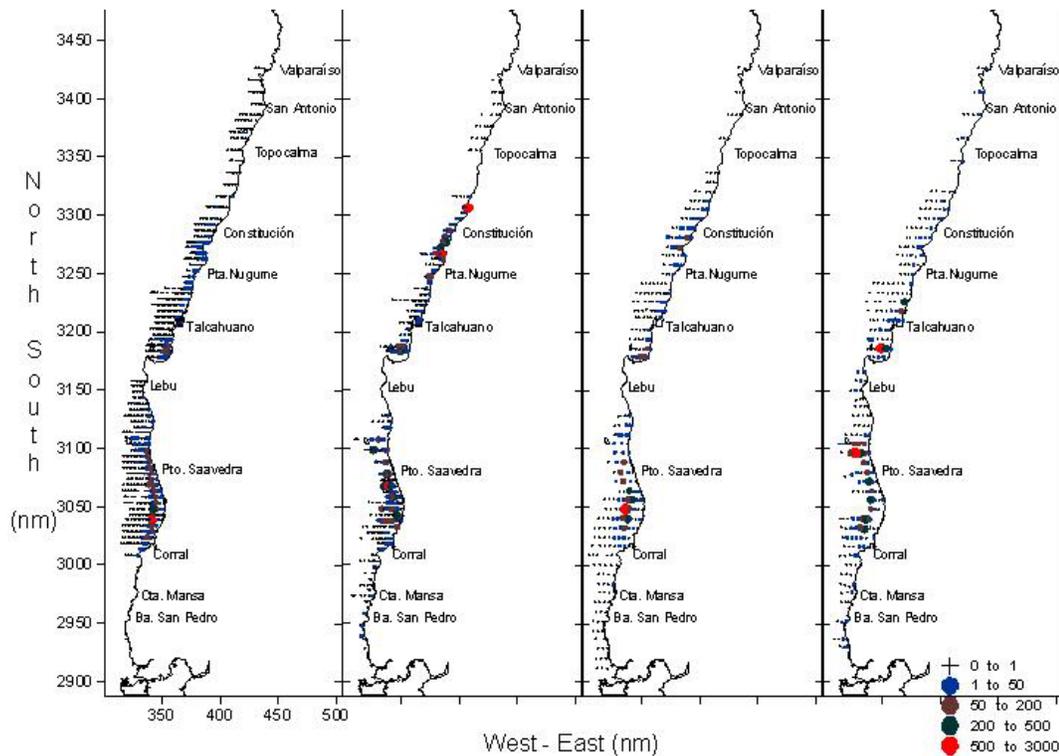


Figura 8: Distribución espacial y distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta en la zona centro sur de Chile (de izquierda a derecha: 2002, 2003, 2004 y 2005).

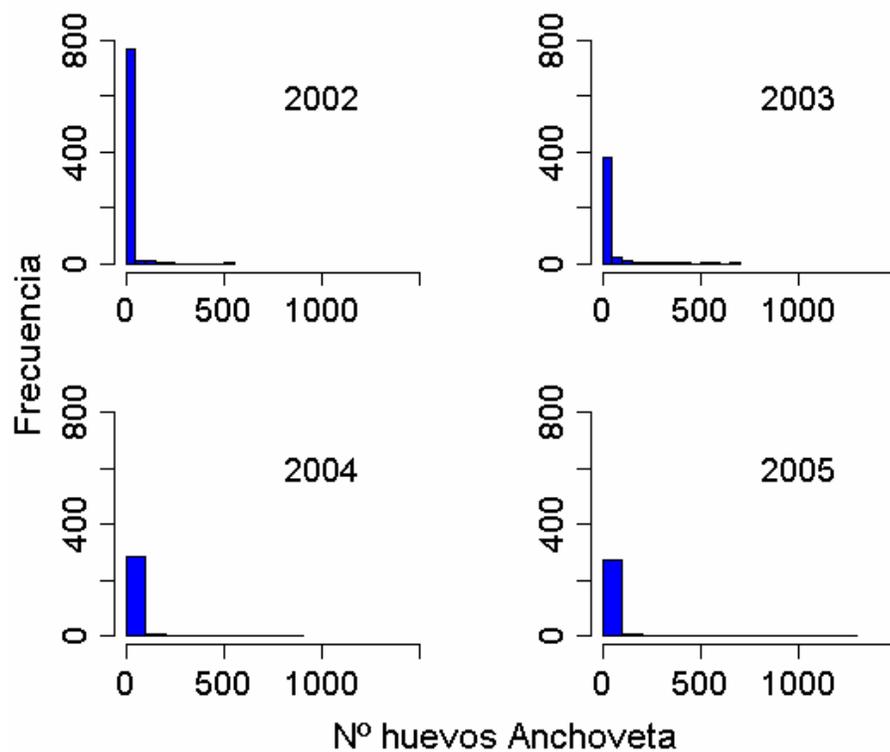
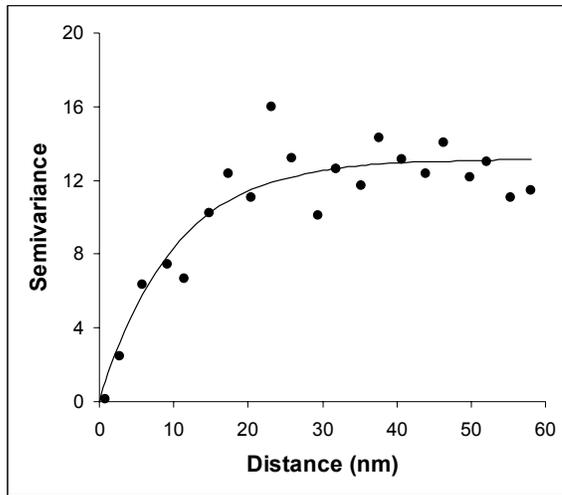


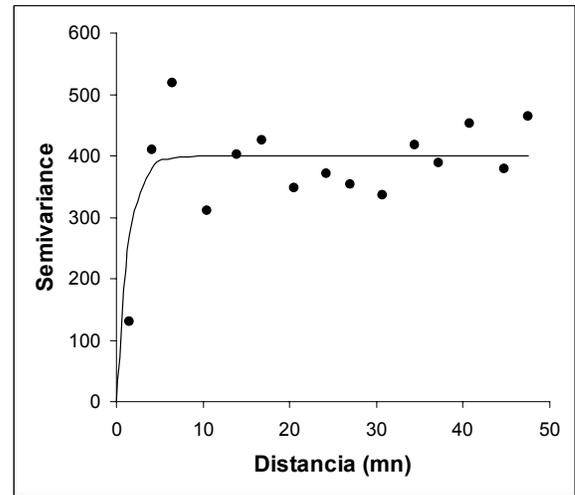
Figura 9: Distribución de frecuencia de la densidad de huevos de anchoveta zona centro sur para los años 2002, 2003, 2004 y 2005.

El variograma experimental y teórico ajustado, para los cruceros de anchoveta se muestran en la Figura 10, los que resultaron ser omnidireccionales (ausencia de anisotropía, Figura 11) y del tipo Exponencial y Gaussiano (Tabla 15) con un tamaño de agregaciones, cluster o parches de huevos determinados por el rango de los variogramas teóricos definidos entre 10,93 y 18,32 km. Es decir, aunque la distancia entre transectas evitó la auto correlación, la distancia entre estaciones fue marginalmente inferior al rango del variograma, ha excepción del año 2003 en el que fue 2,53 km.

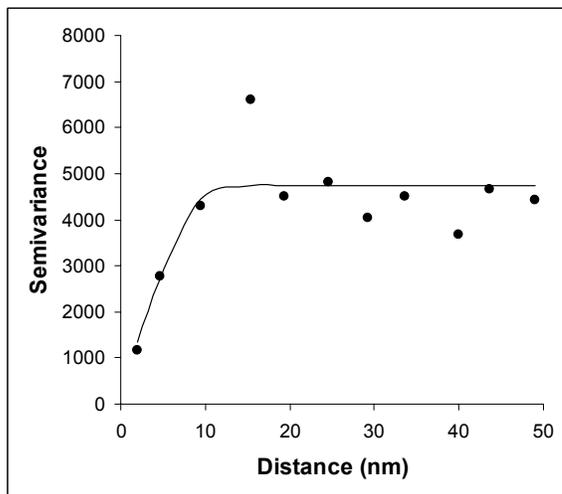
Crucero 2002



Crucero 2003



Crucero 2004



Crucero 2005

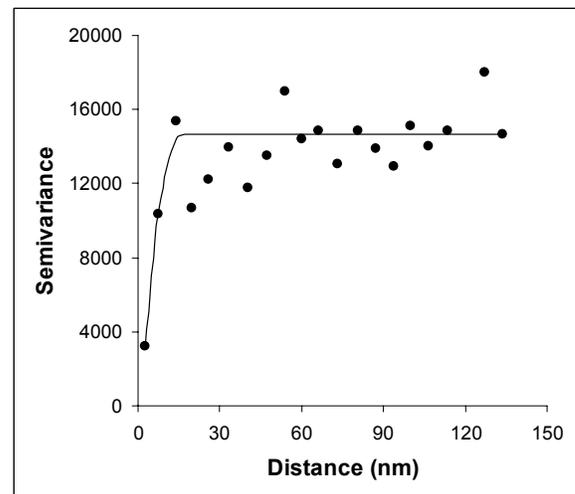
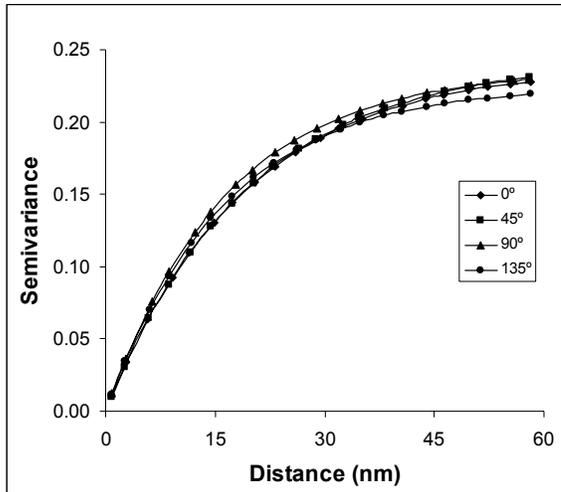
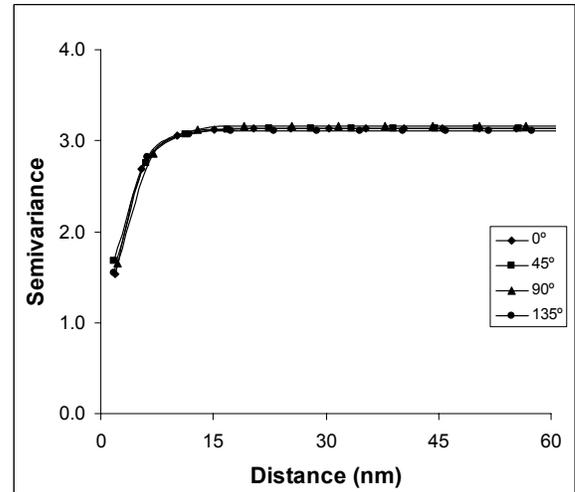


Figura 10: Modelo exponencial (crucero 2002 y 2003) y modelo gaussiano (crucero 2004 y 2005) ajustados a los variograma experimentales de la densidad total (huevos por 0.05 m^2) de huevos de anchoveta en la zona centro-sur de Chile.

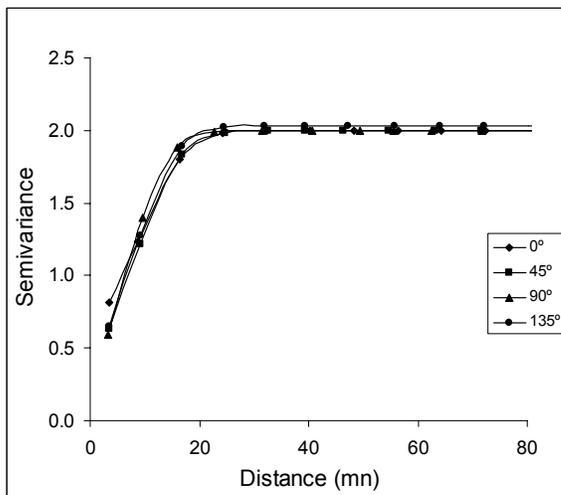
Crucero 2002



Crucero 2003



Crucero 2004



Crucero 2005

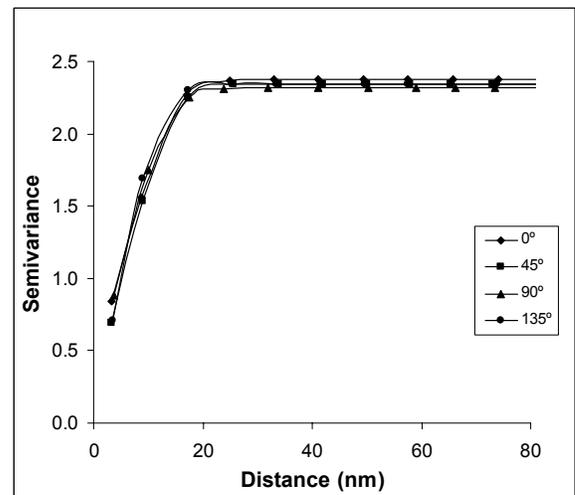


Figura 11: Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en la estructura espacial de la densidad de huevos de anchoveta, zona centro-sur de Chile.

Tabla 15: Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos usados durante el kriging para anchoveta zona centro sur.

	Anchoveta zona centro-sur			
	2005	2004	2003	2002
Método	Clásico	Clásico	Clásico	Clásico
Modelo	Gausiano	Gausiano	Exponencial	Exponencial
Nugget	1280,49	946,34	0	0
Sill	14647,39	4742,46	399,77	13,16
Rango (millas náuticas)	12,2	10,2	4,1	29,7
Número de sectores	1	1	1	1
Máximo número de puntos	10	5	4	4
Sesgo (huevos 0,05 m ⁻²)	0,017	1,894E-5	0,238	0,044
Residuos SD (huevos 0,05 m ⁻²)	59,902	32,348	54,667	19,438
MSE (huevos ² 0,0025 m ⁻⁴)	3588,259	1046,435	2988,623	377,897

La reproducción del patrón de distribución espacial de anchoveta considerando la estructura de auto correlación espacial descrita por los parámetros del variograma y el kriging puntual ordinario se muestran en la Figura 12, observándose que describe muy bien el patrón observado en la distribución de la abundancia de huevos de anchoveta. Se observa la baja abundancia de huevos de anchoveta en el sector centro, y el núcleo de mayor importancia localizado en el sector sur, con un núcleo importante de abundancia que tiende a localizarse ligeramente fuera de la costa. A pesar de esto, la modelación geoestadística revela que el núcleo de abundancia fue cubierto por el crucero de evaluación.

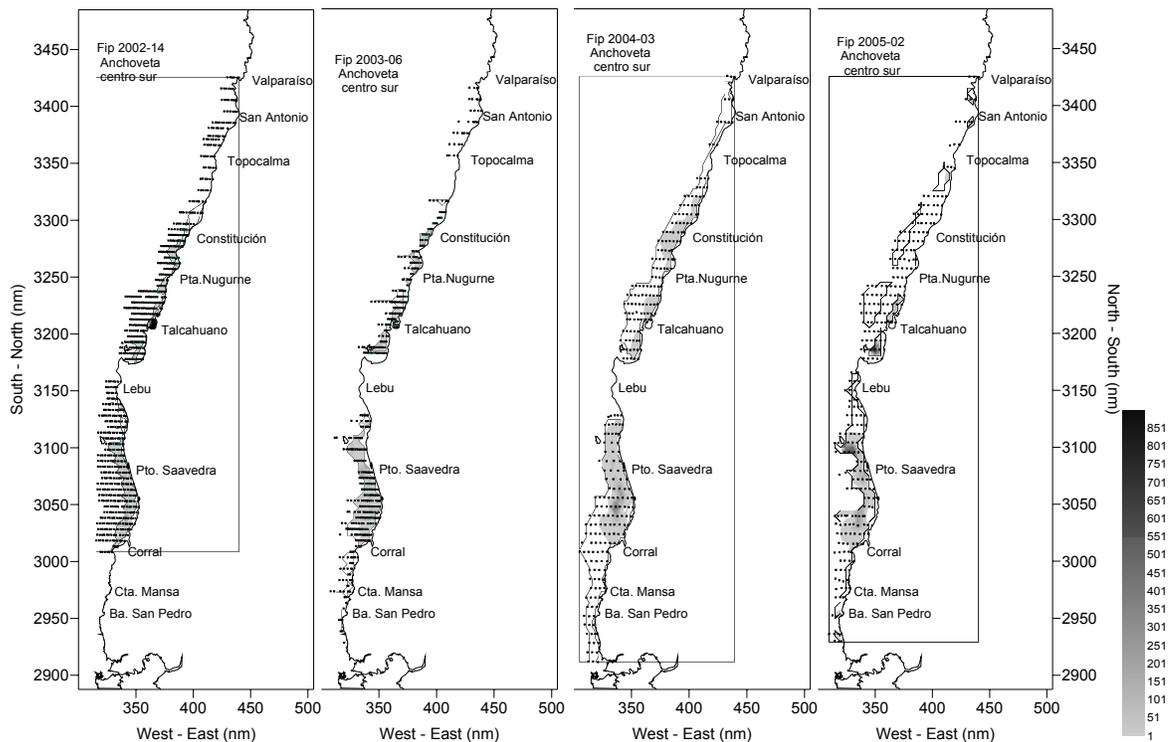


Figura 12: Mapas del área de estudio centro sur de Chile para los años 2002, 2003, 2004 y 2005, indicando las estaciones planctónicas la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta (huevos por 0.05 m^2) reproducida espacialmente por el kriging en el proceso estocástico para el estudio.

c) Sardina común

En el caso de la sardina común, el análisis geoestadístico convencional sólo se pudo aplicar para el crucero 2002 (alta abundancia) y el subsector sur del área de estudio en el crucero 2005 (Tabla 16).

El variograma experimental y teórico ajustado, para sardina común se muestran en la Figura 15, los que resultaron ser omnidireccionales (ausencia de anisotropía, Figura 16) y del tipo Exponencial, Esférico según el año, con un tamaño de agregaciones, cluster o parches de huevos determinados por el rango del variograma teórico definido entre 5,32 mn a 17,61 mn (ca 9,86 a 32,63 km). Es

decir, aunque la distancia entre transectas evitó la autocorrelación la distancia entre estaciones fue muy inferior al rango del variograma para ambos años analizados (Tabla 17).

Tabla 16: Número total de muestras, muestras positivas, y densidad media de huevos de Sardina común. El coeficiente de variación (%) se muestra entre paréntesis.

Sardina común	Crucero	Total estaciones	Estaciones (+) (%)	Densidad media de huevos (huevos 0.05 m ⁻²) y CV (%)	
				Aritmética	Geostadística
	2005	91	31,87	10,297 (343,87)	15,598 (6.04)
	2002	773	13,97	9,391 (11,65)	23,511 (0.33)

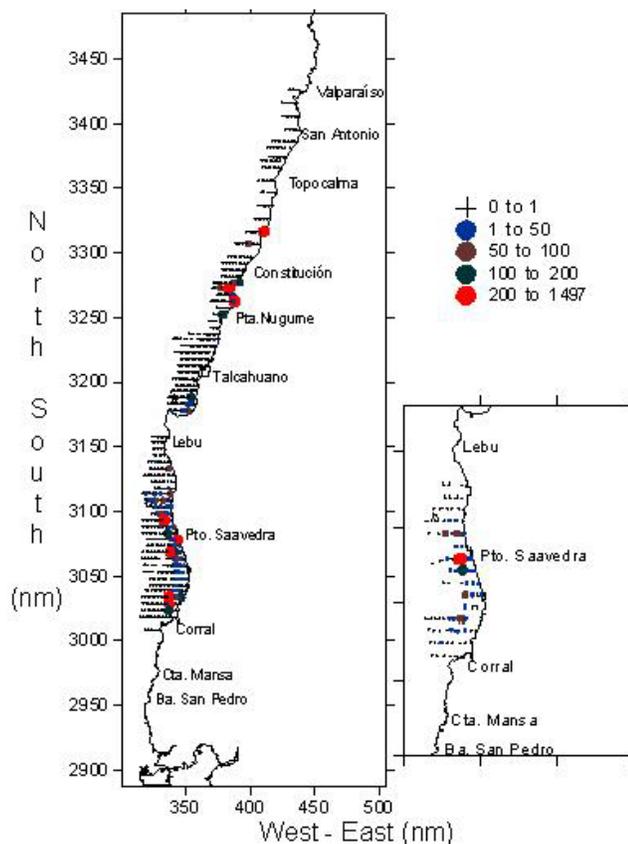


Figura 13: Distribución espacial de la densidad de huevos de sardina común en la zona centro sur y sur de Chile (de izquierda a derecha: 2002 y 2005).

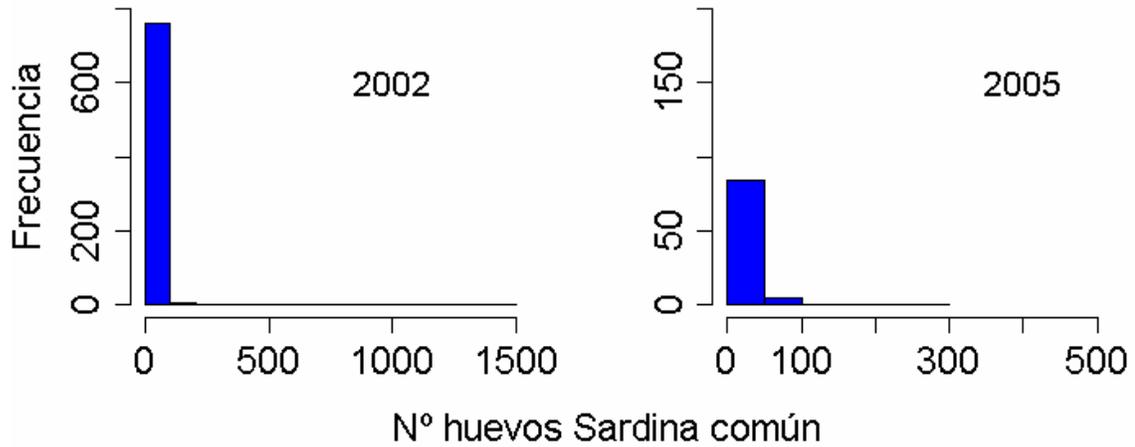


Figura 14: Distribución de frecuencia de la densidad de huevos de sardina zona centro sur y sur para los años 2002 y 2005.

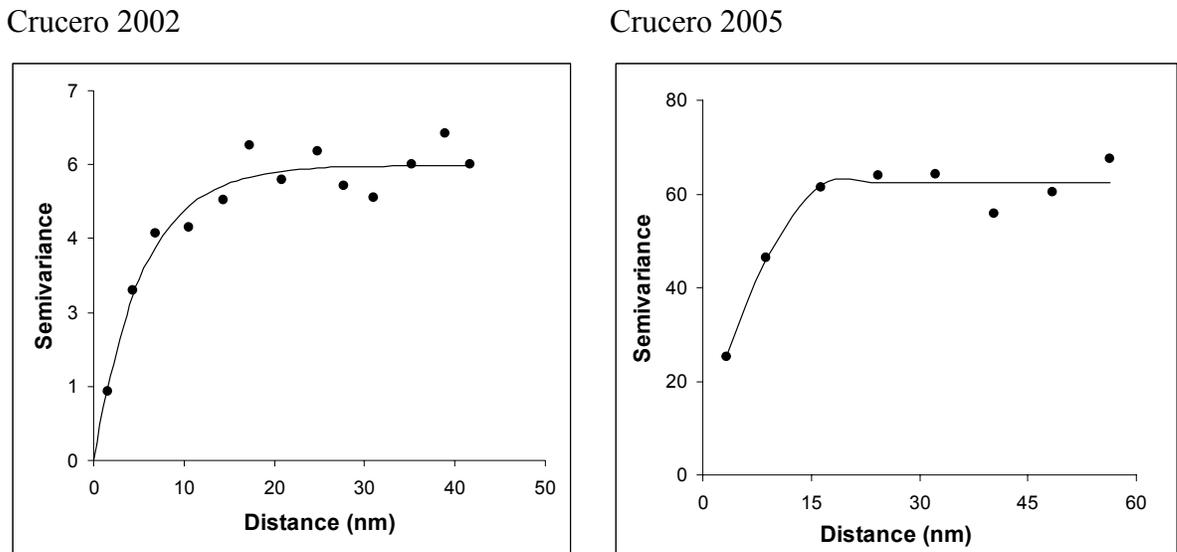
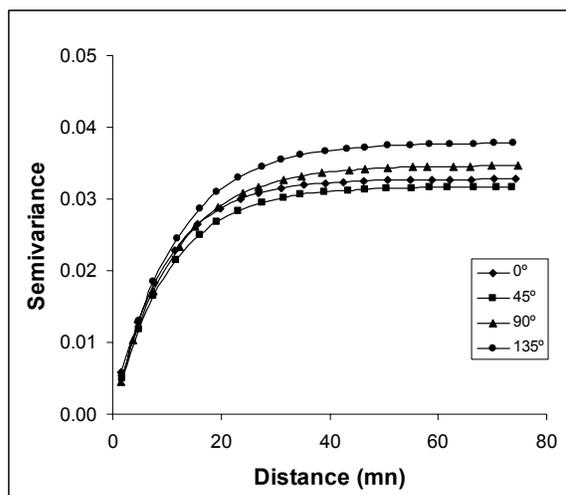


Figura 15: Modelo exponencial (crucero 2002) y modelo esférico (crucero 2005) ajustados al variograma experimental para la densidad total (huevos por 0.05 m^2) de huevos de sardina común en la zona sur de Chile.

Crucero 2002



Crucero 2005

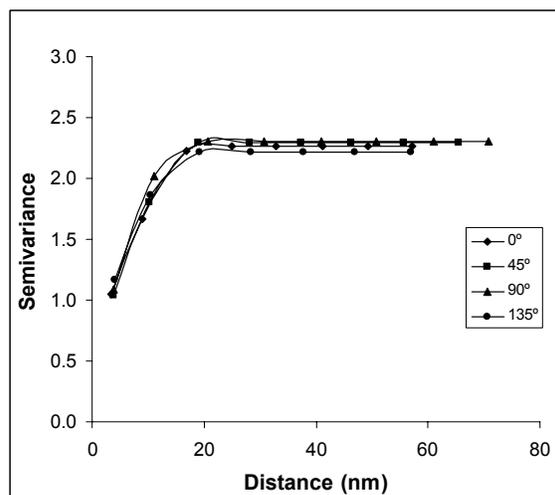


Figura 16: Variogramas direccionales en 4 direcciones ortogonales demostrando falta de anisotropía en sardina común en la zona sur de Chile año 2005.

Tabla 17: Resultados de la validación cruzada para el número de sectores y el máximo número de puntos usados durante el kriging para sardina común zona centro sur.

	2005 (sur)	2002
Método	Robusto	Robusto
Modelo	Esférico	Exponencial
Nugget	10,6	0
Sill	62,42	5,58
Rango (millas náuticas)	17,6	16,0
Numero de sectores	1	1
Máximo número de puntos	6	4
Sesgo (huevos $0,05 \text{ m}^{-2}$)	0,003	0,396
Residuos SD (huevos $0,05 \text{ m}^{-2}$)	15,924	66,583
MSE (huevos ² $0,0025 \text{ m}^{-4}$)	253,568	4433,783

La reproducción del patrón de distribución espacial de sardina común considerando la estructura de autocorrelación espacial descrita por los parámetros del variograma y el kriging puntual ordinario se muestran en la Figura 17 observándose que describe muy bien el patrón observado en la distribución de la abundancia de huevos de sardina común en la zona centro sur y sur. Se observa el núcleo de mayor importancia localizado en el sector sur de la isla mocha en ambos años, con un núcleo importante de abundancia que tiende a localizarse ligeramente fuera de la costa. A pesar de

esto, la modelación geoestadística revela que los núcleos de abundancia fueron cubiertos por los cruceros de evaluación en la zona centro sur y sur dependiendo del año de estudio.

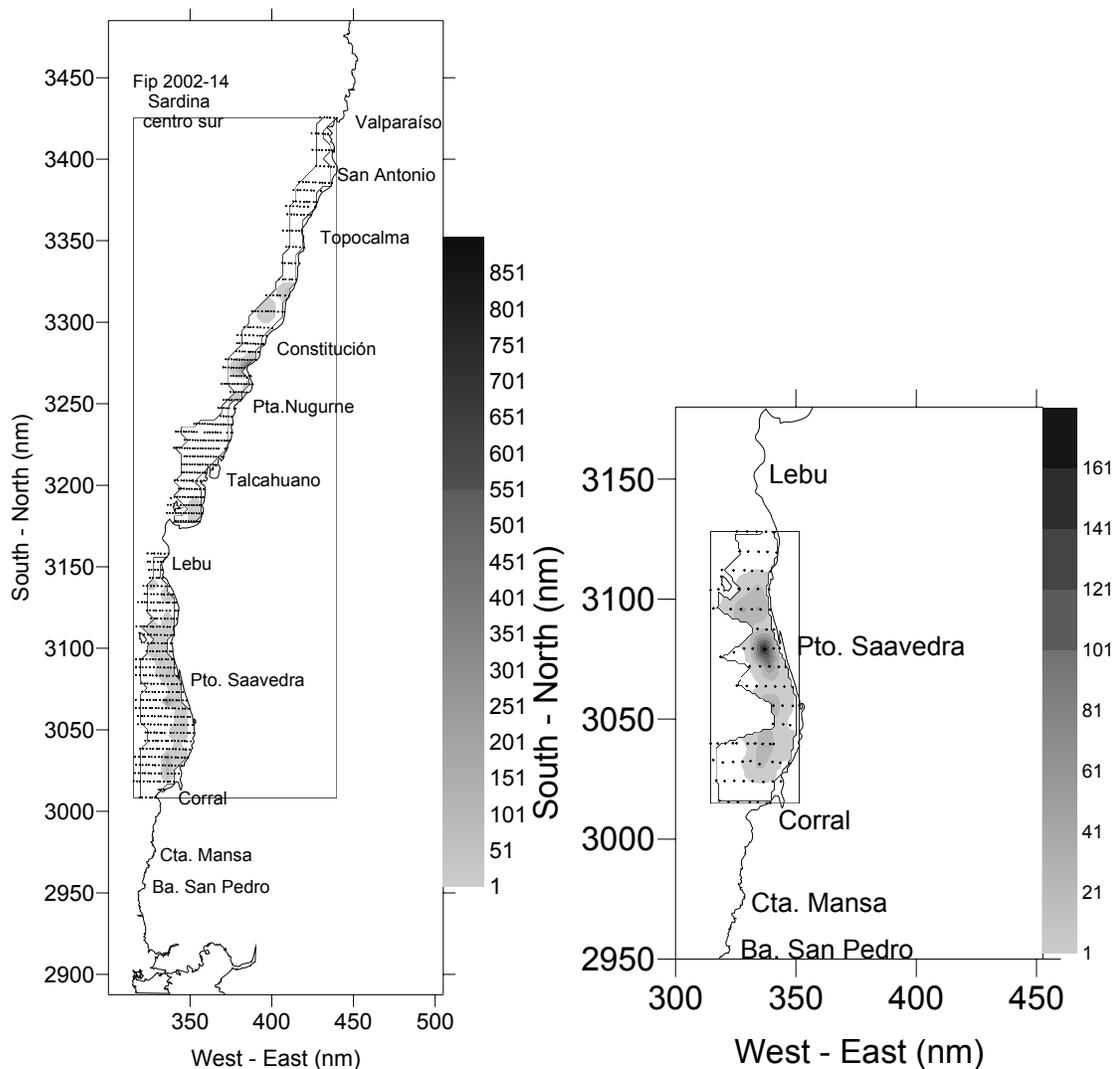


Figura 17: Mapas del área de estudio de la zona centro sur de Chile para los años 2002 y 2005, indicando las estaciones planctónicas y la distribución espacial de la densidad de huevos de sardina común (huevos por 0.05 m^2) reproducida espacialmente por el kriging en el proceso estocástico para el estudio.

3.1.3 Análisis geoestadístico paramétrico

a) Zona norte de Chile

En el caso del crucero 2002, donde se tiene una grilla regular de estaciones representando una condición de alta abundancia de huevos de anchoveta, el análisis geoestadístico paramétrico se realizó sobre la base de las observaciones positivas, cuya distribución espacial y características generales se resume en la Figura 18. Las observaciones positivas se distribuyen en toda el área de estudio, y la densidad de huevos presenta una distribución asimétrica con una alta frecuencia de valores bajos. Ya que el método paramétrico exige una distribución normal, y considerando que los límites de confianza para la transformación Box-Cox indica que el valor λ no es estadísticamente diferente de cero (Figura 19), se optó el uso de $\lambda = 0$ el cual se dejó fijo en vez de estimarlo. Esta transformación implica una distribución log-normal de la densidad de huevos (Figura 20).

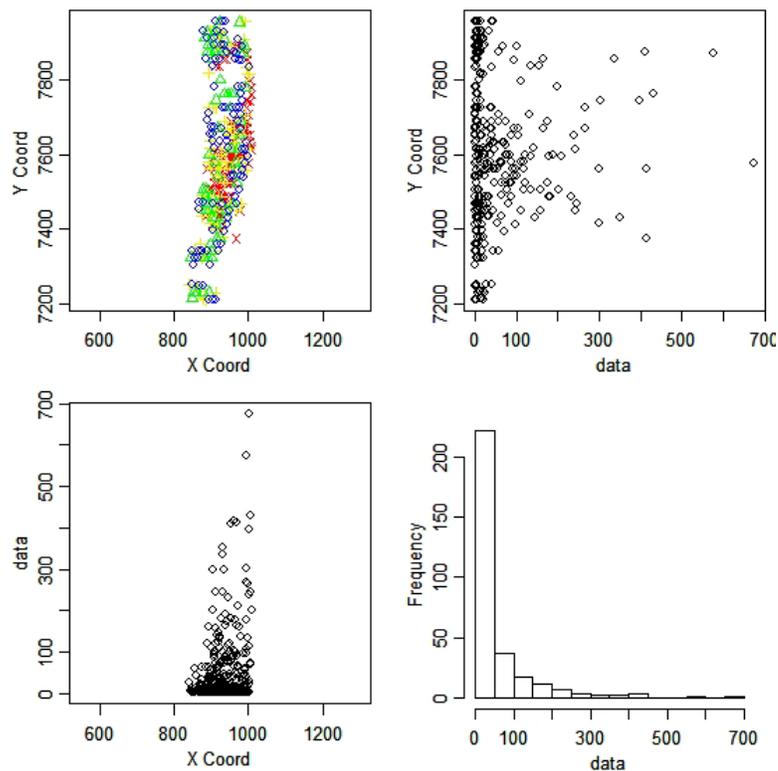


Figura 18: Resumen de la densidad espacial de huevos de anchoveta en la zona norte, crucero 2002.

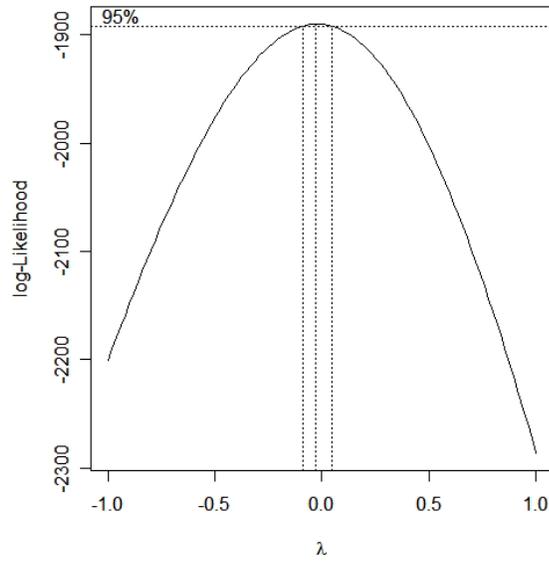


Figura 19: Función de log-verosimilitud en función de los valores del parámetro de transformación Box-Cox utilizados para transformar la densidad de huevos de anchoveta colectados durante el crucero 2002, zona norte de Chile.

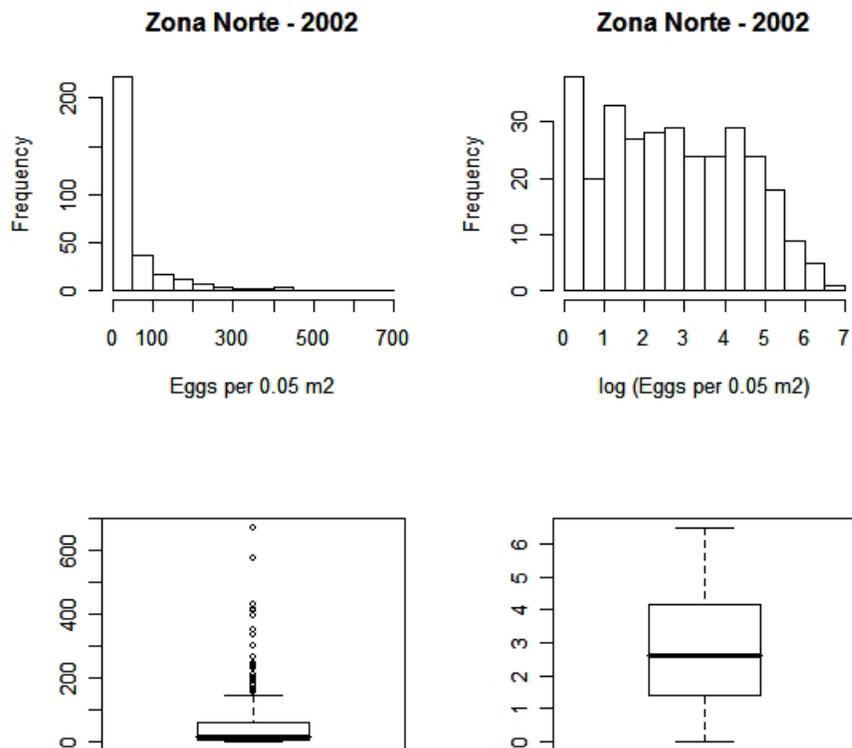


Figura 20: Distribución de frecuencia de los valores originales y log-transformados de la densidad de huevos de anchoveta de la zona norte de Chile, año 2002.

Al utilizar una distancia máxima de 300 km, se obtuvo el variograma omnidireccional para los datos log-transformados. En la Figura 21 se muestra el variograma empírico y el ajuste de la estructura espacial basada en el ajuste máximo verosímil realizada con la función de correlación espacial Gaussiana, modelo de variograma exponencial que pertenece a la familia de Matern. El resumen estadístico del ajuste se muestra en la Tabla 18, observándose según el criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiana (BIC) que el ajuste de la estructura espacial y la densidad media de los datos transformados (4 parámetros) es mejor que el ajuste sin considerar la estructura espacial.

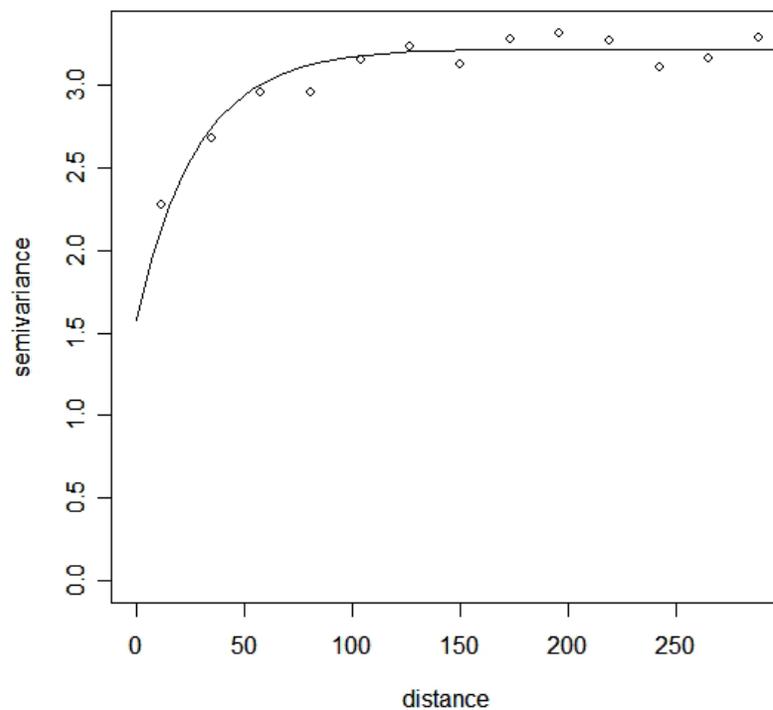


Figura 21: Variograma empírico y ajuste máximo verosímil de la estructura espacial de huevos de anchoveta zona norte. La distancia está en kilómetros.

De acuerdo con los parámetros del variograma, el rango del variograma indica que las agregaciones de huevos (cluster o parches) presentan una extensión cercana a los 28 km ($\approx 15,1$ mn) constituyendo un rango amplio. La densidad media fue estimada en 2.536 en unidades logarítmicas del número de huevos por $0,05 \text{ m}^2$ (12,63 huevos por $0,05 \text{ m}^2$). La media aritmética de las estaciones positivas fue de 58,95 huevos por $0,05 \text{ m}^2$, mientras que la media aritmética de los

valores log-transformados fue de 2,712. La media aritmética considerando tanto valores nulos como positivos del crucero de huevos fue de 31,02 huevos por 0,05 m².

Tabla 18: Resumen de la estimación de los parámetros de la densidad media y estructura espacial basada en la función de verosimilitud.

Definición y unidad	Símbolo	Valor
Densidad promedio (tendencia)	β	2,536
Función de correlación (Exponencial):	Varianza sigma (sill parcial)	sigmasq
	Rango (km)	phi
	Error (nugget)	tausq
Parámetro de la transformación Box-Cox	λ	0
Log-verosimilitud	log.L	-1420
Número de parámetros	p	4
Criterio de información de Akaike	AIC	2848
Criterio de información bayesiana	BIC	2862
Log-verosimilitud datos no espaciales	log.L	-1442
Número de parámetros	p	2
Criterio de información de Akaike	AIC	2887
Criterio de información Bayesiana	BIC	2895

La simulación consideró una grilla de 850 x 195 celdas de 1 km. En esta área, el proceso de simulación produce un océano saturado de huevos en escala logarítmica (Figura 22, panel izquierdo), razón por la cual los resultados se condicionaron al porcentaje de estaciones positivas que se encontró en el crucero 2002 (i.e. 52,6 %) determinando la presencia de valores nulos en la simulación (Figura 23, panel derecho).

La media aritmética de la densidad de huevos simuladas en la grilla que representa el área de estudio varió entre 18,08 y 51,58 huevos por 0,05 m² en las 100 simulaciones (Tabla 19), con un valor promedio de 32,37 huevos por 0,05 m² muy similar al obtenido durante el crucero ejecutado el 2002 (31,0 huevos por 0,05 m²). La distribución de frecuencia de los 100 valores simulados mostró una distribución aproximadamente normal con una leve asimetría positiva propia de la distribución log-normal (Figura 22).

En los 100 cruceros simulados con un diseño sistemático consistente en 47 transectas perpendiculares a la costa separadas por 18 km y 21 estaciones separadas cada 9 km a lo largo de cada transecta, reveló una clara distribución log-normal de la densidad media en estos cruceros

simulados (Figura 23), la que fluctúa entre 1,67 y 242,3 huevos por 0,05 m² y un promedio global de 21,5 huevos por 0,05 m² (Tabla 19).

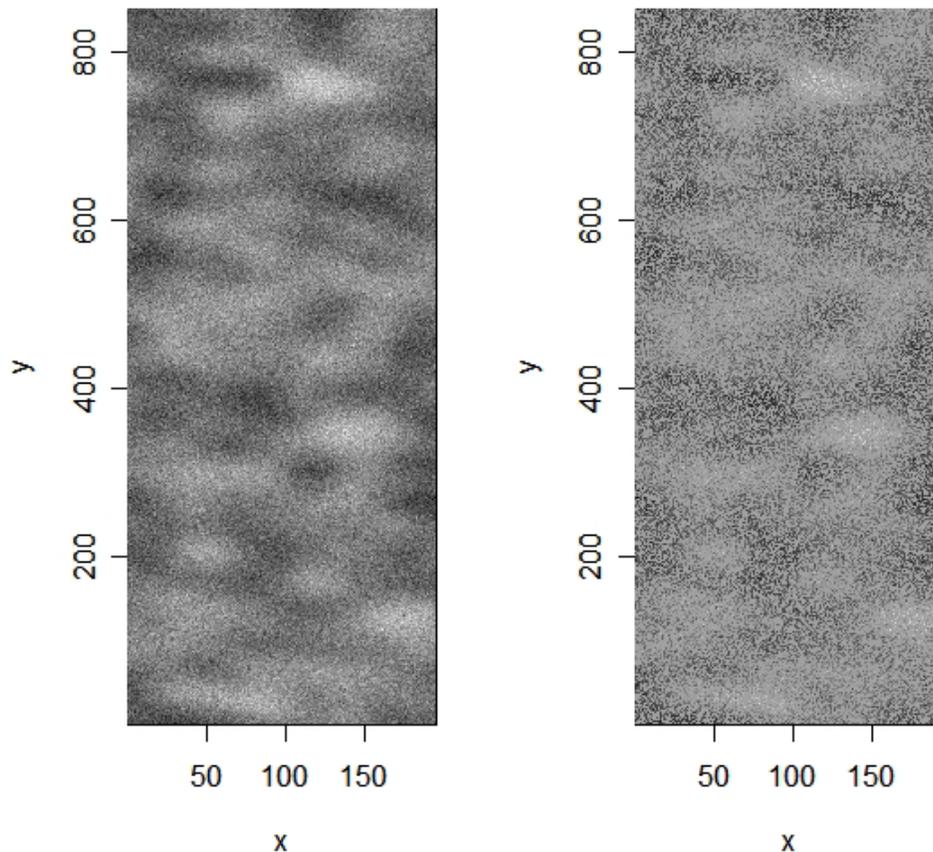


Figura 22: Simulación de la densidad de huevos de anchoveta en la zona norte de Chile, en el panel izquierdo se ilustra la simulación de un campo gaussiano saturado y en el panel de la derecha el campo gaussiano condicionado a la probabilidad de valores nulos.

Tabla 19: Estadígrafos obtenidos de 100 simulaciones de densidad de huevos de anchoveta y el desempeño de un diseño de muestreo sistemático de 47 transectas separadas por 18 km y 21 estaciones separadas cada 9 km a lo largo de cada transecta.

Estadígrafo	Densidad Verdadera	Muestreo Sistemático
Promedio	32.37	41.71
Mediana	30.96	21.50
Mínimo	18.08	1.67
Máximo	51.58	242.32
Error Estd	6.33	52.52
CV	0.20	1.26

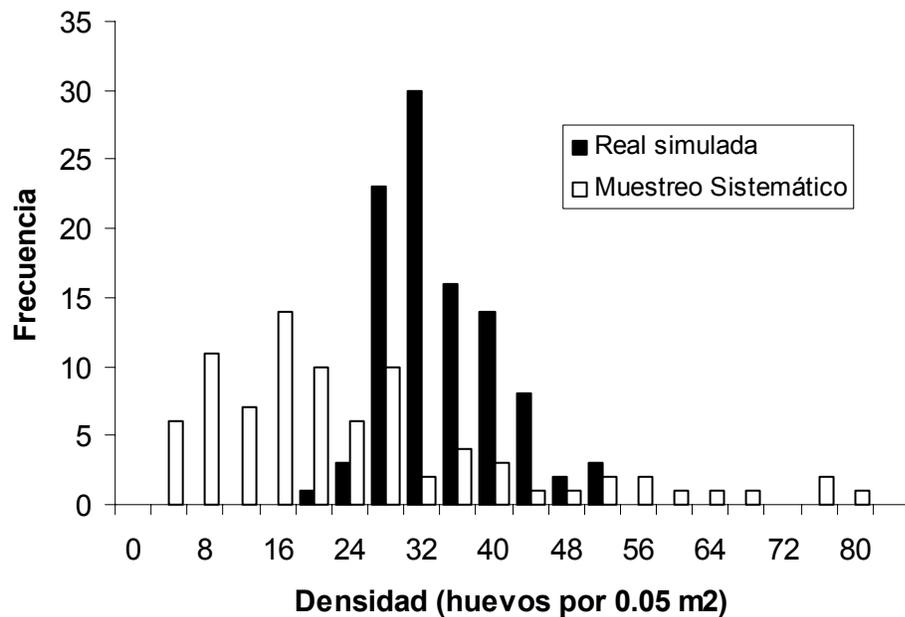


Figura 23: Distribución de frecuencia de la media aritmética de la densidad de huevos real simulada para el área de estudio, y la distribución de frecuencia de la densidad media de huevos obtenida de 100 cruceros simulados con un diseño de muestreo sistemático, para anchoveta de la zona norte.

En los cruceros con diseño sistemático, hubo casos en que la media aritmética de la densidad de huevos fue excesivamente alta, o muy baja (Tabla 19, Figura 23). El sesgo del diseño sistemático reveló una mayor frecuencia a subestimar el valor real simulado, con una distribución asimétrica (Figura 24). En este contexto, una mejor representación de la magnitud del sesgo lo constituye la razón entre el logaritmo de la densidad estimada y el de la real, cuyo promedio fue 0,904 (Figura 24-b). En otras palabras el muestreo sistemático implementado podría generar una subestimación cercana al 90% del valor real poblacional en unidades logarítmicas.

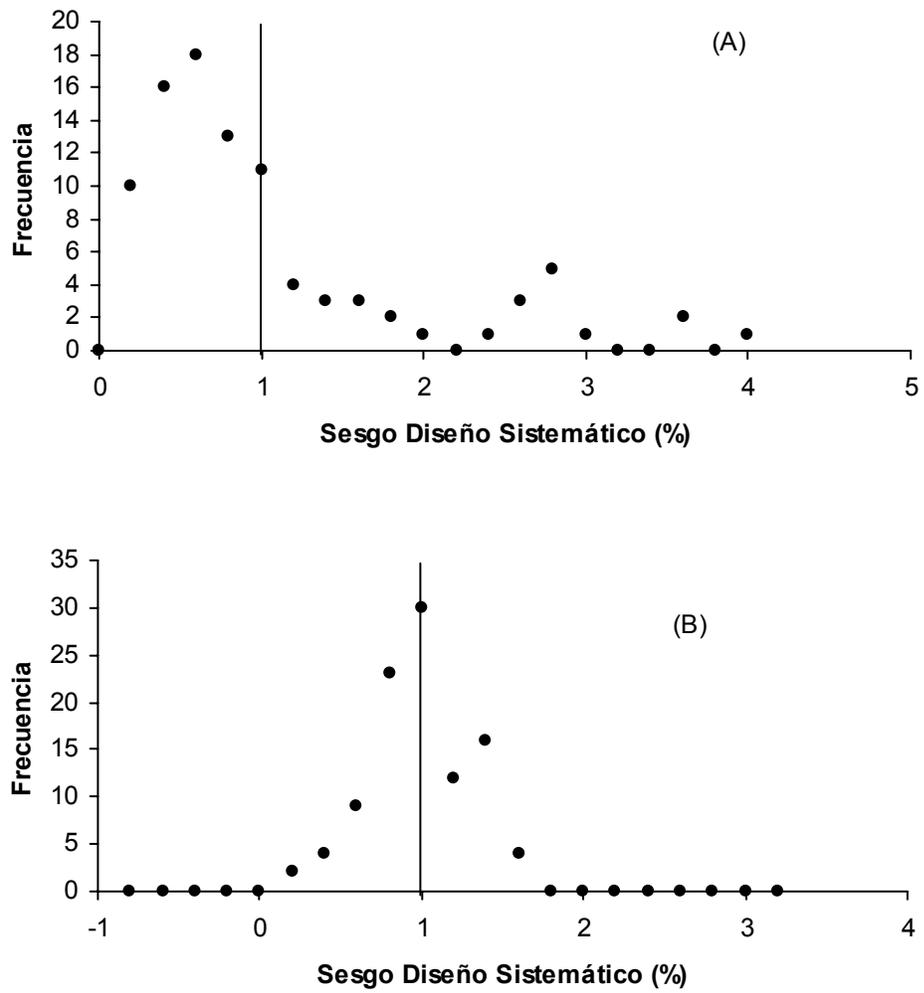


Figura 24: Distribución de frecuencia del sesgo en la estimación de la densidad media de huevos de anchoveta en la zona norte, considerando un muestreo sistemático similar al aplicado actualmente. (A) Medias sintransformar. (B) Medias transformadas a logaritmo.

b) Zona centro-sur

En la zona centro-sur se tiene un diseño de muestreo sistemático que involucra un número fijo de estaciones, pero de longitud variable ya que la extensión longitudinal viene dada por la extensión de la isobata de 200 m. En el 2002 se especificó una distancia intertransecta de 5 mn, y estaciones separadas cada 2 mn, pero el diseño actual especifica una distancia intertransecta de 8 mn y estaciones cada 4 mn.

El análisis geoestadístico paramétrico de la densidad de huevos de anchoveta en la zona centro-sur, se realizó sobre la base de las observaciones positivas del crucero 2002 y se resume en la Figura 25. Se observa que el eje Norte-Sur es mayor que el eje Este-Oeste, no obstante desde el punto de vista de los resultados de la geoestadística convencional se sabe que no existe anisotropía. A su vez, la distribución de la densidad de huevos revela una distribución diferente a la normal. En consecuencia, y considerando que el método paramétrico exige una distribución normal, los límites de confianza para el parámetro de transformación Box-Cox indica que el valor $\lambda = -0,1396$ es diferente de cero (Figura 25). No obstante, este valor no generó una distribución exactamente normal, y por razones prácticas se optó el uso de $\lambda = 0$ el cual se dejó fijo en vez de estimarlo. Esta transformación implica una distribución aproximadamente log-normal para la densidad de huevos (Figura 27).

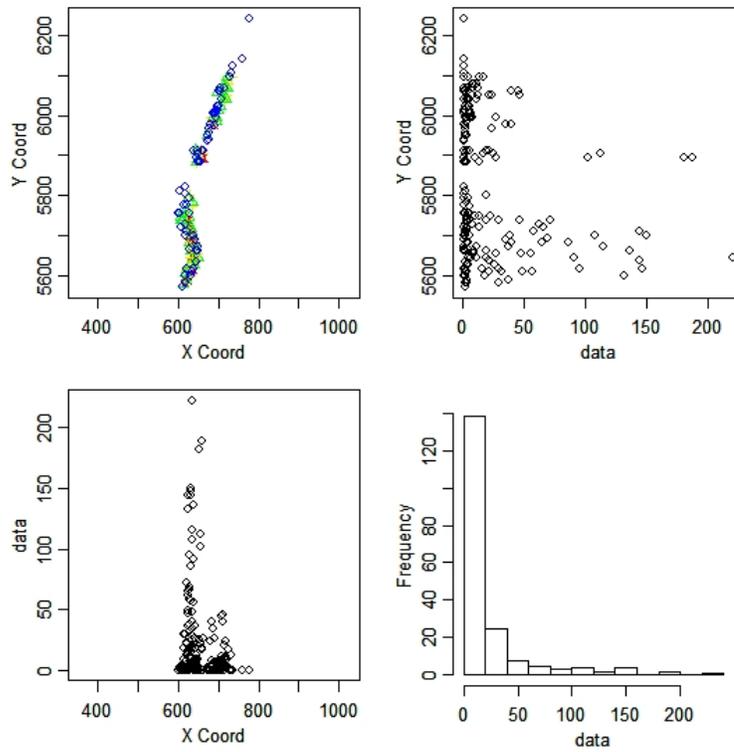


Figura 25: Resumen de la densidad espacial de huevos de anchoveta en la zona centro-sur, crucero 2002.

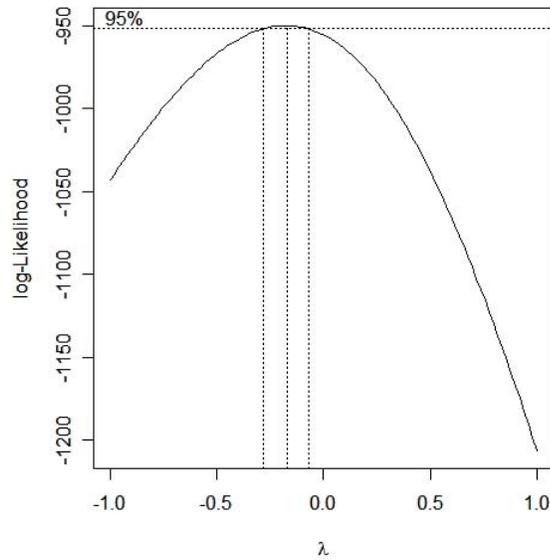


Figura 26: Función de log-verosimilitud en función de los valores del parámetro de transformación Box-Cox utilizados para transformar la densidad de huevos de anchoveta colectados durante el crucero 2002, zona centro-sur de Chile.

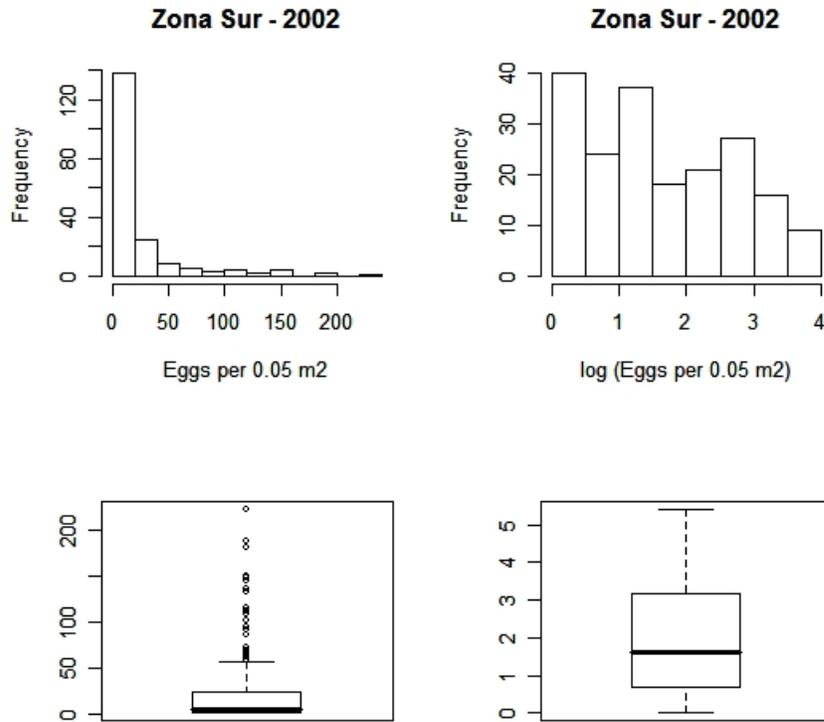


Figura 27: Distribución de frecuencia de los valores originales y log-transformados de la densidad de huevos de anchoveta de la zona centro sur, año 2002.

Al utilizar una distancia máxima de 200 km y un lag = 18, se obtuvo el variograma omnidireccional para los datos log-transformados. En la Figura 28 se muestra el variograma empírico y el ajuste de la estructura espacial basada en el ajuste máximo verosímil realizada con la función de correlación espacial Gaussiana, modelo de variograma exponencial que pertenece a la familia de Matern. El resumen estadístico del ajuste se muestra en la Tabla 20, observándose según el criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiana (BIC) que el ajuste de la estructura espacial y la densidad media de los datos transformados (4 parámetros) es mejor que el ajuste sin considerar la estructura espacial.

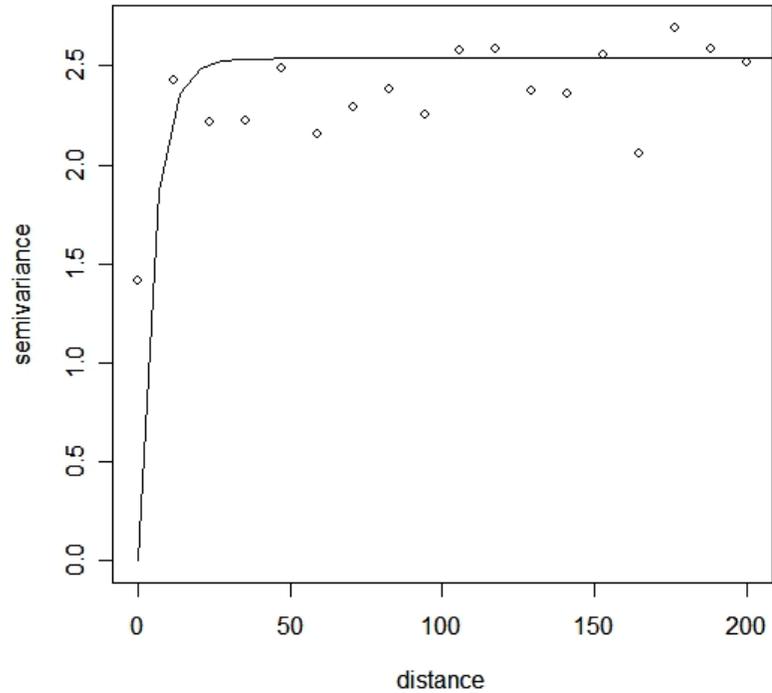


Figura 28: Variograma empírico y ajuste máximo verosímil de la estructura espacial de huevos de anchoveta de la zona centro sur. La distancia está en kilómetros.

Los parámetros del variograma indican que la anchoveta en la zona centro sur se distribuye en cluster o parches de huevos que generan autocorrelación espacial hasta cerca de 5 km ($\approx 2,7$ mn), para posteriormente ser independientes. La densidad media, tomando en cuenta la estructura espacial, fue estimada en 1.478 en unidades logarítmicas del número de huevos por 0.05 m^2 (4.38 huevos por 0.05 m^2). La media aritmética de las estaciones positivas fue de 25,04 huevos por 0.05 m^2 , mientras que la media aritmética de los valores log-transformados fue de 1.926. La media aritmética considerando tanto valores nulos como positivos del crucero de huevos fue de 6.08 huevos por 0.05 m^2 .

Tabla 20: Resumen de la estimación de los parámetros de la densidad media y estructura espacial basada en la función de verosimilitud para la densidad de huevos de anchoveta, zona centro-sur (crucero 2002).

Definición y unidad	Símbolo	Valor
Densidad promedio (tendencia)	β	1,478
Función de correlación (Exponencial):		
Varianza sigma (sill parcial)	σ^2	2,537
Rango (km)	ϕ	5,194
Error (nugget)	τ^2	0
Parámetro de la transformación Box-Cox	λ	0
Log-verosimilitud	$\log.L$	-698,9
Número de parámetros	p	4
Criterio de información de Akaike	AIC	1406
Criterio de información bayesiana	BIC	1419
Log-verosimilitud datos no espaciales	$\log.L$	-721,7
Número de parámetros	p	2
Criterio de información de Akaike	AIC	1447
Criterio de información bayesiana	BIC	1454

En el caso de la zona centro-sur, la simulación consideró una grilla de 800 x 100 celdas de 1 km, que corresponde a un área mayor que la evaluada. No obstante, ya que el diseño de muestreo es más complejo en la zona centro-sur en términos del número variable de estaciones por transectas, se optó por un número mediano de estaciones en la simulación del diseño sistemático. Se utilizó una distancia entre estaciones de 7 km ($= 3,8 \approx 4$ mn) y un total de 8 estaciones por transectas, mientras que el número de transectas fue de 42, y separadas cada 14 km ($= 7,6 \approx 8$ mn). Este diseño sistemático totaliza 336 estaciones, valor que se acerca al utilizado en los cruceros 2005.

La media aritmética de la densidad de huevos simuladas en la grilla que representa el área de estudio varió entre 2,9 y 4,3 huevos por $0,05 \text{ m}^2$ en las 100 simulaciones (Tabla 21), con un valor promedio de 3,6 huevos por $0,05 \text{ m}^2$, prácticamente la mitad del obtenido durante el crucero ejecutado el 2002 (6,1 huevos por $0,05 \text{ m}^2$). La distribución de frecuencia de los 100 valores simulados mostró una distribución aproximadamente normal (Figura 29).

Tabla 21: Estadígrafos obtenidos de 100 simulaciones de densidad de huevos de anchoveta y el desempeño de un diseño de muestreo sistemático de 42 transectas separadas por 14 km y 8 estaciones separadas cada 7 km a lo largo de cada transecta.

Estadígrafo	Densidad	Muestreo
	Verdadera	Sistemático
Promedio	3,61	3,51
Mediana	3,60	2,40
Mínimo	2,93	0,47
Máximo	4,31	20,86
Error Estd	0,27	3,35
CV	0,07	0,95

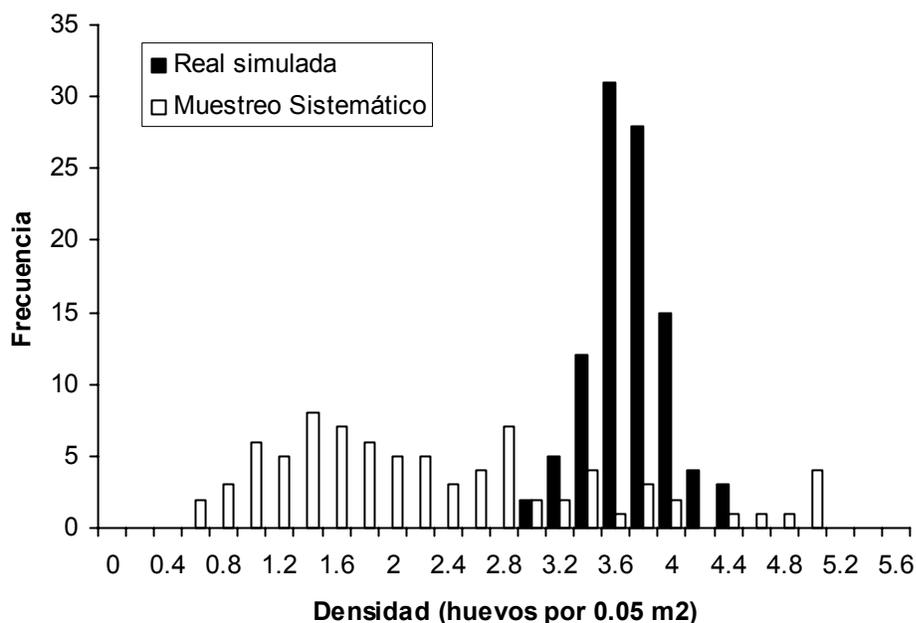


Figura 29: Distribución de frecuencia de la media aritmética de la densidad de huevos real simulada para el área de estudio para el caso de la anchoveta en la zona centro-sur, y la distribución de frecuencia de la densidad media de huevos obtenida de 100 cruceros simulados con un diseño de muestreo sistemático similar al del 2005.

En la simulación de 100 cruceros con diseño sistemático, hubo casos en que la media aritmética de la densidad de huevos fue excesivamente alta, o muy baja (Figura 29, Tabla 21). El sesgo del diseño sistemático, medido como la razón entre la densidad promedio, reveló una mayor frecuencia a subestimar el valor real simulado, con una distribución asimétrica (Figura 30). En este contexto, una mejor representación de la magnitud del sesgo lo constituye la razón entre el logaritmo de la

densidad estimada y el de la real, cuyo promedio fue 0,72. En otras palabras el muestreo sistemático implementado podría generar una subestimación cercana al 72% del valor real poblacional en unidades logarítmicas.

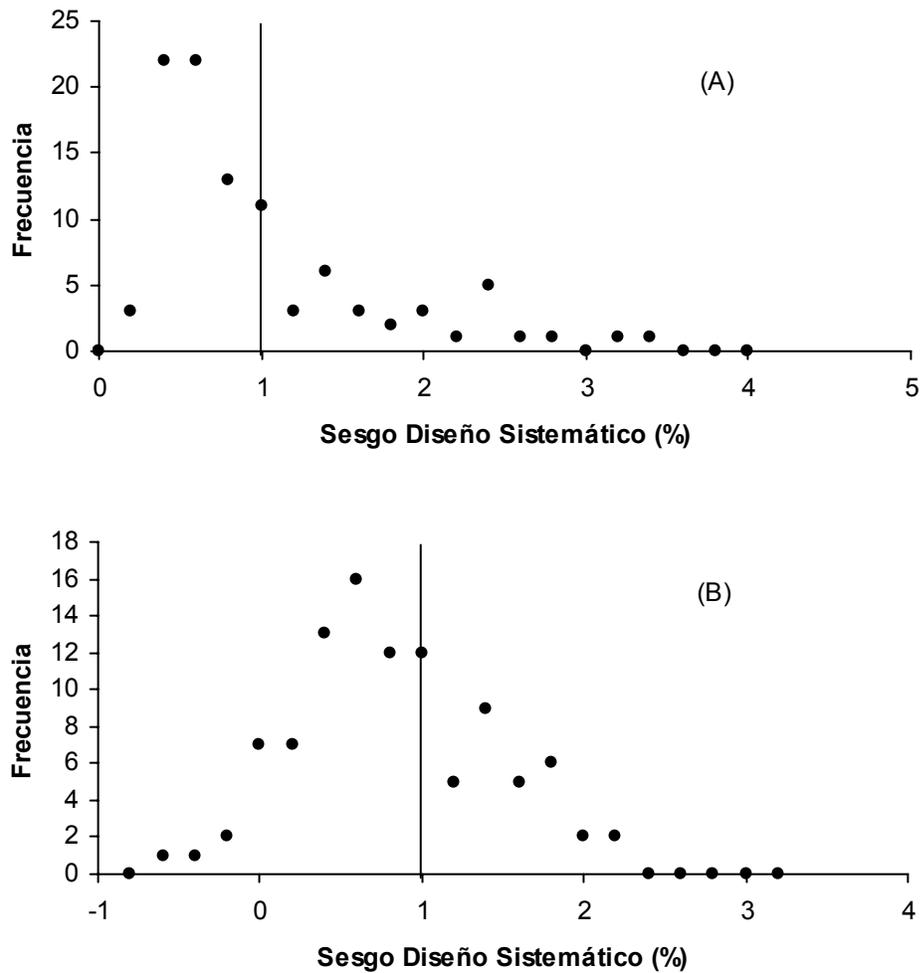


Figura 30: Distribución de frecuencia del sesgo en la estimación de la densidad media de huevos de anchoveta en la zona centro-sur, considerando un muestreo sistemático similar al aplicado actualmente. (A) Medias sin transformar. (B) Medias transformadas a logaritmo.

3.2 Objetivo 2: Establecer y evaluar modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el procedimiento de asignación de edad en términos probabilísticas.

3.2.1 Experimentos de desarrollo de huevos a temperatura regulada

De acuerdo a los resultados de incubación, se estimaron las edades medias a cada estadio y temperatura para la zona norte en el experimento realizado en el 2006 (Tabla 22), en el año 2001 por Soto (2001) (Tabla 23) y los realizados en la anchoveta en la zona Centro Sur (Tabla 24).

De las tres fuentes de información disponible, es decir de las dos incubaciones realizadas en la zona norte durante el 2006 y 2001 (Soto, 2001) y las realizadas en la zona centro sur en el 2006, se realizó un análisis exploratorio para verificar posibles diferencias en la duración de los estadios de desarrollo, de acuerdo a las edades medias estimadas. La duración del estadio a distintas temperaturas no muestra diferencias entre las tres fuentes de información (Figura 31). Por lo que se puede deducir que no existen variaciones entre años en la zona norte y que la duración de los estadios de desarrollo es la misma entre la zona norte y centro sur.

Para la zona norte, el experimento de incubación de huevos de anchoveta comenzó en el estadio 5, por lo que no se conoce la edad exacta de los huevos. Se asumió como edad el tiempo transcurrido entre la colecta y la hora pico de desove (24 h), por lo que debe ser considerada como edades relativas. Sin embargo, el experimento realizado por Soto (2001) cuenta con edades absolutas, dado que comienza con una verdadera edad “cero”, correspondiente al desove, por lo que se prefiere para el ajuste del modelo de asignación de edad.

El ajuste no lineal de la ecuación 6 para los datos de incubación en anchoveta se entregan en Tabla 25, Tabla 26 y Tabla 27. Un test t realizado a las ecuaciones linearizadas (Ln), para comparar las ecuaciones ajustada para la zona norte (Soto, 2001) y las de la zona centro sur no mostró diferencias significativas en ningún estadio (Tabla 28), lo que reafirma que no existen diferencias en las tasas de desarrollo.

El modelo combinado para distintos estadios y temperaturas (Ecuación 7) para la zona norte y centro sur se muestra en Figura 32 y Figura 33 respectivamente, con parámetros en Tabla 29. Se comparan ambos ajustes y con los reportados por Lo (1985) para *Engraulis mordax* en Figura 34. El modelo señala un desarrollo más lento en los huevos de la zona centro sur, especialmente a los estadios de desarrollo superiores, acercándose más los datos de Lo (1985) para *Engraulis mordax* a los de la zona Centro Sur. Sin embargo, si se considera el error estándar de los parámetros y sus intervalos de confianza, se puede señalar que no existirían diferencias entre la zona norte y centro sur, ya que los intervalos de confianza de los parámetros se sobrelapan. Situación que es avalada por la no existencia de diferencias significativas en las ecuaciones por estadio entre ambas zonas (Tabla 28).

Tabla 22: Edades medias para cada estadio y temperatura como resultados del experimento de incubación realizado en la zona norte durante el año 2006. Stage: Estadio; Temp: Temperatura de incubación; N: Número total de huevos utilizados para estimar la edad media; Mage: Edad media; Sdage: Desviación estándar de la edad; Minage: Edad mínima; Maxage: Edad máxima.

Zona Norte						
Stage	Temp	N	Mage	Sdage	Minage	Maxage
5	14	36	23.9	1.78	20.4	27.5
6	14	49	31.9	2.85	26.2	37.6
7	14	37	41.1	2.26	36.6	45.7
8	14	16	46.6	0.88	44.9	48.4
9	14	40	52.0	2.24	47.6	56.5
10	14	18	58.0	1.26	55.5	60.5
11	14	7	59.8	0.88	58.0	61.5
5	16	29	24.0	1.56	20.9	27.1
6	16	36	30.4	2.08	26.2	34.5
7	16	20	35.9	1.26	33.3	38.4
8	16	31	41.4	1.83	37.7	45.1
9	16	19	46.2	1.15	43.9	48.5
10	16	15	49.5	0.83	47.9	51.2
11	16	15	52.6	0.81	50.9	54.2
5	18	23	22.8	1.25	20.3	25.3
6	18	32	27.5	1.96	23.6	31.5
7	18	20	32.9	1.09	30.7	35.1
8	18	20	36.9	1.32	34.3	39.6
9	18	15	40.7	0.88	39.0	42.5
10	18	13	43.5	0.82	41.9	45.2
11	18	11	46.0	0.58	44.8	47.2
5	20	19	22.1	0.94	20.2	23.9
6	20	28	26.5	1.65	23.2	29.8
7	20	17	31.1	1.05	29.0	33.2
8	20	13	34.4	0.91	32.5	36.2
9	20	20	38.1	1.14	35.8	40.4
10	20	5	40.8	0.00	40.8	40.8
11	20	11	42.6	0.77	41.1	44.2

Tabla 23: Edades medias para cada estadio y temperatura como resultados del experimento de incubación realizado en la zona norte durante el año 2001 (Soto, 2001). Stage: Estadio; Temp: Temperatura de incubación; N: Número total de huevos utilizados para estimar la edad media; Mage: Edad media; Sdage: Desviación estándar de la edad; Minage: Edad mínima; Maxage: Edad máxima.

Soto (2001)						
Stage	Temp	N	Mage	Sdage	Minage	Maxage
1	12	10	0.6	0.6	0	1.8
2	12	49	7.5	2.79	2.0	13.1
3	12	37	17.2	2.27	12.7	21.7
4	12	28	24.8	1.86	21.1	28.5
5	12	42	31.8	2.93	25.9	37.6
6	12	48	40.5	3.03	34.5	46.6
7	12	46	50.8	2.94	44.9	56.6
8	12	47	60.4	2.83	54.7	66.0
9	12	30	67.9	1.98	64.0	71.9
10	12	13	72.3	0.87	70.6	74.1
11	12	10	74.5	0.67	73.2	75.8
1	14	10	0.6	0.63	0.0	1.9
2	14	43	7.0	2.52	2.0	12.1
3	14	22	14.2	1.95	10.3	18.1
4	14	28	20.1	2.76	14.6	25.6
5	14	29	25.8	2.23	21.4	30.3
6	14	27	31.9	1.80	28.3	35.5
7	14	49	39.7	2.87	34.0	45.5
8	14	25	47.3	1.77	43.8	50.9
9	14	24	52.5	1.50	49.5	55.5
10	14	16	56.6	1.00	54.6	58.6
11	14	12	59.3	0.72	57.9	60.8
1	16	10	0.5	0.53	0.0	1.6
2	16	39	6.6	2.28	2.0	11.1
3	16	13	11.9	1.12	9.7	14.2
4	16	22	16.4	1.47	13.4	19.3
5	16	32	22.3	2.48	17.3	27.2
6	16	24	28.2	1.55	25.1	31.3
7	16	27	33.8	2.07	29.7	38.0
8	16	29	40.0	1.83	36.3	43.6
9	16	17	43.8	0.83	42.1	45.4
10	16	11	46.5	0.88	44.7	48.2
11	16	11	48.9	0.40	48.1	49.7
1	18	10	0.5	0.53	0.0	1.6
2	18	33	6.1	1.98	2.1	10.0
3	18	16	11.0	0.98	9.0	13.0
4	18	13	15.0	1.23	12.6	17.5
5	18	20	18.1	1.34	15.4	20.8
6	18	27	24.6	2.01	20.6	28.6
7	18	12	29.0	1.09	26.8	31.2
8	18	23	32.1	1.55	29.0	35.2
9	18	7	35.2	0.54	34.1	36.3
10	18	14	37.5	1.03	35.4	39.6
11	18	10	39.6	0.78	38.0	41.2
1	20	10	0.3	0.28	0.0	0.8
2	20	24	5.3	1.45	2.4	8.2
3	20	21	9.9	1.44	7.0	12.8
4	20	9	12.9	1.37	10.2	15.7
5	20	20	16.8	1.35	14.1	19.5
6	20	12	19.8	1.15	17.5	22.1
7	20	16	23.9	1.00	21.9	25.9
8	20	14	27.5	1.43	24.6	30.3
9	20	13	29.6	1.16	27.3	31.9
10	20	9	31.9	0.54	30.8	32.9
11	20	6	33.8	0.54	32.7	34.9

Tabla 24: Edades medias para cada estadio y temperatura como resultados del experimento de incubación realizado en la zona Centro Sur durante el año 2006. Stage: Estadio; Temp: Temperatura de incubación; N: Número total de huevos utilizados para estimar la edad media; Mage: Edad media; Sdage: Desviación estándar de la edad; Minage: Edad mínima; Maxage: Edad máxima.

Zona Centro Sur						
Stage	Temp	N	Mage	Sdage	Minage	Maxage
3	10	39	22.9	5.70	11.5	34.3
4	10	24	35.2	6.93	21.3	49.1
5	10	38	46.4	5.51	35.4	57.4
6	10	65	67.3	8.05	51.2	83.4
7	10	43	84.6	3.71	77.2	92.0
8	10	38	93.5	3.56	86.4	100.6
9	10	32	105.5	4.67	96.2	114.8
10	10	23	116.4	3.66	109.1	123.8
11	10	16	121.1	4.72	111.7	130.5
3	12	31	19.3	3.32	12.6	25.9
4	12	28	27.2	3.99	19.2	35.2
5	12	43	39.2	5.79	27.6	50.8
6	12	35	52.1	6.78	38.5	65.6
7	12	47	63.9	5.79	52.3	75.5
8	12	32	74.0	2.26	69.5	78.5
9	12	45	80.9	2.58	75.8	86.1
10	12	16	86.8	1.50	83.8	89.8
11	12	3	88.9	0.04	88.8	89.0
3	14	22	17.6	1.54	14.6	20.7
4	14	24	22.7	2.10	18.5	26.9
5	14	21	29.9	2.33	25.3	34.6
6	14	41	37.9	3.98	30.0	45.9
7	14	36	48.4	4.10	40.2	56.6
8	14	21	55.1	2.33	50.4	59.8
9	14	37	62.0	1.87	58.2	65.7
10	14	17	64.5	1.68	61.2	67.9
11	14	6	67.3	1.27	64.7	69.8
3	16	26	18.0	1.66	14.7	21.3
4	16	28	22.3	2.09	18.1	26.5
5	16	32	28.3	2.14	24.0	32.6
6	16	47	36.8	3.49	29.8	43.8
7	16	37	44.7	3.55	37.6	51.8
8	16	26	51.5	1.94	47.6	55.4
9	16	19	56.2	1.34	53.6	58.9
10	16	19	59.8	1.33	57.1	62.4
11	16	13	60.5	0.89	58.7	62.2

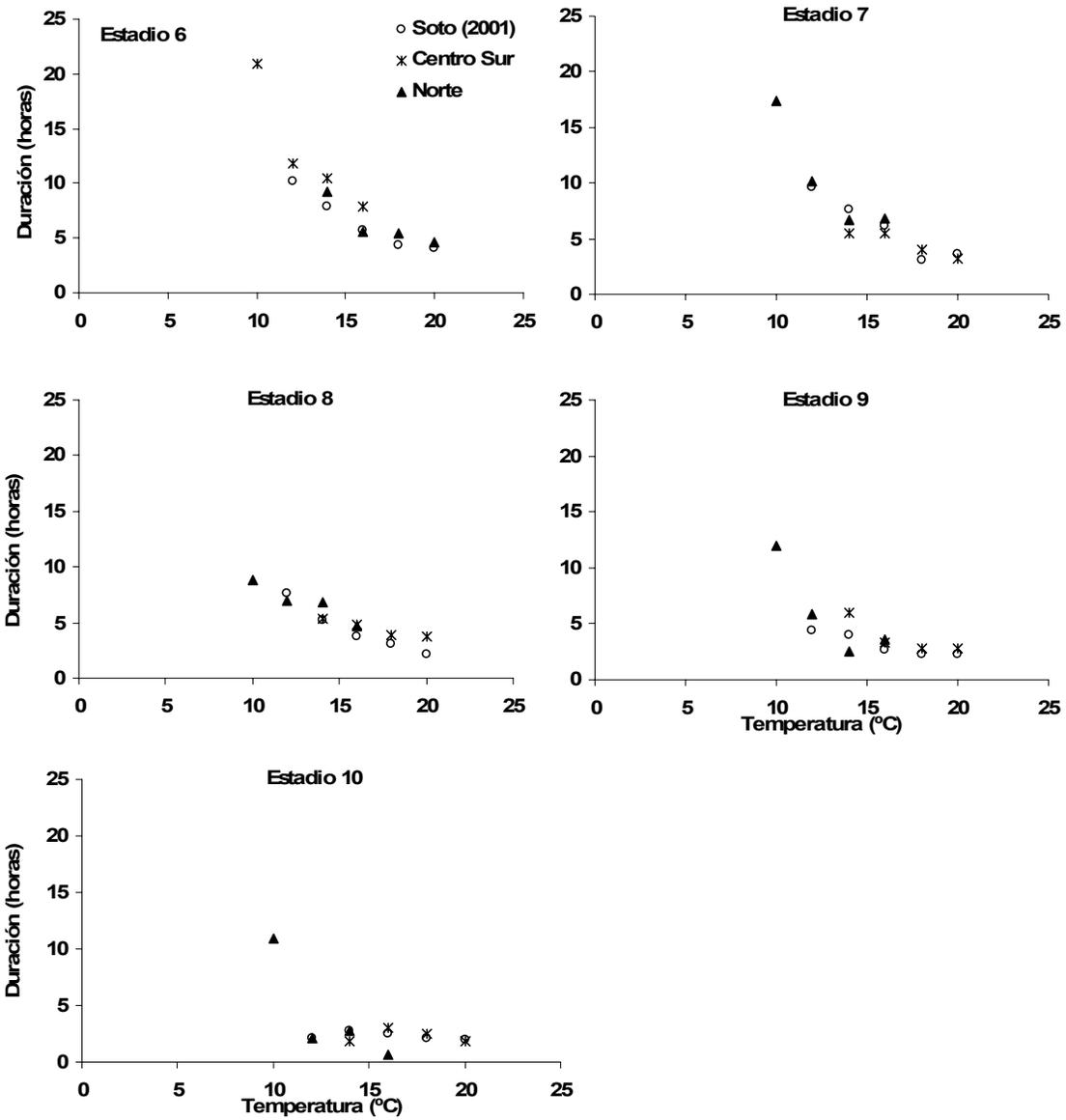


Figura 31: Duración del estadio en función de la temperatura para los dos experimentos realizados en la zona norte: Soto (2001) y en este estudio en el 2006.

Tabla 25: Parámetros de las ecuaciones de edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo, para el experimento de incubación de huevos de anchoveta en la zona norte, 2006.

Estadio	A	S_A	B	S_B	Error residual
5	29.48	1.986	0.0141	0.00396	0.411
6	50.758	3.499	0.0329	0.00409	0.530
7	78.8353	8.3511	0.0477	0.0063	0.992
8	96.131	6.223	0.0522	0.0039	0.685
9	110.068	8.2152	0.054	0.0044	0.878
10	134.987	16.481	0.0614	0.00738	1.557
11	135.123	9.7033	0.0587	0.0043	0.960

Tabla 26: Parámetros de las ecuaciones de edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo, para el experimento de incubación de huevos de anchoveta en la zona norte, Soto (2001).

Estadio	A	S_A	B	S_B	Error residual
1	1.47	0.657	0.067	0.029	0.092
2	12.56	0.792	0.041	0.004	0.164
3	39.87	4.268	0.072	0.007	0.556
4	66.27	7.105	0.083	0.007	0.774
5	86.27	7.365	0.084	0.005	0.794
6	111.10	10.815	0.085	0.006	1.143
7	153.12	12.335	0.093	0.005	1.155
8	199.18	12.704	0.100	0.004	1.068
9	238.54	15.910	0.105	0.004	1.232
10	253.81	15.024	0.105	0.004	1.168
11	249.80	11.574	0.101	0.003	0.958

Tabla 27: Parámetros de las ecuaciones de edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo, para el experimento de incubación de huevos de anchoveta en la zona Centro Sur.

Estadio	A	S_A	B	S_B	Error residual
3	34.33	6.596	0.044	0.0151	1.299
4	79.44	18.438	0.085	0.0188	2.185
5	114.45	17.781	0.091	0.01262	1.961
6	208.14	46.873	0.115	0.0186	3.823
7	269.98	50.418	0.118	0.015	3.944
8	278.13	48.366	0.110	0.0143	4.174
9	326.34	51.534	0.115	0.0131	4.208
10	395.25	79.624	0.124	0.0168	5.757
11	424.16	77.990	0.127	0.0153	5.413

Tabla 28: Parámetros de las ecuaciones linealizadas de la edad en función de la temperatura para cada estadio de desarrollo para los datos de la zona norte (Soto, 2001) y Centro Sur. t_{calc} = t calculado para la comparación de diferencias significativas entre los parámetros.

		Soto (2001)	Centro Sur	t_{calc}
EST. 3	Pendientes	-0.068	-0.041	1.834
	Intercepto	3.626	3.494	0.692
	r^2	0.97	0.78	
EST. 4	Pendientes	-0.080	-0.077	0.132
	Intercepto	4.130	4.278	0.657
	r^2	0.98	0.89	
EST. 5	Pendientes	-0.081	-0.088	0.439
	Intercepto	4.409	4.700	1.629
	r^2	0.98	0.95	
EST. 6	Pendientes	-0.084	-0.106	1.179
	Intercepto	4.690	5.232	2.291
	r^2	0.99	0.92	
EST. 7	Pendientes	-0.091	-0.110	1.266
	Intercepto	4.992	5.494	2.678
	r^2	0.99	0.95	
EST. 8	Pendientes	-0.098	-0.104	0.437
	Intercepto	5.255	5.553	1.665
	r^2	0.99	0.95	
EST. 9	Pendientes	-0.103	-0.108	0.386
	Intercepto	5.428	5.703	1.715
	r^2	0.99	0.96	
EST. 10	Pendientes	-0.103	-0.115	0.789
	Intercepto	5.489	5.862	1.874
	r^2	0.99	0.95	
EST. 11	Pendientes	-0.099	-0.118	1.378
	Intercepto	5.485	5.934	2.568
	r^2	0.99	0.96	

Tabla 29: Parámetros de la ecuación combinada para estadio y temperatura ajustada a los datos de anchoveta de la zona norte (Soto, 2001) y zona centro sur (E.S.= Error estándar; MSE= Error estándar residual).

	Soto (2001)			Centro Sur		
	Parámetro	E.S	P	Parámetro	E.S	P
a	9.8206	1.0261	1.61E-12	9.214	2.1766	1.80E-04
b	0.0986	0.0024	<2E-16	0.117	0.0048	<2E-16
c	0.1018	0.0167	2.06E-07	0.170	0.0304	3.39E-06
d	1.8151	0.1103	<2E-16	2.331	0.2277	1.27E-11
MSE		1.371			3.673	

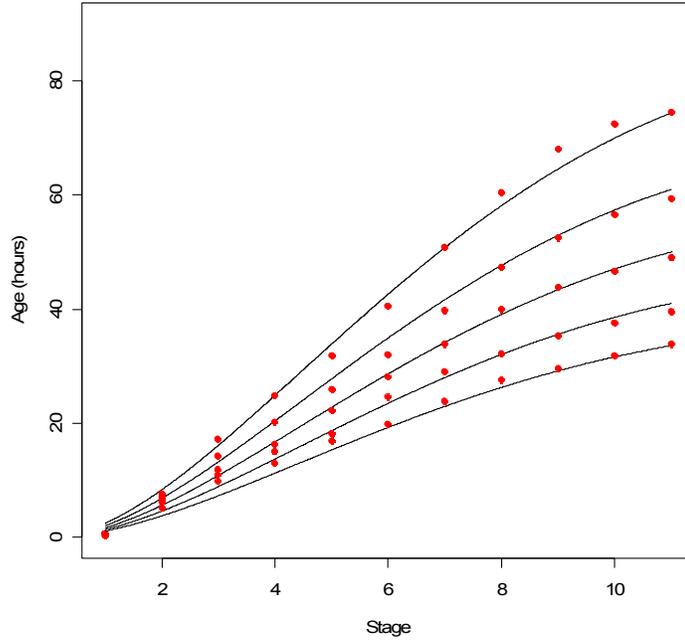


Figura 32: Ajuste del modelo de Lo (1985) en función del estadio y la temperatura para anchoveta zona norte. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (12°, 14°, 16°, 18° y 20 °C de arriba hacia abajo respectivamente).

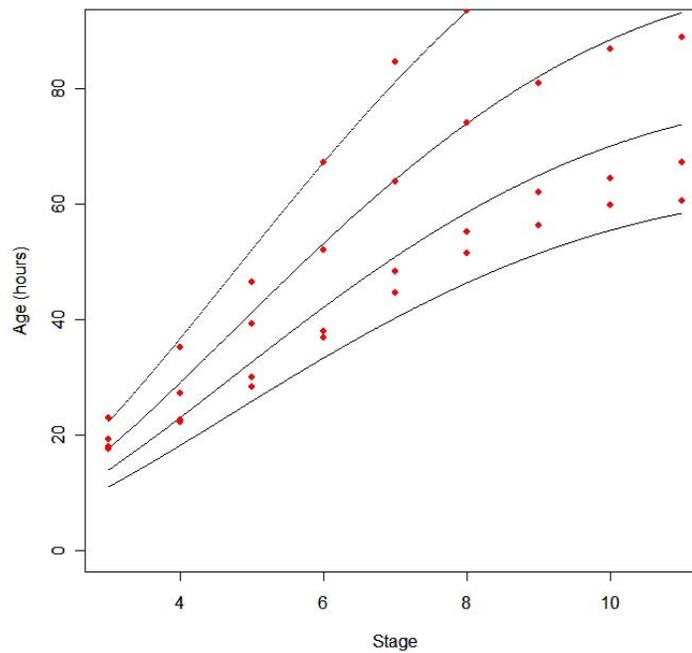


Figura 33: Ajuste del modelo de Lo (1985) en función del estadio y la temperatura para anchoveta zona Centro Sur. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (10°, 12°, 14° y 16 °C de arriba hacia abajo respectivamente).

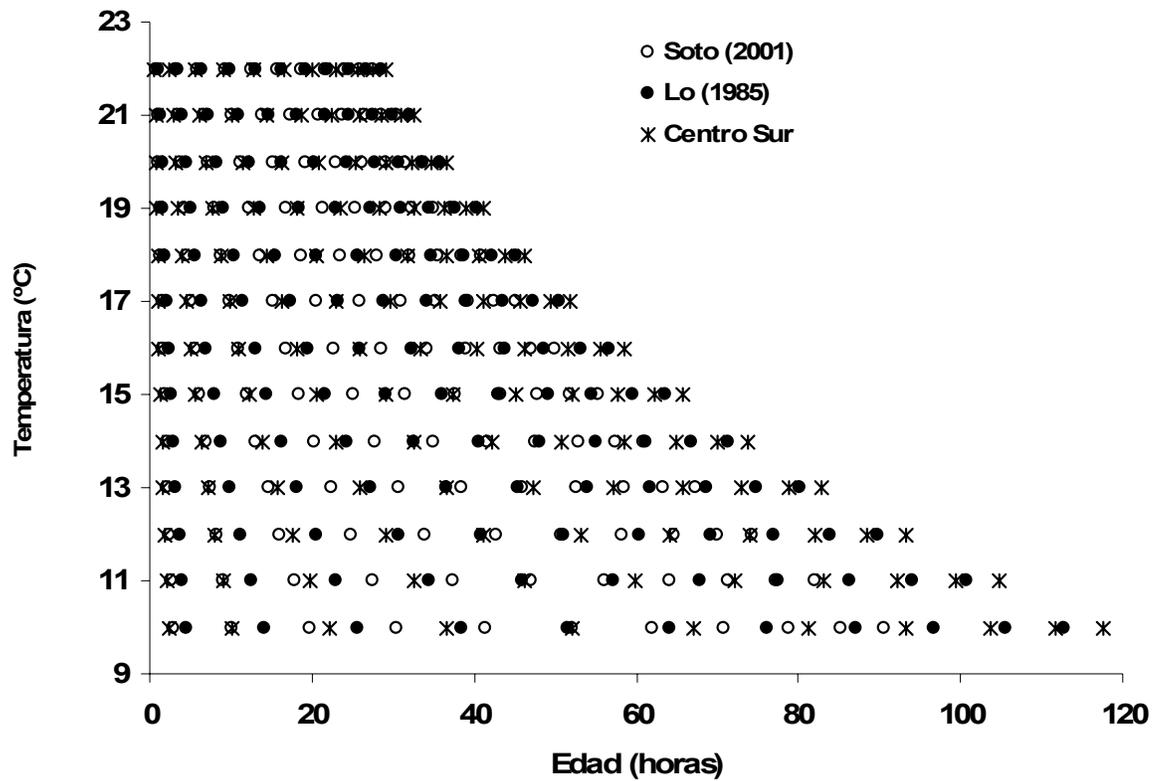


Figura 34: Valores estimados según la ecuación combinada para estadio y temperatura para la zona norte y centro sur. Se entrega además los valores estimados según la ecuación dada para *Engraulis mordax* (Lo, 1985).

3.2.2 Asignación de edad a través de Modelos GAM

El resultado del ajuste de un modelo GAM a los datos de incubación de huevos en la zona norte se entrega en Tabla 30 y Figura 35.

Tabla 30: Resultados del ajuste de un modelo GAM a los datos de incubación de huevos de anchoveta zona norte.

Family: gaussian
 Link function: identity
 Formula:
 Mage ~ s(Stage, Temp, k = 8)
 Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	26.1399	0.2155	121.3	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	F p-value
s(Stage,Temp)	6.814	7 993.8	<2e-16 ***

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 R-sq.(adj) = 0.993
 Deviance explained = 99.4%
 GCV score = 2.7518
 Scale est. = 2.3217
 n = 50

En donde el intercepto representa la edad promedio, mientras que el factor s(Stage, Temp) determina la influencia conjunta del estadio y la temperatura (smooth term). La devianza explicada es del 99,4%, de tal manera que el ajuste resulta un ajuste muy satisfactorio (aunque puede existir un sobreajuste). Sin embargo se observa que para los primeros estadios el modelo indica la misma edad a distintas temperaturas, lo que indica un problema de estimación.

Para la zona Centro Sur el modelo presenta también un muy buen ajuste (Figura 36, Tabla 31).

Tabla 31: Resultados del ajuste de un modelo GAM a los datos de incubación de huevos de anchoveta zona Centro Sur.

Parametric coefficients:

	Estimate	std. err.	t ratio	Pr(> t)
(Intercept)	55.797	0.1464	381.2	< 2.22e-16

Approximate significance of smooth terms:

	edf	chi.sq	p-value
s(Stage,Temp)	23.72	35718	< 2.22e-16

R-sq.(adj) = 0.999
 Deviance explained = 100%
 GCV score = 2.4611
 Scale est. = 0.77137
 n = 36

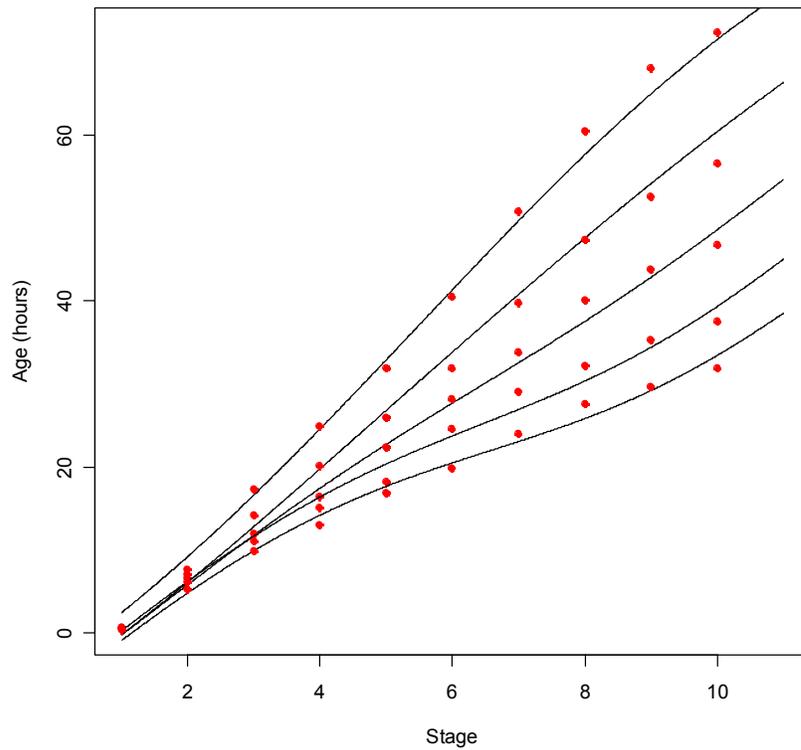


Figura 35: Ajuste del modelo GAM a la edad de los huevos de anchoveta en la zona norte en función de la temperatura y estadio. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (12°, 14°, 16°, 18° y 20 °C de arriba hacia abajo respectivamente).

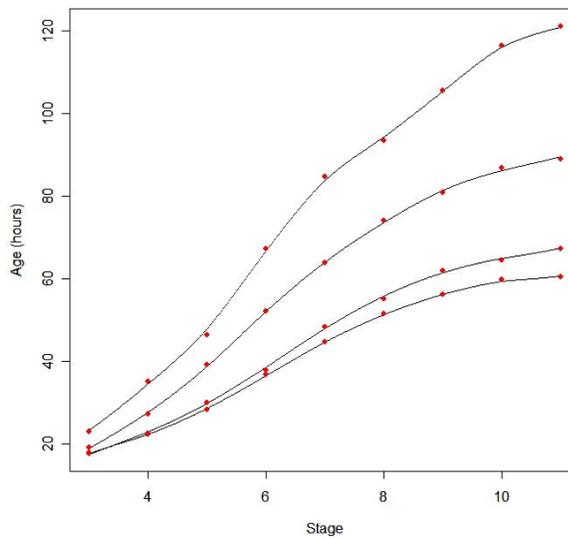


Figura 36: Ajuste del modelo GAM a la edad de los huevos de anchoveta en la zona Centro Sur en función de la temperatura y estadio. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (10°, 12°, 14° y 16 °C de arriba hacia abajo respectivamente).

3.2.3 Asignación de edad por Modelo Multinomial

El ajuste del modelo probabilístico multinomial a los datos de anchoveta zona norte presenta un buen ajuste, con la mayoría de los parámetros significativos, presentando problemas solamente el primer estadio (Tabla 32, Figura 37).

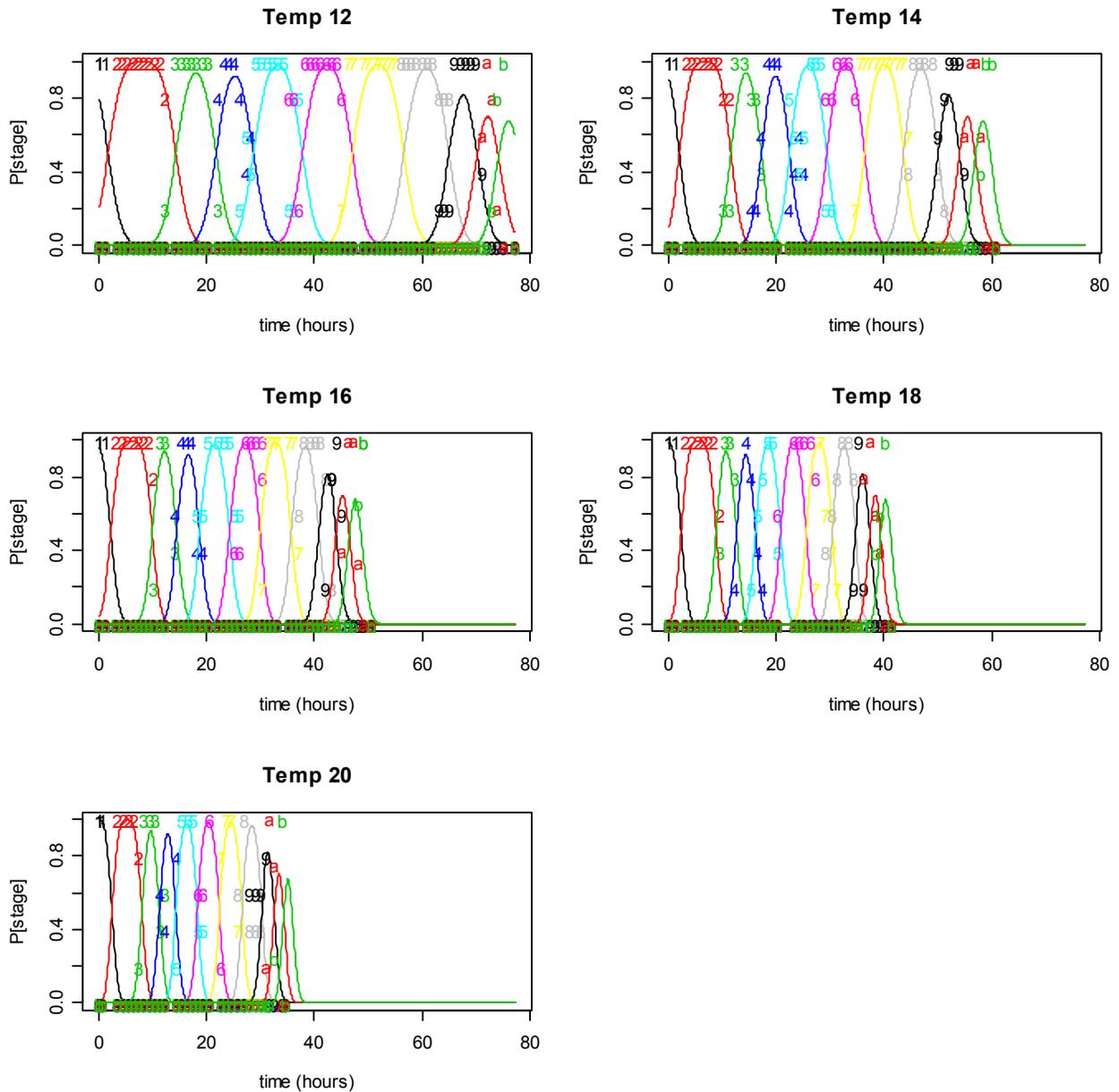


Figura 37: Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación.

Tabla 32: Resultados del ajuste del modelo probabilístico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.

Call:

```
glm(formula = form, family = binomial(link = link), data = ninc,
    control = glmControl)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.531e+00	0.000e+00	0.000e+00	4.712e-08	5.279e+00

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Age	-0.45616	0.02207	-20.673	< 2e-16 ***
Temp	-0.23354	0.03277	-7.126	1.03e-12 ***
Stage1	9.85686	106.18988	0.093	0.926
Stage2	1.99937	0.50492	3.960	7.50e-05 ***
Stage3	-4.28656	0.53603	-7.997	1.28e-15 ***
Stage4	-7.99786	0.59893	-13.354	< 2e-16 ***
Stage5	-11.47754	0.68216	-16.825	< 2e-16 ***
Stage6	-16.01424	0.81073	-19.753	< 2e-16 ***
Stage7	-20.64955	0.96296	-21.444	< 2e-16 ***
Stage8	-25.41910	1.12874	-22.520	< 2e-16 ***
Stage9	-29.61716	1.27841	-23.167	< 2e-16 ***
Stage10	-32.22342	1.37153	-23.494	< 2e-16 ***
Stage11	-34.18482	1.44515	-23.655	< 2e-16 ***
Stage12	-36.04157	1.50341	-23.973	< 2e-16 ***
Age:Temp	0.07955	0.00322	24.700	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 11187.72 on 1735 degrees of freedom

Residual deviance: 711.68 on 1720 degrees of freedom

AIC: 881.2

Number of Fisher Scoring iterations: 20

3.2.4. Simulación del desarrollo estadio-temperatura dependiente

Los experimentos de incubación de huevos de anchoveta y sardina común realizados en la zona centro-sur, se han realizado sobre la base de colecta de huevos del plancton. Por esta razón, no se tiene observaciones del Estadio I ni II, comenzando usualmente en el estadio III. Para contar con un modelo multinomial probabilística que contenga estos estadios y que tenga las mismas propiedades de aquellos obtenidos durante los experimentos a partir del modelo de Lo ajustado se simuló la edad para cada estadio y temperatura de los experimentos.

a) Anchoqueta

En el caso de la anchoveta de la zona sur, la simulación utilizó los parámetros del modelo de Lo y la desviación estándar para obtener valores alternativos e igualmente probables de la edad por cada estadio (I al XII) y temperatura (10, 12, 14, 16 °C). El ajuste del modelo de Lo a los datos simulaciones revela estimaciones de parámetros similares al original, i.e.

Formula: $Mage \sim a * \exp(-(b * Temp + c * Stage)) * Stage^d$

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	8.364317	0.892466	9.372	1.21e-11 ***
b	0.115923	0.002452	47.286	< 2e-16 ***
c	0.175807	0.013898	12.650	1.46e-15 ***
d	2.388893	0.102683	23.265	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.857 on 40 degrees of freedom

El mejor ajuste de un modelo probabilístico multinomial para los datos simulados de anchoveta en la zona centro-sur (Figura 38), queda descrito por los siguientes parámetros y estructura:

`glm(formula = form, family = binomial(link = link), data = ninc,
control = glmControl)`

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Age	-0.19211	0.01036	-18.544	< 2e-16 ***
Temp	0.03632	0.03742	0.971	0.332
Stage1	4.75465	79.32356	0.060	0.952
Stage2	-2.36475	0.50597	-4.674	2.96e-06 ***
Stage3	-5.48117	0.54977	-9.970	< 2e-16 ***
Stage4	-9.34449	0.64358	-14.519	< 2e-16 ***
Stage5	-14.47094	0.77962	-18.562	< 2e-16 ***
Stage6	-19.64166	0.93020	-21.116	< 2e-16 ***
Stage7	-23.94808	1.06859	-22.411	< 2e-16 ***
Stage8	-28.56803	1.24199	-23.002	< 2e-16 ***
Stage9	-32.03977	1.36415	-23.487	< 2e-16 ***
Stage10	-35.01335	1.46833	-23.846	< 2e-16 ***
Stage11	-37.21156	1.55314	-23.959	< 2e-16 ***
Stage12	-38.90014	1.60123	-24.294	< 2e-16 ***
Age:Temp	0.05115	0.00205	24.947	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 11665.7 on 1683 degrees of freedom

Residual deviance: 1129.5 on 1668 degrees of freedom

AIC: 1159.5

Number of Fisher Scoring iterations: 19

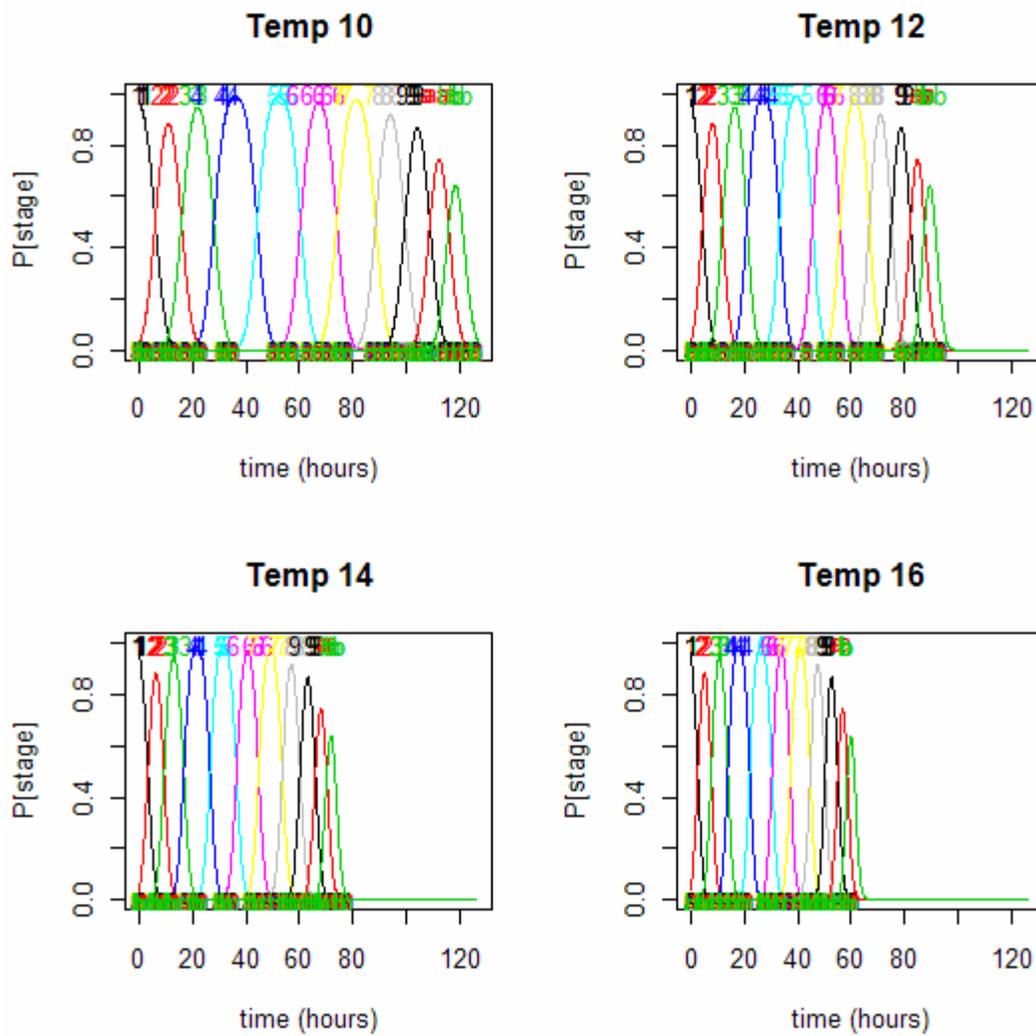


Figura 38: Ajuste del modelo multinomial a los datos simulados de anchoveta para cuatro temperaturas (10, 12, 14 y 16 °C). Los números sobre cada curva representan al estadio de desarrollo, mientras que las letras a y b representan al estadio X y XI, respectivamente. Zona centro-sur de Chile.

b) Sardina común

Para el caso de la sardina común, se revisó los datos de incubaciones generados en el marco del Proyecto FIP 97-04 y cuyos parámetros han sido re-estimados según la metodología descrita en este estudio. Las incubaciones de sardina común se realizaron a partir de datos colectados en el plancton, de tal manera que el desarrollo comenzó en el estadio III o más avanzados dependiendo de las temperaturas. El Modelo de Lo a los datos originales queda expresado según los siguientes resultados:

Formula: $\text{Mage} \sim a * \exp(-(b * \text{Temp} + c * \text{Stage})) * \text{Stage}^d$

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	15.207061	2.851131	5.334	4.35e-06 ***
b	0.059343	0.003175	18.693	< 2e-16 ***
c	0.019236	0.023399	0.822	0.416
d	1.038269	0.177221	5.859	8.14e-07 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.58 on 39 degrees of freedom

El ajuste a los datos experimentales se presenta en la Figura 39, donde se resume la edad promedio a cada estadio para 6 niveles de temperatura.

Para las simulaciones de la edad media a cada estadio y nivel de temperatura a partir del estadio I, se utilizó el modelo anterior. Asimismo, se obtuvo un modelo para la desviación estándar estadio-temperatura dependiente, cuyos resultados fueron:

Formula: $\text{Sdage} \sim a * \exp(b * \text{Temp} - c * \text{Stage}) * \text{Stage}^d$

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	6.18870	9.98970	0.620	0.53959
b	-0.10944	0.03248	-3.369	0.00185 **
c	-0.07576	0.19907	-0.381	0.70582
d	-0.10061	1.48092	-0.068	0.94622

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.9943 on 35 degrees of freedom

Correlation of Parameter Estimates:

	a	b	c
b	-0.4169		
c	-0.8789	0.1053	
d	-0.9390	0.1441	0.983

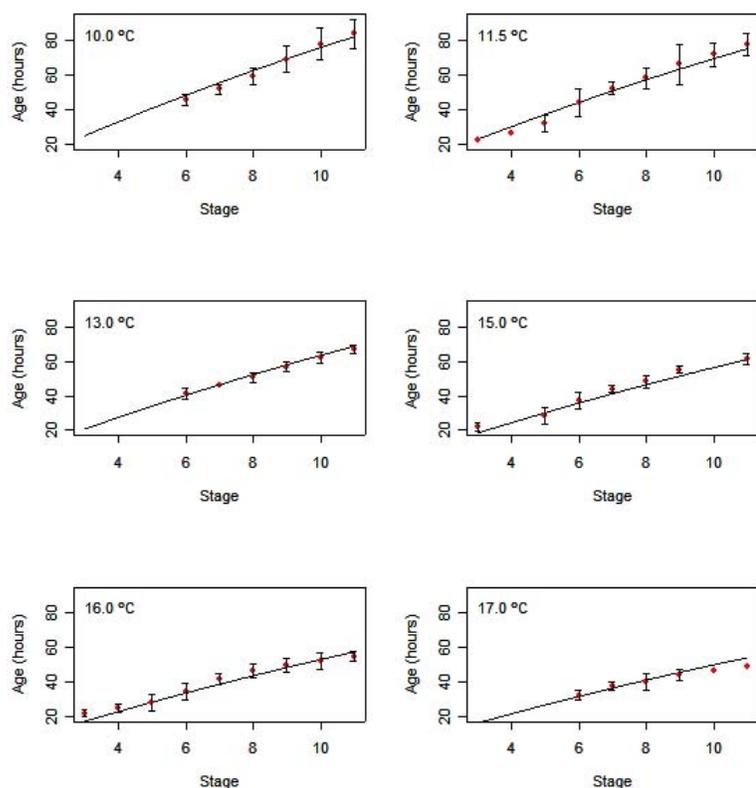


Figura 39: Resultados del ajuste del modelo de Lo a los datos de experimentos de incubación de huevos de sardina común (datos generados en el FIP 97-04).

Aunque este modelo sólo presenta un coeficiente significativo asociado a la temperatura, los modelos más parsimoniosos no fueron satisfactorios en la generación de valores alternativos e igualmente probables, razón por la cual se retuvo en las simulaciones. Los valores alternativos e igualmente probables se generaron para cada estadio y temperatura, y el ajuste del modelo de Lo a dichos datos quedó definido según los siguientes resultados:

Formula: $\text{Mage} \sim a * \exp(- (b * \text{Temp} + c * \text{Stage})) * \text{Stage}^d$

Parameters:

Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	12.861533	0.823013	15.627 < 2e-16 ***
b	0.055695	0.002093	26.610 < 2e-16 ***
c	0.034509	0.009581	3.602 0.00063 ***
d	1.143591	0.063638	17.970 < 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.751 on 62 degrees of freedom

Por otra parte, un modelo GAM se ajustó a dichos datos que tiene la característica de ser más flexible (generalizado) que el modelo paramétrico de Lo para el rango de temperaturas utilizadas, y que se denomina Modelo de Lo Generalizado. El ajuste del modelo a los datos utilizó una restricción $k=8$ para el suavizador spline con el objeto de minimizar un sobreajuste a los datos. Se utiliza una función bivariada estadio-temperatura y como variable independiente la edad media.

Los resultados fueron los siguientes:

```
Family: gaussian
Link function: identity
Formula:
Mage ~ s(Stage, Temp, k = 8)

Parametric coefficients:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 36.8392   0.1649  223.5 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Approximate significance of smooth terms:
      edf Est.rank  F p-value
s(Stage,Temp) 6.766    7 1978 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Una comparación de ambos modelos se muestra en la Figura 40, para las temperaturas que se utilizaron en los experimentos de incubación. Se observa un buen grado de ajuste de ambos modelos, como también una forma similar.

El modelo multinomial ajustado a los datos simulados de sardina común (Figura 41), queda descrito por los siguientes parámetros y estructura:

```
glm(formula = form, family = binomial(link = link), data = ninc,
     control = glmControl)
```

```
Coefficients:
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
Age    9.333e-02  8.651e-03  10.789 <2e-16 ***
Temp  -3.456e-02  2.824e-02  -1.224  0.221
Stage1  5.615e+00  5.506e+01  0.102  0.919
Stage2 -3.605e+00  4.085e-01  -8.823 <2e-16 ***
Stage3 -6.113e+00  4.366e-01 -14.003 <2e-16 ***
Stage4 -9.032e+00  4.783e-01 -18.884 <2e-16 ***
Stage5 -1.158e+01  5.179e-01 -22.360 <2e-16 ***
Stage6 -1.433e+01  5.676e-01 -25.253 <2e-16 ***
Stage7 -1.675e+01  6.200e-01 -27.015 <2e-16 ***
Stage8 -1.915e+01  6.733e-01 -28.443 <2e-16 ***
Stage9 -2.130e+01  7.203e-01 -29.577 <2e-16 ***
Stage10 -2.323e+01  7.682e-01 -30.246 <2e-16 ***
Stage11 -2.560e+01  8.268e-01 -30.967 <2e-16 ***
```

Stage12 -2.750e+01 8.670e-01 -31.717 <2e-16 ***
 Age:Temp 2.449e-02 9.242e-04 26.500 <2e-16 ***

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 18160 on 2620 degrees of freedom
 Residual deviance: 2295 on 2605 degrees of freedom
 AIC: 2325

Number of Fisher Scoring iterations: 19

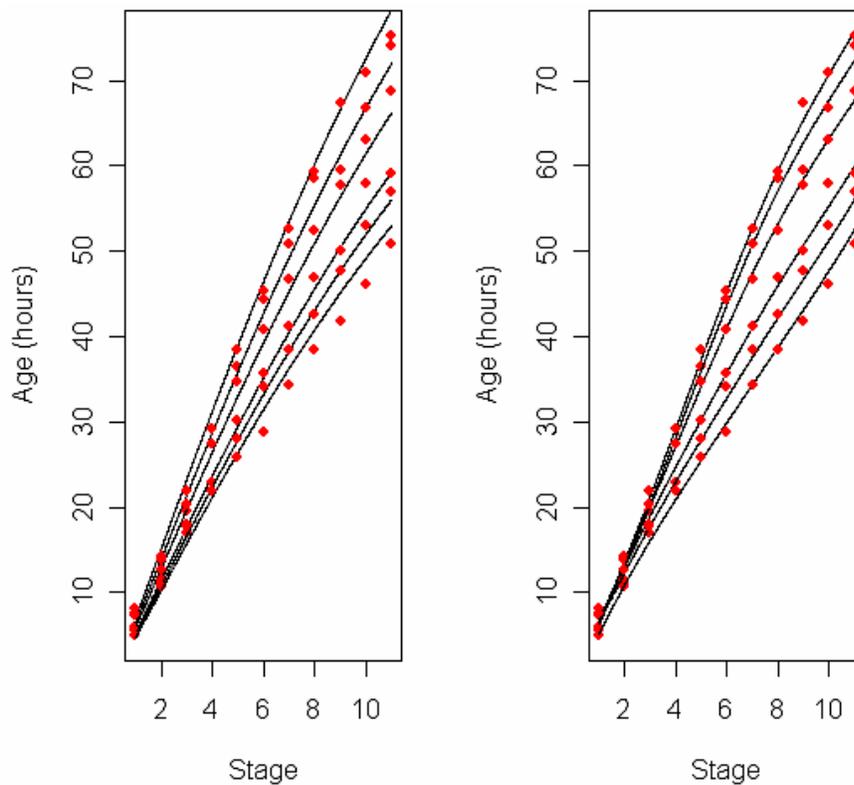


Figura 40: Ajuste del modelo de Lo (paramétrico) y generalizado (GAM) a los datos simulados de sardina común para los niveles de temperatura utilizados en los experimentos de incubación. Líneas corresponden al ajuste para cada temperatura considerada en los experimentos (10°, 12°, 14° y 16 °C de arriba hacia abajo respectivamente).

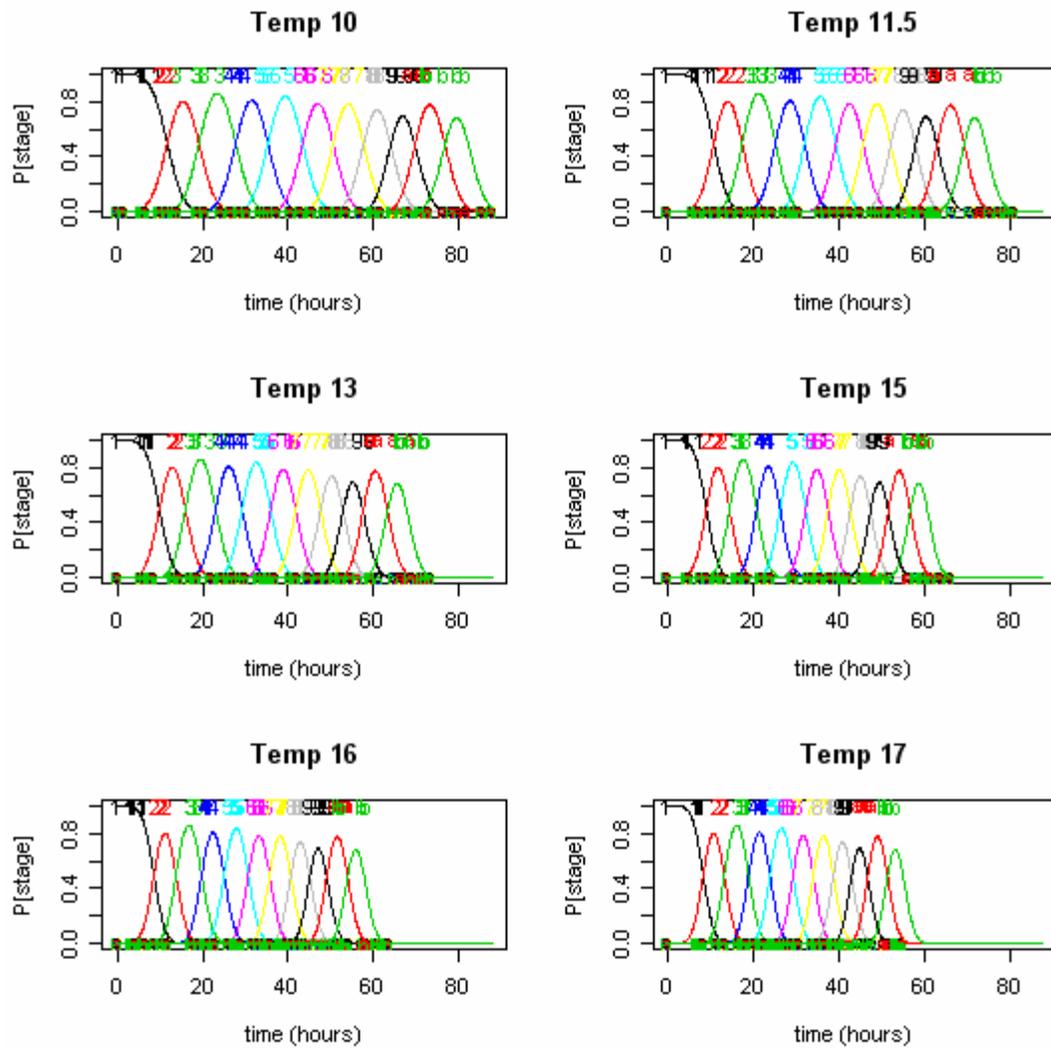


Figura 41: Ajuste del modelo multinomial a los datos simulados de sardina común para seis temperaturas (10, 11.5, 13, 15, 16 y 17 °C). Los números sobre cada curva representan al estadio de desarrollo, mientras que las letras a y b representan al estadio X y XI, respectivamente. Zona centro-sur de Chile.

3.2.5 Re-estimación de Po.

a) Zona Norte

Hora de desove

La distribución horario del total de huevos en estadio 1 colectados en los cruceros en la zona norte ($n = 7208$) muestra una distribución normal (Figura 42), en donde el ajuste indica una media a las 23,54 horas con una desviación estándar de 1,48. Dado que el estadio I tiene en promedio 0,5 horas de edad a 16 °C se debe corregir el pico de desove, por lo que éste quedaría centrado a las 23 horas (Figura 42). De acuerdo a estos resultados el pico de desove utilizado actualmente (22:00 h) debe cambiarse a las 23:00 horas, con una desviación estándar de 1,5 horas.

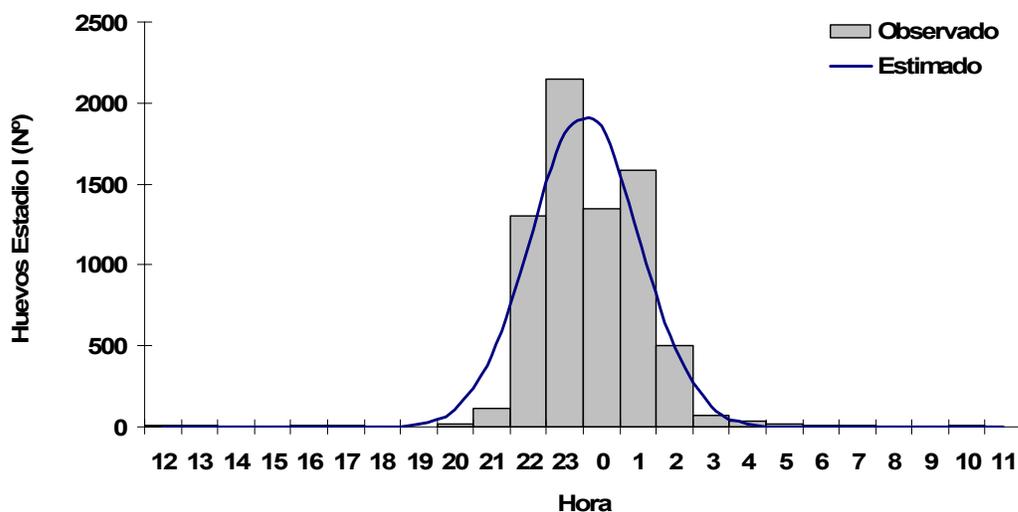


Figura 42: Distribución de frecuencia (Nº) de huevos de anchoveta en el estadio I de desarrollo (Recientemente desovados y fertilizados) según hora de colecta para el total de cruceros realizados en zona norte.

Modelos:

En Tabla 33 se entregan los resultados de las estimaciones de Po y Z según las tres metodologías contenidas en los paquetes *eggs* y *eggsplore* de R. Para el “Modelo de Lo GLM” y el “Modelo Generalizado la desviación estándar de la edad de los huevos para el estadio es tomado de los experimentos de incubación (Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24). En el caso del Modelo Multinomial

se especificó la desviación estándar en 1,5 horas en el parámetro “Spawn.sig” dentro de “depm.control” en el paquete *eggs* de R.

Una vez ponderados por la proporción que es el área positiva respecto del área total (Ecuación 14) la producción diaria de huevos (Figura 43) y sus respectivas varianzas y coeficientes de variación se entregan en Tabla 34. Aún cuando cambian los niveles de P_o , en general se observa la misma tendencia, excepto en los años 1995 y 2003 en el modelo multinomial

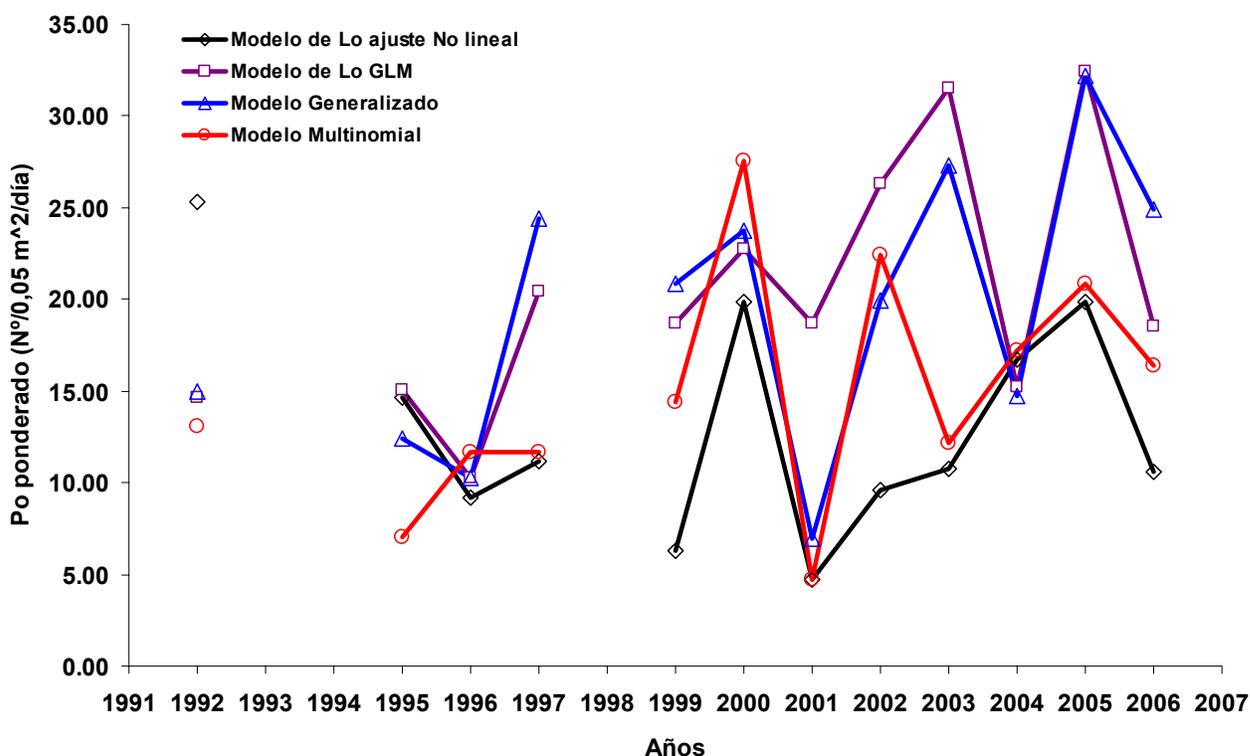


Figura 43: Estimaciones de Producción diaria de huevos ($N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$), ponderado por el área para anchoveta de la zona norte, en base a las cuatro metodologías aplicadas

Tabla 33: Resultados del ajuste de producción diaria de huevos en función de la edad de los huevos para tres metodologías (Rutinas *eggs* y *eggsplore* en plataforma R). *Intercept* corresponde al estimado del logaritmos de P_0 (N° huevos/m²/día). *Age* corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (Z , en horas). *Std. Error* en el caso de P_0 corresponde al coeficiente de variación de P_0 y para Z es el error estándar. n es el número de observaciones. $Pr(>|z|)$ es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). *AIC* es el criterio de información de Akaike.

		Modelo de Lo GLM						Modelo Generalizado						Modelo Multinomial					
		Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC	Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC	Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC
1992	(Intercept)	6.181536	0.244034	25.3	<2e-16	575	3308.8	6.204454	0.260382	23.8	<2e-16	577	3301.1	6.068742	0.245633	24.7	<2e-16	496	3018
	Age	-0.011578	0.008243	-1.4	0.16			-0.012847	0.008778	-1.5	0.14			-0.007183	0.009055	-0.8	0.43		
1995	(Intercept)	6.014969	0.258939	23.2	<2e-16	691	2985	5.823551	0.276743	21.0	<2e-16	691	2949.3	5.258078	0.239853	21.9	<2e-16	645	2807.5
	Age	-0.021668	0.008764	-2.5	0.01			-0.017077	0.009332	-1.8	0.07			-0.006713	0.008229	-0.8	0.42		
1996	(Intercept)	5.861715	0.292224	20.1	<2e-16	503	2339.4	5.85972	0.3103	18.9	<2e-16	505	2339.9	5.99041	0.29086	20.6	<2e-16	464	2326.6
	Age	-0.009463	0.009871	-1.0	0.34			-0.01061	0.01041	-1.0	0.31			-0.01686	0.01002	-1.7	0.09		
1997	(Intercept)	6.30576	0.27808	22.7	<2e-16	547	2656.3	6.4824	0.29405	22.0	<2e-16	548	2678.2	5.741511	0.252034	22.8	<2e-16	421	2523.3
	Age	-0.02896	0.01025	-2.8	4.7E-03			-0.03574	0.01073	-3.3	8.7E-04			0.003328	0.01137	0.3	0.77		
1999	(Intercept)	7.21459	0.33666	21.4	<2e-16	342	1762	7.32616	0.36745	19.9	<2e-16	343	1700.3	6.95639	0.32923	21.1	<2e-16	289	1735.8
	Age	-0.04965	0.01177	-4.2	2.5E-05			-0.05486	0.01256	-4.4	1.3E-05			-0.039	0.01248	-3.1	1.8E-03		
2000	(Intercept)	6.522242	0.227725	28.6	<2e-16	524	2946.5	6.565675	0.237754	27.6	<2e-16	524	2942.1	6.714806	0.227135	29.6	<2e-16	460	2972.5
	Age	-0.023484	0.007802	-3.0	2.6E-03			-0.025658	0.008149	-3.1	1.6E-03			-0.032164	0.008481	-3.8	1.5E-04		
2001	(Intercept)	7.78502	0.54937	14.2	<2e-16	133	875.16	6.79345	0.598107	11.4	<2e-16	133	845.04	6.41111	0.54414	11.8	<2e-16	122	796.84
	Age	-0.02987	0.01801	-1.7	0.10			-0.001305	0.019914	-0.1	0.95			0.01299	0.01888	0.7	0.491		
2002	(Intercept)	6.76806	0.17794	38.0	<2e-16	669	4901	6.490026	0.1894	34.3	<2e-16	671	4846.1	6.609291	0.173606	38.1	<2e-16	577	4368
	Age	-0.01894	0.00609	-3.1	1.9E-03			-0.011325	0.006522	-1.7	0.08			-0.01536	0.006459	-2.4	0.02		
2003	(Intercept)	7.680128	0.282338	27.2	<2e-16	297	2403.1	7.536562	0.304125	24.8	<2e-16	298	2364.8	6.72581	0.3023	22.2	<2e-16	274	1764.8
	Age	-0.024523	0.008928	-2.7	6.0E-03			-0.021641	0.009542	-2.3	0.02			-0.0152	0.01062	-1.4	0.15		
2004	(Intercept)	6.90376	0.23069	29.9	<2e-16	491	3229.3	6.876027	0.2452	28.0	<2e-16	494	3198.9	7.027879	0.220056	31.9	<2e-16	463	3124.7
	Age	-0.02912	0.00781	-3.7	1.9E-04			-0.030386	0.008262	-3.7	2.4E-04			-0.035152	0.007586	-4.6	3.6E-06		
2005	(Intercept)	7.360873	0.211753	34.8	<2e-16	501	3393.6	7.351998	0.223928	32.8	<2e-16	505	3349.2	6.91869	0.21988	31.5	31.466	472	3259.5
	Age	-0.0456	0.007337	-6.2	5.1E-10			-0.046859	0.007754	-6.0	1.5E-09			-0.02011	0.00807	-2.5	1.3E-02		
2006	(Intercept)	6.98651	0.235172	29.7	<2e-16	495	3069	7.28072	0.26261	27.7	<2e-16	494	3011.8	6.86046	0.23101	29.7	<2e-16	420	2835.2
	Age	-0.036686	0.008542	-4.3	1.8E-05			-0.04878	0.00928	-5.3	1.5E-07			-0.0306	0.00932	-3.3	1.0E-03		

Tabla 34: Estimaciones de Producción diaria de huevos (Po) ponderados por la proporción del área de desove respecto del total (Ecuación 14).

		Modelo de Lo ajuste No lineal			Modelo de Lo GLM			Modelo Generalizado			Modelo Multinomial		
		Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV
1992	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	25.34	36.117	23.7	14.65	21.144	31.4	14.99	25.198	33.5	13.09	17.099	31.6
	Area desove (mn ²)	10332			10332			10332			10332		
	Area Total (mn ²)	17055			17055			17055			17055		
	BIOMASA (ton)	543465	1.83E+10	24.9	314232	1.03E+10	32.3	321516	1.22E+10	34.3	280714	8.32E+09	32.5
1995	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	14.66	40.280	43.3	15.03	20.666	30.2	12.41	16.097	32.3	7.05	3.903	28.0
	Area desove (mn ²)	13315			13315			13315			13315		
	Area Total (mn ²)	18137			18137			18137			18137		
	BIOMASA (ton)	454166	4.04E+10	44.3	465696	2.17E+10	31.6	384566	1.67E+10	33.6	218468	4.16E+09	29.5
1996	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	9.21	12.797	38.8	10.24	15.391	38.3	10.22	17.284	40.7	11.65	19.726	38.1
	Area desove (mn ²)	10698			10698			10698			10698		
	Area Total (mn ²)	18353			18353			18353			18353		
	BIOMASA (ton)	228005	8.73E+09	41.0	253356	1.05E+10	40.5	252851	1.17E+10	42.8	288152	1.35E+10	40.3
1997	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	11.15	16.787	36.8	20.46	43.397	32.2	24.41	69.086	34.1	11.63	11.539	29.2
	Area desove (mn ²)	14660			14660			14660			14660		
	Area Total (mn ²)	19627			19627			19627			19627		
	BIOMASA (ton)	405909	2.48E+10	38.8	744838	6.62E+10	34.5	888742	1.04E+11	36.3	423654	1.81E+10	31.7
1999	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	6.31	18.439	68.0	18.68	144.297	64.3	20.88	214.869	70.2	14.43	82.382	62.9
	Area desove (mn ²)	7525			7525			7525			7525		
	Area Total (mn ²)	27374			27374			27374			27374		
	BIOMASA (ton)	328861	5.03E+10	68.2	973292	3.94E+11	64.5	1088171	5.86E+11	70.3	751810	2.25E+11	63.1
2000	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	19.82	33.360	29.1	22.73	40.155	27.9	23.74	47.741	29.1	27.55	58.729	27.8
	Area desove (mn ²)	13059			13059			13059			13059		
	Area Total (mn ²)	19539			19539			19539			19539		
	BIOMASA (ton)	530421	2.56E+10	30.2	608087	3.11E+10	29.0	635080	3.67E+10	30.2	737217	4.54E+10	28.9
2001	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	4.69	134.265	247.1	18.67	682.528	139.9	6.93	111.348	152.3	4.73	42.928	138.6
	Area desove (mn ²)	4026			4026			4026			4026		
	Area Total (mn ²)	25921			25921			25921			25921		
	BIOMASA (ton)	192367	2.29E+11	248.7	765885	1.20E+12	142.7	284139	1.94E+11	154.9	193857	7.52E+10	141.5
2002 (*)	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	9.61	5.586	24.6	26.30	36.269	22.9	19.92	23.564	24.4	22.44	25.137	22.3
	Area desove (mn ²)	18309			18309			18309			18309		
	Area Total (mn ²)	30264			30264			30264			30264		
	BIOMASA (ton)	549664	1.98E+10	25.6	1503911	1.30E+11	24.0	1138868	8.36E+10	25.4	1283127	9.05E+10	23.4
2003	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	10.79	74.951	80.2	31.50	272.686	52.4	27.28	237.424	56.5	12.13	46.367	56.1
	Area desove (mn ²)	7852			7852			7852			7852		
	Area Total (mn ²)	26986			26986			26986			26986		
	BIOMASA (ton)	424417	1.18E+11	81.0	1238731	4.41E+11	53.6	1073067	3.82E+11	57.6	477004	7.46E+10	57.3
2004 (*)	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	16.72	53.773	43.9	15.18	40.323	41.8	14.77	43.097	44.5	17.19	47.035	39.9
	Area desove (mn ²)	9193			9193			9193			9193		
	Area Total (mn ²)	30152			30152			30152			30152		
	BIOMASA (ton)	736587	1.07E+11	44.5	668979	8.08E+10	42.5	650681	8.61E+10	45.1	757385	9.46E+10	40.6
2005 (*)	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	19.86	37.667	30.9	32.43	114.620	33.0	32.15	125.922	34.9	20.84	51.045	34.3
	Area desove (mn ²)	12521			12521			12521			12521		
	Area Total (mn ²)	30368			30368			30368			30368		
	BIOMASA (ton)	931353	8.72E+10	31.7	1520754	2.64E+11	33.8	1507317	2.88E+11	35.6	977285	1.17E+11	35.0
2006	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	10.56	43.597	62.5	18.54	55.595	40.2	24.89	124.864	44.9	16.35	41.706	39.5
	Area desove (mn ²)	14117			14117			14117			14117		
	Area Total (mn ²)	41182			41182			41182			41182		
	BIOMASA (ton)	615734	1.50E+11	63.0	1081156	1.96E+11	40.9	1450982	4.36E+11	45.5	953115	1.47E+11	40.2

b) Zona Centro Sur

Para la zona centro-sur se re-estimó la producción diaria de huevos considerando tres métodos de datación de huevos; a saber: a) Modelo Paramétrico de Lo, b) Modelo Generalizado de Lo, y c) Modelo Multinomial. La producción diaria de huevos se realizó con modelo lineal generalizado considerando una estructura de error binomial negativa y enlace log (Bernal *et al.* 2001). Por otra parte, se destaca que en la zona centro-sur la densidad de huevos varía entre estratos geográficos (Cubillos *et al.* 2007), razón por la cual las nuevas estimaciones de P_0 se realizan para cada estrato geográfico. Sin embargo, en las nuevas estimaciones no se considera la región norte, comprendida entre Valparaíso y Norte de Constitución, ya que en todos los cruceros dicho estrato ha sido de carácter exploratorio con distancia entre transectas que han fluctuado entre 10 millas náuticas (año 2002) y 20 millas náuticas (años 2004 y 2005). Asimismo, el año 2003 no se consideró pues dicho crucero se realizó entre el 23 de agosto y el 22 de octubre cuya escala temporal no cumple con los requisitos para evaluar la producción diaria de huevos instantánea.

Anchoveta

La estimación de la producción diaria de huevos con Modelo Lineal Generalizado (familia binomial negativa y enlace log) se resumen en la Tabla 35. El intercepto corresponde al logaritmo de la densidad de huevos ($\text{huevos} \cdot \text{m}^{-2}$) y la pendiente a la tasa de mortalidad total (horas^{-1}) en el área de desove (región positiva). Las estimaciones son comparables entre sí, variando levemente en función de cada método de datación. En algunos casos, se observa que aunque la tasa de mortalidad total no fue significativa (año 2004, sector sur), el coeficiente fue negativo lo que implica la declinación del número de huevos con la edad.

Tabla 35: Estimaciones de la producción diaria de huevos de anchoveta según tres métodos de datación: Procedimiento automatizado de Lo con el modelo paramétrico (Po.Lo), con el modelo generalizado GAM (Po.Gen), y con el modelo multinomial (Po.Multi).). *Age* corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (*Z*, en horas). *Std. Error* en el caso de Po corresponde al coeficiente de variación de Po y para *Z* es el error estándar. *n* es el número de observaciones. *Pr(>|z|)* es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). *AIC* es el criterio de información de Akaike.

			Po.Lo (Po.lo.glm)					
			Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC
2002	Centro	(Intercept)	4.970376	0.331146	15.01	< 2e-16	350	1027.4
		Age	-0.02716	0.007859	-3.455	0.00055		
2002	Sur	(Intercept)	5.620051	0.303826	18.498	<2e-16	350	1538.9
		Age	-0.01707	0.007095	-2.406	0.0161		
2004	Centro	(Intercept)	5.049058	0.333389	15.15	<2e-16	152	694.57
		Age	-0.01776	0.008002	-2.22	0.0264		
2004	Sur	(Intercept)	5.987959	0.394115	15.193	<2e-16	152	835.65
		Age	-0.01331	0.009167	-1.452	0.146		
2005	Centro	(Intercept)	6.81655	0.51336	13.278	< 2e-16	125	550.69
		Age	-0.04283	0.01182	-3.623	2.92E-04		
2005	Sur	(Intercept)	6.243	0.45749	13.646	<2e-16	278	1010.2
		Age	-0.02434	0.01082	-2.251	2.44E-02		
			Po.Gen (Po.gen.glm)					
			Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC
2002	Centro	(Intercept)	4.972713	0.338566	14.688	< 2e-16	350	1011.1
		Age	-0.02688	0.007935	-3.387	0.000707		
2002	Sur	(Intercept)	5.308576	0.301762	17.592	<2e-16	350	1523.2
		Age	-0.00797	0.006973	-1.143	0.253		
2004	Centro	(Intercept)	5.055056	0.338083	14.952	<2e-16	152	701.55
		Age	-0.01752	0.008193	-2.138	0.0325		
2004	Sur	(Intercept)	6.032534	0.406092	14.855	<2e-16	152	824.46
		Age	-0.01469	0.009273	-1.584	0.113		
2005	Centro	(Intercept)	6.11739	0.52769	11.593	<2e-16	125	521.57
		Age	-0.02846	0.01192	-2.387	1.70E-02		
2005	Sur	(Intercept)	6.18263	0.44904	13.768	<2e-16	278	1017.2
		Age	-0.02363	0.01036	-2.281	2.26E-02		
			Po.Multi (Spawn.sig =2)					
			Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC
2002	Centro	(Intercept)	4.887935	0.274228	17.82	< 2e-16	377	1292.9
		Age	-0.02209	0.005829	-3.79	0.000151		
2002	Sur	(Intercept)	5.992954	0.237218	25.264	< 2e-16	409	1987.2
		Age	-0.02361	0.004587	-5.147	2.65E-07		
2004	Centro	(Intercept)	5.177421	0.309835	16.71	<2e-16	144	731.87
		Age	-0.01273	0.007222	-1.763	0.078		
2004	Sur	(Intercept)	6.161065	0.343997	17.91	<2e-16	171	1032.8
		Age	-0.01272	0.006865	-1.853	0.0639		
2005	Centro	(Intercept)	6.21512	0.85029	7.309	2.43E-11	131	587.94
		Age	-0.02559	0.01744	-1.468	0.145		
2005	Sur	(Intercept)	6.171742	0.33917	18.197	<2e-16	321	1528.6
		Age	-0.01602	0.006639	-2.413	1.58E-02		

La producción diaria de huevos, expresada en número de huevos por 0,05 m² por día, se compara en la Tabla 36, con la estimación del área de desove, área de estudio y biomasa. Se observa que la mayor producción diaria de huevos de anchoveta ocurre en el sector sur, y por ende la mayor biomasa desovante. La estimación estratificada implica que la biomasa en cada zona son independientes, y por ende, la suma de los estimados y de las varianzas corresponden a la estimación en el área de estudio.

Tabla 36: Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m²/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de anchoveta en cada estrato geográfico de los años 2002, 2004 y 2005.

			Modelo de Lo GLM			Modelo Generalizado			Modelo Multinomial		
			Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV
2002	Centro	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	7.20	5.691	33.11	7.22	25.198	33.86	6.63	3.310	27.42
		Area desove (Km ²)	3184			3184			3184		
		BIOMASA (ton)	17926	5.021E+07	39.53	17969	5.202E+07	40.14	16508	3.317E+07	34.89
	Sur	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	13.80	17.566825	30.38	10.10	9.2945808	30.18	20.03	22.576529	23.72
		Area desove (Km ²)	4360			4360			4360		
		BIOMASA (ton)	94397	1.000E+09	33.50	69133	5.300E+08	33.30	137062	1.431E+09	27.60
2004	Centro	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	7.79	6.7518586	33.34	7.84	7.0273175	33.81	8.861	7.5374844	30.98
		Area desove (Km ²)	6081			6081			6081		
		BIOMASA (ton)	44828	2.850E+08	37.66	45099	2.949E+08	38.08	50965	3.292E+08	35.60
	Sur	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	19.93	61.6965	39.41	20.84	71.6079	40.61	23.70	66.450162	34.40
		Area desove (Km ²)	6429			6429			6429		
		BIOMASA (ton)	108322	2.892E+09	49.65	113257	3.284E+09	50.60	128796	3.475E+09	45.77
2005	Centro	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	45.64	549.00132	51.34	22.68	143.28377	52.77	25.01	452.33354	85.03
		Area desove (Km ²)	4715			4715			4715		
		BIOMASA (ton)	267644	2.051E+10	53.51	133019	5.331E+09	54.89	146675	1.604E+10	86.36
	Sur	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	25.72	138.45388	45.75	24.21	118.21355	44.90	23.95	65.990613	33.92
		Area desove (Km ²)	17719			17719			17719		
		BIOMASA (ton)	453796	9.011E+10	66.2	427207	7.844E+10	65.6	422584	6.130E+10	58.6

En el caso de la sardina común, las estimaciones de la producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad con Modelo Lineal Generalizado se resumen en la Tabla 37. En este caso, se observó que la tasa de mortalidad total (h^{-1}) no fue significativa en 2004 y 2005 en ambos estratos geográficos. Esto se debe, en parte, a la baja incidencia de estaciones positivas como de densidad de huevos en la zona centro del 2004 y 2005, particularmente en la zona centro de ambos años. Solamente en la zona centro de 2004, la tasa de mortalidad total fue positiva y no significativa, mientras que para el 2005 el ajuste del modelo a la datación con el modelo multinomial resultó en un coeficiente positivo no significativo.

Tabla 37: Estimaciones de la producción diaria de huevos de sardina común según tres métodos de datación: Procedimiento automatizado de Lo con el modelo paramétrico (Po.Lo), con el modelo generalizado GAM (Po.Gen), y con el modelo multinomial (Po.Multi).). *Age* corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (*Z*, en horas). *Std. Error* en el caso de Po corresponde al coeficiente de variación de Po y para *Z* es el error estándar. *n* es el número de observaciones. *Pr(>|z|)* es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). *AIC* es el criterio de información de Akaike.

			Po.Lo (Po.lo.glm)					
			Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC
2002	Centro	(Intercept)	7.89979	0.7792	10.138	<2e-16	120	556.41
		Age	-0.05691	0.01814	-3.138	0.0017		
	Sur	(Intercept)	6.329868	0.38328	16.515	< 2e-16	335	1428.6
		Age	-0.02352	0.008939	-2.631	0.00851		
2004	Centro	(Intercept)	1.983722	0.719965	2.755	0.00586	32	49.9
		Age	0.006436	0.016263	0.396	0.69231		
	Sur	(Intercept)	4.083643	0.569941	7.165	7.78E-13	56	225.35
		Age	-0.00518	0.0131	-0.395	0.693		
2005	Centro	(Intercept)	3.70273	0.68413	5.412	6.22E-08	11	34.52
		Age	-0.02439	0.01811	-1.347	0.176		
	Sur	(Intercept)	5.65968	0.59766	9.47	<2e-16	152	481.11
		Age	-0.02695	0.01397	-1.929	0.0538		
			Po.Gen (Po.gen.glm)					
			Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC
2002	Centro	(Intercept)	7.76561	0.75788	10.246	< 2e-16	120	559.17
		Age	-0.05262	0.01756	-2.995	0.00274		
	Sur	(Intercept)	6.246978	0.365206	17.105	< 2e-16	335	1442.6
		Age	-0.02034	0.008357	-2.433	0.015		
2004	Centro	(Intercept)	1.970381	0.703326	2.802	0.00509	32	49.9
		Age	0.006838	0.015901	0.43	0.66716		
	Sur	(Intercept)	4.00958	0.537146	7.465	8.36E-14	56	229.74
		Age	-0.00214	0.01207	-0.177	0.860		
2005	Centro	(Intercept)	3.67315	0.66843	5.495	3.99E-08	11	34.57
		Age	-0.02332	0.01741	-1.339	0.1800		
	Sur	(Intercept)	5.54948	0.56014	9.907	<2e-16	152	491.36
		Age	-0.023	0.01281	-1.795	0.0726		
			Po.Multi (Spawn.sig =2)					
			Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z)	n	AIC
2002	Centro	(Intercept)	7.4566	0.74329	10.032	<2e-16	120	494.93
		Age	-0.05326	0.01985	-2.684	0.00729		
	Sur	(Intercept)	6.555302	0.383433	17.096	<2e-16	288	1372.2
		Age	-0.02814	0.009612	-2.927	0.00342		
2004	Centro	(Intercept)	2.1342	0.5831	3.66	0.000252	29	66.3
		Age	0.007443	0.014098	0.528	0.59757		
	Sur	(Intercept)	3.913898	0.669985	5.842	5.16E-09	44	191.17
		Age	0.004849	0.017473	0.278	0.781		
2005	Centro	(Intercept)	3.77636	0.76448	4.94	7.82E-07	8	29.413
		Age	-0.02008	0.02206	-0.91	0.363		
	Sur	(Intercept)	4.637102	0.525105	8.831	<2e-16	128	553.4
		Age	0.002481	0.01329	0.187	0.852		

En términos de la producción diaria de huevos expresada en número de huevos por 0,05 m² por día, se observó la mayor producción de huevos en el 2002 (sector centro) fluctuando entre 86,6 y 134,8 huevos/0,05 m²/día. En este sector, el 2004 y 2005 la producción de huevos de sardina fue muy baja, y por ende los estimados de biomasa desovante. Al igual que en la anchoveta, la mayor producción diaria de huevo y tamaño del stock desovante ocurrieron en el sector sur del área de estudio (Tabla 38).

Tabla 38: Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m²/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de sardina común en cada estrato geográfico de los años 2002, 2004 y 2005.

			Modelo de Lo GLM			Modelo Generalizado			Modelo Multinomial		
			Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV
2002	Centro	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	134.84	11038.488	77.92	117.91	25.198	75.79	86.56	4139.530	74.33
		Area desove (Km ²)	1253			1253			1253		
		Area Total (Km ²)	9201			9201			9201		
		BIOMASA (ton)	111231	7.918E+09	80.00	97264	5.741E+09	77.90	71407	2.984E+09	76.50
	Sur	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	28.05	115.6181	38.33	25.82	88.934847	36.52	35.15	181.62765	38.34
		Area desove (Km ²)	4038			4038			4038		
Area Total (Km ²)		13775			13775			13775			
BIOMASA (ton)		387106	7.597E+10	71.20	356313	6.429E+10	71.16	484993	1.191E+11	71.16	
2004	Centro	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	0.36	0.0682901	71.99	0.36	0.0637485	70.33	0.423	0.0608369	58.31
		Area desove (Km ²)	942			942			942		
		Area Total (Km ²)	16081			16081			16081		
		BIOMASA (ton)	348	6.940E+04	75.70	344	6.501E+04	74.12	405	6.469E+04	62.80
	Sur	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	2.97	2.8615876	56.99	2.76	2.1918036	53.71	2.50	2.8160397	67.00
		Area desove (Km ²)	2464			2464			2464		
Area Total (Km ²)		18651			18651			18651			
BIOMASA (ton)		4553	7.828E+06	61.45	4228	6.097E+06	58.40	3842	7.399E+06	70.80	
2005	Centro	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	2.03	1.9247206	68.41	1.97	1.7318466	66.84	2.18	2.7846902	76.45
		Area desove (Km ²)	523			523			523		
		Area Total (Km ²)	15768			15768			15768		
		BIOMASA (ton)	1165	6.954E+05	71.58	1132	6.293E+05	70.08	1255	9.905E+05	79.30
	Sur	P0 (Nº/0.05 m ² /día)	14.35	73.584099	59.77	12.86	51.85018	56.01	5.16	7.3479795	52.51
		Area desove (Km ²)	8605			8605			8605		
Area Total (Km ²)		28368			28368			28368			
BIOMASA (ton)		128422	6.906E+09	64.7	115022	4.965E+09	61.3	46189	7.202E+08	58.1	

El área de desove y área de estudio se calculó con la rutina geofun para R. Sin embargo, en dichas estimaciones no se tomó en cuenta la corrección por la línea de costa que exige una modelación más exhaustiva a la forma de un polígono tal que pueda ser reconocido por el software. En consecuencia, las estimaciones del área positiva y del área de cruce fueron ligeramente mayores a las obtenidas previamente. No obstante, para el sector sur del año 2005 fueron claramente superiores debido a que en dicho año algunas transectas no pudieron completarse, y el software requirió una distancia mayor para cubrir el polígono del área de estudio (Tabla 39).

Tabla 39: Estimaciones del área positiva de desove de anchoveta y sardina común con ‘geofun’, comparadas con las estimaciones ad hoc previas.

Sardina	Años	Este estudio			Previos		
		Centro	Sur	Total	Centro	Sur	Total
	2002	1253	4038	5292	999	3528	4527
	2004	942	2464	3406	833	2931	3764
	2005	523	8605	9128	-	4929	4929
Anchoveta	Años	Centro	Sur	Total	Centro	Sur	Total
	2002	3184	4360	7544	2772	4666	7438
	2004	6081	6429	12510	3080	6180	9260
	2005	4715	17719	22434	5982	8036	14018

Los parámetros reproductivos utilizados en la estimación de la biomasa desovante por estrato geográfico, se resumen en la Tabla 40. La fracción diaria de hembras desovantes corresponde a las hembras con folículos postovulatorios (FPO) de día 1, ya que se ha comprobado que la fracción de hembras de día 2 tienden a ser el doble de las de día 1. Esto probablemente se debe a que los FPO tienen una tasa de degeneración más lenta dada las temperaturas (11 – 12 °C), generando una inexactitud en la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de día 2. Esto no constituye un sesgo, sino más bien una inexactitud (Beverly Macewicz, comm. pers.), la que debería quedar superada al utilizar solamente las hembras de día 1 y el nuevo esquema de clasificación que se propone en este estudio (ver más adelante). Se destaca que el diseño de muestreo de los estudios previos asumían homogeneidad en el stock de adultos distribuido en la zona centro-sur, de tal manera que al utilizar estimadores estratificados claramente se observa un diseño no balanceado en cuanto al número de lances y de hembras entre el sector centro y sur.

En la anchoveta y sardina común, la más baja fracción diaria de hembras desovantes se obtuvo en el sector sur del año 2002, afectando los estimados de fecundidad específica diaria. No obstante, la fecundidad relativa en la anchoveta y sardina común se mantiene. En el caso de la anchoveta, el peso promedio, fecundidad ha sido mayor en el sector sur. Esta situación también se observa en la sardina común, aunque las diferencias son más leves.

Tabla 40: Resumen de los parámetros reproductivos de anchoveta y sardina común obtenidos por estrato geográfico en el área centro-sur; S = fracción diaria de hembras desovantes, W = peso promedio de hembras maduras (g), R = proporción sexual en peso, F = fecundidad parcial (huevos por hembra), F/W = fecundidad relativa, DSF = fecundidad específica diaria, n = número de lances, m = número total de hembras; CV = coeficiente de variación.

Anchoveta Parámetros	2002				2004				2005			
	Centro	CV	Sur	CV	Centro	CV	Sur	CV	Centro	CV	Sur	CV
S	0.15	0.22	0.07	0.15	0.20	0.12	0.17	0.25	0.10	0.16	0.09	0.50
W	14.22	0.11	22.18	0.04	19.08	0.07	19.72	0.03	11.68	0.07	21.95	0.04
R	0.49	0.04	0.52	0.06	0.28	0.07	0.38	0.09	0.44	0.03	0.58	0.06
F	4989	0.12	8239	0.05	6992	0.07	7317	0.04	4283	0.07	8059	0.04
F/W	351		371		366		371		367		367	
DSF	26		13		21		24		16		20	
n	14		18		27		16		31		9	
m	459		702		842		549		930		217	
Sardina Parámetros	2002				2004				2005			
	Centro	CV	Sur	CV	Centro	CV	Sur	CV	Centro	CV	Sur	CV
S	0.14	0.17	0.03	0.43	0.10	0.21	0.12	0.20	0.07	0.20	0.08	0.21
W	19.50	0.05	24.56	0.03	15.32	0.12	16.52	0.04	13.09	0.09	13.96	0.05
R	0.51	0.04	0.40	0.06	0.45	0.08	0.59	0.05	0.53	0.03	0.47	0.09
F	8497	0.05	10414	0.03	6990	0.12	7716	0.05	6508	0.10	7069	0.05
F/W	436		424		456		467		497		506	
DSF	30		5		20		32		18		19	
n	32		20		21		12		31		4	
m	771		494		695		380		1326		75	

3.3 Objetivo específico 3: Establecer criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos postovulatorios y el procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes.

3.3.1 Establecimiento de Criterios de definición estadios de FPO:

Anchoveta

Escala de degeneración de los folículos post-ovulatorios de Anchoveta (Zona Norte y Centro Sur)

La escala confeccionada y utilizada para el reanálisis de las placas histológicas de cruceros previos y la validación de la asignación de edad a los folículos postovulatorios, se entrega en Tabla 41.

Tabla 41: Clasificación histológica de los folículos postovulatorios de anchoveta según grado de degeneración.

Estadios del FPO		I	II	III	IV	V	VI	VII
Tamaño		Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Remanente
Forma del FPO y relación con el lumen		Forma estrellada con grandes pliegues, lumen con granulos eosinofilos	Forma estrellada Pliegues mas próximos entre si lumen con granulos	Tendencia a perder los pliegues, forma alargada ,lumen en reducción sin granulos	Escaso lumen, pared folicular en estrecho contacto	Sin lumen, laminas foliculares en estrecho contacto	Sin lumen, aspecto poligonal laminas deterioradas	Aspecto poligonal deteriorado
Folicular	Células	Células cilindroides, poco hipertrofiadas forma una banda celular de limites claros	Idem	Idem	Perdida de ordenamiento, limites visibles aislados	Desorden celular, pocas células reconocibles	Escasa células reconocibles	No se reconocen células individuales
Folicular	Núcleo	Redondeado a elíptico	Pocos núcleos alargados picnoticos	Predominio de núcleos picnoticos	Idem	Idem	Escasos y picnoticos	Idem
Folicular	Vacuolas	No se reconocen	Escasas y muy pequeñas	De menor o igual tamaño al núcleo, poco numerosas	De igual o mayor tamaño al núcleo, numerosas	Grandes y dominan en las laminas celulares	idem	No se reconocen
Teca		Fuertemente adherida y con células alargadas	Adheridas a la folicular, con alguna picnosis	Incidencia de células sanguíneas y capilares entre la teca y la folicular	Separada de la folicular por invasión de estroma ovárico a tramos	Completament e separada por invasión del estroma ovárico	Poco reconocible	No se reconoce

Distribución temporal de los lances y hembras analizadas

Las hembras con folículos postovulatorios variaron de 25,00 % a 58,10 % en la zona norte y 13,33% a 84,62 % en la zona centro-sur (Tabla 42 y Tabla 43). Sin embargo, estas variaciones están influenciadas por la frecuencia temporal de los lances y consecuentemente a la ocurrencia porcentual de las hembras capturadas en ambas zonas (Figura 44 y Figura 45).

Tabla 42: Resumen por hora de las hembras de anchoveta analizadas en la zona norte. Información acumulada desde 2004 a 2006.

Tiempo (hora)	Muestras (N)	Sin FPO (%)	FPO (%)
0	120	53.33	46.67
1	60	65.00	35.00
2	90	68.89	31.11
3	150	44.00	56.00
4	210	41.90	58.10
5	240	56.67	43.33
6	390	49.49	50.51
7	390	53.33	46.67
8	480	61.88	38.13
9	421	52.97	47.03
10	299	65.22	34.78
11	240	44.17	55.83
12	420	59.76	40.24
13	150	56.67	43.33
14	298	64.43	35.57
15	180	63.89	36.11
16	240	75.00	25.00
17	90	58.89	41.11
18	180	68.89	31.11
19	30	60.00	40.00
22	30	43.33	56.67
Total	4708		

Tabla 43: Resumen por hora de las hembras de anchoveta analizadas en la zona centro-sur. Información acumulada desde 2004 a 2005.

Tiempo (Hora)	Muestras (N)	Sin FPO (%)	FPO (%)
5.5	30	73.33	26.67
7.5	311	70.10	29.90
8.5	242	63.64	36.36
9.5	255	69.80	30.20
10.5	257	75.10	24.90
11.5	274	59.12	40.88
12.5	302	68.21	31.79
13.5	173	62.43	37.57
14.5	176	61.93	38.07
15.5	159	72.96	27.04
16.5	150	67.33	32.67
17.5	191	62.83	37.17
18.5	60	86.67	13.33
20.5	39	15.38	84.62
Total	2619		

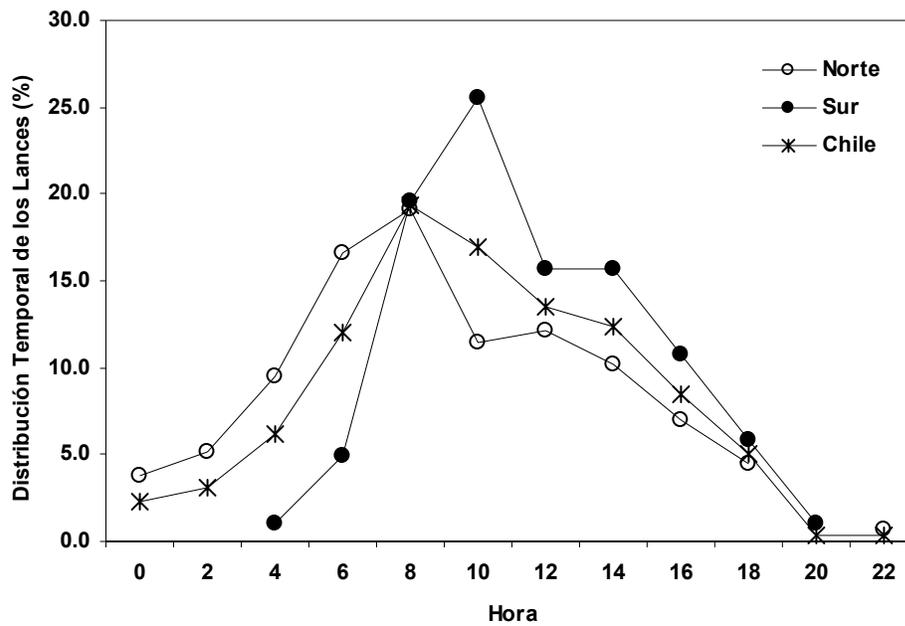


Figura 44: Distribución temporal de los lances de anchoveta efectuados del 2004 a 2006 en la zona norte y centro sur.

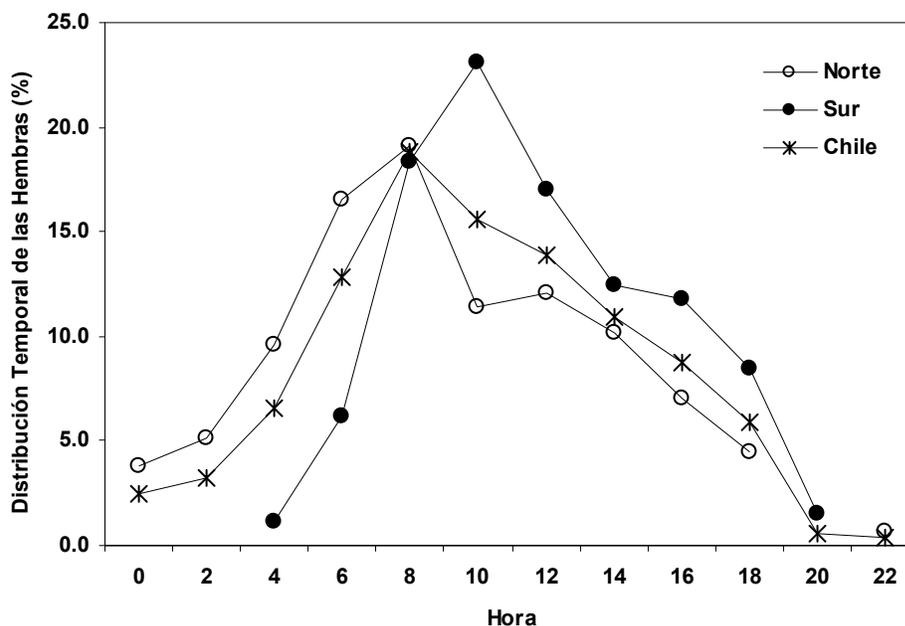


Figura 45: Distribución temporal del porcentaje de hembras muestreadas de anchoveta para el 2004 al 2006 en la zona norte y centro sur.

La distribución temporal de los estadios de FPO entre la zonas norte y centro-sur de Chile, se resumen en la Tabla 44 y Tabla 45 respectivamente. A continuación se describen los resultados de la distribución de los estadios de FPO por zona:

Zona Norte

La distribución horaria de los estadios ováricos y FPO representada en la Figura 46, indica que los estadios vitelados se manifiestan a todas horas del día. Los estadios en maduración muestran un decaimiento hacia horas de la tarde, que coinciden con el incremento de las hembras hidratadas hacia horas de la tarde, con un máximo hacia las 17:00 horas. Hay un claro pico en la incidencia de hembras con FPO I entre las 23:00 y 24:00 hrs. Esta moda de los FPO I se va desplazando en el tiempo en los FPO II; III y IV y se va incrementando su amplitud. La distribución del estadio FPO V presenta dos picos, uno a las 19:00 horas y otro secundario a las 00:00 horas, el que correspondería a una noche anterior de desove (i.e. > 24 horas). La evolución temporal de los estadios FPO VI y VII son casi similares, con un máximo relativo a las 10:00 y 16:00 horas respectivamente, pero que correspondería al 2º día después del desove. Sin embargo, los últimos cuatros estadios de FPO se extienden casi todo el día, quizás debido a que los muestreos fueron

diurnos, donde hay más probabilidad de encontrar estadios de FPO más avanzados y una posible combinación de distintas cohortes desovantes.

Tabla 44: Resumen temporal de las hembras con folículos postovulatorio (estadios) de la zona norte. Información acumulada desde 2004 a 2006.

Tiempo (Hora)	Muestras (N)	FPO I (%)	FPO II (%)	FPO III (%)	FPO IV (%)	FPO V (%)	FPO VI (%)	FPO VII (%)
0	56	0.00	0.00	0.00	37.50	46.43	10.71	5.36
1	21	76.19	0.00	0.00	0.00	14.29	9.52	0.00
2	28	50.00	10.71	0.00	7.14	17.86	14.29	0.00
3	84	2.38	1.19	36.90	20.24	20.24	16.67	2.38
4	122	0.00	4.10	15.57	31.97	31.97	11.48	4.92
5	104	5.77	3.85	23.08	30.77	12.50	19.23	4.81
6	197	0.51	1.02	24.37	37.06	11.68	21.32	4.06
7	182	0.55	5.49	14.84	34.62	20.88	18.13	5.49
8	183	0.00	0.00	12.57	42.62	24.59	12.02	8.20
9	198	0.51	2.02	6.57	36.36	27.27	20.71	6.57
10	104	0.00	0.00	5.77	29.81	20.19	32.69	11.54
11	134	0.00	0.00	7.46	38.81	30.60	17.91	5.22
12	169	0.00	0.00	4.73	54.44	22.49	13.61	4.73
13	65	0.00	0.00	4.62	41.54	35.38	12.31	6.15
14	106	0.00	0.00	1.89	34.91	36.79	16.98	9.43
15	65	0.00	0.00	15.38	33.85	29.23	15.38	6.15
16	60	0.00	0.00	1.67	31.67	40.00	11.67	15.00
17	37	0.00	0.00	0.00	18.92	70.27	10.81	0.00
18	56	0.00	0.00	1.79	28.57	58.93	7.14	3.57
19	12	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
22	17	94.12	5.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	2000							

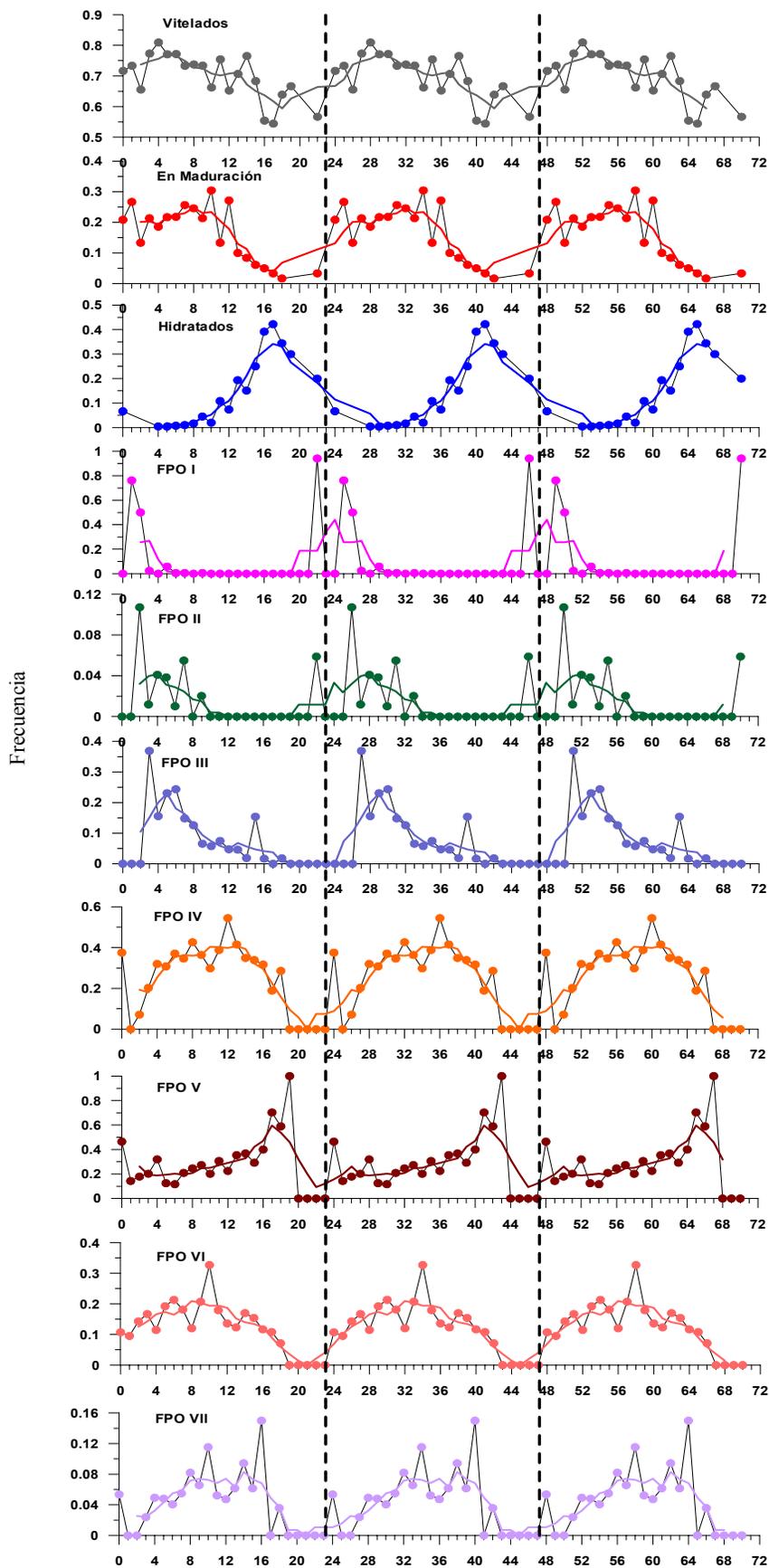


Figura 46: Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona norte de Chile. Líneas discontinuas representan el pico de desove (23:00 h). Línea representa un promedio móvil.

Zona Centro-Sur

En la distribución horaria de los estadios ováricos y FPO (Figura 47), no se representan los estadios de FPO I y II en esta zona, debido a la escasa o nula información de hembras capturadas entre las 21:00 y 05:00 hrs, siendo básicamente un muestreo diurno. Los estadios FPO más avanzados (desde FPO III al VII) no muestran una distribución horaria que permita determinar su máxima de ocurrencia relativa durante el día.

Tabla 45: Resumen temporal de las hembras con folículos postovulatorio (estadios) de la zona centro-sur. Información acumulada desde 2004 a 2005.

Tiempo (Hora)	Muestras (N)	FPO I (%)	FPO II (%)	FPO III (%)	FPO IV (%)	FPO V (%)	FPO VI (%)	FPO VII (%)
5.5	8	0.00	0.00	0.00	0.00	62.50	25.00	12.50
7.5	93	1.08	0.00	6.45	36.56	15.05	20.43	20.43
8.5	88	0.00	0.00	4.55	30.68	21.59	26.14	17.05
9.5	77	0.00	0.00	1.30	33.77	28.57	22.08	14.29
10.5	64	0.00	0.00	0.00	28.13	29.69	25.00	17.19
11.5	112	0.00	0.89	2.68	25.00	32.14	25.00	14.29
12.5	96	0.00	0.00	0.00	27.08	23.96	34.38	14.58
13.5	65	0.00	0.00	1.54	33.85	18.46	23.08	23.08
14.5	67	0.00	0.00	0.00	14.93	31.34	32.84	20.90
15.5	43	0.00	0.00	11.63	23.26	18.60	32.56	13.95
16.5	49	0.00	8.16	6.12	22.45	22.45	24.49	16.33
17.5	71	0.00	0.00	0.00	21.13	32.39	30.99	15.49
18.5	8	0.00	0.00	0.00	37.50	25.00	37.50	0.00
20.5	33	0.00	66.67	6.06	0.00	21.21	6.06	0.00
Total general	874							

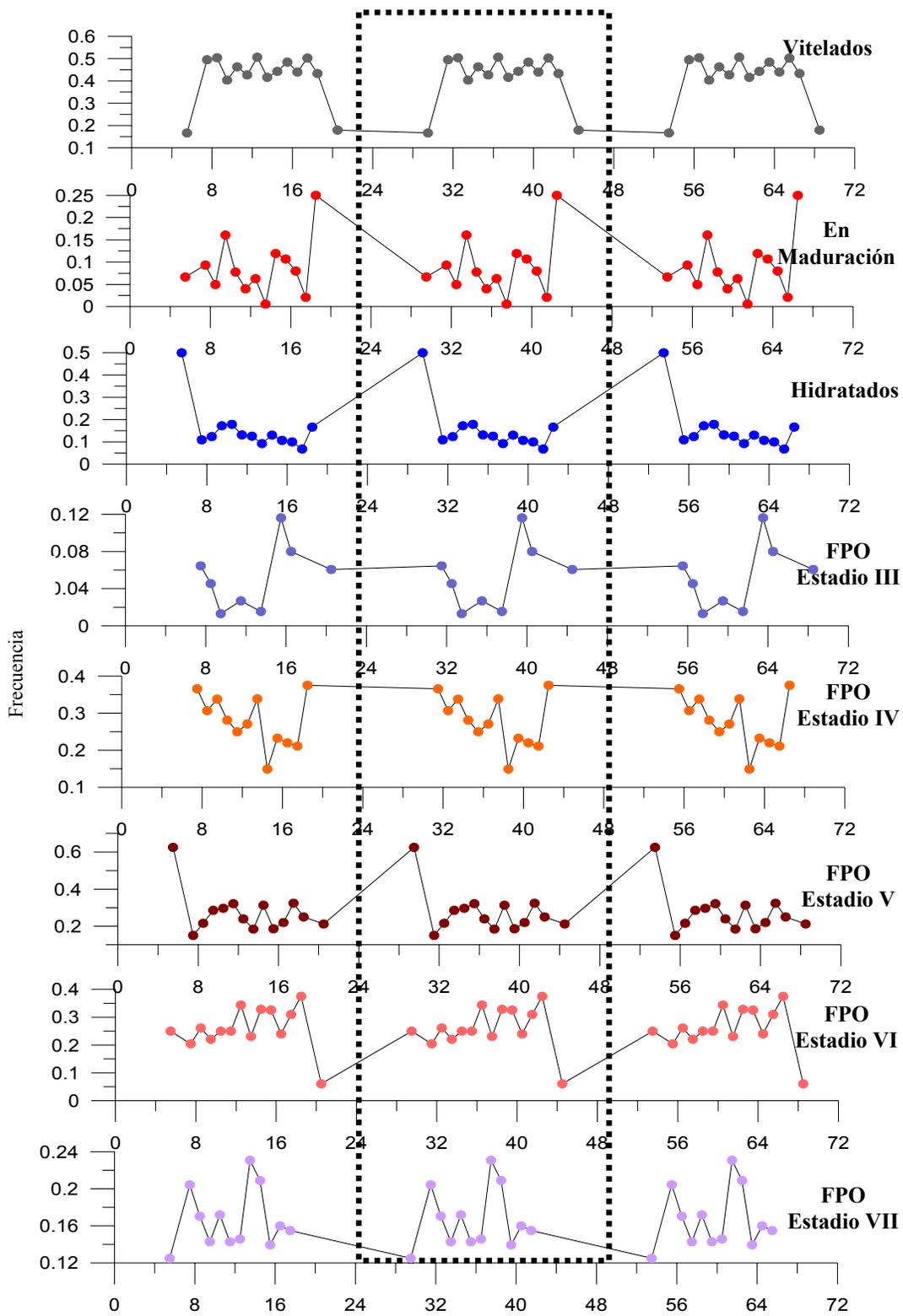


Figura 47: Distribución temporal de los estadios madurez microscópico y folículo postovulatorio de la zona centro-sur de Chile. Información acumulada 2004-2005.

Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes (S) en ambas zonas de estudio.

A partir del 1^{er} criterio se re-estimó la fracción desovante (S) para la dos zonas de estudio: en la zona norte entre 2004 y 2006, la agrupación de hembras en maduración, es decir, núcleo migrante (día +1) estimó una S que varió de 0,12 a 0,28 y las hidratadas (día 0) entregó una S de 0,06 a 0,14. Las hembras con los primeros cuatro estadios de FPO (día -1) estimó S que varió de 0.15 a 0.28 y las hembras con FPO V al VII (día -2) entregó S de 0,15 a 0,25. La combinación de hembras con estados madurez ováricos y FPO estimó S de 0,15 a 0,21, con una covarianza que no sobrepasó el 5,3 % (Tabla 46). En la zona centro-sur entre 2004 y 2005, la agrupación de hembras en maduración (día +1) estimó una S de 0,03 y 0,14, y las hidratadas (día 0) entregó una S de 0,12 y 0,14. Las hembras con FPO I al IV (día -1) estimó S de 0,08 a 0,13 y las hembras con FPO V al VII (día -2) entregó S de 0,20 a 0,25. La combinación de hembras con estados madurez ováricos y FPO estimó S de 0,13 y 0,14, con una covarianza que no sobrepasó el 7 % (Tabla 47).

Tabla 46: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile (Desove: N° de desoves estimados en el mes).

Estadios	S	2004		2005		2006	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
En Maduración	Día (+1)	0.141 (15.4)	4.23	0.276 (9.9)	8.27	0.117 (12.7)	3.51
Hidratadas	Día (0)	0.095 (23.0)	2.85	0.058 (31.5)	1.75	0.138 (26.5)	4.13
FPO I+IV	Día (-1)	0.147 (13.0)	4.41	0.234 (10.0)	7.02	0.277 (9.1)	8.32
FPO V+VII	Día (-2)	0.206 (10.6)	6.18	0.254 (10.0)	7.62	0.151 (11.9)	4.53
Todos	Combinados	0.147 (5.3)	4.41	0.206 (3.1)	6.17	0.171 (3.6)	5.12

Tabla 47: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona centro-sur de Chile (Desove: N° de desoves estimados en el mes).

Estadios	S	2004		2005	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
En Maduración	Día (+1)	0.029 (31.4)	0.87	0.141 (14.3)	4.23
Hidratadas	Día (0)	0.123 (16.8)	3.69	0.136 (16.4)	4.08
FPO I+IV	Día (-1)	0.132 (15.0)	3.96	0.078 (15.3)	2.34
FPO V+VII	Día (-2)	0.246 (10.0)	7.38	0.200 (12.0)	6.00
Todos	Combinados	0.132 (6.5)	3.96	0.139 (6.9)	4.17

La re-estimación de la fracción desovante (S) a partir del 2° criterio para ambas zonas de estudio se resume en las Tabla 48 y Tabla 49. En la zona norte entre 2004 y 2006, la agrupación de hembras en maduración, es decir, núcleo migrante (día +1) estimó una S que varió de 0,12 a 0,28 y las

hidratadas más FPO I (día 0) entregó una S de 0,07 a 0,15. Las hembras con los estadios de FPO II al IV (día -1) estimó S que varió de 0,14 a 0,26 y las hembras con FPO V al VI (día -2) entregó S de 0,14 a 0,22. La combinación de hembras con estados madurez ováricos y FPO estimó S de 0,14 a 0,20, con una covarianza que no sobrepasó el 6% (Tabla 48). En la zona centro-sur entre 2004 y 2005, la agrupación de hembras en maduración (día +1) estimó una S de 0,03 y 0,14, y las hidratadas más FPO I (día 0) entregó una S de 0,12 y 0,14. Las hembras con FPO II al IV (día -1) estimó S de 0,08 a 0,13 y las hembras con FPO V al VI (día -2) entregó S de 0,14 a 0,20. La combinación de hembras con estados madurez ováricos y FPO estimó S de 0,12 en ambos periodos, con una covarianza que no sobrepasó el 7,2% (Tabla 49).

Tabla 48: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile.

Estadios	S	2004		2005		2006	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
En Maduración	Día (+1)	0.141 (15.4)	4.23	0.276 (9.9)	8.28	0.117 (12.7)	3.51
Hidratadas+FPO I	Día (0)	0.105 (21.7)	3.15	0.071 (28.5)	2.13	0.153 (25.5)	4.59
FPO II+IV	Día (-1)	0.137 (12.3)	4.11	0.222 (10.5)	6.66	0.262 (9.6)	7.86
FPO V+VI	Día (-2)	0.180 (11.8)	5.40	0.220 (11.0)	6.60	0.140 (12.3)	4.20
Todos	Combinados	0.141 (5.6)	4.23	0.197 (3.5)	5.91	0.168 (3.6)	5.04

Tabla 49: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona centro-sur de Chile.

Estadios	S	2004		2005	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
En Maduración	Día (+1)	0.029 (31.4)	0.87	0.141 (14.3)	4.23
Hidratadas+FPO I	Día (0)	0.124 (16.7)	3.72	0.136 (16.4)	4.08
FPO II+IV	Día (-1)	0.131 (15.0)	3.93	0.078 (15.3)	2.34
FPO V+VI	Día (-2)	0.196 (9.8)	5.88	0.141 (12.4)	4.23
Todos	Combinados	0.120 (7.2)	3.60	0.124 (6.8)	3.72

Con el 3^{er} Criterio en la zona norte entre 2004 y 2006, las hidratadas más FPO I (día 0) entregó una S de 0,07 a 0,15. Las hembras con los estadios de FPO II al IV (día -1) estimó S que varió de 0,14 a 0,26 y las hembras con FPO V al VI (día -2) entregó S de 0,14 a 0,22. La combinación de hembras hidratadas con FPO estimó S de 0,14 a 0,19, con una covarianza que no sobrepasó el 8% (Tabla 50). En la zona centro-sur entre 2004 y 2005, la agrupación de hembras hidratadas más FPO I (día 0) entregó una S de 0,12 y 0,14. Las hembras con FPO II al IV (día -1) estimó S de 0,08 a 0,13 y

las hembras con FPO V al VI (día -2) entregó S de 0,14 a 0,20. La combinación de hembras hidratadas y FPO estimó S de 0,12 y 0,15, con una covarianza que no sobrepasó el 10% en ambos períodos (Tabla 51).

Tabla 50: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile.

Estadios	S	2004		2005		2006	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
Hidratadas+FPO I	Día (0)	0.105 (21.7)	3.15	0.071 (28.5)	2.13	0.153 (25.5)	4.59
FPO II+IV	Día (-1)	0.137 (12.3)	4.11	0.222 (10.5)	6.66	0.262 (9.6)	7.86
FPO V+VI	Día (-2)	0.180 (11.8)	5.40	0.220 (11.0)	6.60	0.140 (12.3)	4.20
Todos	Combinados	0.141 (7.5)	4.23	0.171 (5.9)	5.13	0.185 (4.9)	5.55

Tabla 51: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona centro-sur de Chile.

Estadios	S	2004		2005	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
Hidratadas+FPO I	Día (0)	0.124 (16.7)	3.72	0.136 (16.4)	4.08
FPO II+IV	Día (-1)	0.131 (15.0)	3.93	0.078 (15.3)	2.34
FPO V+VI	Día (-2)	0.196 (9.8)	5.88	0.141 (12.4)	4.23
Todos	Combinados	0.150 (7.6)	4.50	0.118 (10.0)	3.54

A partir del 4^{to} criterio se re-estimó la fracción desovante (S) para la dos zonas de estudio: en la zona norte entre 2004 y 2006. Las hembras con los estadios de FPO II al IV (día -1) estimó S que varió de 0,14 a 0,28 y las hembras con FPO V al VI (día -2) entregó S de 0,15 a 0,22. La combinación de hembras con FPO estimó S de 0,17 a 0,22, con una covarianza que no sobrepasó el 8,3% (Tabla 52). En la zona centro-sur entre 2004 y 2005. Las hembras con FPO II al IV (día -1) estimó S de 0,08 a 0,13 y las hembras con FPO V al VI (día -2) entregó S de 0,15 a 0,20. La combinación de hembras con FPO estimó S de 0,12 y 0,17, con una covarianza que no sobrepasó el 10,2% en ambos períodos (Tabla 53).

Tabla 52: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile.

Estadios	S	2004		2005		2006	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
FPO II+IV	Día (-1)	0.143 (12.1)	4.29	0.225 (10.4)	6.75	0.275 (8.5)	8.25
FPO V+VI	Día (-2)	0.188 (11.3)	5.64	0.222 (10.6)	6.66	0.147 (11.3)	4.41
Todos	Combinados	0.165 (8.3)	4.95	0.223 (6.4)	6.69	0.211 (5.2)	6.33

Tabla 53: Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes de *Engraulis ringens* de la zona centro-sur de Chile.

Estadios	S	2004		2005	
		Media (%cv)	Desove	Media (%cv)	Desove
FPO II+IV	Día (-1)	0.134 (14.4)	4.02	0.082 (15.3)	2.46
FPO V+VI	Día (-2)	0.200 (9.4)	6.00	0.148 (11.9)	4.44
Todos	Combinados	0.167 (8.4)	5.01	0.115 (10.2)	3.45

A modo de comparación, se resumen en la Tabla 54 y Tabla 55, la fracción diaria desovante estimada a partir de las distintas aplicaciones del MPDH entre las zonas de estudio, según la escala de edad de FPO de Hunter y Goldberg (1980) (Criterio aplicado hasta el momento), y la estimada en el presente estudio a partir de la escala de estadios de FPO por ICES (2005) y Alday *et al.* (2006) en *Engraulis ringens*.

Tabla 54: Resumen de la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes a partir de la aplicación de la escala definida por Hunter y Goldberg (1980) y por ICES (2005) y Alday *et al.* (2006) en *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile.

Escala	Criterio	2004	2005	2006
Hunter y Goldberg (1980)	Antiguo	0.176*	0.190*	0.203*
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	1er.	0.147	0.206	0.171
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	2do.	0.141	0.197	0.168
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	3er.	0.141	0.171	0.185
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	4to.	0.165	0.223	0.211

* Estimaciones publicadas en FIP 2004-04; 2005-03; 2006-06

Tabla 55: Resumen de la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes a partir de la aplicación de la escala definida por Hunter y Goldberg (1980) y por ICES (2005) y Alday *et al.* (2006) en *Engraulis ringens* de la zona centro-sur de Chile.

Escala	Criterio	2004	2005
Hunter y Goldberg (1980)	Antiguo	0.200*	0.110*
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	1er.	0.132	0.139
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	2do.	0.120	0.124
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	3er.	0.150	0.118
ICES (2005), Alday <i>et al.</i> (2006)	4to.	0.167	0.115

* Estimaciones publicadas en FIP 2004-03; 2005-02

Sardina común

Se analizó un total de 1076 placas con FPO provenientes de los proyectos FIP 2002-12; 2003-04; 2004-06 y 2005-02 (Tabla 57). Cada placa se le reasignó un estadio degenerativo según la escala acordada para esta especie (Figura 2). A partir de esta nueva escala de clasificación se revisaron las placas histológicas y se asignaron a uno de los estadios, sin consideraciones de la hora de la captura. Una vez analizados todos los ejemplares, se analizó la incidencia de los distintos estadios de FPO en el transcurso del día, de forma de dilucidar el grado de degeneración de los FPO en ciclos de 24 horas. Para esto se utilizaron las placas histológicas obtenidas en las distintas aplicaciones del MPDH en cada zona.

Tabla 56: Caracterización del estadio degenerativo de los Folículos post ovulatorios (FPO), modificada para hembras de sardina común.

ESTADIO	CARACTERISTICAS HISTOLOGICAS
I	No están presentes en la colección
II	Los folículos son numerosos, con el lumen estrecho aunque aun se presentan pliegues. En las células foliculares se puede apreciar el inicio del proceso degenerativo, dado por; la presencia de vacuolas de tamaño menor al tamaño de los núcleos, las células aun conservan una estructura lineal con núcleos en distintos grados de picnosis, pero menos numerosos que los núcleos sanos. Las células tecales en general se presenta adherida al tejido folicular, aunque en algunos casos se puede manifestar desprendimiento respecto de la envoltura folicular, pero no de manera extensa, también existe presencia de capilares entre la teca y las células foliculares (Figura 48)
III	Los folículos de este estadio aun conservan un tamaño similar al estadio II, se incrementa el número de núcleos picnoticos, las vacuolas son igual o mayores al tamaño de los núcleos sanos, se observa ruptura celular, presencia de capilares sanguíneos, aun se observa ordenamiento de la lamina folicular, y la lamina tecal aun se adhiere a la lamina folicular (Figura 49)
VI	Considerable reducción del tamaño del folículo y del lumen, envoltura folicular constituida principalmente por células vacuoladas y en algunos casos células rotas, presencia de núcleos picnoticos muy numerosos y algunos hipertrofiados, aun se presenta cierto ordenamiento de las células foliculares (Figura 50)
V	El folículo es pequeño y carece de lumen, con forma de poliedro, dominancia de núcleos picnóticos y células vacuoladas en la estructura folicular, desorden masivo de la envoltura folicular (Figura 51).
VI	Folículos pequeños con forma poliédrica, se observan vestigios de las células foliculares, principalmente y algunos núcleos, con dominancia absoluta de picnosis y presencia de vacuolas. (Figura 52)
VII	Folículos de muy reducido tamaño, de forma triangular o poliédrica, ubicados entre los ovocitos, no es posible encontrar vestigios de células foliculares ni núcleos, solo se reconoce el remanente tecal (Figura 53).

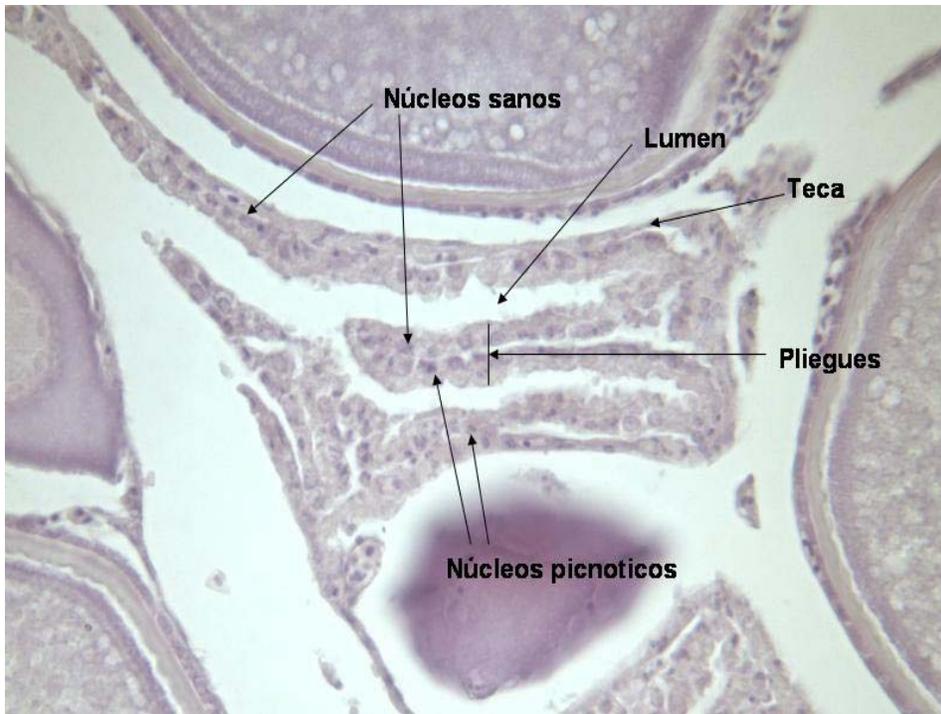


Figura 48: Folículos post ovulatorios en estadio II (40x)

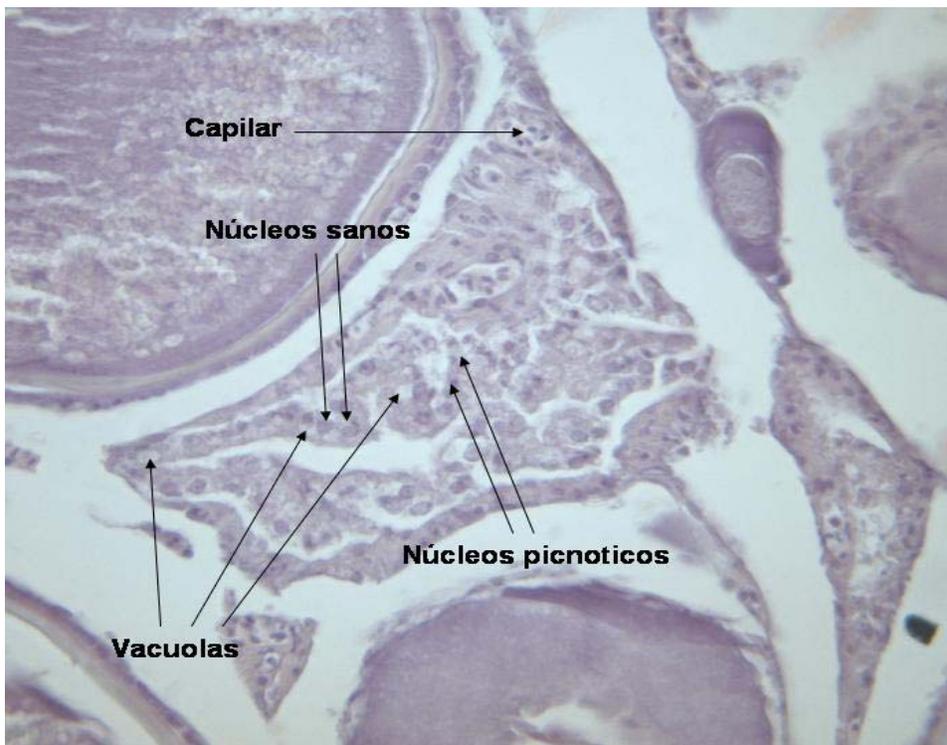


Figura 49: Folículos post ovulatorios en estadio III (40x)

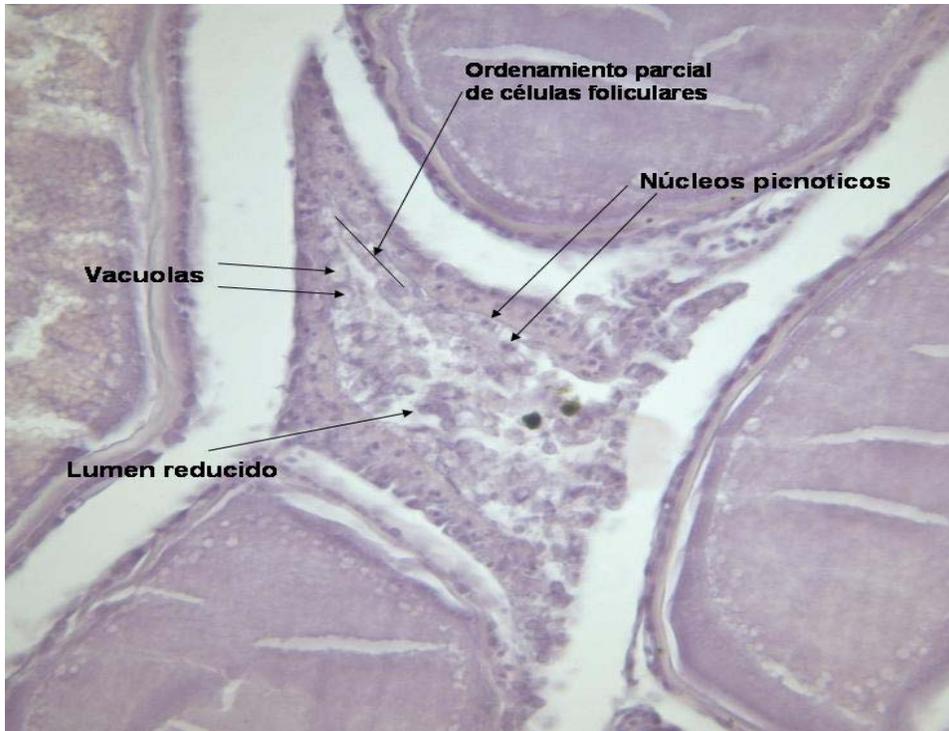


Figura 50: Folículos post-ovulatorios en estadio IV (40x)

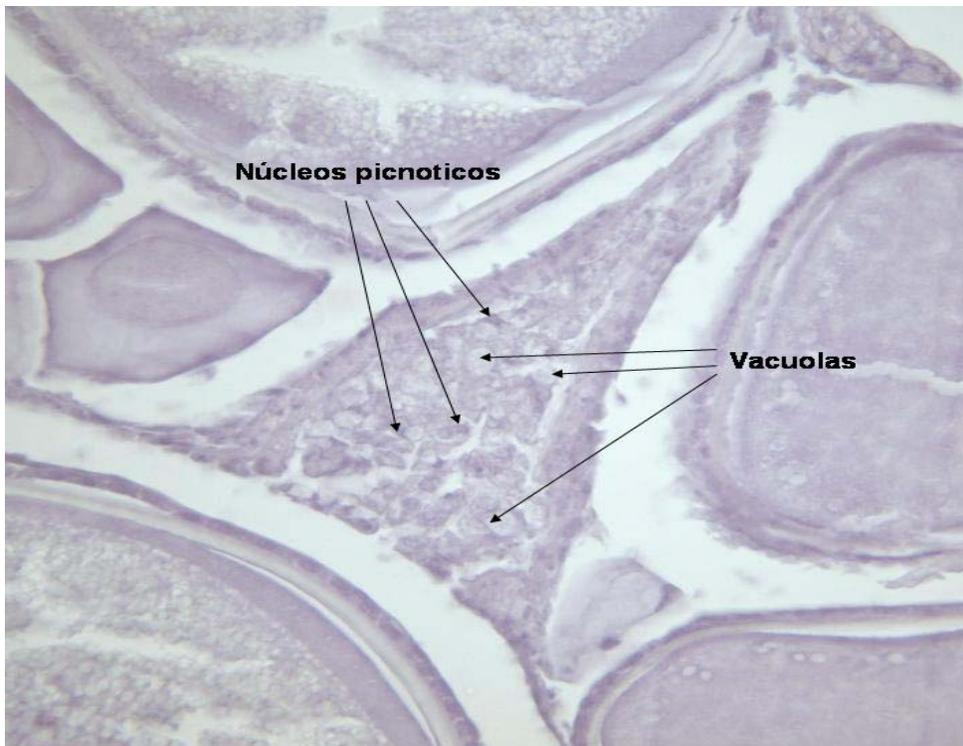


Figura 51: Folículos post ovulatorios en estadio V (40x)

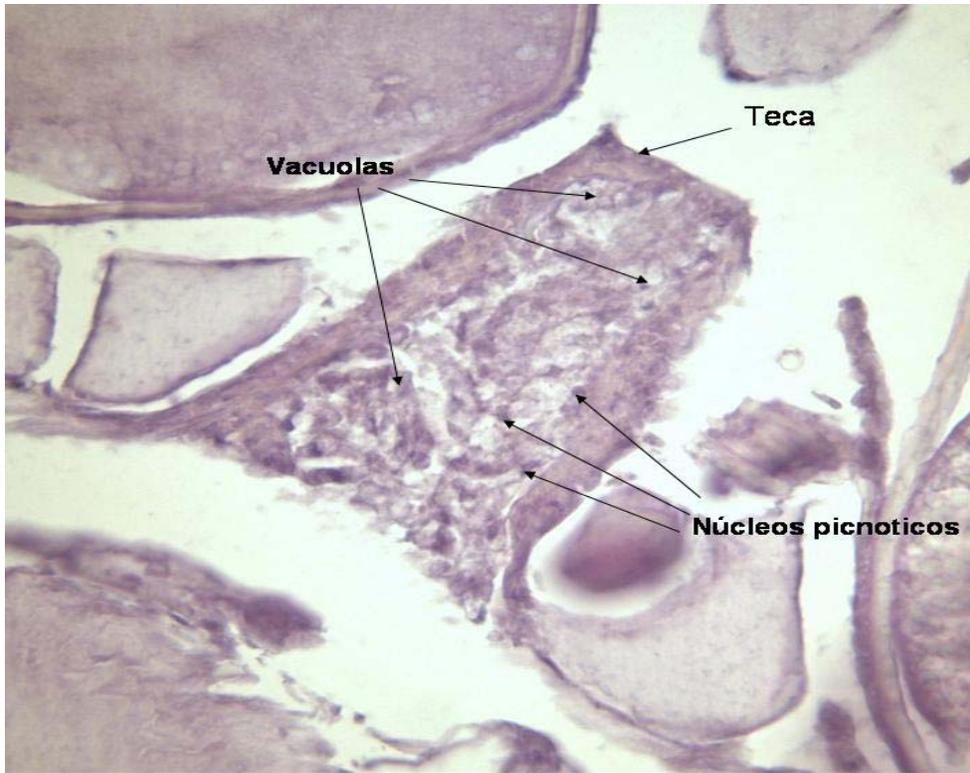


Figura 52: Folículos post ovulatorios en estadio VI (40x)



Figura 53: Folículos post ovulatorios en estadio VII (40x)

Análisis de imágenes de los folículos

Luego de asignados estadios a los folículos, se seleccionaran placas de cada estadio para la obtención de imágenes digitales y se tomaron medidas del área (Figura 54), observándose una tendencia decreciente más evidente del estadio 5 en adelante.

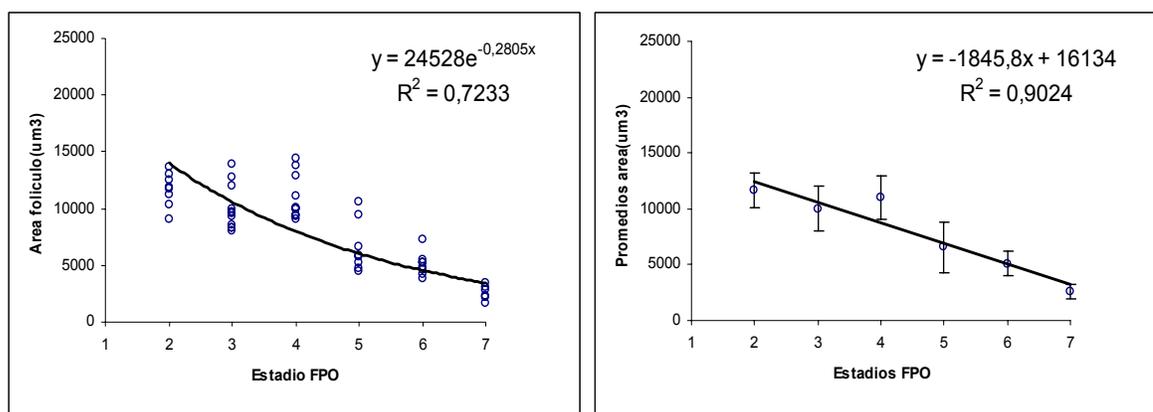


Figura 54: Relación entre el área (Izquierda) y el promedio del área (Derecha) del folículo post-ovulatorio en función su estadio degenerativo en sardina común.

Tabla 57: Numero total de placas histológicas analizadas durante este estudio (2006-38) y durante las estimaciones anteriores (Proyecto)

Proyecto	FPO	2006-38	no procesadas
2002-12	360	279	81
2003-06	154	141	13
2004-03	366	344	23
2005-02	287	312	24
total	1167	1076	93

Las muestras de los 4 años de estudio están distribuidos en 156 lances con ejemplares con folículos post ovulatorios, si observamos la distribución de las muestras según la hora de captura notamos que las muestras se distribuyen solo durante el día(entre las 5 y las 22 horas aproximadamente), esto producto que cada embarcación decidiría sus operaciones desde las primeras horas de la

madrugada hasta las 22 horas siendo imposible por estos motivos contar con muestras durante las horas de la noche (Figura 55).

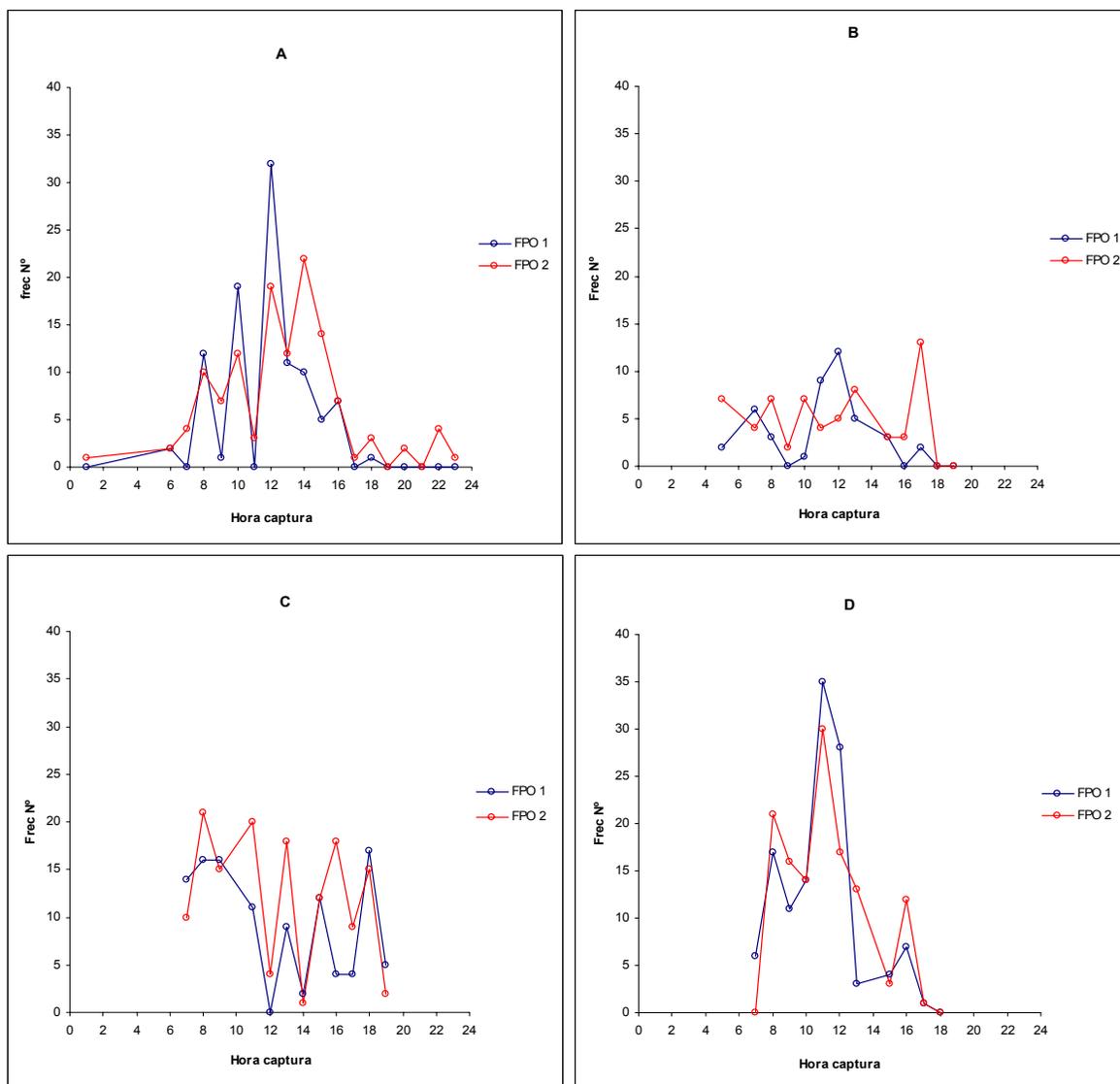
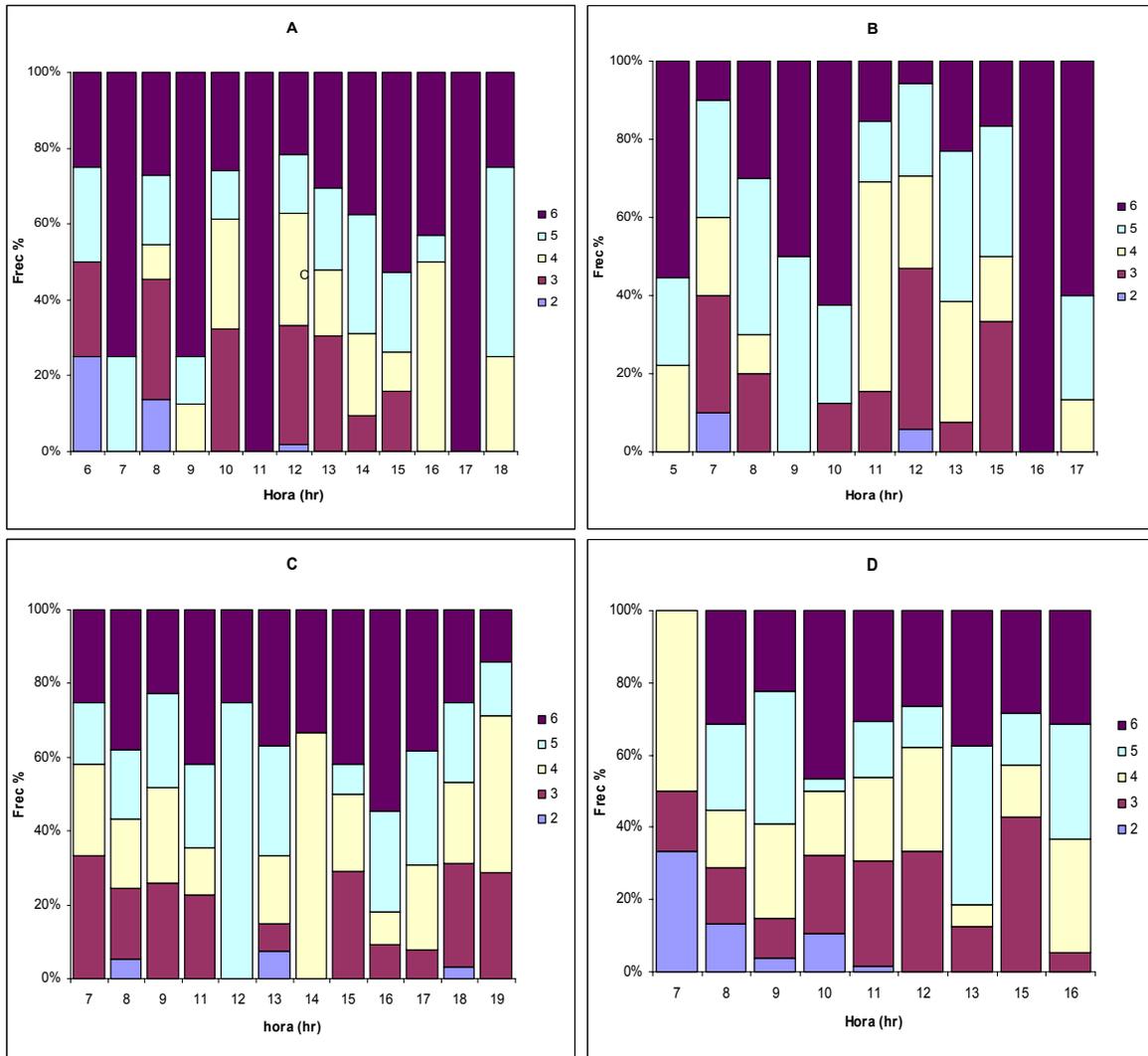


Figura 55: Distribución de frecuencia (N°) de folículos post ovulatorios de día 1 y día 2 en función de la hora de captura para sardina en la zona centro sur para los años 2002 (A), 2003 (B), 2004 (C) y 2005 (D).

Una vez asignada la nueva clasificación de los FPO, se agruparon en ciclos horarios con el fin de determinar la duración de los estadios de FPO. Así podemos observar que los Folículos de los estadios mas tempranos tienen mayor representatividad en las primeras horas posterior al desove, disminuyendo progresivamente al avanzar las horas del día (Figura 56).



Posterior a eso, para la asignación de edad de los FPO se asumió que los folículos desde el estadio 2 al 4 corresponden a los folículos de día 1. Se excluyen los folículos de estadio 1 ya que se considera que son muy nuevos (menos de 12 horas después del desove), los folículos dentro de los estadios degenerativos 5 y 6 corresponderían a los folículos de día 2, en este caso se excluyeron los FPO correspondientes al estadio 7 ya que se consideran muy viejos, de más de 2 días de edad (Figura 57).

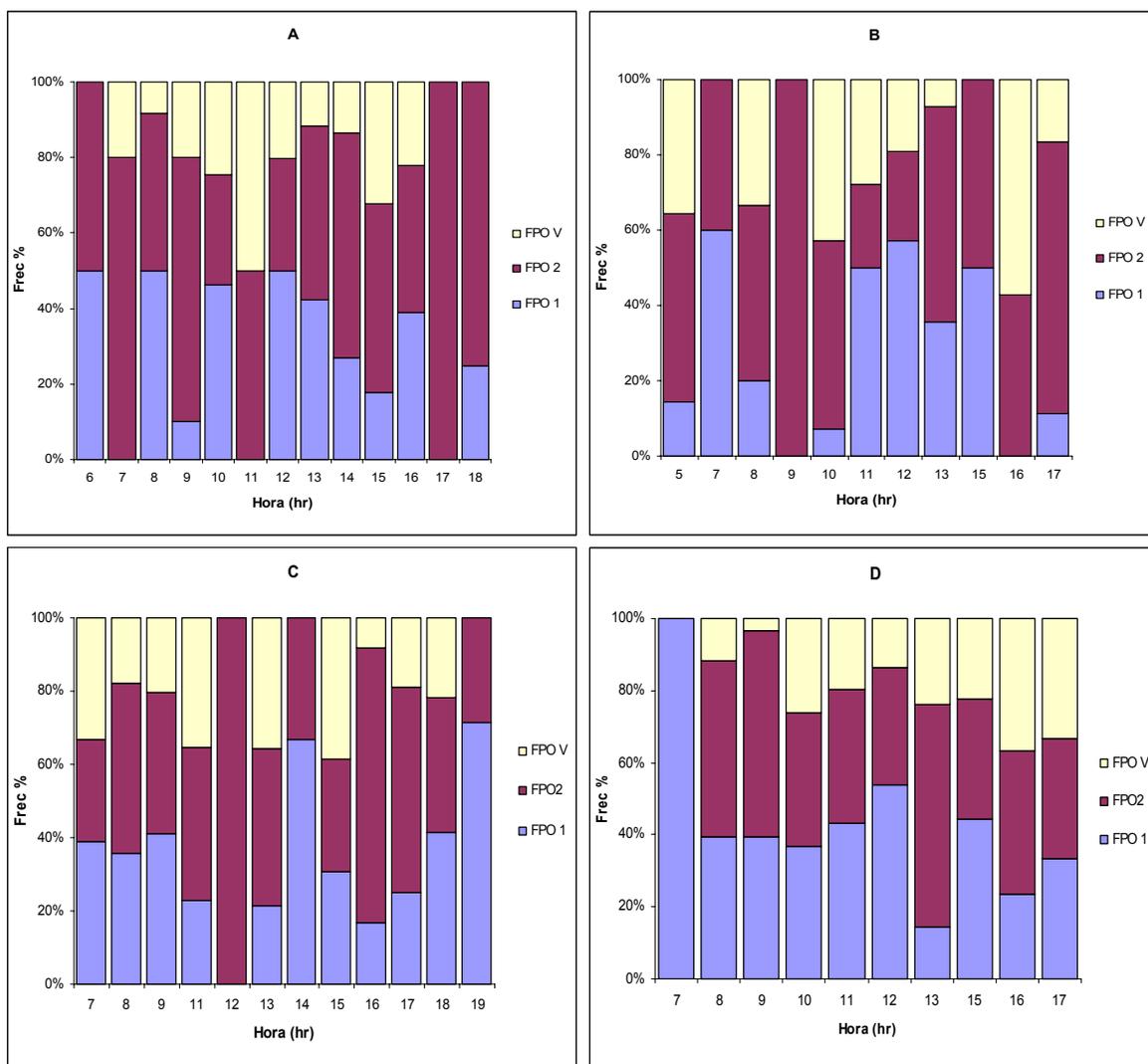


Figura 57: Distribución de frecuencia (%) de Folículos Post ovulatorios de día 1, día 2 y de folículos viejos (mas de 48 horas) para el año 2002(A), 2003(B), 2004(C) y 2005(D) en función de la hora de captura, en sardina zona centro sur.

En las estimaciones anteriores los cálculos de fracción desovante fueron problemáticos, ya que en la mayoría de los casos existieron diferencias significativas entre las fracciones desovantes estimadas con FPO de día 1 y 2 (Zar, 1999) (Tabla 58). En el año 2005 se calculo para la sardina una la fracción diaria de hembras desovantes de día 1 de 0,066 (CV = 20,8%, VAR (S1) = 0,00019), y la fracción desovante de día 2 de 0,120 (CV=10,4; VAR (S2) = 0,00015) La frecuencia de desove de hembras de día 1 fue menor. La estimación conjunta sobre la base de ambos

conjuntos de datos fue de 0,093 (CV = 12,2%; Var(S) = 0,00013) (Figura 58-A). En el 2004 la fracción desovante de día 1 fue de 0,103 (CV = 14,9%, VAR (S1) = 0,00023), y para el día 2 fue de 0,169 (CV=14,2; VAR (S2) = 0,00057). La estimación conjunta sobre la base de ambos conjuntos de datos fue de 0,137 (CV = 12,4%; Var(S) = 0,00028) (Figura 58-A). En el 2003 la fracción desovante de día 1 fue de 0,070 (CV = 27,1%, VAR (S1) = 0,00035), y para el día 2 fue de 0,080 (CV=22,1; VAR (S2) = 0,00031). La estimación conjunta fue de 0,075 (CV = 20,9%; Var(S) = 0,00024). (Figura 58-A). En el 2002 la fracción desovante de día 1 fue de 0,095 (CV = 17,4%, VAR (S1) = 0,00027), y para el día 2 fue de 0,182 (CV = 10,3%; VAR (S2) = 0,00035). La estimación conjunta fue de 0,138 (CV = 11,5%; Var (S) = 0,00025) (Figura 58-A). Para estos casos solo en el año 2003 no existieron diferencias significativas entre los cálculos de fracción desovante de día 1 y día 2 (Tabla 58-A)

Los cálculos efectuados en los distintos años con el método nuevo fueron mas homogéneos, para el 2005 la fracción diaria de hembras desovantes de día 1 de 0,101 (CV = 20,2%, VAR (S1) = 0,0004), y la fracción desovante de día 2 de 0,101(CV=13,5; VAR (S2) = 0,00018). La estimación conjunta fue de 0,101(CV = 12,6%; Var(S) = 0,00016) (Figura 58-B). En el 2004 la fracción desovante de día 1 fue de 0,114 (CV = 16,8%, VAR (S1) = 0,00036), y la fracción desovante de día 2 de 0,147 (CV=15,6; VAR (S2) = 0,00052). La estimación conjunta fue de 0,1305 (CV = 14%; Var(S) = 0,00033) (Figura 58-B). En el 2003 la fracción desovante de día 1 fue de 0,047 (CV = 29,6%, VAR (S1) = 0,00019), y la fracción desovante de día 2 de 0,072 (CV=28,4; VAR (S2) = 0,00042). La estimación conjunta fue de 0,060 (CV = 24,5 %; Var(S) = 0,00021) (Figura 58-B). En el 2002 la fracción desovante de día 1 fue de 0,088 (CV = 22%, VAR (S1) = 0,00038), y la fracción desovante de día 2 de 0,108 (CV=13%; VAR (S2) = 0,00019). La estimación conjunta fue de 0,098 (CV = 15 %; Var(S) = 0,00021). En los cálculos de estos parámetros utilizando este nuevo método de asignación de edad de los FPO, no existieron diferencias significativas en la estimación de fracción desovante en ninguno de los casos (Tabla 58-B).

Tabla 58: Resultados de los análisis de regresión mensual entre las estimaciones de fracción desovante con FPO de día 1 y día 2, para las estimaciones anteriores(A) y con el método nuevo(B). t_{Calc} para $H_0: \text{FPO 1} = \text{FPO 2}$.

A	T calc	T tabla	Nº
2002-14	5,609	2,008	51
2003-06	0,559	2,023	39
2004-03	2,908	2,037	32
2005-02	4,042	2,032	34
B	T calc	T tabla	Nº
2002-14	1,150	2,008	51
2003-06	1,312	2,024	38
2004-03	1,530	2,037	32
2005-02	0,034	2,032	34

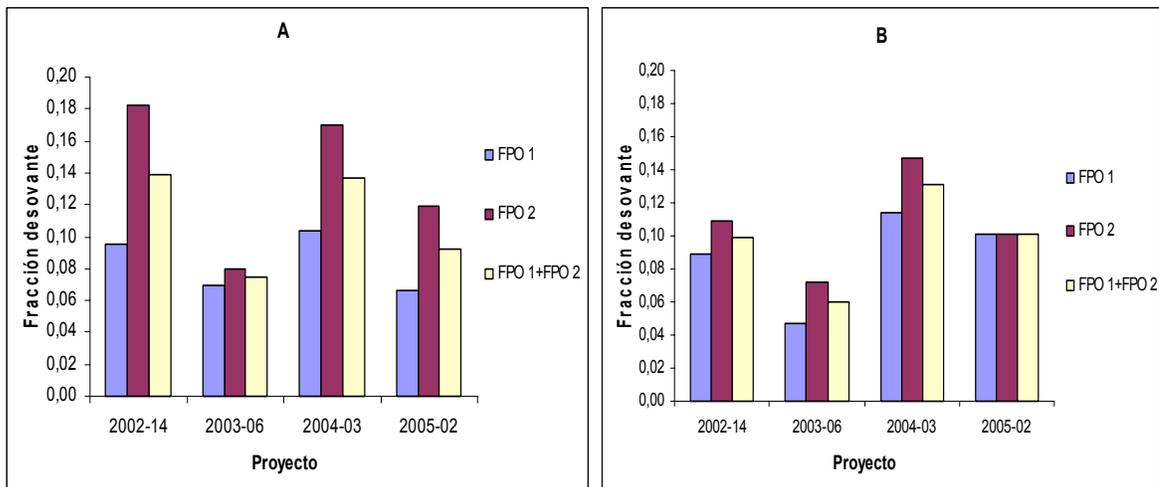


Figura 58: Grafico de barras de estimaciones de fracción desovante y frecuencia de desove efectuados en las estimaciones anteriores(A) y con el método nuevo (B) , en sardina zona centro sur..

3.3.2 Re-análisis de placas histológicas:

3.3.2.1 Ejemplares en cautiverio:

El desove de *E. ringens*, en condiciones de cautiverio y con fotoperíodo controlado, se registró alrededor de las 22:00 PM y hasta las 4:00 AM, con un máximo de huevos en el colector alrededor de la medianoche.

La aplicación de HCG administrada en dos dosis en *Engraulis ringens* resultó ser un método efectivo mediante el cual se logró inducir el desove.

El número total de ejemplares seleccionados para el reconocimiento de folículos posovulatorios fue de 173 individuos, de los cuales 58 fueron hembras que manifestaron características macroscópicas apropiadas para el procesamiento histológico.

Caracterización Histológica del FPO de *Engraulis ringens* por edad

Folículo postovulatorio de 14 horas:

El FPO de 14 hrs de edad presenta una cavidad amplia de forma irregular por la presencia de pliegues de su pared, con abundantes gránulos eosinófilos en el lumen. Aunque la forma del FPO por lo general es estrellada, algunos ya poseían una forma más bien colapsada y de lumen más estrecho. Este folículo se caracteriza por que las células foliculares son de forma cúbica a cúbica alta, pueden encontrarse escasas células hipertrofiadas. El núcleo de las células es redondeado, central, o excéntrico en las células cúbicas altas, en ambas se observa un nucleolo y cromatina laxa, El citoplasma celular es basófilo y de aspecto granular muy fino.

Las células de la pared del folículo forman un epitelio continuo, ordenado y pueden observarse los límites celulares también continuos. En el citoplasma de las células foliculares se puede apreciar algunas vacuolas, mayoritariamente de pequeño tamaño y poco frecuentes, asociadas al núcleo o en

su vecindad, en algunos casos hay una alta asociación entre la hipertrofia celular y la incidencia de pequeñas vacuolas a esta edad del FPO.

Las células tecales que rodean al folículo muestran adhesión continua, bien relacionadas a las foliculares y su forma es aplanada con un núcleo alargado y fuertemente teñido (Figura 59).

Folículo postovulatorio de 25 horas de edad:

A esta edad el FPO manifiesta tendencia a perder la laxitud de sus pliegues, presentándose más cercanos entre sí, lo que da al lumen un aspecto más apretado, menos amplio. La lámina folicular está constituida de células hipertrofiadas, observándose un citoplasma más granular, con vacuolas más evidentes que en el de las células del FPO de 14 hrs. apreciándose a menor aumento como espacios vacíos entre las células foliculares. Aunque las células aun conforman una lámina regular y ordenada, los límites celulares se hacen menos evidentes, El núcleo celular normal es redondeado, central o excéntrico, aunque se ven con mayor frecuencia núcleos fuertemente picnóticos y de cromatina condensada, adquiriendo forma alargada.

Las células tecales que se apreciaban adheridas fuertemente a las foliculares en el FPO de 14 hrs., muestran mayor incidencia de células sanguíneas y vasos capilares entre ambas capas celulares. (Figura 60)

Folículo postovulatorio de 36 horas de edad:

En las células foliculares, regularmente poco ordenadas, aun pueden observarse algunos sectores de la pared del FPO constituyendo pequeñas láminas celulares. El resto del tejido folicular, si bien no es un sinsicio, constituye un macizo celular en el que es difícil reconocer los límites celulares, observándose en esta asociación celular abundantes espacios vacíos. Tanto las células de la zona externa como las del macizo presentan vacuolas de diferente diámetro (medianas a grandes) con núcleo picnótico, citoplasma basófilo finamente granular, al igual que en los folículos de menor edad. La forma celular del macizo puede reconocerse como poliédrica.

Entre las células tecaes y folicular se localizan vasos capilares, que separan ambas capas celulares, estos además invaden el interior del folículo, el cual presenta una notoria reducción en la amplitud del lumen y tamaño general. Puede apreciarse en las células tecaes diversos grados de picnosis y finalmente atresia. Aunque esta capa celular a esta edad incluso puede no distinguirse o enmascararse con células endoteliales (Figura 61).

Folículo posovulatorio de 42 horas de edad:

Las células foliculares conforman un tejido compacto, compuesto solo por células poliédricas. El macizo de células tecal y folicular no muestran límites celulares reconocibles, sin embargo, aún los núcleos de estas células son reconocibles y se ven hipertrofiados, picnoticos y para las tecaes además muy granulares. El citoplasma de las foliculares pierde la basofilia y tiende a hacerse más bien eosinofilo a areolar, y al igual que en las células de FPO de 36 hrs. se ven notables espacios celulares vacíos.

El lumen folicular a esta edad es casi inexistente, y en algunos FPO puede no apreciarse, el tamaño del FPO presenta una notable reducción. Vasos capilares invaden al folículo no solo a nivel de la tecal sino que alcanzan a toda la masa celular (Figura 62).

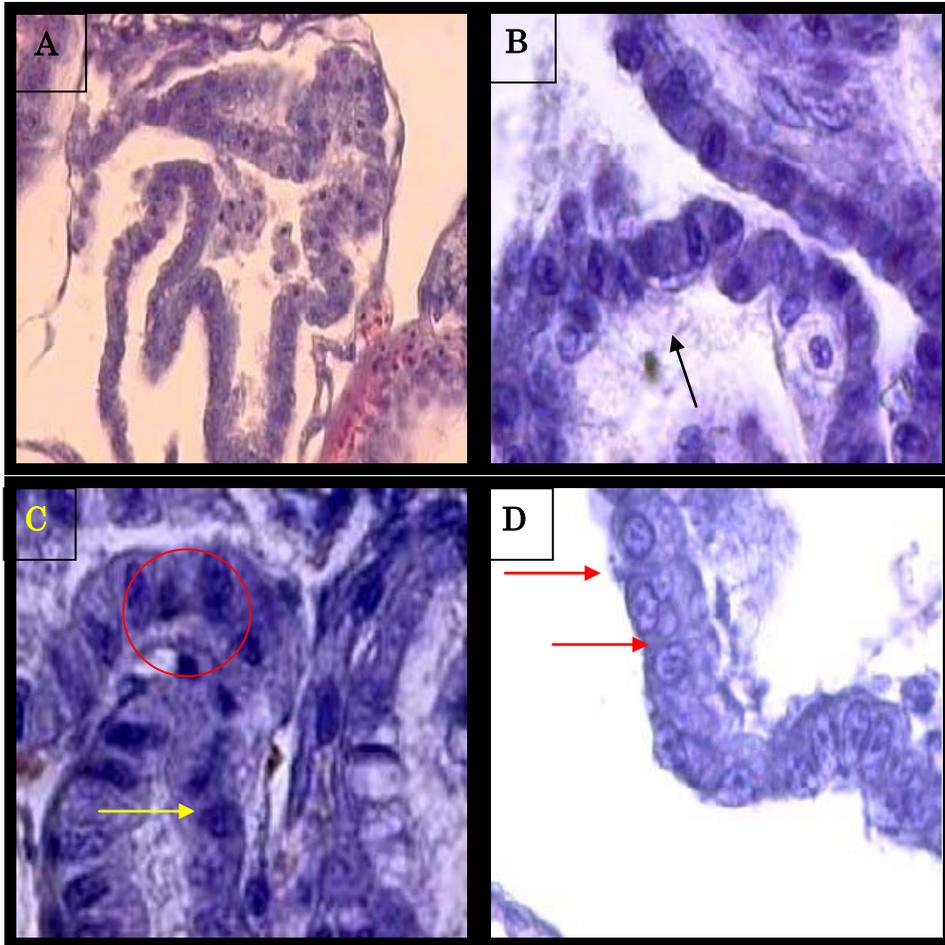


Figura 59: FPO de *Engraulis ringens* de 14 horas Posdesove. A) 40X Forma estrellada típica, B) 100X lumen con gránulos eosinofilos (flecha negra).C) 100X Detalle organización celular de la envoltura folicular con núcleo normal (flecha amarilla) y núcleo picnotico (circulo rojo). D) 100X Límites celulares de la envoltura folicular aun fácilmente reconocibles (flechas rojas) con vacuolas citoplasmáticas próximas al núcleo

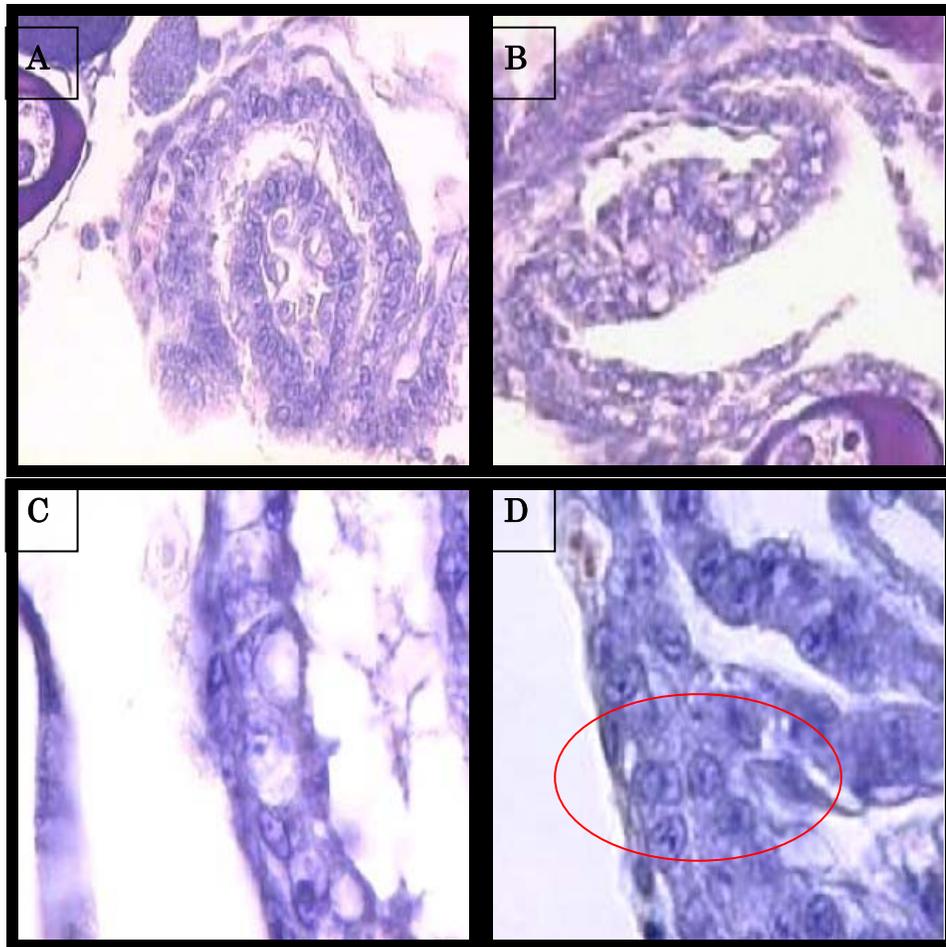


Figura 60: FPO de 25 horas Posdesove de *Engraulis ringens*. A) y B) 40X Forma característica con disminución del lumen y disociación foliculo tecal evidente, con células sanguíneas incorporándose al espacio foliculo-tecal (circulo). C) 100X Vacuolas citoplasmáticas de gran volumen, limite celular difuso y citoplasma granular. D) 100X Células foliculares normales que mantienen estructura ordenada pero con límites celulares difusos

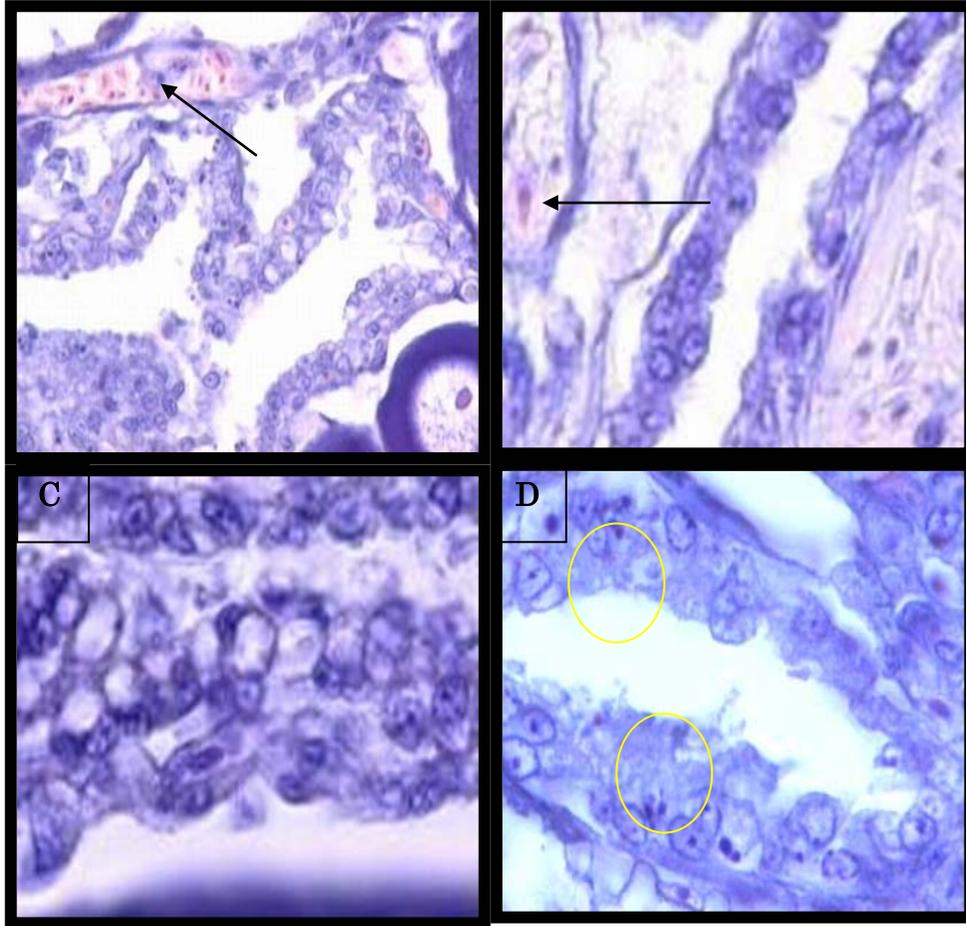


Figura 61: FPO de 36 horas Posdesove de *Engraulis ringens*. A) 40 x y B) 100X; distintos grados de invasión capilar al espacio folículo tecal (flechas).C) 100X vacuolización de la envoltura folicular de manera extensa D)100X Colapso de la envoltura folicular por ruptura de vacuolas citoplasmáticas apreciándose como zonas granulares (círculos).

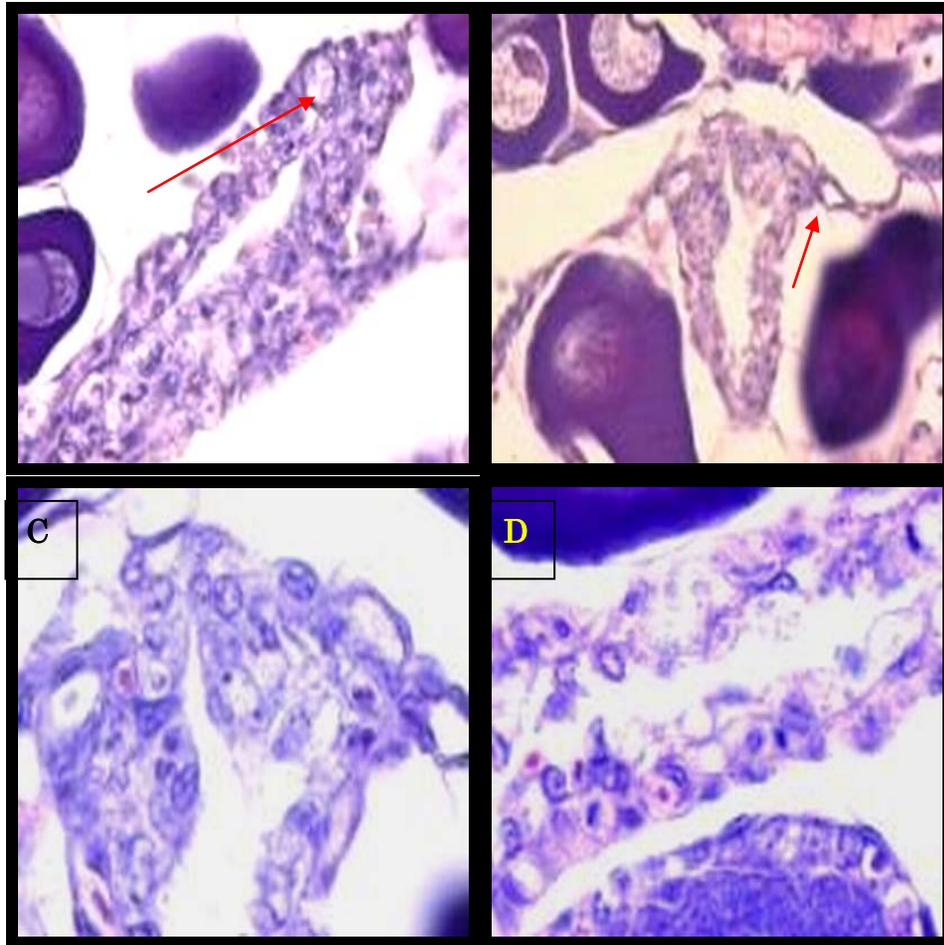


Figura 62: FPO de 42 horas Posdesove de *Engraulis ringens*. A) y B) 40X Distintos aspectos de la relación entre el FPO y el estroma ovárico que manifiesta la reducción de tamaño, C) y D) 100X. Flechas rojas indican capilar sanguíneo.

3.4 Objetivo específico 4: Establecer modelos o procedimientos para evaluar la distribución espacial del stock desovante, incluyendo la producción diaria de huevos y la fecundidad específica diaria.

Zona Norte

Para la zona norte, los modelos GAM aplicados para evaluar la densidad y producción diaria de huevos presentaron un mal desempeño, debido a que las variables utilizadas (Latitud, Longitud y Temperatura) no tienen explican la localización de las áreas de desove, las cuales son muy variables interanualmente (Figura 7), tanto en términos latitudinales como longitudinales. Esto se ve corroborado por el análisis del cociente (van der Lingen *et al.*, 2001; Figura 63), las que describen la relación entre las abundancias de huevos y variables ambientales. En Figura 63 se observa que no existe una tendencia clara en cuanto a las “preferencias” de las hembras por desovar en áreas con características similares entre años, es así que en 1992 aparece una predilección por temperaturas entre 13, 5 a 14, 5 y luego a los 17 °C. Para el año 1995 sería bajo los 16 °C. En 1996 estaría por los 16 °C. En 1997, año con la influencia de El Niño, aparecen predilecciones por temperaturas mayores a 17 °C. Con la latitud sucede una similar situación, donde ciertos años aparecen preferencias por altas latitudes y en otros hacia bajas. En términos Costa-Océano (Longitud) tampoco se puede identificar un patrón claro.

Al ajustar los modelos GAM para la densidad de huevos se observa que estos no reproducen bien la distribución observada. Es así que a modo de ejemplo se presentan los resultados para los años 1992, 1995 y 2002. En Figura 64 se muestran las densidades estimadas para los años 1992, 1995 y 2002, apreciándose que existen áreas con estaciones positivas que no son reproducidas por el modelo.

La producción diaria de huevos en el espacio modelada por lo GAM explica el 59% de la devianza para 1992:

Formula:

cohort ~ offset(log(Efarea)) + s(Lat, Stand.long, Stand.fittemp,
k = max.k) + age

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-7.607713	0.715611	-10.63	<2e-16 ***
age	-0.013103	0.000877	-14.94	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	Chi.sq	p-value
s(Lat,Stand.long,Stand.fittemp)	59	46	5560	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.362 Deviance explained = 59.1%
UBRE score = 16.106 Scale est. = 1 n = 944

Para 1995 explica el 63,7%:

Formula:

cohort ~ offset(log(Efarea)) + s(Lat, Stand.long, Stand.fittemp,
k = max.k) + age

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.328343	0.279772	-4.748	2.05e-06 ***
age	-0.010609	0.001236	-8.582	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	Chi.sq	p-value
s(Lat,Stand.long,Stand.fittemp)	68	40	2474	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.607 Deviance explained = 63.7%
UBRE score = 7.5967 Scale est. = 1 n = 1071

Y para el 2002 el 63,6%:

Formula:

cohort ~ offset(log(Efarea)) + s(Lat, Stand.long, Stand.fittemp,
k = max.k) + age

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.8570503	0.2140901	8.674	<2e-16 ***
age	-0.0240201	0.0007014	-34.244	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	Chi.sq	p-value
s(Lat,Stand.long,Stand.fittemp)	67	43	6552	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.445 Deviance explained = 63.6%

UBRE score = 18.882 Scale est. = 1 n = 1055

Al comparar las estimaciones de Producción diaria de huevos estimados por los cuatro modelos (Tabla 59), se observa claramente que las estimaciones de Producción de huevos por el modelo GAM se encuentran bastante subestimadas en comparación a los otros métodos de estimación.

Tabla 59: Comparación de la producción diaria de huevos (huevos/día, $\times 10^{11}$) y tasa diaria de mortalidad total (día^{-1}) de anchoveta Zona Norte según los diferentes métodos utilizados.

MODELO	1992		1995		2002	
	Z	Po	Z	Po	Z	Po
Lo	-0,01158	103,84	-0,02167	137,29	-0,01894	330,37
Lo Gen	-0,00128	106,26	-0,01708	113,37	-0,01132	250,19
Multinomial	-0,00718	92,77	-0,00671	64,41	-0,01536	281,87
GAM	-0,01310	8,91	-0,01061	5,25	-0,02402	33,04

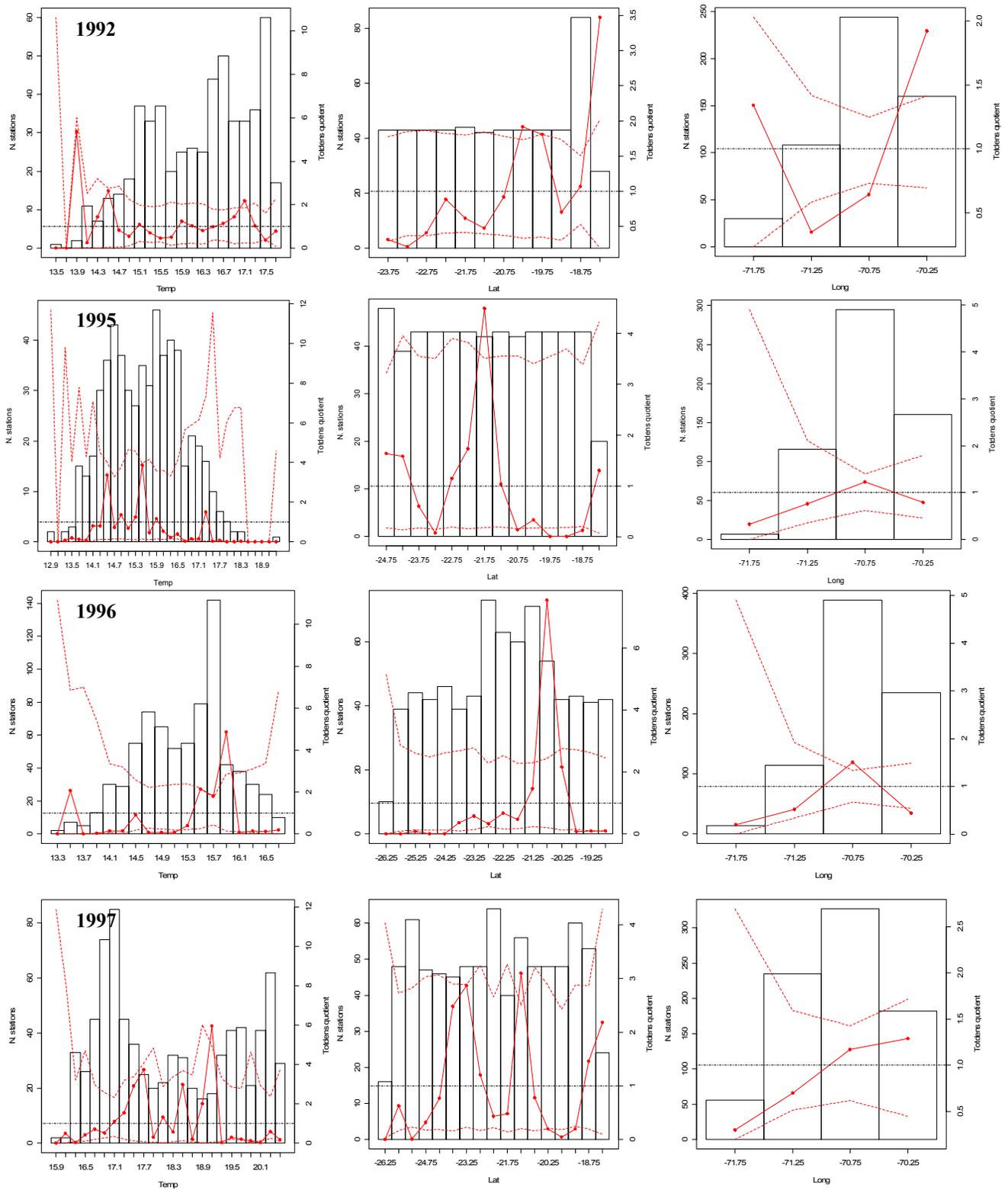


Figura 63: Análisis del cuociente para los años 1992, 1995, 1996 y 1997 en anchoveta del norte de Chile. Barras se refieren a la variable independiente (Lat, Long o Temperatura, de izquierda a derecha). Línea roja continua es la frecuencia de estaciones con huevos. Línea roja segmentada es el intervalo de confianza. Línea negra segmentada indica el umbral sobre el cual habría una asociación significativa entre huevos y la variable ambiental

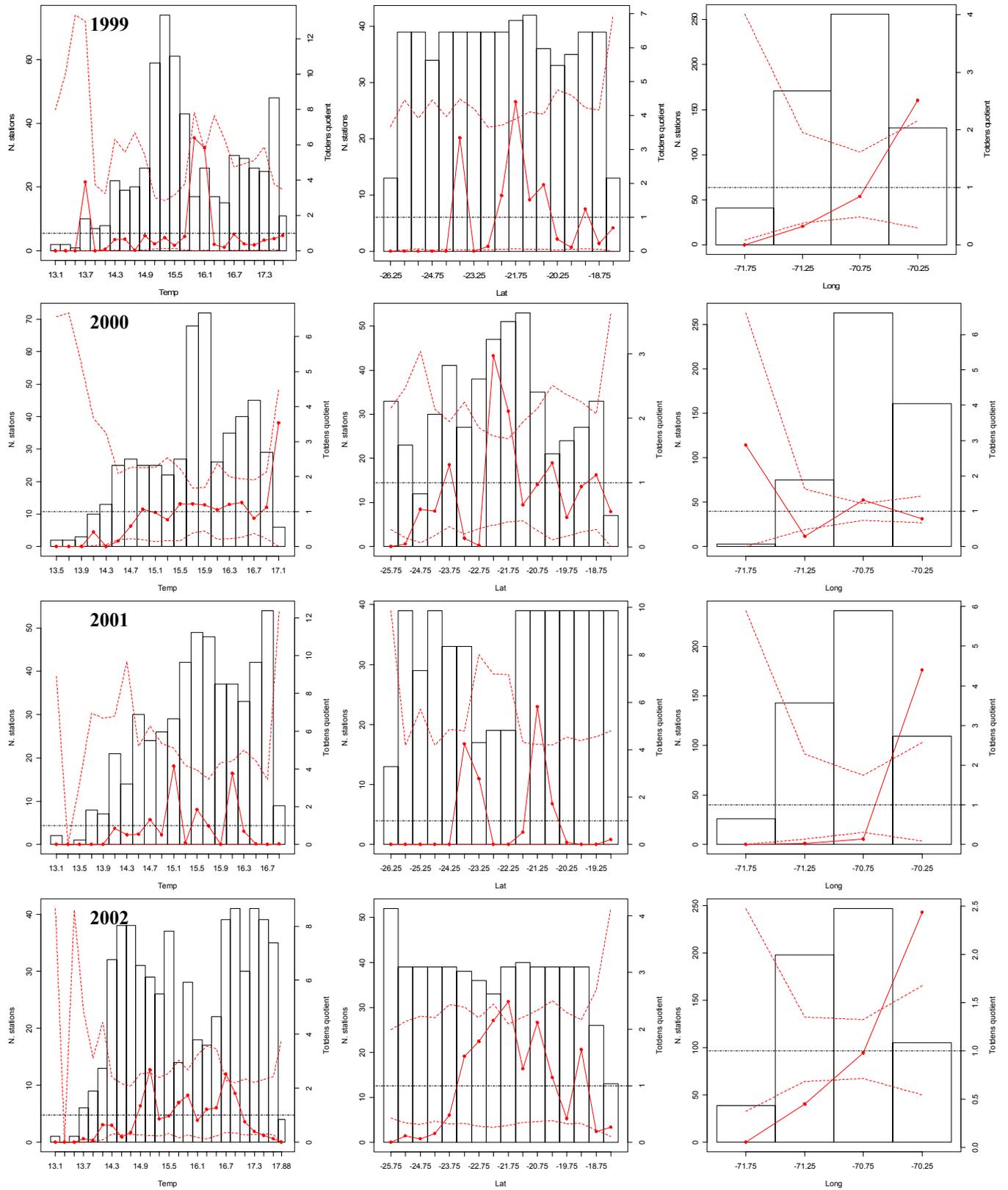


Figura 63 (Continuación) para los años 1999, 2000, 2001 y 2002

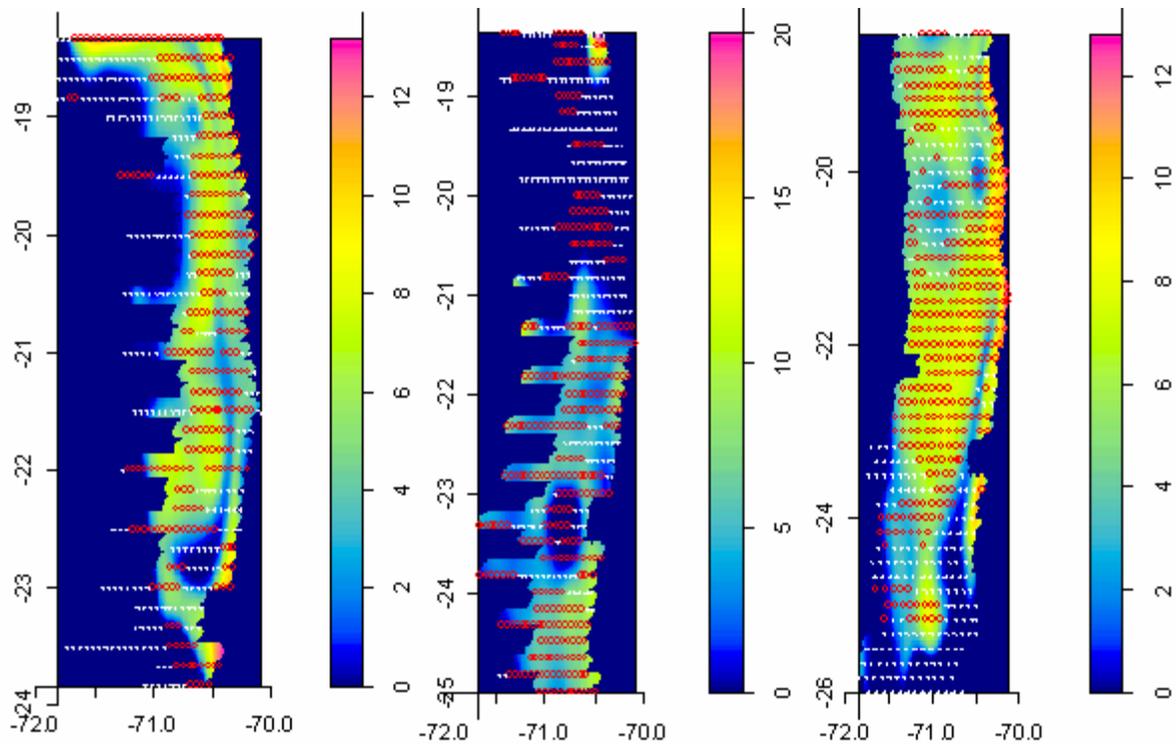


Figura 64: Densidad de huevos de anchoveta en la zona norte (N°/m^2) estimadas por modelo GAM en función de Latitud, Longitud y Temperatura para los años 1992, 1995 y 2002 (izquierda a derecha). Circulos rojos son estaciones positivas.

Zona Centro Sur

Análisis espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común

El análisis espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común se consideró como co-variables explicativas a la temperatura superficial del mar (TSM) y la profundidad de fondo. Estas variables necesitan ser modeladas con el objeto de ser utilizadas en una grilla de predicción si los modelos seleccionados consideran explícitamente a estas variables. Los resultados del análisis espacial de la temperatura y profundidad de resumen en la Tabla 60 y Tabla 61. La devianza explicada para los datos de TSM fluctuó entre 53 y 97,4%, mientras que para el caso de la profundidad de fondo se obtuvo valores en el rango de 78,8 y 97,9 %. Los mapas de distribución se ilustran en la Figura 65 y Figura 66.

Tabla 60: Resumen de los modelos GAM para la temperatura superficial del mar en el espacio.

Crucero	Zona	Grados de libertad inicial	Suavizador spline elegido	% Deviance
2002	Centro	308	s(Stand.x,y, k=205)	96.0
	Sur	358	s(Stand.x,y, k=119)	78.3
2004	Centro	137	s(Stand.x,y, k=91)	97.4
	Sur	104	s(Stand.x,y, k=47)	56.8
2005	Centro	130	s(Stand.x,y, k=87)	93.8
	Sur	140	s(Stand.x,y, k=47)	53.0

Tabla 61: Resumen de los modelos GAM para la profundidad de fondo en el espacio.

Crucero	Zona	Grados de libertad inicial	Suavizador spline elegido	% Deviance
2002	Centro	308	s(Stand.x,y, k=205)	97.9
	Sur	358	s(Stand.x,y, k=119)	91.2
2004	Centro	137	s(Stand.x,y, k=91)	95.7
	Sur	104	s(Stand.x,y, k=47)	86.5
2005	Centro	130	s(Stand.x,y, k=87)	94.9
	Sur	140	s(Stand.x,y, k=47)	78.8

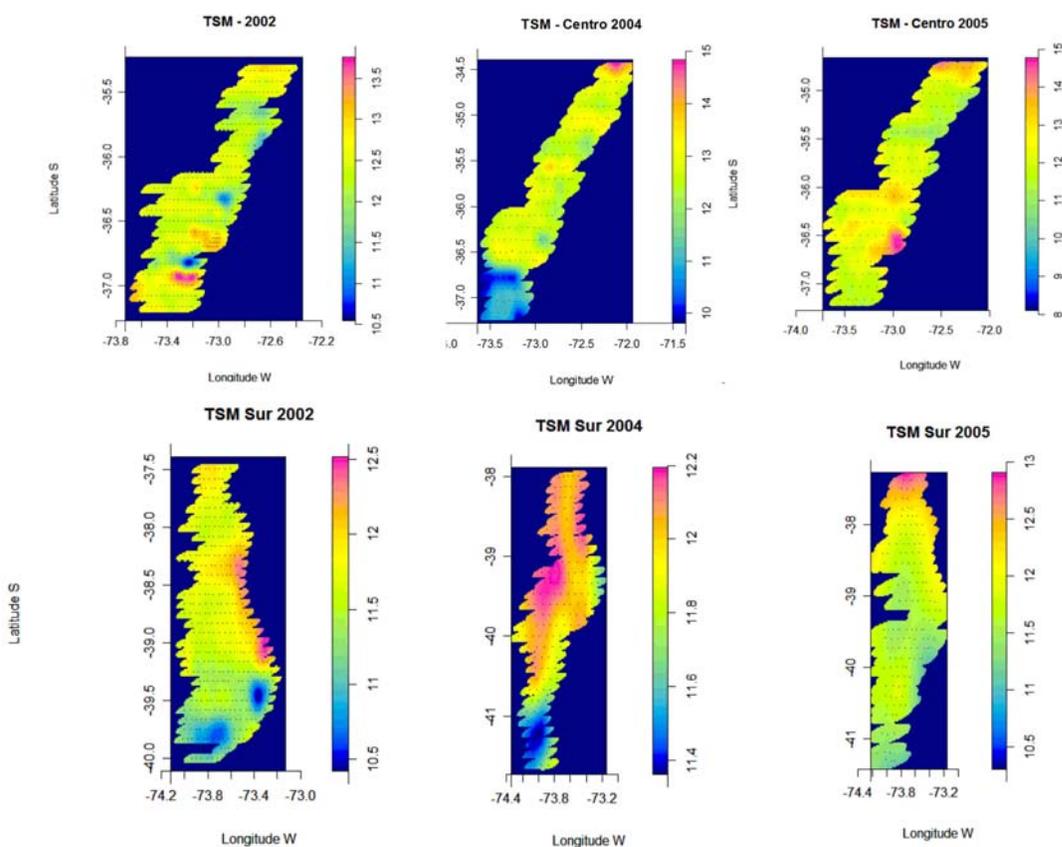


Figura 65: Distribución de la temperatura superficial del mar por estrato geográfico. La leyenda de los valores es diferente entre años.

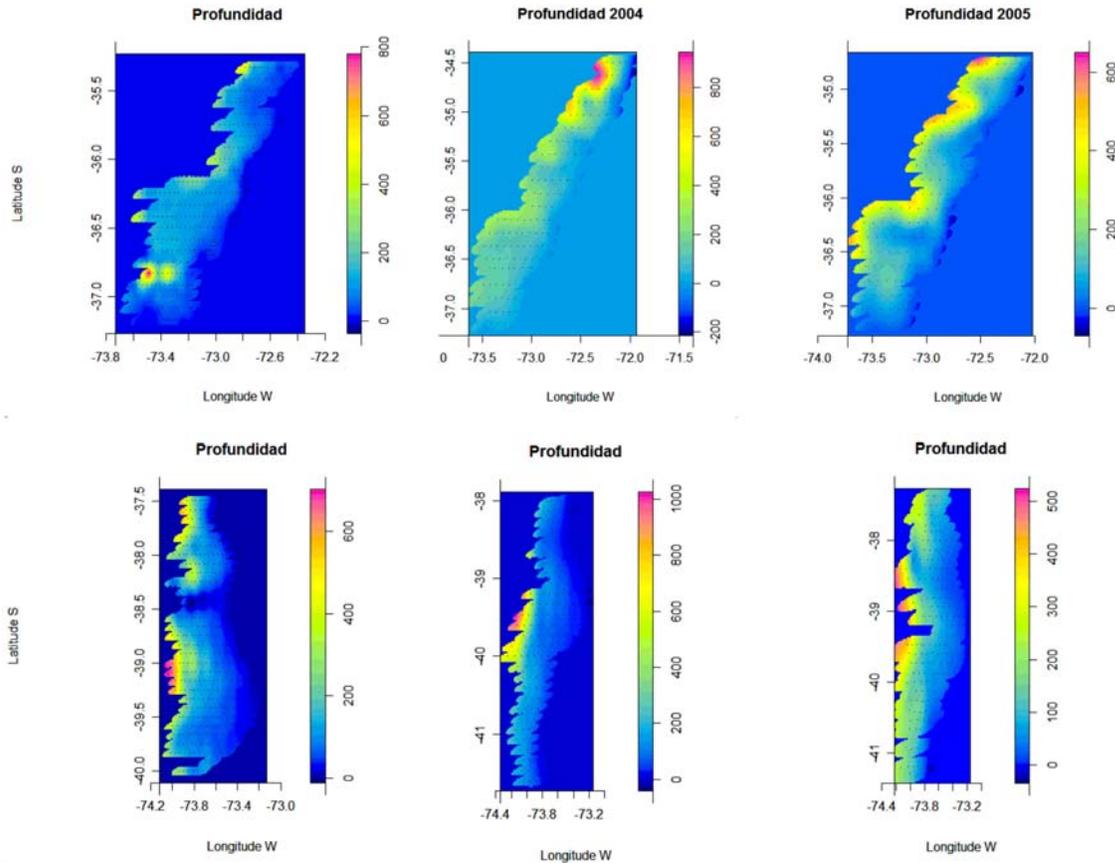


Figura 66: Distribución de la profundidad de fondo por estrato geográfico. La leyenda de los valores es diferente entre años.

Los resultados de los modelos GAM utilizados para modelar la densidad total de huevos de anchoveta se resume en la Tabla 62, observándose que el proceso isotrópico dependiente solamente de la latitud y longitud logró por lo general la más baja deviance explicada. Al incluir la temperatura y la profundidad de fondo, la devianza explicada mejora notablemente así como el puntaje de la validación cruzada general (GCV).

En el 2002, tanto para el sector centro como sur, el modelo que considera la temperatura y profundidad simultáneamente explicó mejor la densidad de huevos (Tabla 61). Sin embargo, en el sector sur fue la temperatura la que generó un incremento importante en la devianza explicada y aunque el desempeño del modelo mejora al incluir la profundidad, dicha mejora es sólo marginal. En este contexto, para el año 2002 en el sector sur la distribución de la densidad de huevos de

anchoveta es explicada mejor sólo por la temperatura mientras que en el sector centro ambas co-variables explican la distribución (Figura 67).

Tabla 62: Resumen de los modelos GAM aplicados para la densidad de huevos de anchoveta (huevos·m²) en función de la latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.

Crucero	Zona	Grados de Libertad inicial	Suavizador spline elegido	% Deviance	GCV
2002	Centro	308	s(Standx,y, k=24)	80.2	4.515
		308	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)	88.3	3.094
		308	s(Standx,y,k=24)+s(StandDepth,k=24)	85.5	3.573
		308	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)+ s(StandDepth,k=24)	91.7	2.383
	Sur	358	s(Standx,y, k=23)	77.5	11.357
		358	s(Standx,y,k=23)+s(StandTemp,k=23)	85.6	8.034
		358	s(Standx,y,k=23)+s(StandDepth,k=23)	77.7	11.316
		358	s(Standx,y,k=23)+s(StandTemp,k=23)+ s(StandDepth,k=23)	87.7	7.366
2004	Centro	137	s(Standx,y, k=7)	44.0	16.807
		137	s(Standx,y,k=7)+s(StandTemp,k=7)	58.3	13.762
		137	s(Standx,y,k=7)+s(StandDepth,k=7)	69.0	10.209
		137	s(Standx,y,k=7)+s(StandTemp,k=7)+ s(StandDepth,k=7)	70.7	10.499
	Sur	142	s(Standx,y, k=10)	78.4	23.147
		142	s(Standx,y,k=10)+s(StandTemp,k=10)	89.8	12.085
		142	s(Standx,y,k=10)+s(StandDepth,k=10)	65.8	34.627
		142	s(Standx,y,k=10)+s(StandTemp,k=10)+ s(StandDepth,k=10)	91.4	10.483
2005	Centro	130	s(Standx,y, k=14)	63.2	42.604
		130	s(Standx,y,k=14)+s(StandTemp,k=14)	86.4	19.699
		130	s(Standx,y,k=14)+s(StandDepth,k=14)	92.9	8.958
		130	s(Standx,y,k=14)+s(StandTemp,k=14)+ s(StandDepth,k=14)	97.3	4.396
	Sur	140	s(Standx,y, k=19)	75.0	46.817
		140	s(Standx,y,k=19)+s(StandTemp,k=19)	95.0	11.495
		140	s(Standx,y,k=19)+s(StandDepth,k=19)	89.1	20.242
		140	s(Standx,y,k=19)+s(StandTemp,k=19)+ s(StandDepth,k=19)	84.9	29.286

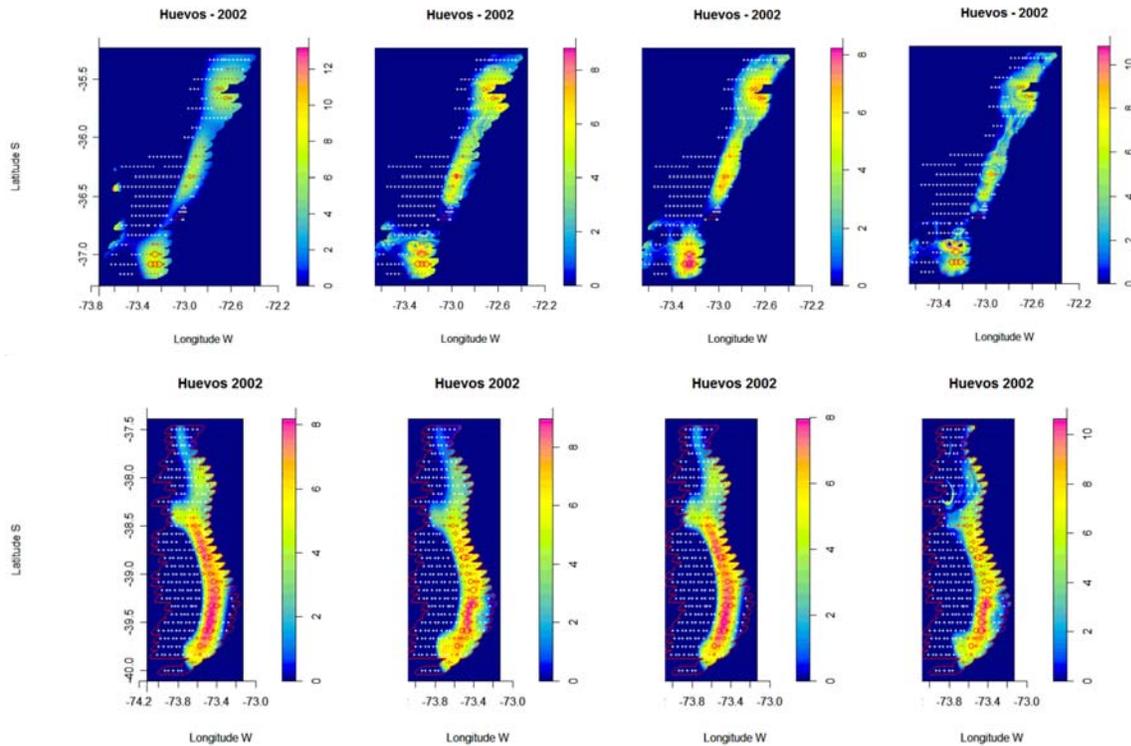


Figura 67: Densidad de huevos de anchoveta en la zona centro (arriba) y sur (abajo) del año 2002, según los modelos GAM en función de la latitud-longitud, latitud-longitud y temperatura, latitud-longitud y profundidad de fondo, y en función de todas las variables (de izquierda a derecha). La escala corresponde al logaritmo de la densidad de huevos, y se grafica la densidad observada en términos proporcionales para evaluar visualmente el desempeño de cada modelo en el área de desove (positiva).

En el 2004, el desempeño de los modelos GAM en el sector centro fueron de los más bajo en términos de devianza explicada (Tabla 62). En efecto, los modelos predicen densidad de huevos donde no las hubo. No obstante, visualmente el modelo que toma en cuenta la temperatura superficial tuvo un desempeño mejor ya que la incorporación de la profundidad de fondo sólo tuvo un mejoramiento marginal (Figura 68). En el sector sur, aunque el desempeño de los modelos fue mejor, ocurre algo similar. La temperatura superficial del mar describe mejor la distribución de la abundancia (Tabla 62, Figura 68), ya que al incorporar la profundidad de fondo sólo se mejora marginalmente la explicación de la devianza.

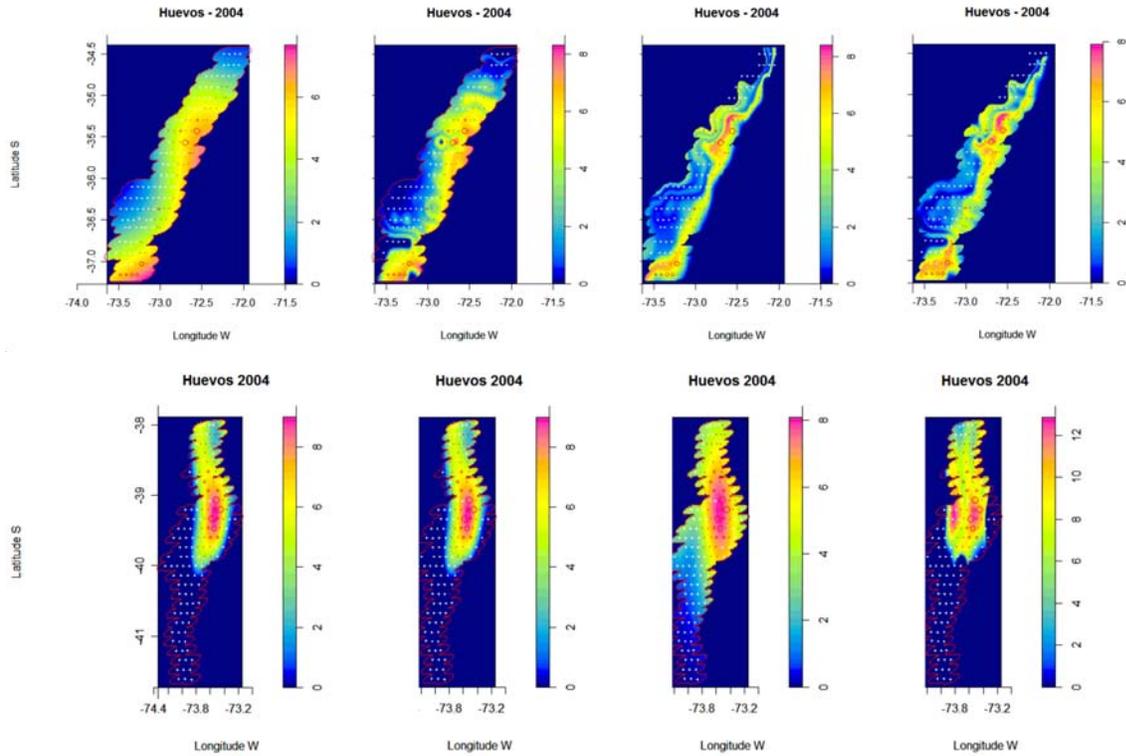


Figura 68: Densidad de huevos de anchoveta en la zona centro (arriba) y sur (abajo) del año 2004, según los modelos GAM.

En el 2005, en el sector centro juega un rol más importante la profundidad de fondo que la temperatura (Tabla 62), describiendo mejor la distribución de la densidad de huevos (Figura 69). En el sector sur, sin embargo, fue la temperatura superficial del mar la que genera una mejor explicación de la densidad de huevos (Figura 70).

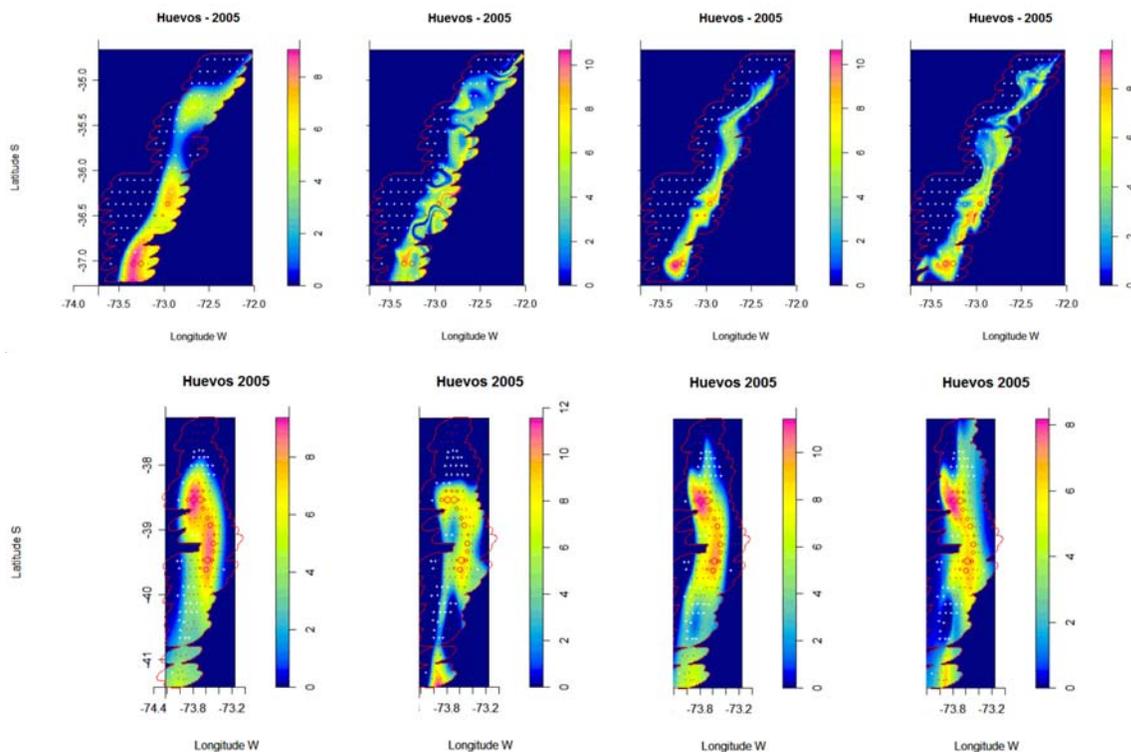


Figura 69: Densidad de huevos de anchoveta en la zona centro (arriba) y sur (abajo) del año 2005, según los modelos GAM.

En el caso de la sardina común, el análisis espacial estuvo restringido al año 2002 y 2005 (sector sur) debido a la baja densidad de huevos de esta especie en el 2004. Los resultados de los modelos GAM se presentan en la Tabla 63, observándose que la devianza explicada fluctúa entre 44,1 y 81,8%.

Tabla 63: Resumen de los modelos GAM aplicados para la densidad de huevos de sardina común (huevos·m²) en función de la latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.

Crucero	Zona	Grados de Libertad inicial	Suavizador spline elegido	% Deviance	GCV
2002	Centro	308	s(Standx,y, k=24)	80.4	16.103
		308	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)	64.6	27.102
		308	s(Standx,y,k=24)+s(StandDepth,k=24)	55.2	34.172
		308	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)+ s(StandDepth,k=24)	44.1	41.198
	Sur	358	s(Standx,y, k=22)	53.7	39.822
		358	s(Standx,y,k=22)+s(StandTemp,k=22)	64.0	32.842
		358	s(Standx,y,k=22)+s(StandDepth,k=22)	66.4	31.224
		358	s(Standx,y,k=22)+s(StandTemp,k=22)+ s(StandDepth,k=22)	76.9	23.524
2005	Sur	140	s(Standx,y, k=10)	69.1	13.486
		140	s(Standx,y,k=10)+s(StandTemp,k=10)	78.6	10.59
		140	s(Standx,y,k=19)+s(StandDepth,k=19)	77.5	9.906
		140	s(Standx,y,k=19)+s(StandTemp,k=19)+ s(StandDepth,k=19)	81.8	8.619

En el 2002, la densidad de huevos de sardina común no fue explicada ni por la temperatura ni la profundidad de fondo. Sólo el modelo isotrópico que considera la latitud y longitud fue mejor. No obstante, en el sector sur de ese año, tanto la temperatura como la profundidad de fondo explicaron la densidad de huevos en el área de desove (Figura 70). Resultados similares fueron encontrados en el sector sur del año 2005; es decir tanto la temperatura como la profundidad de fondo explicaron el 81,8% de la devianza (Figura 70, Tabla 63).

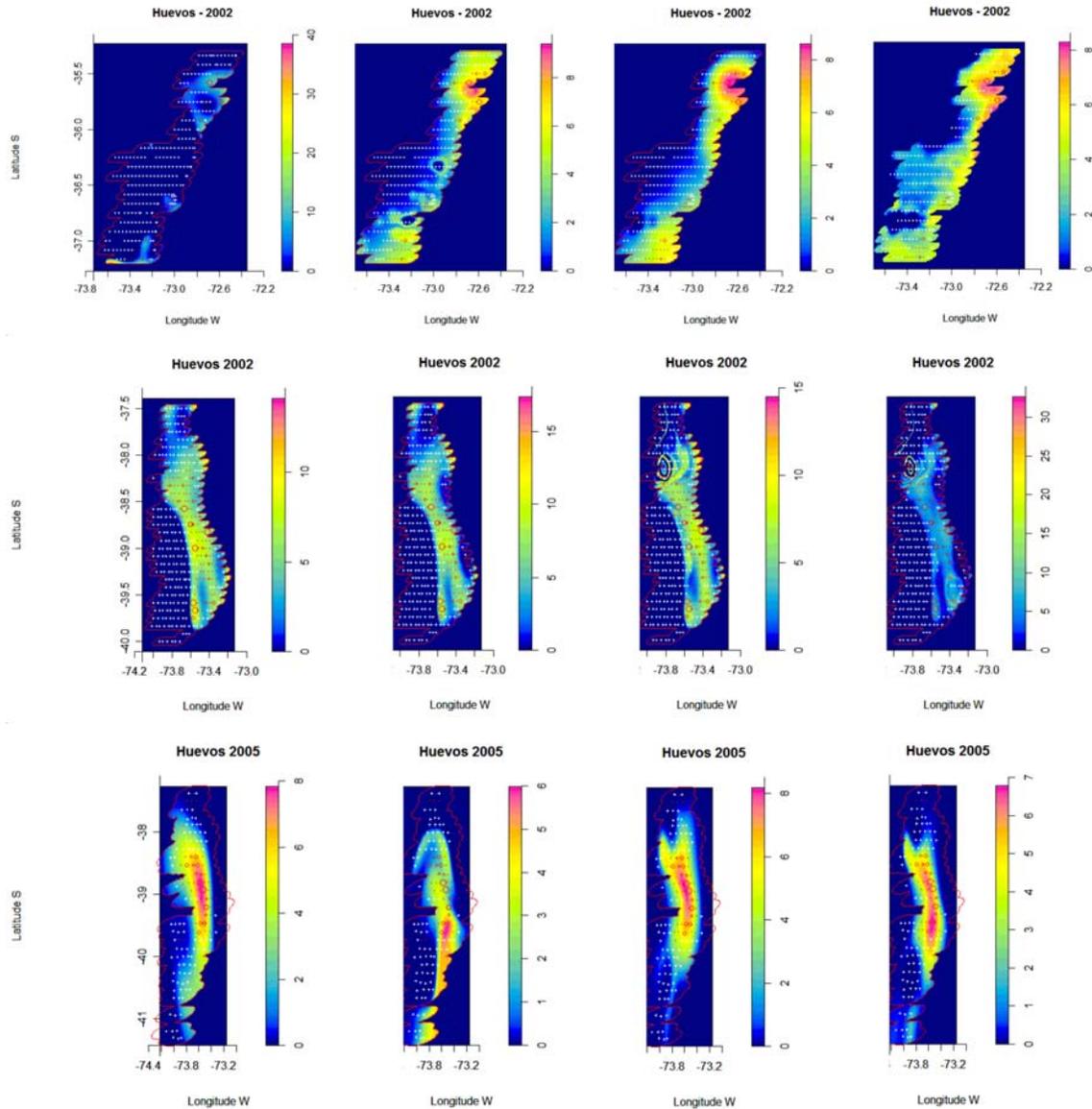


Figura 70: Densidad de huevos de sardina común en la zona centro (arriba) y sur (medio) del año 2002, y sur del año 2005 (abajo) según los modelos GAM en función de la latitud-longitud, latitud-longitud y temperatura, latitud-longitud y profundidad de fondo, y en función de todas las variables (de izquierda a derecha). La escala corresponde al logaritmo de la densidad de huevos, y se grafica la densidad observada en términos proporcionales para evaluar visualmente el desempeño de cada modelo en el área de desove (positiva).

Distribución espacial de la producción diaria de huevos

El análisis de la distribución espacial de la producción diaria de huevos se realizó a partir de la datación con el modelo multinomial en el área de estudio. El resumen del desempeño de los modelos GAM se resume en la Tabla 64 para anchoveta.

Tabla 64: Resumen de los modelos GAM aplicados para a la producción diaria de huevos de anchoveta (huevos·m²·d⁻¹) en función de la edad (covariable continua), latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.

Crucero	Zona	Grados de Libertad inicial	Suavizador spline elegido	% Deviance	GCV
2002	Centro	989	s(Standx,y, k=24)	71.4	2.121
		989	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)	78.3	1.681
		989	s(Standx,y,k=24)+s(StandDepth,k=24)	75.7	1.850
		989	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)+ s(StandDepth,k=24)	81.0	1.514
	Sur	1272	s(Standx,y, k=23)	67.3	4.891
		1272	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=23)	74.7	3.919
		1272	s(Standx,y,k=23)+s(StandDepth,k=23)	67.5	4.869
		1272	s(Standx,y,k=23)+s(StandTemp,k=23)+ s(StandDepth,k=23)	76.8	3.686
2004	Centro	362	s(Standx,y, k=7)	37.4	6.987
		362	s(Standx,y,k=7)+s(StandTemp,k=7)	51.8	5.563
		362	s(Standx,y,k=7)+s(StandDepth,k=7)	46.4	6.019
		362	s(Standx,y,k=7)+s(StandTemp,k=7)+ s(StandDepth,k=7)	64.9	4.195
	Sur	479	s(Standx,y, k=10)	73.0	8.138
		479	s(Standx,y,k=10)+s(StandTemp,k=10)	83.2	5.177
		479	s(Standx,y,k=10)+s(StandDepth,k=10)	65.2	10.334
		479	s(Standx,y,k=10)+s(StandTemp,k=10)+ s(StandDepth,k=10)	84.2	4.896
2005	Centro	420	s(Standx,y, k=14)	59.6	9.286
		420	s(Standx,y,k=14)+s(StandTemp,k=14)	87.3	3.107
		420	s(Standx,y,k=14)+s(StandDepth,k=14)	86.8	3.102
		420	s(Standx,y,k=14)+s(StandTemp,k=14)+ s(StandDepth,k=14)	92.2	1.944
	Sur	484	s(Standx,y, k=19)	69.8	14.088
		484	s(Standx,y,k=19)+s(StandTemp,k=19)	66.0	15.851
		484	s(Standx,y,k=19)+s(StandDepth,k=19)	83.0	8.257
		484	s(Standx,y,k=19)+s(StandTemp,k=19)+ s(StandDepth,k=19)	84.7	7.502

Los modelos seleccionados resultaron ser prácticamente todos en función de la latitud-longitud, temperatura y profundidad de fondo, excepto para el sector centro del año 2002 en que se retuvo sólo el modelo que toma en cuenta la temperatura ya que el ajuste al incorporar la profundidad resultó ser marginal. Los coeficientes de los modelos se resumen en la Tabla 65, observándose que

el estimador de la tasa de mortalidad total es significativo en todos los modelos y negativa (declinación del número de huevos con la edad). Finalmente, la distribución espacial de la producción diaria de huevos se muestra en la Figura 71 según los modelos seleccionados y resumidos en la Tabla 65.

Tabla 65: Resumen de los modelos seleccionados que explican la producción diaria de huevos de anchoveta, el coeficiente asociado a la edad (Age) representa la tasa de mortalidad total (horas⁻¹). Pr(>|z|): Probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). GCV: Validación general cruzada (General Cross Validation).

			Po Spatial GAM							
			Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	n	R2 adj	GCV	% Dev
2002	Centro	(Intercept)	-20.133	4.059	-4.96	8.38E-07	989	0.634	1.514	81
		Age	-0.0211	0.0017	-12.7	<2e-16				
		s(Lat,Lon)	22			<2e-16				
		s(Temp)	22			<2e-16				
	s(Depth)	11.01			1.19E-04					
	Sur	(Intercept)	-17.057	3.683	-4.631	4.03E-06	1272	0.561	3.919	74.7
Age		-0.024	0.002	-14.634	<2e-16					
s(Lat,Lon)		21.87			<2e-16					
s(Temp)		21.66			<2e-16					
s(Depth)		-	-	-	-					
2004	Centro	(Intercept)	-1.80E+03	5.71E+02	-3.147	0.001794	362	0.513	4.195	64.9
		Age	-0.0133	3.49E-03	-3.823	0.000156				
		s(Lat,Lon)	5.726			6.40E-12				
		s(Temp)	5.961			3.22E-05				
	s(Depth)	6			3.38E-07					
	Sur	(Intercept)	-29.337	9.739	-3.012	0.00273	479	0.758	4.896	84.2
Age		-0.0147	0.00188	-7.8	4.17E-14					
s(Lat,Lon)		7.603			<2e-16					
s(Temp)		7.007			<2e-16					
s(Depth)		1			2.67E-09					
2005	Centro	(Intercept)	-5.596	5.074	-1.103	0.271	420	0.963	1.944	92.2
		Age	-0.0337	0.00224	-15.03	<2e-16				
		s(Lat,Lon)	12.684			<2e-16				
		s(Temp)	12.172			<2e-16				
	s(Depth)	4.895			<2e-16					
	Sur	(Intercept)	-0.4625	0.6069	-0.762	0.447	484	0.736	7.52	84.7
Age		-0.0197	0.00177	-11.174	<2e-16					
s(Lat,Lon)		17.923			<2e-16					
s(Temp)		7.729			<2e-16					
s(Depth)		1.481			1.31E-14					

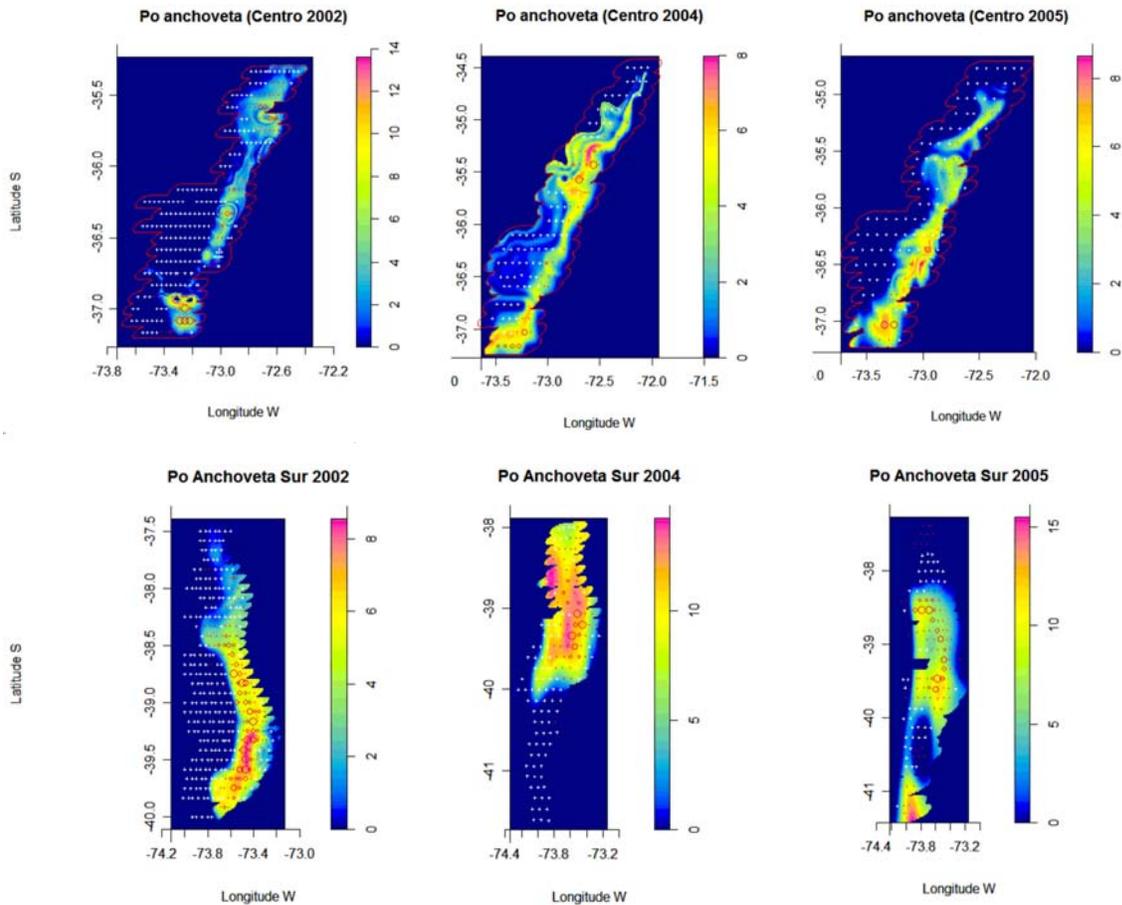


Figura 71: Distribución espacial de la producción diaria de huevos de anchoveta (huevos/m²/día) según Modelos GAM seleccionados. La escala se refiere al logaritmo de la producción diaria de huevos y es diferente para cada año.

En general, se observó que la distribución de la producción diaria de huevos fue satisfactoriamente explicada por los modelos siguiendo la distribución de la densidad total que indica el área positiva. El modelo que tuvo el desempeño más bajo fue aquél obtenido para la zona centro del año 2004, el cual predice una producción de huevos fuera del área positiva observada (aunque de muy baja densidad).

Una comparación de las estimaciones de producción diaria de huevos en el área positiva se muestra en la Tabla 66, observándose una buena correspondencia con el método de datación multinomial. Cabe señalar que la ventaja de la estimación espacial de la producción de huevos con GAM es que evita la estratificación del área de estudio. A su vez, las estimaciones previas asumen una estructura

de error binomial negativa mientras que en la modelación espacial con GAM se utilizó quasipoisson para evitar la estimación iterativa del parámetro de dispersión.

Tabla 66: Comparación de la producción diaria de huevos (huevos/día, $\times 10^{11}$) y tasa diaria de mortalidad total (día⁻¹) de anchoveta zona centro sur según los diferentes métodos utilizados.

Año	Zona	Lo		Lo Gen		Multinomial		GAM espacial	
		Po	Z	Po	Z	Po	Z	Po	Z
2002	Centro	4.587	-0.652	4.598	-0.645	4.224	-0.530	4.068	-0.506
	Sur	12.029	-0.410	8.810	-0.191	17.466	-0.567	16.949	-0.576
2004	Centro	9.479	-0.426	9.536	-0.420	10.778	-0.305	9.950	-0.319
	Sur	25.625	-0.320	26.793	-0.352	30.468	-0.305	30.421	-0.353
2005	Centro	43.044	-1.028	21.393	-0.683	23.589	-0.614	35.544	-0.809
	Sur	91.144	-0.584	85.805	-0.567	84.876	-0.384	79.383	-0.473

En el caso de la sardina común, la modelación espacial de la producción diaria de huevos se realizó sólo para el año 2002 y sector sur del año 2005. Los resultados de los modelos en competencia se resumen en la Tabla 67, donde se observa que los modelos más satisfactorios fueron aquellos que consideran la temperatura y la profundidad de fondo simultáneamente.

Tabla 67: Resumen de los modelos GAM aplicados para a la producción diaria de huevos de sardina común (huevos·m²·d⁻¹) en función de la edad (covariable continua), latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.

Crucero	Zona	Grados de Libertad inicial	Suavizador spline elegido	% Deviance	GCV
2002	Centro	742	s(Standx,y, k=24)	76.6	7.855
		742	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)	67.9	10.598
		742	s(Standx,y,k=24)+s(StandDepth,k=24)	89.1	3.751
		742	s(Standx,y,k=24)+s(StandTemp,k=24)+ s(StandDepth,k=24)	93.7	2.249
	Sur	936	s(Standx,y, k=22)	50.4	16.931
		936	s(Standx,y,k=22)+s(StandTemp,k=22)	63.7	12.886
		936	s(Standx,y,k=22)+s(StandDepth,k=22)	61.9	13.392
		936	s(Standx,y,k=22)+s(StandTemp,k=22)+ s(StandDepth,k=22)	74.7	9.322
2005	Sur	359	s(Standx,y, k=10)	50.6	5.580
		359	s(Standx,y,k=10)+s(StandTemp,k=10)	57.2	4.995
		359	s(Standx,y,k=10)+s(StandDepth,k=10)	58.6	4.709
		359	s(Standx,y,k=10)+s(StandTemp,k=10)+ s(StandDepth,k=10)	66.6	4.000

Los coeficientes de los modelos se resumen en la Tabla 68, observándose que el estimador de la tasa de mortalidad total fue negativa y significativa en los modelos del año 2002, pero fue positiva y no significativa en el caso del sector sur del año 2005. Similar resultado fue encontrado con el modelo multinomial considerando una estructura de error binomial negativa.

Tabla 68: Resumen de los modelos seleccionados que explican la producción diaria de huevos de anchoveta, el coeficiente asociado a la edad (Age) representa la tasa de mortalidad total (horas⁻¹).

			Po Spatial GAM							
			Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	n	R2 adj	GCV	% Dev
2002	Centro	(Intercept)	-2.24E+02	3.30E+01	-6.804	2.20E-11	742	0.919	2.249	93.7
		Age	-0.0513	2.35E-03	-21.821	<2e-16				
		s(Lat,Lon)	19.158			<2e-16				
		s(Temp)	20.352			<2e-16				
		s(Depth)	7.614			<2e-16				
	Sur	(Intercept)	-2.31E+02	2.58E+01	-8.956	<2e-16	936	0.619	9.322	74.7
		Age	-0.0233	2.80E-03	-8.308	3.66E-16				
		s(Lat,Lon)	21			<2e-16				
s(Temp)		18.32			<2e-16					
	s(Depth)	16.2			<2e-16					
2005	Sur	(Intercept)	-2.0489	1.7527	-1.169	0.243	359	0.296	4.000	66.6
		Age	0.00306	0.00405	0.756	0.450				
		s(Lat,Lon)	8.136			2.41E-11				
		s(Temp)	7.004			4.13E-07				
		s(Depth)	3.801			7.29E-08				

La expresión espacial de la producción diaria de huevos predicha por estos modelos se ilustra en la Figura 72. En el sector centro del año 2002 se observa una baja producción diaria de huevos, principalmente porque valores altos fueron predichos fuera del área de predicción afectando la apreciación visual. No obstante, la distribución de la producción diaria de huevos fue satisfactoriamente explicada por los modelos siguiendo la distribución de la densidad total que indica el área positiva. La excepción ocurre en el año 2005 hacia el sector sur del área de estudio y por fuera de los límites occidentales de las transectas, aspecto que se debe a la sobreestimación del área de crucero de este año.

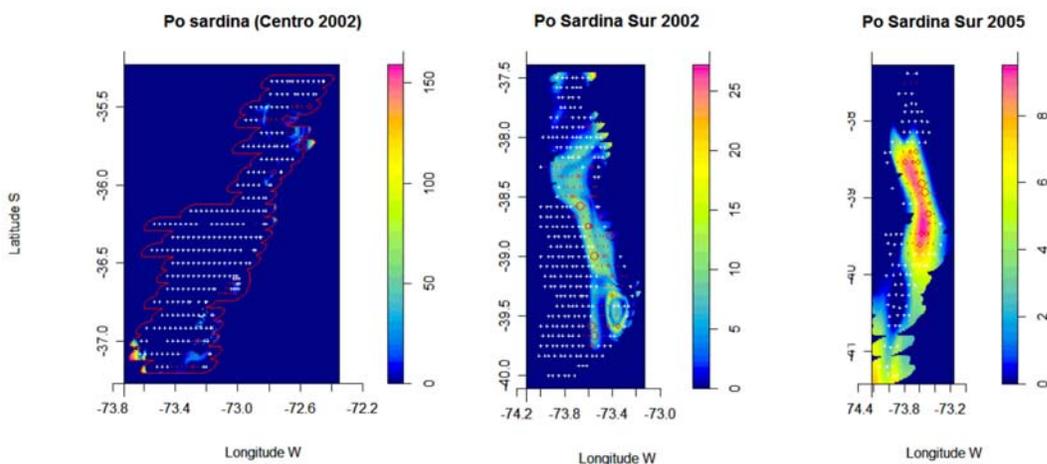


Figura 72: Distribución espacial de la producción diaria de huevos de sardina común (huevos/m²/día) según Modelos GAM seleccionados. La escala se refiere al logaritmo de la producción diaria de huevos y es diferente para cada año.

Una comparación de la producción diaria de huevos (huevos por día) de sardina común se muestra en la Tabla 69. Los resultados fueron altamente coincidentes tanto en términos de la magnitud de la producción como con los valores de la tasa de mortalidad diaria de huevos. El modelo multinomial y GAM son más similares entre sí debido a que la datación multinomial se utiliza para GAM, observándose el caso de la tasa de mortalidad no significativa (cero en términos estadísticos).

Tabla 69: Comparación de la producción diaria de huevos (huevos/día, x10¹¹) y tasa diaria de mortalidad total (día⁻¹) de sardina común según los diferentes métodos utilizados.

Año	Zona	Lo		Lo Gen		Multinomial		GAM	
		Po	Z	Po	Z	Po	Z	Po	Z
2002	Centro	33.794	-1.366	29.550	-1.263	21.695	-1.278	27.600	-1.231
	Sur	22.659	-0.564	20.856	-0.488	28.388	-0.675	27.941	-0.559
2005	Sur	24.700	-0.647	22.123	-0.552	8.884	0.059	7.437	0.073

3.5 Objetivo 5: Determinar criterios y formulación de modelos de las observaciones para incluir la evaluación del stock desovante por el método de la producción diaria de huevos en modelos de evaluación de stock integrados.

El MPDH desarrollado para estimar la biomasa desovante de la anchoveta de California (R. Lasker (ed.) 1985) se aplica en la actualidad a otros clupeidos con desove múltiple como sardinas y machuelos, y su aplicación se ha extendido también a jurel e incluso merluzas. Para su aplicación en la evaluación de stock se considera, que si el crucero para el muestreo del ictioplancton tiene una cobertura adecuada, es decir cubre toda el área de desove, y el muestreo de los adultos representa la situación del stock desovante, entonces se puede obtener una estimación de la biomasa desovante que puede ser considerada una estimación absoluta. Esta es la situación de su aplicación en la anchoveta de Sudáfrica (De Oliveira, 2002). Una de las fortalezas del método es que todos los parámetros pueden ser estimados por medio del crucero y con niveles de precisión conocidos.

Los métodos modernos de evaluación de stock (Quinn y Deriso, 1999) al igual que el análisis de población virtual (APV) necesitan disponer de “información auxiliar” con el fin de “calibrar” o “sintonizar” la evaluación indirecta con el fin de obtener estimaciones confiables de abundancia, en especial de los años más recientes de la serie. La información auxiliar que se identifica como necesaria en stocks de peces pelágicos pequeños son preferentemente indicadores de la abundancia obtenidos de fuentes independientes de la pesquería, como por ejemplo los cruceros hidroacústicos y MPDH.

Anchoveta Zona Norte

La diferencia entre las BD's estimadas por el modelo de evaluación (Serra, Canales y Böhm (2007)) y el MPDH es de un factor cercano de 10, siendo menor la BDMPDH. Esta diferencia se considera grande, sin embargo, las estimaciones de BDMPDH obtenidas con las mejoras introducidas en este proyecto son mayores, presentando la serie variaciones más fuertes (mayor contraste) (Figura 43), resultados que deberían tener efecto en una nueva evaluación de stock, disminuyendo por ejemplo la diferencia entre ambas BD.

Zona Centro Sur

En la pesquería de anchoveta y sardina común centro-sur los resultados del MDPH no han sido utilizados en la evaluación de stock indirecta, ya que se ha considerado la necesidad de una instancia formal de análisis previa inclusión en la evaluación indirecta como ha sido el desarrollo de este proyecto. A continuación se realiza un análisis comparativo de la biomasa desovante de anchoveta y sardina común provenientes entre la evaluación indirecta al 2006 y las evaluaciones realizadas en el contexto del MPDH.

Las estimaciones de biomasa desovante provenientes de la evaluación indirecta (Canales *et al.*, 2007 *a,b*) y su incertidumbre fueron contrastada con aquellas provenientes de este estudio a través de la estimación de q que asocia la biomasa desovante obtenida con el MDPH con la estimada por el modelo de evaluación de stock según:

$$q = \exp \left[\frac{1}{n} \sum \ln \frac{S_{MPDH}}{S_{ASP}} \right]$$

donde, S_{MPDH} es la biomasa desovante estimada por MPDH, S_{ASP} es la biomasa desovante proveniente de la evaluación indirecta, n es número de observaciones, y q da cuenta de la proporcionalidad entre ambas biomasa.

En términos de tendencias, se observa un incremento del stock desovante desde el 2002 al 2005 tanto para la serie MPDH como la evaluación indirecta (Figura 73). En términos de valores absolutos, las estimaciones del MPDH, se situaron en todos los años bajo el intervalo de confianza inferior de la biomasa desovante indirecta. Por su parte, el coeficiente de proporcionalidad q , fue de 0,42 y 0,45 dependiendo del método de estimación de edad de los huevos de anchoveta, esto es, Lo o Multinomial respectivamente). Esto implica que la biomasa desovante estimada por el MPDH equivale a un 42% y 45% de la biomasa desovante estimada por la evaluación indirecta.

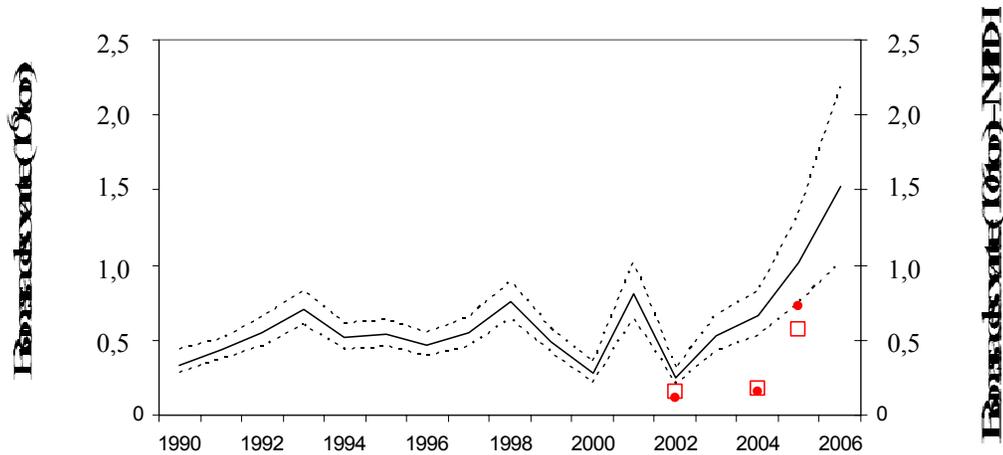


Figura 73: Biomasa de desovante de anchoveta estimada por ASP (líneas) y biomasa desovante por MPDH (círculos = Método de Lo; cuadrados = Multinomial) en la zona centro sur

Para el caso de la sardina común (Figura 74), las diferencias fueron más notorias, en términos de valores absolutos solo la estimación del año 2002 ocurre dentro de los intervalos de confianza de la estimación indirecta y las observaciones 2004 y 2005 se ubican bajo el límite inferior de la biomasa desovante indirecta. En relación a las tendencias el stock desovante de sardina común presentaría una tendencia decreciente entre el 2002 y 2005, con un factor de proporcionalidad (q) equivalente a 0,15 y 0,10 (Lo y Multinomial respectivamente), lo que implicaría que en promedio las estimaciones de biomasa desovante del MPDH corresponderían entre un 15 o 10% a las estimaciones de la evaluación indirecta.

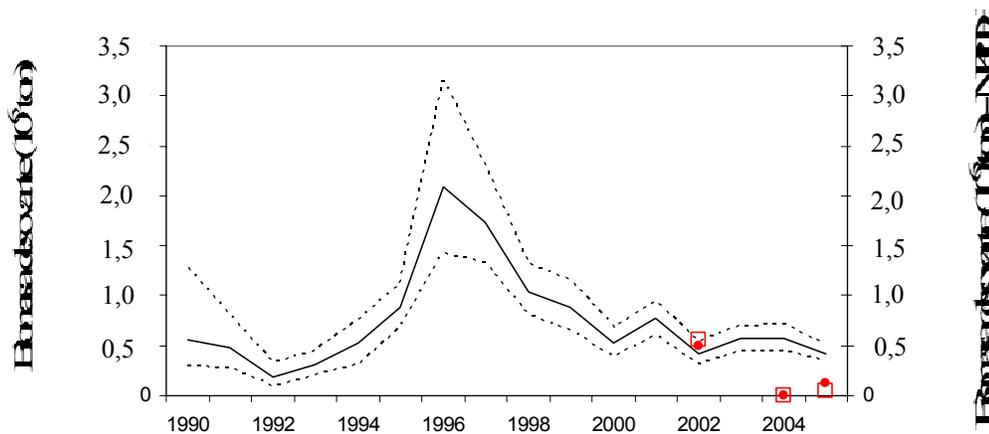


Figura 74: Biomasa de desovante de sardina común estimada por ASP (líneas) y biomasa desovante por MPDH (círculos = Método de Lo; cuadrados = Multinomial).

3.6 Análisis no comprometidos en Oferta Técnica

3.6.1 Fecundidad parcial

Dado que las ecuaciones de regresión para la fecundidad parcial en función del peso corporal en la zona norte han tenido problemas de ajuste en determinados años, dado el estrecho rango de pesos (p.e. 2002 y 2004, Figura 75 y Tabla 70) es que se realizó un estudio comparativo entre años para dilucidar la fuente de variabilidad. En primer lugar, el intercepto es significativamente distinto de cero solo en los años 1997 y 2002, años en que la regresión presenta un muy mal ajuste (Tabla 70). Un análisis de covarianza y Test Tukey señalan que existen diferencias significativas en las pendientes en los años 1996, 2002 y 2004 respecto del resto.

Dado que en estimaciones de fecundidad parcial, lo que se cuenta directamente es el número de ovocitos hidratados en muestras de tejido ovárico y posteriormente se expande al ovario, se realizó un análisis del número de ovocitos por gramo de ovario en función del peso corporal de la hembra (Figura 76) para el total de hembras analizadas ($n = 1035$), encontrándose que este no es influenciado por el tamaño (peso) de la hembra (Pendiente = 0). Un análisis de componentes de la varianza señala que el lance tiene una contribución más importante que el año (36,6 y 28,9% respectivamente, Figura 77). Es así que los años que presentan problemas de ajuste, las estimaciones de fecundidad parcial están basadas principalmente en hembras colectadas de uno o dos lances (Tabla 71)

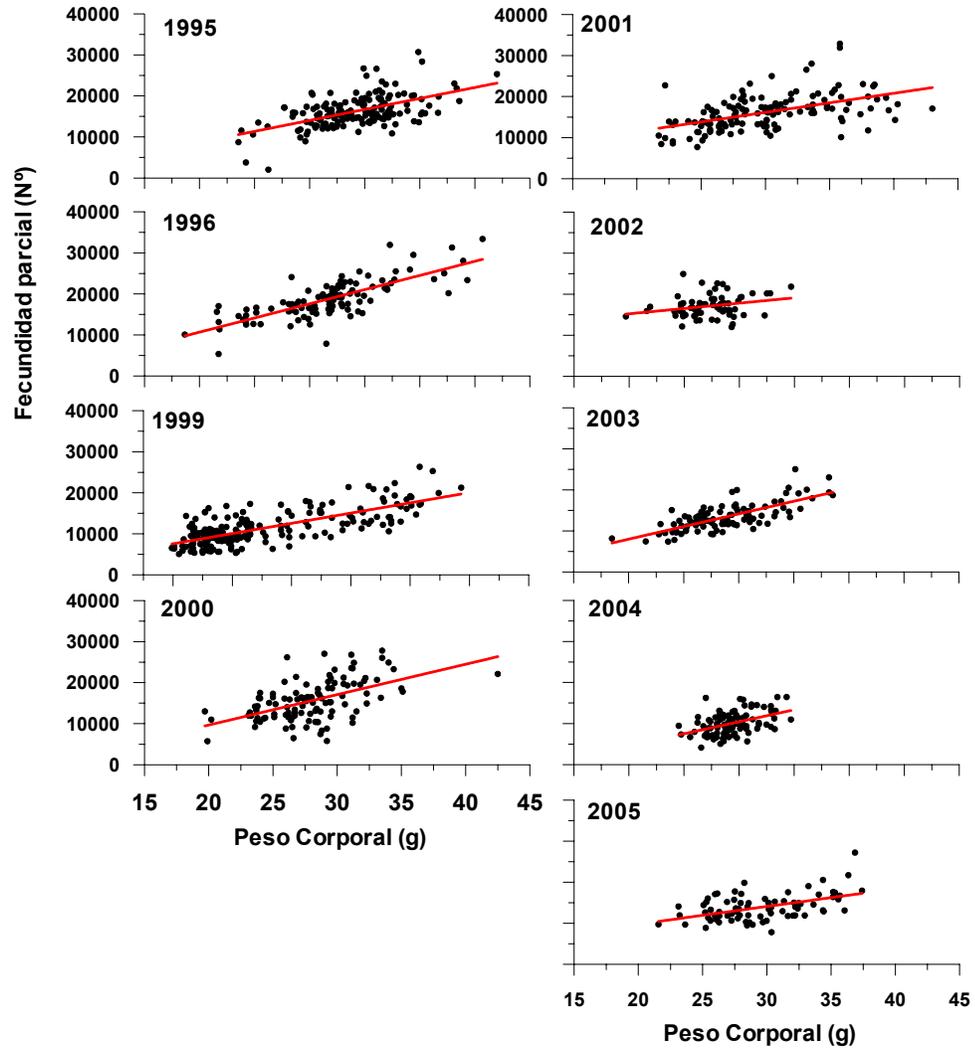


Figura 75: Valores observados y líneas ajustadas a los datos de fecundidad parcial en función del peso corporal para anchoveta en la zona norte

Tabla 70: Resultados de las ecuaciones de regresión lineales ajustadas a los datos de fecundidad parcial en función del peso corporal para anchoveta en la zona norte.

	Parámetros de las regresiones entre Peso Corporal y Fecundidad									
	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Intercepto (a)	671.77	337.46	6950.8	105.44	-5127.08	2205.21	11341.20	-1237.67	-4164.12	1152.76
Sa	1916.66	1514.08	1923.852	816.02	3285.50	2097.95	2719.11	1388.04	2944.92	2582.87
Pendiente (b)	534.57	690.51	262.6099	498.60	740.45	465.10	259.56	615.84	584.18	431.29
Sb	65.12	55.68	78.30125	34.12	116.16	69.02	121.04	57.52	120.27	86.79
r ²	0.30	0.59	0.051304	0.54	0.28	0.26	0.06	0.54	0.20	0.24
n	156	107	210	187	109	133	69	99	96	79
Syx	3291.113	3004.221	3582.391	2917.738	4210.345	3749.333	2599.681	2249.760	2476.319	2820.009
PC Min	18.5	13.7	15.9	14.9	19.7	21.7	14.7	13.5	19.5	21.6
PC Max	42.0	40.7	34.9	39.3	42.5	43.0	29.7	33.5	29.7	37.4
PC Promedio	29.2	26.7	24.4	23.1	28.1	30.0	22.3	23.8	24.4	29.5
Fec relativa	557.7	704.5	552.2	503.8	555.1	539.7	775.1	562.8	412.3	471.3
Ho: A=0	Acepta	Acepta	Rechaza	Acepta	Acepta	Acepta	Rechaza	Acepta	Acepta	Acepta

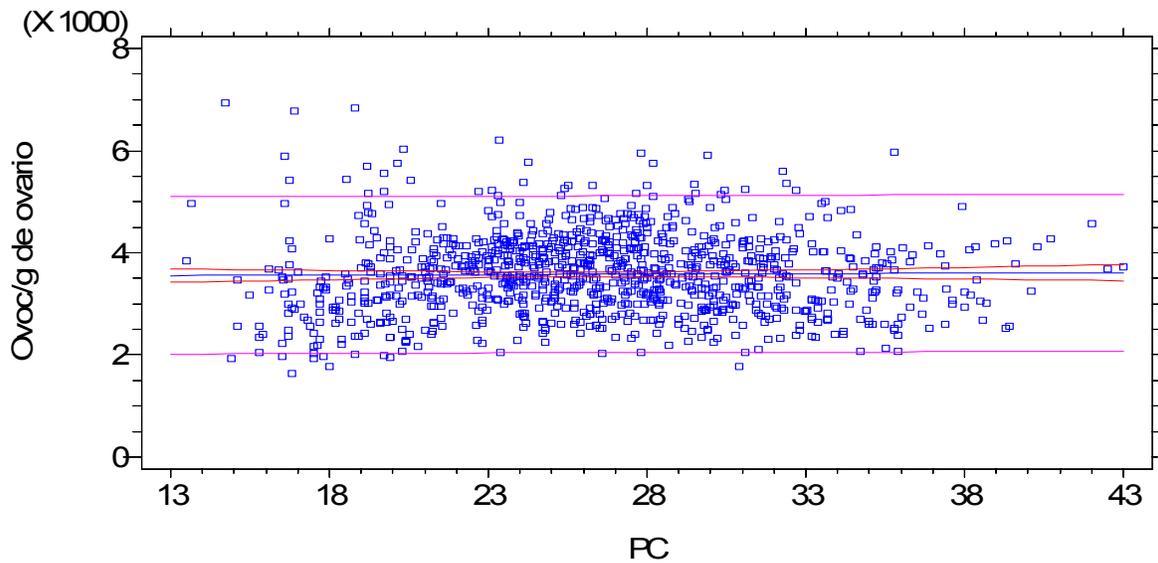


Figura 76: Número de ovocitos por gramo de ovario en función del peso corporal para el total de hembras analizadas de anchoveta en la zona norte.

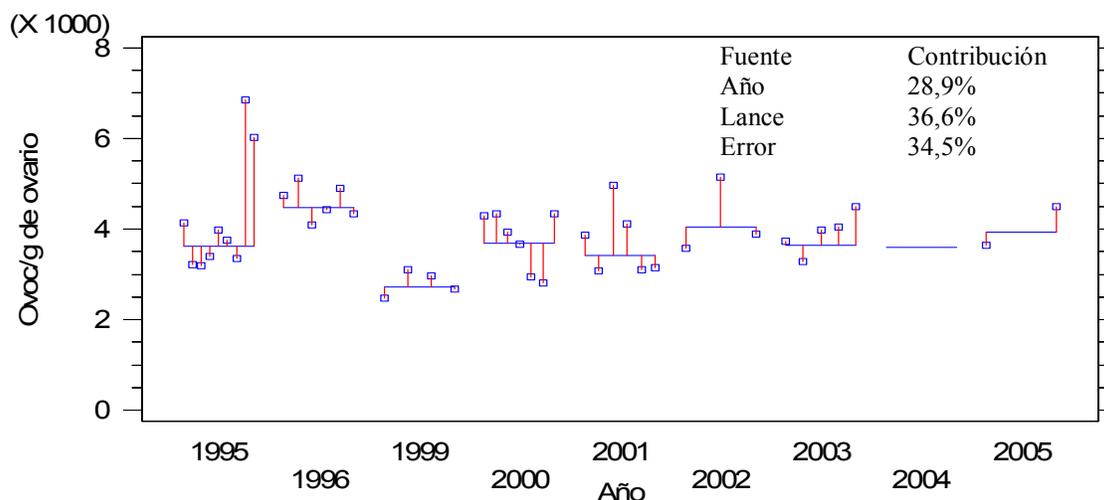


Figura 77: Gráfico de componentes de la varianza al número de ovocitos por gramo de ovario en anchoveta de la zona norte.

Tabla 71: Número de hembras por lance utilizadas para las estimaciones de fecundidad parcial en anchoveta de la zona norte.

LANCE	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	5	9	96	40	12	13	47	96	27
2	1	24	41	23	14	12	2		52
3	33	32	42	3	2	44	12		
4	1	25	8	30	27		24		
5	39	8		9	27		14		
6	17	9		2	51				
7	36			2					
8	24								

3.6.2 Distribución de adultos Zona Norte

El análisis de la distribución de los lances de adultos de los años 2000 al 2006 indica que mayoritariamente estos se han concentrado en el área de Arica y la zona comprendida entre Iquique y Tocopilla, principalmente en torno a la costa (Figura 78). El análisis de los promedios por lance de longitud total de las hembras, indican una tendencia positiva en función de la latitud, que sin embargo no es tan clara con la longitud (Figura 79). Un análisis multivariado para las variables consideradas (Lat., Long. y Año) indica que solamente la Latitud y Año son significativos:

Call:
 glm(formula = LT ~ Lat + Long + Año, family = gaussian(), data = lances.data)
 Deviance Residuals:
 Min 1Q Median 3Q Max
 -1.6221 -0.2391 0.1328 0.3744 1.4313

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	446.216479	33.047073	13.502	<2e-16 ***
Lat	0.218308	0.024731	8.827	<2e-16 ***
Long	0.004645	0.090582	0.051	0.96
Año	-0.217665	0.016050	-13.561	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.3863317)

Null deviance: 252.14 on 396 degrees of freedom
 Residual deviance: 151.83 on 393 degrees of freedom
 AIC: 755.05

Number of Fisher Scoring iterations: 2

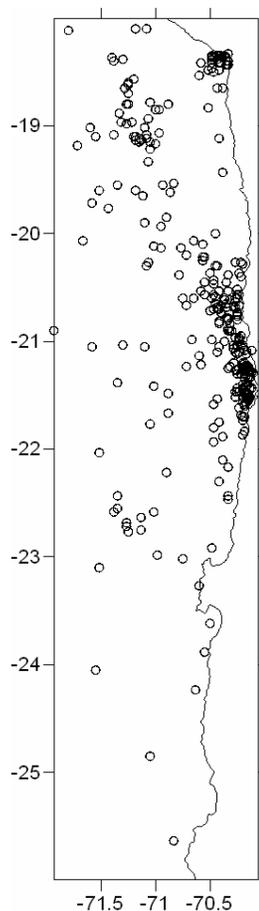


Figura 78: Distribución de los lances de pesca efectuados del año 2000 al 2006 en la zona norte

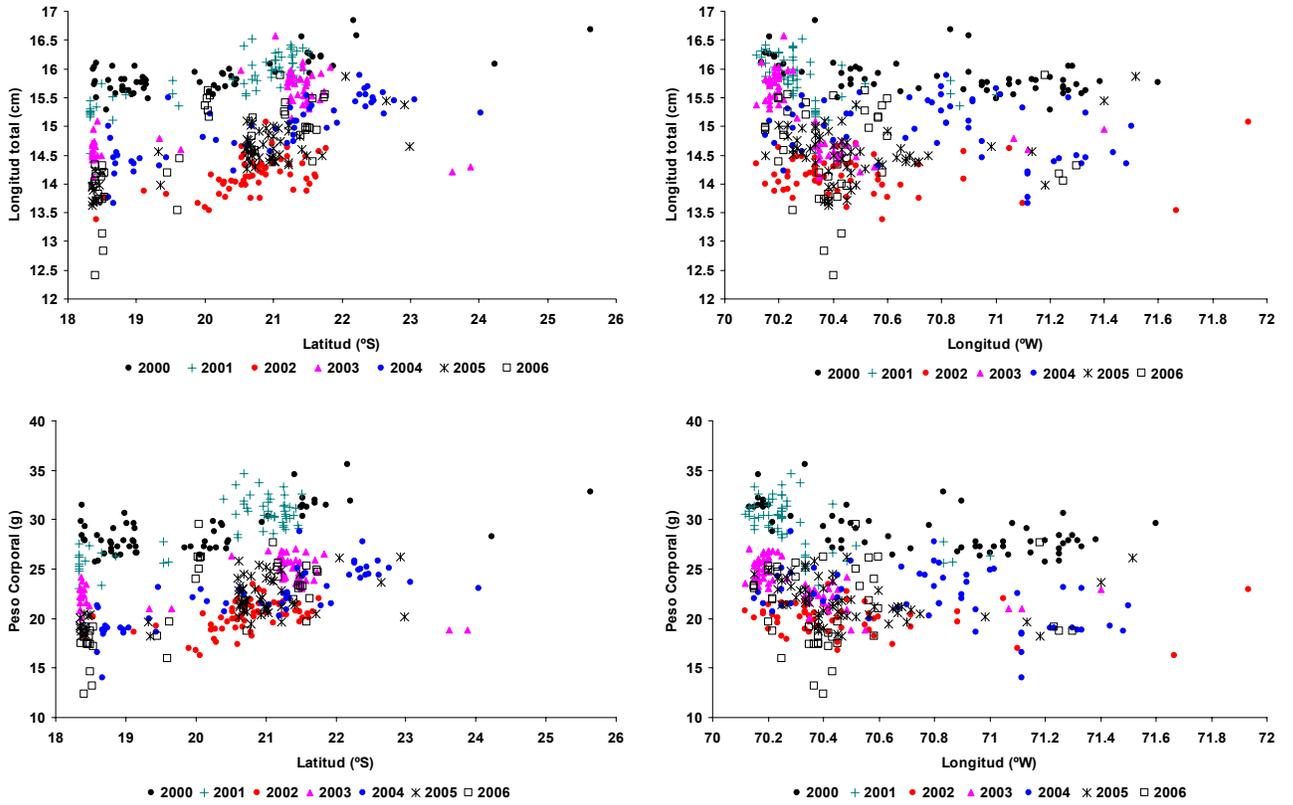


Figura 79: Promedio de los lances efectuados en cada año (2000 al 2006) en función de la Latitud (°S) y Longitud (°W) para Longitud Total (Primer fila) y Peso Corporal (Descontado el peso del ovario).

4. DISCUSION

4.1 Objetivo 1: Determinar y evaluar el diseño de muestreo espacial de la producción de huevos total realizada para los recursos anchoveta y sardina común en sus respectivas unidades de pesquería.

Se recopiló y consolidó los datos e información de los cruceros de huevos realizados en el contexto del Método de Producción Diaria de Huevos, tanto en la zona norte como centro-sur de Chile. La información permitió evaluar el diseño de muestreo espacial de la densidad total de huevos total, principalmente sobre la base del recurso anchoveta en sus respectivas unidades de pesquería, y de las cuales emergen patrones importantes que se deben tener en cuenta al momento de determinar el diseño de muestreo espacial.

La distribución de la densidad de huevos por $0,05 \text{ m}^2$ sigue una distribución binomial negativa con el parámetro de dispersión indicando un alto grado de contagio de los huevos, particularmente en el caso de la sardina común en la zona centro-sur. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el modelo de distribución binomial negativo describe la distribución de la densidad de huevos, y se utiliza aquí con el objeto de determinar el número de ensayos requeridos para lograr un estimador de la media observada, sabiendo a priori que un número dado de estaciones contendrá observaciones positivas. Al respecto, el parámetro K está relacionado directamente con la proporción de estaciones positivas que mide el éxito desde el punto de vista de una distribución binomial. La proporción ponderada de estaciones positivas de anchoveta en la zona norte es de 30,8 %, muy similar a la de la anchoveta de la zona centro-sur (31,8 %), pero muy diferente a la sardina común (14,7 %). En este contexto, los resultados indican que el número de estaciones que han sido realizadas en la zona norte de Chile ha sido mayor que el mínimo requerido, excepto en el año 2001 cuando la proporción de estaciones positivas fue de sólo 11,7 % debido a que la distribución de huevos fue muy contagiosa ($K = 0,018$). En el caso de la anchoveta de la zona centro-sur de Chile, el número de estaciones en el año 2004 y 2005 fue marginalmente más bajo que el mínimo requerido. En cambio, en la sardina común el número de estaciones estuvo siempre por debajo del mínimo requerido.

No obstante lo anterior, el análisis previo está orientado a la inferencia de la densidad media y no toma en cuenta la estructura correlacionada de la densidad de huevos en el espacio. Por lo tanto se debe compatibilizar con el análisis geoestadístico. Al respecto, el análisis geoestadístico convencional está indicando que la intensidad de la autocorrelación espacial varía de una manera similar con la distancia en todas las direcciones, indicando un proceso isotrópico. Según Castillo-Jordán *et al.* (2007), la estructura espacial puede tomar varias formas debido tanto a procesos endógenos (i.e. parches de huevo como una propiedad inherente) como exógenos (i.e., gradientes, transporte, topografía del hábitat físico). Stwartzman *et al.* (1999) indica que el hábitat marino a menudo contiene gradientes direccionales con los cuales los peces podrían estar asociados. Nuestros resultados indican que la distribución de los huevos probablemente no está afectada fuertemente por procesos externos, tales como gradientes, topografía, vientos u otros factores ambientales, ni tampoco probablemente asociados al diseño de muestreo (grilla regular sistemática). En consecuencia, es probable que la estructura espacial se deba a procesos endógenos, tales como patrones de dispersión inherentes, competencia espacial o inhibición espacial, o a clusters o parches de huevos asociados con la distribución de cardúmenes desovantes. Probablemente, como en otros estudios (Barange y Hampton, 1997; Fletcher y Sumner, 1999), la ausencia de anisotropía encontrada en este estudio podría indicar que la distribución de huevos refleja el comportamiento reproductivo de los adultos desovantes.

Si los procesos endógenos están determinando la estructura espacial que emerge en la distribución de huevos de anchoveta y sardina común, entonces el rango de los variogramas podría estar indicando la distancia promedio o tamaño promedio de los cluster o parches de huevos (Fletcher y Sumner, 1999; Castillo-Jordán *et al.*, 2007). En consecuencia, el rango de los variogramas constituye un elemento importante a considerar en el diseño de muestreo ya que mide la distancia autocorrelacionada de la variable de interés. En efecto, uno de los requisitos para hacer inferencia requiere asumir el concepto de estacionaridad. En otras palabras, que los parámetros del proceso como la media y la varianza sean la misma en todas las partes del área de estudio y en todas las direcciones. Esta asunción es equivalente al supuesto de independencia de las observaciones, lo que implica que los datos sigan una distribución conocida y con homocedasticidad. Se debe tener en cuenta que el supuesto de estacionaridad está asociado a las propiedades del proceso, y no a las propiedades de los datos.

En la anchoveta de la zona norte, el rango de los variogramas fluctuó entre 22,2 y 71,6 millas náuticas y presentó una tendencia positiva con la abundancia de huevos. En efecto, la densidad promedio de huevos en 1996 fue de 8,9 huevos/0,05 m² (rango = 25,6 millas náutica), en el 2000 fue de 20,9 huevos/0,05 m² (rango = 22,2 millas náuticas), en el 2002 fue de 31,1 huevos/0,05 m² (rango = 71,6 millas náuticas), y en el 2005 fue de 25,9 huevos/0,05 m² (rango = 68,7 millas náuticas). En otras palabras, podría existir un efecto denso-dependiente en la estructura espacial del desove de anchoveta en la zona norte, el que se traduce en un rango más pequeño cuando la densidad promedio de huevos es baja y un rango mayor cuando la densidad de huevos es alta. Esto implica que en una condición de baja abundancia el tamaño de la agregaciones o la distancia promedio entre cluster o parches de huevos es menor, probablemente asociado al muestreo de unas pocas agregaciones distribuidas en el área de estudio. En cambio, en una condición de más alta abundancia el rango de los variogramas podría incrementarse debido a la mayor cantidad de agregaciones de huevos en el área de estudio (mayor uso del espacio). Nuestros resultados son consistentes con lo comunicado por Barange *et al.* (2005), quienes encontraron cambios denso-dependientes en los patrones de agregación de adultos de sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis encrasicolus*) en el sistema de Benguela. El rango de los variogramas fluctuó entre 9,7 y 6.1 millas náuticas en un año de baja abundancia y entre 30,5 y 36,6 millas náuticas en un año de alta abundancia. Somarakis *et al* (2004) también encuentra una fuerte relación entre el tamaño del stock desovante y el área de desove en anchovetas del mediterráneo, señalando que esto implicaría un uso denso dependiente del hábitat de desove por la anchoveta.

En la anchoveta de la zona centro-sur, el rango de los variogramas varió entre 4,1 y 29,7 millas náuticas y, al contrario de la anchoveta de la zona norte, hubo una tendencia a variar en forma inversa con la densidad promedio de huevos. En efecto, la densidad promedio de huevos en el 2002 fue de 6,1 huevo/0,05 m² (rango = 29,7 millas náuticas), en el 2003 de 25,3 huevos/0,05 m² (rango = 4,1 millas náuticas), en el 2004 de 12,3 huevos/0,05 m² (rango = 10,2 millas náuticas), y en el 2005 de 23,1 huevos/0,05 m² (rango = 12,2 millas náuticas). En este caso, el mecanismo denso-dependiente opera en forma inversa sobre la estructura espacial del desove de la anchoveta en la zona centro-sur. En otras palabras, cuando la abundancia de huevos es alta el tamaño o la distancia promedio entre cluster o parches de huevo tiende a ser menor. Asimismo, el rango de la anchoveta

de la zona centro-sur es mucho menor que el calculado para la anchoveta de la zona norte. La estructura espacial diferente de la anchoveta en la zona centro-sur puede ser consecuencia de las limitaciones que impone desovar sobre la plataforma y las características de la topografía costera. Estos resultados son concordantes con lo encontrado por Giannoulaki *et al.* (2006), quienes demuestran los efectos significativos de la topografía costera sobre la estructura espacial de las agregaciones de anchoveta y sardina, afectando la forma en que estas especies se organizan en cardúmenes. A su vez, Mello y Rose (2005) encontró diferencias en la distribución de Bay cod (*Gadus morhua*) entre los sectores internos y externos de la Bahía Placentia, donde los variogramas al interior de la bahía presentó una tendencia a tener rangos más pequeños que fuera de la bahía.

En el caso de la sardina común, el rango de los variogramas fluctuó entre 16,0 y 17,6 millas náuticas para el 2002 y 2005, respectivamente. En esos años, la densidad promedio de huevos fue de 9,4 y 10,3 huevos/0,05 m². Aunque para el 2005 el análisis se realizó para el sector sur del área de estudio, la similitud del rango del variograma podría estar asociada a niveles de abundancia similar. No obstante, al considerar que la sardina co-ocurre con la anchoveta en el mismo hábitat reproductivo, se podría pensar en una estrategia similar a la de la anchoveta en términos de la estructura espacial del desove (Castillo-Jordán *et al.*, 2007).

Los rangos de los variogramas encontrados son similares a las de otros pelágicos pequeños de áreas de surgencia. Por ejemplo, Lo *et al.* (2001) encontraron un rango de 22 km (12 millas náuticas) para la sardina (*Sardinops sagax*) frente a California. Fletcher y Sumner (1999) estimó un tamaño de parche entre 8 y 10 millas náuticas para huevos de día 1 de sardina (*Sardinops sagax*) frente a la costa occidental de Australia. Barange y Hampton (1997) encontró un tamaño de parche menor a 10 millas náuticas frente a Sur Africa sobre la base de datos acústicos, mientras que Barange *et al.* (2005) encontró un rango de entre 30,5 y 36,6 millas náuticas para un periodo de alta abundancia de sardina y anchoveta en el sur del sistema de corrientes de Benguela.

Desde el punto de vista del diseño de los cruceros, se puede plantear que después de 22 millas náuticas la densidad de huevos de anchoveta en la zona norte no debería estar correlacionada en un periodo de baja abundancia, y del orden de 69-70 millas náuticas en periodos de alta abundancia. El diseño de crucero actual consiste de una grilla regular donde las estaciones están dispuestas en el

eje Este-Oeste cada 5 millas náuticas y en el eje Norte-Sur por transectas separadas cada 10 millas náuticas. Claramente, como el intervalo de muestreo actual es más pequeño que la distancia entre cluster o tamaño del cluster de huevos, se está muestreando parches de huevos más de una vez. Aunque con propósitos de inferencia estadística se requiere que las muestras sean independientes, un diseño de muestreo con estaciones o distancia entre transectas más separadas no sería recomendable considerando la baja proporción de estaciones positivas (ca. 30 %) ya que podría influir en una pérdida de precisión en las estimaciones de la producción diaria de huevos.

En el caso de la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur, cuando la abundancia es alta la densidad de huevos no debería estar correlacionada después de 5-10 millas náuticas. El diseño de muestreo actual considera estaciones separadas cada 4 millas náuticas y distancia entre transectas de 8 millas náuticas. Este diseño está en el límite de la distancia entre cluster de huevos o tamaño promedio de parches, y podría ser satisfactorio para cumplir con el supuesto de estacionaridad requerida para inferencia estadística. No obstante, debido a que los huevos de sardina presentan un mayor grado de contagio determinando una baja proporción de estaciones positivas (ca. 14%), sería recomendable reducir ligeramente la distancia entre transectas tal vez a 5 millas náuticas. En efecto, en la zona centro-sur tanto la sardina común como la anchoveta presentan una distribución costera y asociada a la configuración de la plataforma continental. En otras palabras, el hábitat reproductivo está limitado por la topografía costera existiendo una persistencia temporal de los lugares de desove. En este contexto, cuando la abundancia de estas especies es alta, procesos endógenos asociados a una inhibición espacial (competencia) determinarían parches de huevo o cluster más cercanos entre sí probablemente incrementando la presencia de núcleos de alta densidad (“hotspot”). Al contrario, cuando la abundancia es baja, los parches o cluster de huevos tendrían una mayor extensión espacial. Por lo tanto, con el objeto de asegurar el muestreo de huevos bajo una condición altamente contagiosa es preferible reducir ligeramente la distancia entre transectas de la grilla de muestreo actual.

Finalmente, se debe recordar que el análisis geoestadístico convencional utiliza todas las observaciones, incluidas las observaciones nulas donde no hubo huevos, y por lo tanto asume una distribución libre (distribution-free). En este contexto, la producción total de huevos (y varianza) resulta de kriging y por lo tanto es dependiente de la definición del área de estudio. Al aplicar

geoestadística paramétrica, la densidad media es independiente del área y sólo toma en cuenta las observaciones positivas que es equivalente a considerar aquellas localidades en la que existe presencia de huevos. La ventaja de esta aproximación es la independencia del área de estudio y del (los) polígono(s). Por lo tanto, en las simulaciones del proceso espacial y de la densidad media de huevos, el valor de la producción total de huevos no se determina a priori y permite estudiar diseños de muestreo. Para la anchoveta, el rango del variograma fue de 15,2 millas náuticas en la zona norte y de 2,8 millas náuticas en la zona centro-sur. En el primer caso ligeramente mayor que la distancia entre transectas y en la zona-sur ligeramente inferior (año 2002, se usó 5 millas entre transectas). La simulación del muestreo sistemático actual, indican que este diseño podría producir un sesgo negativo que en la zona norte sería del orden de 90%, y de 72% en la zona centro-sur. En este contexto, el diseño de muestreo actual es satisfactorio en el caso de la zona norte, pero en la zona centro-sur de Chile se requiere disminuir la distancia entre transectas con el objeto de incrementar la probabilidad de encontrar los parches de huevos, sabiendo a priori que dichas observaciones podrían estar correlacionadas.

Un aspecto que merece atención es que en la zona norte las áreas de desove no han sido cubiertas totalmente en dirección costa océano en algunos años, indicando una extensión más allá de las 60 mn. En casos en que existen grandes variaciones interanuales en las áreas de desove, no se puede realizar una adecuada delimitación del área a cubrir con el crucero basado en un conocimiento a priori, requiriendo algún tipo de decisiones adaptativas durante el transcurso del crucero (Stratoudakis *et al*, 2006). Lamentablemente, la aplicación de esquemas de muestreo adaptativo requiere necesariamente del uso de óptimas plataformas de trabajo que permitan el uso de instrumental (e.g. CUFES, lupas estereoscópicas), para ir analizando las muestras a bordo y cuantificar el número de huevos en las estaciones. Mientras no se tenga embarcaciones científicas que permitan este trabajo a bordo, no se podrán aplicar estas técnicas de muestreo. Por lo que podría ser recomendable ampliar hacia el océano la grilla de muestreo en la zona norte, manteniendo el número de estaciones.

4.2 Objetivo 2: Establecer y evaluar modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el procedimiento de asignación de edad en términos probabilísticas.

En relación con los modelos de desarrollo estadio-temperatura dependientes, se ha logrado un avance significativo en términos de lograr modelos que reflejen de mejor manera la asignación de edad a los huevos colectados en el mar, particularmente en anchoveta tanto en la zona norte como centro-sur. Lamentablemente, no fue posible actualizar un modelo para el caso de la sardina común, principalmente porque no se encontró huevos de la especie en el plancton. Probablemente, el pico de desove de esta especie habría sido en agosto-septiembre de 2006, un mes antes que el inicio de la ejecución del proyecto. No obstante, se recopiló los datos generados por Sepúlveda *et al.* (2000) en el marco del proyecto FIP 97-04, a partir de los cuales se aplicó las tres metodologías actuales que permiten establecer modelos en el ámbito del método de la producción diaria de huevos; a saber: a) Modelo de Lo, que representa una función paramétrica del tiempo promedio de desarrollo en función de la temperatura y estadio de desarrollo (Lo, 1985); b) Modelo de Lo generalizado, que utiliza un modelo GAM para representar el tiempo promedio de desarrollo como una función bi-variada de la temperatura y el estadio de desarrollo (M. Bernal, com. pers.); y c) Modelo multinomial, que utiliza la proporción de los estadios de desarrollo en función del tiempo y la temperatura (Bernal *et al.*, 2001; Ibaibarriaga *et al.*, 2007).

Los nuevos modelos de asignación de edad, son función del pico de desove dentro del día. En todas las aplicaciones previas se ha asumido que el pico de desove ocurre a las 22:00 hrs tanto para anchoveta como para sardina común. Los resultados de anchoveta en la zona norte indican que el pico de desove ocurre a las 23:00 horas con una desviación estándar de 1,5 horas, lo que significa que el desove comenzaría a las 20:00 horas y terminaría a las 2:00.

No se encontraron diferencias en las tasas de desarrollo de huevos de anchoveta en función de la temperatura entre la zona norte y zona centro-sur, por lo que a una misma temperatura huevos provenientes de ambas zona eclosionarían a la misma edad. Aún cuando existieron diferencias entre los intervalos de observaciones del cambio de estadio entre la zona norte y sur, estos fueron menores a la duración del estadio de acuerdo a la temperatura, por lo que esta diferencia no debiera tener impacto significativo. Por otro lado, nuestros resultados concuerdan con lo planteado por

Tarifeño *et al* (en prensa), quienes no encontraron diferencias significativas en las relaciones tiempo de desarrollo-temperatura en diferentes localidades a lo largo de Chile (Antofagasta y Talcahuano), señalando que esto sugeriría que los procesos biológicos que guían los tiempos de incubación, tanto al incremento o decremento de la temperatura, operan de forma similar en ambas poblaciones. La homogeneidad en los tiempos de a la eclosión se observan en Figura 80 (Valores tomados de Tarifeño *et al* (op. cit)), en donde no se encuentran diferencias entre localidades y entre años. No obstante, Tarifeño *et al.* (op cit) encontraron diferentes óptimos de temperatura en términos del coeficiente fisiológico Q_{10} para el tiempo de desarrollo, encontrándose que el rango óptimo fue de 12 -15 °C para Talcahuano y de 15-18°C para Antofagasta. Otro factor que se debe tener en cuenta es la diferencia latitudinal en el tamaño de los huevos de anchoveta, siendo de menor tamaño en la zona norte y más grandes en Talcahuano (Llanos-Rivera y Castro, 2004). Este factor podría compensar el tiempo de desarrollo, ya que se ha encontrado que cuando el tamaño de los huevos es mayor, el tiempo de desarrollo disminuye durante la fase embrionaria (Pauly y Pullin, 1988).

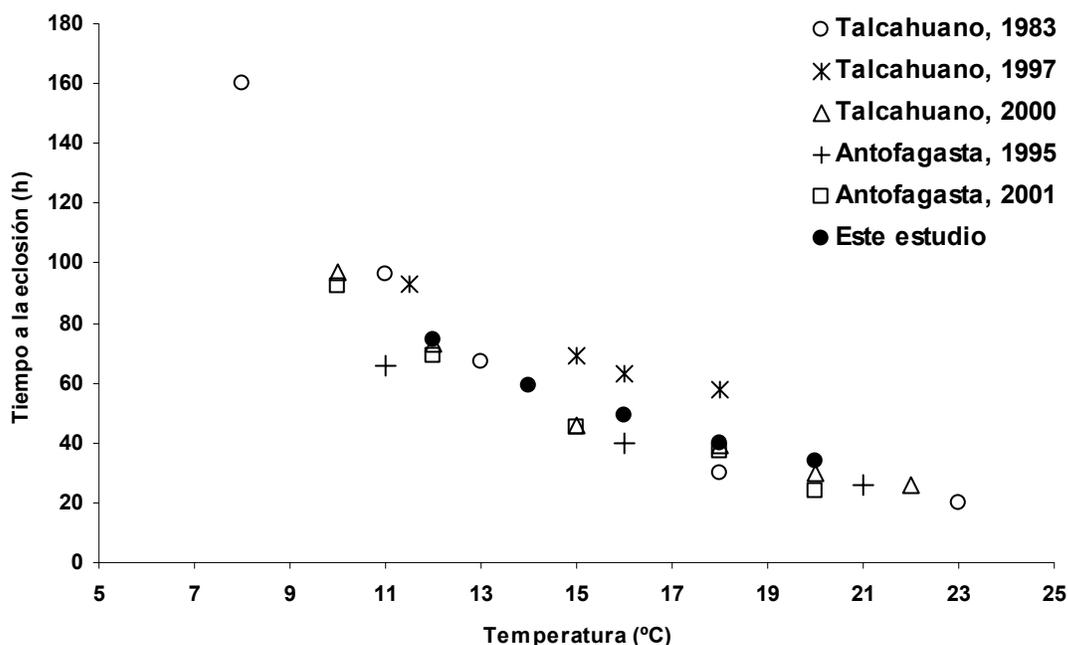


Figura 80: Tiempo a la eclosión para distintos estudios llevados a cabo en anchoveta (Valores tomados de Tarifeño *et al.* En prensa), excepto este estudio.

El modelo temperatura dependiente ajustado a anchoveta en este estudio predice un desarrollo de huevos más rápido, especialmente a bajas temperaturas, que el que se estaba usando regularmente en aplicaciones del MPDH, que correspondía al modelo ajustado a *E. mordax* por Lo (1985). Lo que se contradice con lo que reporta Escribano *et al* (1996), quien encuentra un desarrollo más rápido en *E. mordax*. Lo cual podría ser explicado por diferencias en el estadio de inicio de los experimentos, ya que Escribano (op. cit) comienza desde el estadio V y por tanto sus edades son relativas, a diferencia de los datos utilizados en este estudio que corresponden a edades absolutas (“Verdadero cero”).

El modelo tradicional de Lo (1985), ya sea por ajuste no lineal o GAM, asume que las variables independientes son el estadio y la temperatura, mediante los cuales es posible estimar la edad. Sin embargo, en los experimentos de incubación la edad es definida por el investigador, es decir, se considera como edad al lapso de tiempo transcurrido entre las observaciones de los huevos en los baños termoregulados y el estadio es la variable aleatoria observada. Por tanto, seleccionar a la edad como la variable aleatoria independientes es errado, lo que hace que las significancias estadísticas del ajuste no tengan significado (Bernal *et al*. En prensa). En el modelo multinomial la edad y la temperatura se tratan como variables independientes y el estadio como variables dependiente discreta. Tanto la edad media y la duración del estadio para una temperatura dada puede ser extraída del modelo, así como la precisión de la edad a un estadio dado (Bernal *et al*, en prensa). Por otro lado, el modelo de Lo (1985) tiende a predecir similar duración de los estadios a una misma temperatura, en circunstancias que el estadio es una variable ordinal cuyos límites son fijados en forma arbitraria por el investigador (i.e Escala de Moser y Ahlstrom, 1985). Es así, que el Modelo Multinomial incorpora ventajas estadísticas y biológicas, al interpretar adecuadamente la información de entrada y el proceso de desarrollo de los huevos. Desde el punto de vista de la datación de huevos colectados en el plancton (determinación de la edad), los modelos multinomiales comunicados en este estudio constituyen una de las mejoras más relevante en el ámbito del Método de Producción Diaria de Huevos aplicado a pelágicos pequeños en Chile. En efecto, desde el punto de vista estadístico, los huevos cuantificados y clasificados en diferentes estadios de desarrollo (proceso de discretización de la embriogénesis) constituyen el dato básico y debe necesariamente ser contrastado con un modelo que sea capaz de evaluar la probabilidad de observar un estadio a una edad y temperatura dada, i.e. $p(s) = f(a,t)$. En el caso del modelo de Lo

(1985), la datación implica estimar la edad media a partir de un modelo de desarrollo estadio-temperatura dependiente (transformación de datos). Sin embargo, el modelo de Lo (1985) describe la duración de un estadio como el cuantil 95% de la distribución muestreada de la edad para un estadio dado, ponderando por la proporción de huevos en dicho estadio específico. El rango de edades puede sobreponerse con otro estadio bajo esta definición (ver Ibañeta *et al.*, 2007). Por ende, el modelo multinomial constituye una mejor aproximación ya que contrasta directamente la proporción observada de un estadio con la estimada, a una edad dada que se establece entre la hora de colecta y el pico de desove.

El Modelo Multinomial presenta un buen ajuste a los datos de incubación de anchoveta, indicando que el estadio 4 es de menor duración que los estadios continuos. A su vez predice que los últimos tres estadios (9, 10 y 11) son muy rápidos. Lo que explica el que estos estadios tengan una baja probabilidad de ser colectados en los cruceros.

Se debe tener presente la diferencia entre el modelo de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el proceso de datación. El procedimiento automatizado de Lo (1985) utiliza la desviación estándar (i.e $2 \cdot DS$) para subir o bajar una edad dependiendo de la diferencia entre la hora de colecta y el pico de desove. El uso de $\pm 2 \cdot ds$ es arbitrario e implica asumir que las edades a cualquier estadio son normalmente distribuidas alrededor de la edad media. En cambio, en el modelo multinomial se asume que el proceso de desove es sincrónico, el cual está definido por el pico de desove (tiempo de desove) y la desviación estándar (extensión del periodo de desove dentro de un día). En este contexto, el tiempo es continuo y los criterios de corte de edades dentro del pico de desove y de las edades cercanas a la eclosión son definidos más naturalmente en el cálculo de la producción diaria de huevos. En la anchoveta y sardina común se acordó evitar utilizar edades menores a 4 horas después del pico de desove (2 veces la desviación estándar alrededor del pico de desove), ya que dentro de la extensión del desove se estaría muestreando huevos que aún se están produciendo y por lo tanto son observados con una menor abundancia en el plancton. También se efectuó un corte a las edades que sean iguales o mayores al 95% de la edad de eclosión a la temperatura de la estación, ya que se supone que estarían submuestreados debido a una importante fracción de huevos que ha eclosionado. No se efectúa un corte superior a una edad fija, ya que se estaría dejando mayor información de las estaciones más cálidas con una edad de eclosión más

temprana. El proceso de desove, quedó definido por: 23 horas para anchoveta en la zona norte con una desviación estándar de 1,5 horas, 24 horas para la anchoveta en la zona centro-sur, 23 horas para la sardina común y con una desviación estándar de 2. Estos criterios se basan en la frecuencia de la abundancia relativa del estadio I en función de la hora de colecta.

Los datos experimentales de anchoveta y sardina común, y los modelos de desarrollo estadio-temperatura dependientes ajustados (Modelo de Lo), permitieron simular datos de incubaciones para contar con datos desde el estadio I en adelante ya que los experimentos se realizaron a partir de huevos colectados en el plancton. Los resultados de las simulaciones fueron satisfactorios y no fueron estadísticamente diferentes de los modelos originales. En este contexto, el modelo multinomial que se ajustó a dichos datos se debe considerar como una extrapolación más bien que basado en datos originales. Una alternativa es ajustar el modelo a un conjunto de datos combinados, i.e. los datos experimentales más los datos simulados para los estadios I y II. No obstante, tal modelo podría no ser necesario ya que las diferencias en la datación de huevos colectados en el plancton arrojó resultados bastante consistentes en la estimación de la producción diaria de huevos, diferenciándose más bien en el tratamiento de los cortes de edades por cercanía al pico de desove y por eclosión de los huevos.

Re-estimación de la Producción diaria de huevos

La re-estimación de la producción diaria de huevos con los procedimientos metodológicos aquí desarrollados constituyen otra de las mejoras para la aplicación del MPDH en Chile. Los resultados mostraron ser consistentes, dentro del orden de magnitud de los valores, y las diferencias se deben básicamente a las diferencias en el proceso de datación. Por ejemplo, el procedimiento automatizado de Lo asume cortes arbitrarios que permiten subir o bajar una cierta edad. El modelo de Lo generalizado (GAM) podría afectar la datación si la temperatura observada cae por fuera del rango de temperaturas que se utilizaron en las incubaciones, ya que el modelo GAM es básicamente una superficie descrita por los límites de los datos de incubaciones al extrapolar por fuera de dichos límites el comportamiento de dicha superficie podría ser diferente.

La aplicación convencional de estimación de P_0 y Z por mínimos cuadrados debe ser evitada en futuras aplicaciones, sean éstas ponderadas o no por el inverso de la varianza. En efecto, modelos lineales generalizados proveen una forma de ajustar la curva de mortalidad usada para estimar P_0 de una forma más exacta, y mucho menos compleja que las alternativas que se han usado sobre la base de mínimos cuadrados no lineal. La complejidad de tales alternativas básicamente recae en los criterios para ponderar la influencia de abundancias excesivamente altas (i.e., suma de cuadrados ponderada por el inverso de la varianza, clasificación de cohortes cada medio día), como también la influencia del área representada por la estación muestreada.

Los GLM (generalized linear models) tienen la ventaja de elegir la estructura de error a partir de la familia exponencial, la cual incluye poisson, binomial negativa y gaussiana, o puede describir directamente en términos de la relación entre la media y la varianza de los datos. En nuestra aplicación, se utilizó una estructura de error descrita por la función de probabilidad binomial negativa. Usualmente la variabilidad de la distribución de la edad de huevos se incrementa con la densidad, y esto influye fuertemente en el valor esperado y error estándar de la producción de huevos que constituye el estimado de interés. En estos casos, la distribución binomial negativa en la cual la relación entre la media y la varianza se establece a través del parámetro de dispersión, puede aplicarse a una gran variedad de casos de variabilidad en función de la edad.

La datación convencional de huevos con el procedimiento automatizado de Lo (1985), presenta como desventaja la utilización de cortes arbitrarios en la curva de mortalidad, los que deben ser acordados según sea el caso. En este estudio, se acordó descartar las edades menores a 4 horas para evitar el reclutamiento incompleto y/o asociado a la baja representatividad de la densidad de la cohorte de huevo que ha sido muestreada cerca del pico de desove. En cambio, para el criterio del corte de las edades cercanas a la eclosión se utilizó el retener todas las edades menores al 95% de la edad de eclosión en cada estación. Una alternativa, utilizada en California, es cortar todas las edades mayores a una cierta edad. Sin embargo, este criterio tiene la desventaja de dejar edades a la eclosión cuando la temperatura es muy alta (rápido desarrollo) y podría no cumplir necesariamente el objetivo que se persigue. De acuerdo con la discusión realizada en los talleres de discusión, los cortes acordados serían la óptima solución. La desventaja, en el marco del trabajo en R, es que se calculó la edad a la eclosión con el modelo multinomial para después descartar las edades mayores

al 95% de la edad de eclosión y que fueron calculadas con el método convencional. En consecuencia, se está utilizando dos enfoques de datación diferentes, que podrían afectar sin duda la estimación de P_0 y Z .

La datación utilizando el modelo generalizado de Lo (GAM) presenta el inconveniente de que el ajuste GAM a los datos de incubación está representando una superficie que es válida para el rango de temperaturas experimentales. Si en los datos de terreno las temperaturas caen por fuera de dichos rangos ($10 < T < 16$ °C en la zona sur, $12 < T < 18$ °C en la zona norte), se estaría obligando al modelo a interpolar fuera de los rangos de ajuste donde el comportamiento de la superficie podría ser diferente. Aunque el modelo es flexible y podría estimar mejor la edad promedio esperada a una cierta combinación de hora de colecta y temperatura, se recomienda no utilizar este procedimiento en la estimación de P_0 y Z , ya que podría generar una datación errónea cuando por ejemplo el hábitat de desove sea afectado por eventos fríos o cálidos (particularmente en la zona norte de Chile). Por otro lado, el ajuste del modelo de Lo (1985) mediante GAM no produjo resultados satisfactorios a anchoveta de la zona norte, ya que predice similares edades a distintas temperaturas, lo que no interpreta adecuadamente el proceso biológico.

La datación con el modelo multinomial generó en promedio, estimados más conservativos de P_0 que los métodos convencionales, y en algunos resultados se encontró tasas de mortalidad total de huevos positivas o negativas, pero no significativas. En estos casos los resultados se deben básicamente a que la información retenida para el cálculo de P_0 y Z (después de los cortes), no es informativa y básicamente implica que la mortalidad de los huevos es más bien nula (no es estadísticamente diferente de cero). En estos casos, la producción diaria de huevos sería equivalente al promedio de la densidad total de huevos. Una alternativa para subsanar tales estimaciones, sería utilizar una tasa de mortalidad previa basada en la experiencia, y estimar solamente la producción diaria de huevos. Estos casos deben ser evaluados al momento de realizar la estimación, y deben ser claramente establecidos. Se destaca que ello no implica que un modelo sea peor o mejor pues el problema básicamente reside en los datos colectados, y por ende, habrá que buscar las explicaciones en los datos (e.g. si son o no informativos del proceso de producción constante de huevos durante la estación reproductiva). Otra alternativa que se ha aplicado (Lo *et al*, 2001; Somarakis *et al*, 2002), es incorporar la abundancia de larvas con saco vitelino, de forma de

“anclar” la curva de producción hacia las edades mayores, con lo que se podría evitar el problema de pendientes no significativas e incluso positivas. Por lo que se recomienda en futuras aplicaciones del MPDH en Chile, cuantificar la presencia de larvas con saco vitelino en las muestras.

De acuerdo a lo expuesto, la estimación de P_0 y Z sobre la base de las dataciones con el procedimiento de Lo (convencional) y con el método multinomial son más recomendables. La primera en términos de seguir evaluando la biomasa desovante en forma tradicional, y la segunda porque el procedimiento relaciona en forma correcta los datos observados con el modelo, desde el punto de vista estadístico. Ambos procedimientos deberían basarse en la estimación de P_0 y Z con GLM y familia binomial negativa.

Estimación de la biomasa desovante

Zona Norte

Las estimaciones de biomasa (Tabla 34) por los métodos que se consideran más robustos, esto es el ajuste del método tradicional de datación, pero con ajuste por GLM y el Modelo Multinomial, indican una tendencia ascendente en las biomásas (Figura 81), cuyas fluctuaciones siguen mayoritariamente las expansiones y contracciones que se han estimado en el área de desove, especialmente por el Modelo Multinomial. Esto puede corresponder a algún proceso biológico detrás, en el sentido de un uso densodependiente del hábitat de desove por parte de la anchoveta, en el sentido de aumentar su cobertura geográfica en períodos de alta abundancia y viceversa, lo que es concordante con los resultados de geoestadística en este estudio. Sin embargo, se debe tomar con precaución ya que en la zona norte el área total cubierta por los cruceros ha tenido una tendencia ascendente debido a que las áreas de desove no han sido cubiertas totalmente en sentido costa-océano.

Las variaciones en las biomásas no son explicadas por la fecundidad específica (Capacidad de producción de huevos por gramo de adultos y por día) (Figura 82), es decir los parámetros de los

adultos presentan una baja variabilidad interanual, especialmente los últimos años, lo que se explicaría por estar situado el crucero de evaluación en el pico reproductivo.

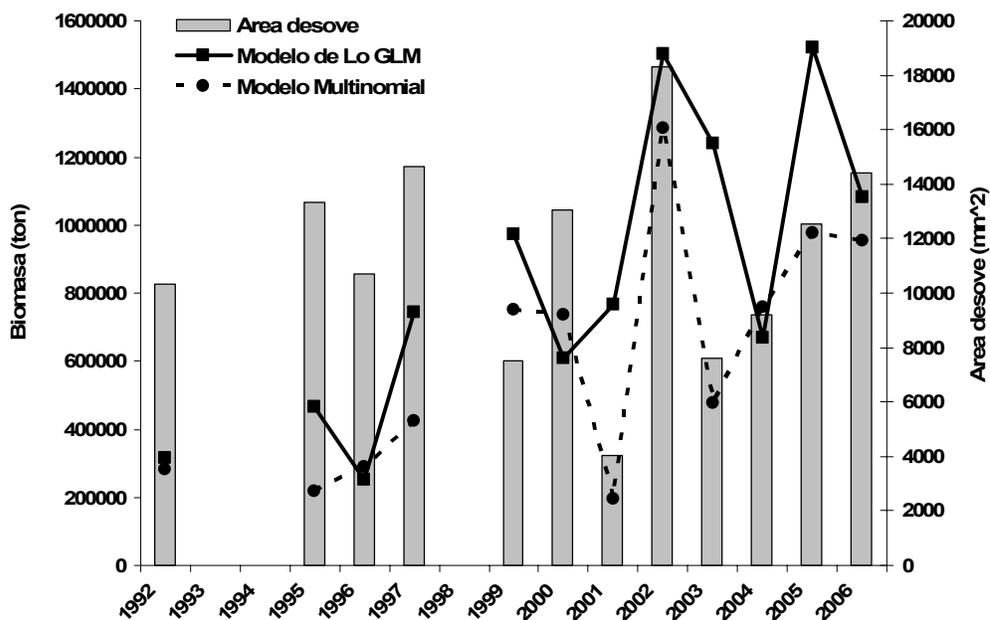


Figura 81: Biomاسas estimadas por dos modelos de estimación de la producción diaria de huevos (Líneas) y el área de desove (Barras) estimada en cada año de aplicación para anchoveta de la zona norte

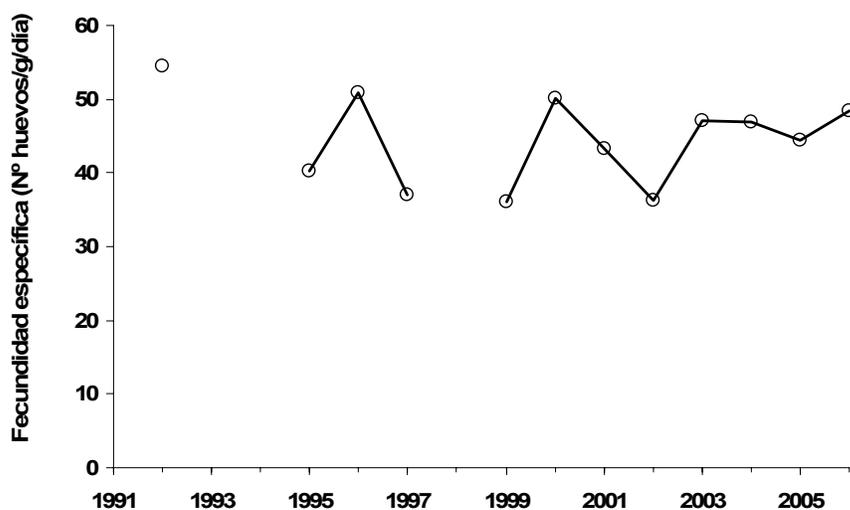


Figura 82: Fecundidad específica diaria en cada año de aplicación en anchoveta de la zona norte.

Zona Centro-Sur

De acuerdo con Cubillos *et al.* (2007), los atributos de la fracción adulta desovante así como los patrones de distribución del desove son diferentes entre la zona centro (34°20'S-37°10'S) y la zona sur (37°20'S-40°S). En este contexto, la evaluación del stock desovante por el MPDH debe ser estratificado. En efecto, el modelo de producción de huevos asume que los parámetros son constantes (P_0 y Z) sobre todo el rango de distribución de del desove. Si este supuesto es violado, el crucero debe ser dividido en regiones o tiempos en los que los parámetros se suponen constantes (Picquelle y Stauffer, 1985; Somarakis *et al.*, 2002). La biomasa es entonces estimada separadamente para cada estrato geográfico y posteriormente sumada para producir la biomasa total, asimismo la varianza total es la suma de las varianzas regionales. Esta aproximación es la que se recomienda en este estudio para el caso de la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur de Chile.

Al respecto, una comparación entre la biomasa estimada sobre la base de P_0 estimado con la datación convencional de L_0 y con la datación basada en el modelo multinomial se comparan en la Tabla 72. Se observa que la biomasa desovante de anchoveta exhibe una tendencia creciente desde el 2002 al 2005, ocurriendo lo contrario en el caso de la sardina común. En esta última especie, la biomasa desovante del 2004 y 2005 fueron muy bajas con una probable subestimación. No obstante, en esos años la estimación de la biomasa total por acústica fue también baja, del orden de 350 mil ton en el 2004 y cerca de 400 mil toneladas en el 2005 (Tabla 73). Estas últimas evaluaciones contienen una gran proporción de reclutas, cercana al 87,3% en el 2004 (306 mil ton) y de 21 % en el 2005 (84 mil ton). Es decir, cerca de 44 y 316 mil ton de adultos en el 2004 y 2005, respectivamente. Por otro lado, la pesca se concentra en el primer semestre de cada año, representando cerca del 70-80% de la captura anual, por lo tanto la abundancia que sobrevive a la pesca pudo haber determinado que la biomasa desovante haya sido particularmente baja en esos años.

Tabla 72: Comparación de la biomasa desovante de anchoveta y sardina común según dos métodos de datación para estimar la Producción diaria de huevos

a) Anchoveta

Años	B	Modelo de Lo para P ₀		
		Var	STD	CV
2002	112323	1.050E+09	32407	28.9
2004	153150	3.177E+09	56369	36.8
2005	721440	1.106E+11	332600	46.1
Modelo Multinomial				
	B	Var	STD	CV
2002	153570	1.464E+09	38265	24.9
2004	179761	3.804E+09	61679	34.3
2005	569259	7.735E+10	278113	48.9

b) Sardina común:

Años	B	Modelo de Lo para P ₀		
		Var	STD	CV
2002	498337	83884387977	289628	58.1
2004	4901	7897187	2810	57.3
2005	129587	6906617229	83106	64.1
Modelo Multinomial				
	B	Var	STD	CV
2002	556400	1.220926E+11	349417	62.8
2004	4247	7.463829E+06	2732	64.3
2005	47444	721151098	26854	56.6

Tabla 73: Evaluación acústica de la biomasa de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile (1999-2006). Los valores se refieren a la estimación con geostatística, indicándose el coeficiente de variación (CV).

Año	Fecha	Latitud	Anchoveta		Sardina común		Fuente
			Biomasa (ton)	CV	Biomasa (ton)	CV	
1999	2 - 21 Dic.	34°S-40°15'S	344.659	0.400	227.397	0.180	Castillo <i>et al.</i> (2000)
2001	3 - 23 Enero	34°S-40°S	450.818	0.130	601.373	0.137	Castillo <i>et al.</i> (2001)
2001	22 Ago - 18 Sep	34°S-40°S	584.862	0.046	271.393	0.147	Castillo <i>et al.</i> (2002a)
2002	7 - 26 Enero	34°S-40°S	1.513.007	0.052	884.269	0.136	Castillo <i>et al.</i> (2002b)
2003	6 - 30 Enero	33°50'S-41°S	243.556	0.110	481.605	0.093	Castillo <i>et al.</i> (2003)
2004	5 - 27 Enero	33°50'S-40°S	1.244.560	0.090	350.994	0.066	Castillo <i>et al.</i> (2004)
2005	4 - 28 Enero	33°50'S-40°S	909.664	0.093	399.936	0.109	Castillo <i>et al.</i> (2005)

4.3 Objetivo 3: Establecer criterios morfohistológicos de la tasa de degeneración de los folículos post-ovulatorios y el procedimiento de asignación de edad para la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes.

Anchoveta:

Debe considerarse que los trabajos que describen el FPO han asumido el proceso degenerativo de éste, de manera similar a como describe Hunter y Macewicz, (1985) en *Engraulis mordax*, que lo establece a partir de las 12 horas posdesove, en el denominado FPO de un día, situación que es consistente con lo descrito en este trabajo, aunque particularmente en esta investigación el grado de deterioro que considera el FPO de un día, altamente saludable, se estableció a partir de vesículas citoplasmáticas de tamaño igual al del núcleo celular.

Se pudo apreciar que la forma estrellada típica del FPO nuevo aun es claramente reconocible en folículos de 25 horas de edad, aunque estos manifiestan una reducción en el diámetro del lumen que albergan, cuya pared si manifiesta las características degenerativas establecidas como habituales para los folículos postovulatorios de la especie en estudio, es decir vacuolas grandes, núcleos picnóticos e inicio de la separación de la envoltura tecal por la penetración de vasos capilares o células sanguíneas.

La picnosis que histológicamente se reconoce por una intensa condensación nuclear con densidad óptica aumentada, es un signo directo de la muerte celular programada o apoptosis, aunque también es común en la necrosis de otras células en vertebrados (Burgoyne, 1999), y se manifiesta en las células foliculares a partir del desove y que se hace mas intensa a medida que envejece el folículo, aunque no existe suficiente evidencia en teleósteos para afirmar que la reabsorción el FPO esta gobernada únicamente por un proceso apoptosico (Drummond, *et al* 2000) dado que también se observan signos directos de necrosis como son la vacuolización del citoplasma, y la presencia de autofagolisosomas, (Van Den Hurk y Peute,1985), responsables finales de la desintegración del FPO.

En ambas zonas de estudio predomina el muestreo diurno, sin embargo, hay una marcada diferencia en la amplitud temporal, siendo la zona norte la que presenta una distribución más amplia de los lances a lo largo del día ($P < 0.05$). En ambas zonas, las capturas decaen notoriamente a partir de las 18:00 horas, probablemente a causa del comportamiento reproductivo de la anchoveta, ya que varios investigadores reconocen que los cardúmenes con hembras hidratadas, caracterizados por el predominio de machos, se segregan en cardúmenes desovantes costeros (Blaxter y Hunter, 1982; Oliva *et al.*, 1989, 2000; Alheit, 1993; Martínez *et al.*, 1992, 1993, 1994; Claramunt *et al.*, 1996, 1997; Braun *et al.*, 2005), además las hembras hidratadas ocurren generalmente entre las 16:00 y 23:00 horas (Rojas y Oliva, 1993), lo que hace aún más difícil la capturas por parte de las embarcaciones.

A partir de la degeneración de las estructuras de los folículos postovulatorio (FPO) en el tiempo y asumiendo que el máximo desove ocurre a las 23:00 horas, permitió identificar dos cohortes diarias de desove, es así que los primeros cuatro estadios de FPO inciden dentro las primeras 24 horas después del desove. Los estadios FPO V al VII corresponderían al segundo día después del desove. Estos coinciden con la frecuencia de ocurrencia de la degeneración de FPO en *Engraulis encrasicolus* (Alday *et al.*, 2006), sin embargo, la completa reabsorción de los FPO alcanzó a las 55 horas después del desove, siendo validado por un seguimiento temporal en experimentos de cautiverios. Nuestros resultados sugieren que la reabsorción completa en *Engraulis ringens* alcanza a las 48 horas después del desove, similar a lo registrado en *Engraulis mordax* (Hunter y Macewicz, 1985).

La fracción diaria de hembras desovantes estimada entre los cuatro criterios de la zona norte de Chile durante 2004 a 2006 varió entre 0.14 y 0.22, es decir, que entre el 14% y 22% de las hembras maduras desovaron a diario, dicho en otras palabras, que en el período de muestreo de 30 días, una hembra desovó en promedio, 4 a 7 veces, o cada 7 a 5 días respectivamente, valor que se encuentra dentro del rango promedio de desove de una hembra, considerando los períodos anuales previos. La fracción desovante estimada para la zona centro-sur dentro del período 2004 y 2005 entre los cuatro criterios varió entre 0.12 y 0.17, señalando que durante el período de muestreo de 30 días, una hembra desovó en promedio, 4 a 5 veces, o cada 8 a 6 días respectivamente.

Sardina común

Para la sardina común se ha utilizado la clasificación de edades de los FPO en base a los criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter & Godlberg (1980) para *Engraulis mordax* y por Macewicz & Hunter (1993) para *Trachurus symmetricus*, asumiendo que dichos criterios, cambios estructurales y temporales son similares a los que experimentan los folículos de la sardina (Cubillos *et al.*, 2005), sin embargo, otros estudios han confirmado que la duración de los FPO dentro de la gónada va a depender tanto de la especie como de la temperatura a la que desovan. (Fitzhugh & Hettler, 1995; Hunter, & Macewicz. 1985) (Tabla 74). En este contexto, Cubillos *et al.* (2005) encuentran que la mayoría de los huevos de sardina común están en la zona centro-sur, asociados a temperaturas aproximadamente de 12,3° C. Por otra parte, *Engraulis mordax*, desova a temperaturas que fluctúan hasta los 19°C, y los FPO permanecen hasta 48 horas en el tejido gonádico (Fitzhugh & Hettler, 1995) (Tabla 74). Al considerar, las observaciones del tiempo de residencia de los folículos en el tejido y la temperatura de otros clupeidos comunicados por Fitzhugh & Hettler (1995), una extrapolación sugiere que para la sardina común los FPO podrían permanecer por cerca de 72 horas después de efectuado un evento de desove (Figura 83), mucho mas tiempo que lo estimado para la datación de los folículos en los últimos años de estudios, en los cuales se asume un tiempo de hasta 2 días, con lo que el empleo de estas escalas no específicas para la sardina común pueden estar subestimando el tiempo de residencia de los FPO en la gónada. Esta es la principal razón del porque Cubillos *et al.* (2007) utilizan los FPO de día 1 para determinar la fracción diaria de hembras desovantes, destacando que la sobrestimación de la fracción desovante utilizando FPO de día 2 no se debe a un sesgo sino más bien a una inexactitud en la datación de folículos postovulatorios de más de un día ya que pueden permanecer más tiempo en el ovario. Debido a esta problemática, en este estudio se diseñó una escala propia para *Strangomera bentincki*, donde se caracteriza histológicamente el proceso de degeneración de los FPOs en el tiempo. Sobre esta base, se definieron criterios para discretizar el proceso de degeneración y establecer la edad de dichas estructuras para utilizarlas en la estimación directa de la frecuencia del desove.

Tabla 74: Duración de los FPO (horas desde el desove) en relación a la temperatura (Fitzhugh & Hettler, 1995).

Especie	T° de desove	FPO (Hrs.)
<i>Brevooria tyrannus</i> *	15°C	>60
<i>Engraulis mordax</i>	13 a 19°C	48
<i>Brevooria tyrannus</i> *	19-20°C	36
<i>Encrasicholina purpurea</i>	25°C	24
<i>Callionymus enneactis</i>	28-30°C	15

*resultados experimento (Fitzhugh & Hettler, 1995).

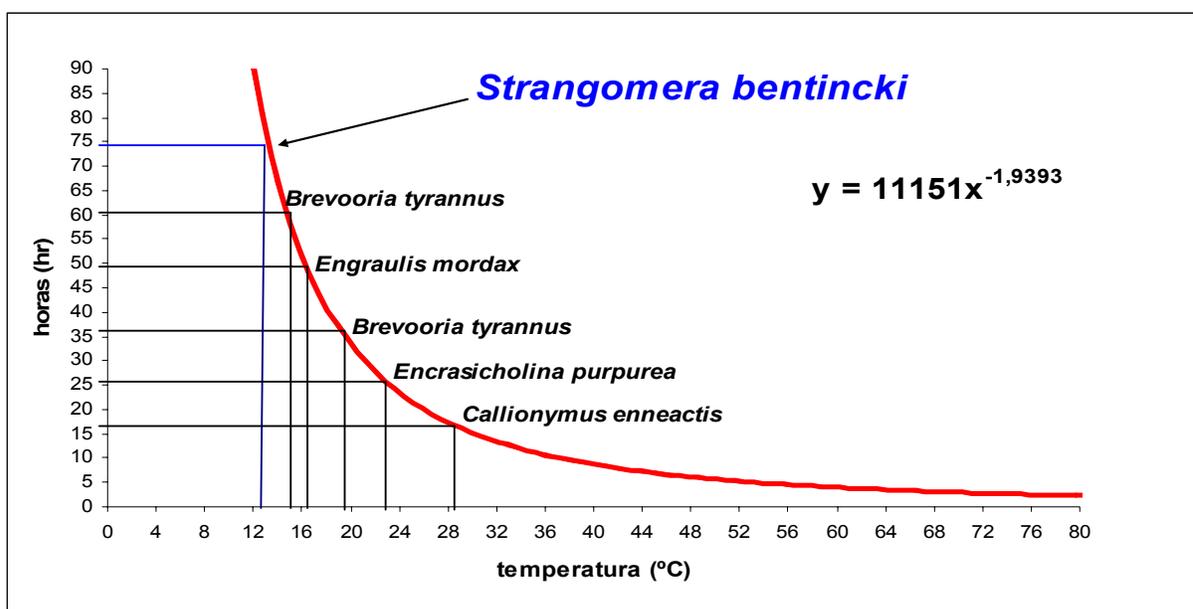


Figura 83: Esquema de la duración de los FPO de distintas especies de clupeiformes en función de la temperatura (Fitzhugh & Hettler, 1995; Hunter, & Macewicz, 1985)

De acuerdo con los resultados, se demuestra que con el uso de los criterios utilizados en estudios anteriores la fracción diaria de hembras desovantes basada en hembras con FPO de día 2 ha sido mayor que las de día 1 en todos los años, lo que conduce a diferencias significativas en la fracción desovante. En cambio, con la escala discreta propuesta en este estudio se pudo establecer una nueva asignación de edad de los FPO que resultó ser más consistente en el cálculo de la fracción desovante. En otras palabras, es posible lograr una mayor exactitud en las mediciones al dividir el

proceso degenerativo en más puntos y al hacer la asignación independiente de la hora de captura. Al emplear dicha corrección, se logro una mayor homogeneidad en los cálculos de fracción desovante. Sin embargo para comprender el proceso degenerativo en el tiempo es necesario contar con una colección de muestras que comprendan un ciclo diario completo, lo cual no se cumple en el stock de muestras disponibles ya que estas provienen principalmente a capturas de pesca artesanal, lo que restringe la disponibilidad de muestra solo a las horas que operan dichas embarcaciones (principalmente entre la 7:00 y 18:00 horas), siendo altamente recomendable complementar nuestros resultados con una mayor frecuencia de muestreos nocturnos.

4.4 Objetivo 4: Establecer modelos o procedimientos para evaluar la distribución espacial del stock desovante, incluyendo la producción diaria de huevos y la fecundidad específica diaria.

Zona Norte

El análisis del cuociente y diagramas TS no han proveído una explicación sobre posibles preferencias de temperatura o salinidad en los hábitats de desove de anchoveta (Claramunt y Serra, 2005). Incluso durante períodos del intenso evento El Niño que ocurrió en 1997 y que alteró drásticamente el ambiente del norte de Chile, los huevos de anchoveta aparecen abundante y ampliamente distribuidos. El análisis del cuociente muestra preferencias por altas temperaturas durante 1997, comparado con años sin El Niño, lo que aparece contradictorio. El Norte de Chile está sujeto a una fuerte variabilidad interanual en el ambiente físico, químico y biológico debido el ciclo ENSO, por lo que la anchoveta debe estar adaptada a estos cambios. Es probable que existan otras características oceanográficas que afectan la selección de áreas apropiadas para el desove. Variabilidad interanual en el nivel del mar, profundidad de la termoclina, alteraciones en la extensión y profundidad de la zona de mínimo oxígeno merecen atención, además de la variabilidad en el ambiente biológico, tales como tasas de producción primaria y la presencia de predadores y presas (Claramunt y Serra, 2005).

Por las razones mencionadas anteriormente, la modelación espacial de la producción de huevos, para el caso de la anchoveta de la zona norte presentó problemas, subestimando fuertemente la

producción diaria de huevos en comparación a los otros métodos. Situación que merece mayor atención especialmente en lo que se refiere a la búsqueda de las posibles “preferencias” de hábitat para el desove de anchoveta, si es que existen, las que no son explicadas por la temperatura, latitud o longitud.

Zona Centro Sur

El área de desove de anchoveta y sardina común muestra límites claros en términos de la temperatura superficial del mar como de la profundidad de fondo del hábitat de desove. El desove de las dos especies está restringido al sector más costero por sobre la plataforma continental, básicamente al interior del límite marcado por los 100 m de fondo. Castillo-Jordán *et al* (2007) analizaron la distribución espacial de estas especies para el año 2005, encontrando que la temperatura superficial del mar sólo explicó marginalmente la distribución del desove. Los autores, discuten que el rango de temperatura fue estrecho y probablemente dentro del requerimiento biológico (11-12 °C). En efecto los modelos GAM requieren para su aplicación un buen contraste en términos del rango de las variables explicativas. En nuestro caso, y en particular para el año 2005, se observó que en el sector centro (34°20'S-37°10'S) la profundidad de fondo fue más importante que la temperatura mientras que en el sector sur ocurrió lo contrario.

Se destaca que una diferencia metodológica importante de nuestro estudio con el de Castillo-Jordán *et al.* (2007) se debe a tres factores: a) restricción de los grados de libertad para calcular superficie del modelo GAM, c) el uso de variables predichas por un modelo GAM, y no las observaciones propiamente tal, y b) la estandarización de de las variables predictoras con la latitud con el objeto de considerar un proceso isotrópico (ver Bernal *et al.* 2007, y Wood, 2006). Estos criterios fueron discutidos en el Taller de Trabajo realizado con el Dr. Miguel Bernal en Iquique, y presentan ciertas ventajas y desventajas. En primer, restringir la superficie del modelo es fundamental para evitar que la influencia de valores atípicos ó extremos que influyan en el ajuste de la superficie generada por los suavizadores splines del modelo GAM, en particular cuando se usa el modelos para expresar el comportamiento de la variable respuesta (densidad de huevos) en un área de desove representada por una grilla mucho más densa que aquella más discreta desde donde provienen las observaciones. La estandarización de las variables predictoras tiene por finalidad utilizar una superficie rectangular, en otras palabras evitar que la superficie del modelo siga una

dirección dada por una variable que tenga un mayor rango que otra. La desventaja, no obstante, radica en que los óptimos del modelo son más difíciles de interpretar. Finalmente, al utilizar las variables independientes predichas por otro modelo tienen la desventaja de quitar variabilidad, y por ende sólo tiene un sentido práctico desde el punto de vista de la extrapolación en una grilla más densa y con fines de visualización y mapeo. El efecto de la grilla de predicción también es importante de considerar, ya que una grilla más densa asume que el desove es un proceso continuo cuando en realidad es discreto en el espacio, dado por el tamaño promedio de las agregaciones o clusters de huevos.

No obstante los aspectos metodológicos mencionados, se puede concluir que el desove de anchoveta y sardina común está limitado espacialmente en términos de la topografía y variables físicas del hábitat reproductivo (e.g. temperatura). Aunque los resultados geoestadísticos revelan que las agregaciones de huevo siguen un proceso isotrópico endógeno, en una escala mayor que involucra las dimensiones del área existiría una dependencia espacial que indica zonas en las que es más probable encontrar agregaciones de huevo; esto es, a profundidades menores a los 100 m de profundidad y temperaturas de 11-12 °C. Otros factores, como la salinidad, vientos, influencia de las plumas de los ríos principales, podrían ser factores importantes para la distribución del desove de anchoveta y sardina común, ya que su interacción determina gradientes físicos en asociación con la forma de la línea de costa que podrían ser muy importantes durante la transición invierno-primavera, época que representa la mayor actividad reproductiva de las especies en la zona centro-sur (Cubillos, 1999; Castro y Hernández 2000; Castro *et al.* 2000; Quiñones and Montes 2001; Cubillos *et al.*, 2001). Por lo tanto, se recomienda considerar estas variables en futuros estudios que estén orientados a la caracterización de la dinámica del hábitat reproductivo. Asimismo, se recomienda utilizar datos de presencia-ausencia con la finalidad de buscar zonas de alta probabilidad de desove en función de variables físicas más que la densidad de huevos propiamente tal, ya que la densidad de huevos podría estar influenciada por el comportamiento de los desovantes (e.g. Fox *et al.*, 2000; Stratoudakis *et al.*, 2003; Bernal *et al.*, 2007).

En términos de la modelación espacial de la producción de huevos, para el caso de la anchoveta en todos los años y sectores los mejores modelos fueron aquellos que consideraron la temperatura y la profundidad de fondo. La tasa de mortalidad de los huevos fue significativa en todos los casos y de

una magnitud similar a los estimados que no están basados en el espacio. En efecto, en la modelación se consideró variabilidad espacial sólo en la producción diaria de huevos de tal manera que la tasa de mortalidad fuera constante en cualquier punto del espacio. Modelos alternativos podrían considerar variabilidad espacial en las tasa de mortalidad, pero con el riesgo de incrementar la variabilidad. Los estimados de producción diaria de huevos resultan así del cálculo de la suma de los valores predichos sobre una grilla de puntos dentro del área de crucero. Estos no resultaron ser diferentes en magnitud a los obtenidos por el modelo multinomial de datación. La varianza, sin embargo, no se calculó. En efecto, esto implica un algoritmo de re-muestreo que para los propósitos de este estudio no se aplicó ya que nuestros resultados sólo se consideran exploratorios con la potencialidad de aplicar esta metodología una vez que se conozca con mayor dominio la dinámica del hábitat reproductivo y de las variables claves que determinan o explican la variabilidad espacial del desove de anchoveta y sardina común.

La metodología tiene gran potencial para estimar la biomasa desovante. Bastaría con dividir la producción de huevos en el espacio por la fecundidad específica diaria y luego integrar los valores predichos desde la grilla de puntos dentro del área de estudio. No obstante, es necesario modelar la fecundidad específica diaria en el espacio y para ello se requiere contraste espacial en los lances de pesca del crucero de adultos. En otras palabras, que el muestreo de adultos esté representado en toda el área de de estudio y no focalizado a las cercanía de los puerto base como ha ocurrido en los cruceros previos. Una posibilidad es considerar agrupar todos los años disponibles y utilizar un factor anual para tomar en cuenta la variabilidad interanual, factor horario para tomar en cuenta la variabilidad al interior de un ciclo diario, y factores espaciales (latitud, longitud) y ambientales (temperatura, salinidad, distancia a la costa, otros) con el objeto de tener una idea del patrón espacial de los principales parámetros reproductivos, i.e. peso promedio, fracción diaria de hembras desovantes, proporción sexual y fecundidad, o bien la fecundidad específica diaria. Este enfoque de modelación es altamente recomendable en una etapa inicial exploratoria y podría ayudar a identificar si existe variación espacial costa-océano o sur-norte en los parámetros reproductivos.

4.5 Objetivo 5: Determinar criterios y formulación de modelos de las observaciones para incluir la evaluación del stock desovante por el método de la producción diaria de huevos en modelos de evaluación de stock integrados.

Zona Norte

Además de los métodos de estimación, especialmente de la producción diaria de huevos, otros aspectos que tienen incidencia en la relación entre las biomásas desovantes estimadas por el MPDH y las evaluaciones indirectas son: área prospectada y muestreo de los adultos. En relación con el efecto área surge la interrogante sobre cuan mayoritario realmente es el desove en la zona norte de Chile respecto del sur del Perú y cuanto desove ocurre realmente en el sur del Perú. El supuesto inicial fue que el desove ocurre mayoritariamente en el norte de Chile, sin embargo y a la luz de los resultados en discusión han surgido dudas a este respecto, siendo necesario que este supuesto sea corroborado, puesto que la diferencia entre ambas estimaciones es explicada en gran medida también por este factor. Por tanto, y para minimizar la diferencia entre ambas BD es necesario realizar un estudio que abarque también la zona sur del Perú.

En relación con el muestreo de los adultos es muy importante y necesario, dado el efecto multiplicativo del parámetro de los adultos en la estimación de BD, continuar con los esfuerzos para mejorar la distribución del muestreo en el área de estudio y aumentar el número de muestras, siendo muy recomendable obtener las muestras con pescas de media agua.

Zona Centro Sur

Tanto las tendencia de la biomasa desovante indirecta como por MPDH fueron similares entre si para el periodo 2002 – 2005 en ambas especies, sin embargo esta debe ser interpretado con cautela dado el bajo número de observaciones directas tanto en anchoveta como en sardina común. Particularmente, los dos últimos años de la evaluación indirecta están sujetos a alta incertidumbre, y su condición podría cambiar conforme se va incorporando nueva información de la pesquería y evaluaciones hidroacusticas.

Respecto a los resultados del factor de proporcionalidad q , en el caso de anchoveta centro sur este resultado ascender a un 0.40 y 0.45 de la biomasa indirecta y para sardina común 0.15 y 0.10. En el primer caso, a pesar que todas las estimaciones se situaron bajo el límite de confianza inferior de la evaluación indirecta, el coeficiente q fue mayor al de sardina común, lo que se debe a que la diferencia entre biomasa indirecta y directa se mantiene más constante entre años: En cambio en sardina común, la variación entre biomasa del modelo y MPDH es muy alta particularmente en el 2004, cuando la biomasa estimada por MPDH es del orden de las 5 mil toneladas. Esta fuerte variación explica la proporcionalidad más baja para la especie del orden de un 15 o 10%.

Considerando que estas estimaciones entre otros apuntan a constituir un calibrador de la evaluación indirecta para el stock desovante, se considera relevante disponer de una serie de observaciones de mayor longitud. No obstante, en el caso de anchoveta pudiera realizarse el ejercicio de incorporarla explícitamente en la evaluación de stock, recomendándose su uso como un calibrador secundario a la actual serie acústica, y como un índice relativo más que absoluto. Para el caso de la sardina común, se considera más importante implementar la recomendación que aflora de este proyecto en el sentido de aumentar el esfuerzo de muestreo reduciendo la distancia entre transectas de 8 a 5 millas náutica, y de esta forma ver si al menos la variabilidad entre observaciones se reduce.

4.6 Análisis no comprometidos en Oferta Técnica

De los análisis efectuados a los datos de fecundidad parcial en la zona norte, se deduce que para estimaciones de fecundidad parcial debe utilizarse un muestreo bi-etápico, es decir considerar un número mínimo de hembras por lance y un cierto número mínimo de lances. Sin embargo, esto trae problemas logísticos difíciles de solucionar, debido a que el proceso de hidratación es muy rápido, por lo que la probabilidad de capturar hembras hidratadas es muy baja. Sin embargo, en aquellos años en que existen o pudieran existir problemas de ajuste de las ecuaciones de regresión, una solución es utilizar una función única ajustada con todos los datos disponibles.

Respecto del aumento en las tallas de las hembras con la latitud, que en algunos años es importante, es un aspecto que merece atención, ya que podría estar implicando una migración reproductiva por parte de las hembras adultas hacia el área comprendida entre Iquique y Tocopilla, que es donde se

concentra la mayor cantidad de huevos. Sin embargo, puede estar influenciada por la mayor cantidad de información en esta área. Lamentablemente, el realizar una postestratificación del área para estimar los parámetros de adultos en un año en particular, resulta muy difícil de llevar a cabo por el número mínimo de lances necesarios para obtener determinado nivel de precisión, especialmente en lo que se refiere a fracción diaria de hembras desovantes y fecundidad parcial. Por lo que no se ve como una alternativa que se pueda cumplir a futuro.

5. RECOMENDACIONES

En los últimos 25 años, el MPDH ha sido aplicado unas 120 veces a 18 especies de cinco familias de teleósteos, en una variedad de ecosistemas costeros alrededor del mundo (Stratoudakis *et al.*, 2006). Sus resultados han confirmado que el método produce valores insesgados, pero aún imprecisas estimaciones de biomasa desovante.

Desde el punto de vista del diseño de los cruceros, se puede plantear que después de 22 millas náuticas la densidad de huevos de anchoveta en la zona norte no debería estar correlacionada en un periodo de baja abundancia, y del orden de 69-70 millas náuticas en periodos de alta abundancia. Por lo que eno se recomienda cambiar el diseño de crucero actual (Estaciones cada 5 millas náuticas y transectas separadas cada 10 millas náuticas), ya considerando la baja proporción de estaciones positivas (ca. 30 %) ya que podría influir en una pérdida de precisión en las estimaciones de la producción diaria de huevos. Sin embargo, se recomienda ampliar en sentido costa océano de forma de cubrir totalmente el área de desove.

En el caso de la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur, el diseño está en el límite de la distancia entre cluster de huevos o tamaño promedio de parches. No obstante, debido a que los huevos de sardina presentan un mayor grado de contagio determinando una baja proporción de estaciones positivas (ca. 14%), sería recomendable reducir ligeramente la distancia entre transectas tal vez a 5 millas náuticas (Actualmente es de 8 mn).

No se encontraron diferencias en las tasas de desarrollo de huevos de anchoveta en función de la temperatura entre la zona norte y zona centro-sur, por lo que a una misma temperatura huevos provenientes de ambas zona eclosionarían a la misma edad. Por lo que se podría utilizar un mismo modelo de desarrollo para anchoveta en Chile.

Desde el punto de vista de la datación de huevos colectados en el plancton (determinación de la edad), los modelos multinomiales comunicados en este estudio constituyen una de las mejoras más relevante en el ámbito del Método de Producción Diaria de Huevos aplicado a pelágicos pequeños en Chile.

El proceso de desove, quedó definido por: 23 horas para anchoveta en la zona norte con una desviación estándar de 1,5 horas, 24 horas para la anchoveta en la zona centro-sur, 23 horas para la sardina común y con una desviación estándar de 2. Estos criterios se basan en la frecuencia de la abundancia relativa del estadio I en función de la hora de colecta.

La aplicación convencional de estimación de P_0 y Z por mínimos cuadrados debe ser evitada en futuras aplicaciones, sean éstas ponderadas o no por el inverso de la varianza.

La estimación de P_0 y Z sobre la base de las dataciones con el procedimiento de L_0 (convencional) y con el método multinomial son más recomendables. La primera en términos de seguir evaluando la biomasa desovante en forma tradicional, y la segunda porque el procedimiento relaciona en forma correcta los datos observados con el modelo, desde el punto de vista estadístico. Ambos procedimientos deberían basarse en la estimación de P_0 y Z con GLM y familia binomial negativa. La datación utilizando el modelo generalizado de L_0 (GAM) presenta el inconveniente de que el ajuste GAM a los datos de incubación está representando una superficie que es válida para el rango de temperaturas experimentales.

Se recomienda en futuras aplicaciones del MPDH en Chile, cuantificar la presencia de larvas con saco vitelino en las muestras de manera de poder incorporarlas en la estimación de P_0 y evitar así que se encuentren pendientes positivas, además de ayudar a reducir los coeficiente de variación.

De acuerdo con Cubillos *et al.* (2007), los atributos de la fracción adulta desovante así como los patrones de distribución del desove son diferentes entre la zona centro ($34^{\circ}20'S$ - $37^{\circ}10'S$) y la zona sur ($37^{\circ}20'S$ - $40^{\circ}S$). En este contexto, la evaluación del stock desovante por el MPDH debe ser estratificada geográficamente y posteriormente sumada para producir la biomasa total, asimismo la varianza total es la suma de las varianzas regionales.

La nueva escala propuesta para el análisis de los folículos postovulatorios permite una mejor definición de las cohortes, por lo que se recomienda seguir con la escala propuesta de forma de aumentar la serie de tiempo, aumentando así en cada aplicación la precisión y exactitud en torno a

la estimación de fracción desovante. Sin embargo para comprender el proceso degenerativo en el tiempo es necesario contar con una colección de muestras que comprendan un ciclo diario completo, lo cual no se cumple en las muestras disponibles. Situación que es más crítica en la zona centro sur, ya que estas provienen principalmente a capturas de pesca artesanal, lo que restringe la disponibilidad de muestra solo a las horas diurnas.

La modelación espacial de la producción de huevos, para el caso de la anchoveta de la zona norte presentó problemas, subestimando fuertemente la producción diaria de huevos en comparación a los otros métodos. Situación que merece mayor atención especialmente en lo que se refiere a la búsqueda de las posibles “preferencias” de hábitat para el desove de anchoveta, si es que existen, las que no son explicadas por la temperatura, latitud o longitud.

En términos de la modelación espacial de la producción de huevos, para el caso de la anchoveta en la zona centro sur en todos los años y sectores los mejores modelos fueron aquellos que consideraron la temperatura y la profundidad de fondo.

Estandarización del almacenamiento e intercambio de datos:

Existe la necesidad de inventar un formato estándar para el registro de datos en el MPDH (para huevos y adultos). Se han demostrado los beneficios de usar un formato estándar durante un reciente proyecto de Unión Europea, donde se acordó una primera estandarización de patrones que permitieron construir una base de datos de huevos y de adultos para las especies que fácilmente podrían compilarse en una biblioteca de R y que podrían introducirse para el análisis con el software R (ICES, 2004). En la Tabla 75 y Tabla 76 se describe el formato básico que se utilizó en este proyecto y el cual se recomienda para ser usado rutinariamente en aplicaciones futuras del MPDH.

El formato actual usa como unidad de información básica (en fila) las estaciones de plancton y el lance de pesca respectivamente, mientras la información registrada (en columna) es el mínimo requerido para estimación tradicional y basada en GAM. Es probable que en el futuro este formato se extenderá para incluir otras variables, mientras en el caso de los muestreos de adultos podría ser

eventualmente incluir una base de datos donde el nivel de la unidad es el pez individual (el cual actualmente existe, pero no regularizado aún). Con este fin también se pretende ayudar la estandarización de la información colectada del examen histológico.

Tabla 75: Resumen descriptivo del formato de la base de datos de Huevos, utilizado en el MPDH, incorporado en el proyecto EU en GAM y recomendado para estandarizar el uso de la aplicaciones del MPDH (requerimientos mínimos).

NOMBRE	DESCRIPCION	UNIDADES	TIPO
Station	Unidad identificadora de la estación	Entera	Factor
Lat	Latitud de la estación	4 decimales	Número
Long	Longitud de la estación	4 decimales	Número
Depth	Profundidad de la estación (en m)	Entera	Número
Time	Tiempo de muestreo (Greenwich)	2 decimales	Número
Efarea	Área efectiva del área de muestreo (en m ²)	3 decimales	Número
I; II; XI	Número de huevos por estadio (1 por columna)	Entera	Número
Dest	Huevos destruidos (no datados)	Entera	Número
Toteggs	Numero total de huevos en el muestreo	Entera	Número
Temp	Medida de Temperatura subsuperficial	2 decimales	Número
Sal	Medina de Salinidad subsuperficial	2 decimales	Número
Chlor	Medida de Fluorescencia subsuperficial	3 decimales	Número

Tabla 76: Resumen descriptivo del formato de la base de datos de adultos utilizado en el MPDH, incorporado en el proyecto EU en GAM y recomendado para estandarizar el uso de la aplicaciones del MPDH (requerimientos mínimos).

NOMBRE	DESCRIPCION	UNIDADES	TIPO
Survey	Nombre muestreo	Texto	Factor
Vessel	Nombre barco. Primero aparece el tipo de barco (RV=Barco Investigación y CV= Barco comercial)	Texto	Factor
Gear	Equipo de muestreo	Texto	Factor
Haul	Nombre que identifica el orden del lance en un muestreo	Entera	Número
Day	Día (GTM) del muestreo	Entera	Número
Month	Mes (GTM) del muestreo	Entera	Número
Year	Año (GTM) del muestreo	Entera	Número
Time	Tiempo (GTM) del muestreo	Horas 2 puntos decimales	Número
Long	Longitud de la estación de muestro	4 puntos decimales, norte positivo	Número
Lat	Latitud de la estación de muestro	4 puntos decimales, este positivo	Número
Ntot	Número de peces en la muestra. Estos individuos son usados para la estimación de razón de sexos	Entero	Número
Nfem	Número de hembras en la muestra	Entero	Número
Nhist	Número de hembras maduras usadas en preparaciones histológicas en orden para estimar la fracción desovante	Entero	Número
Nmattfem	Número de hembra maduras. Estos individuos son usados para la estimación de la fecundidad media poblacional y el peso promedio de las hembras	Entero	Número
Fexp	Fecundidad media poblacional -número de huevos desovados por hembra en la población-en la estación de pesca. Relación entre el número de huevos observados por batch (Fobs) y el peso total sin ovario observado en hembras hidratadas es usado para estimar la fecundidad media poblacional (Fexp) para hembras no hidratadas desde el peso libre de gónadas	Decimal	Número
R	Razón de sexos- proporción de la biomasa de hembras en la población. Es estimada como la proporción en peso de hembras en cada lance usando todo los peces (maduros e inmaduros)	Decimal	Número
S	Fracción desovante – proporción de hembras maduras que desovan por día en la población	Decimal	Número
W	Peso promedio de hembras maduras en la población. Peso de hembras hidratadas que debe ser ajustado hacia abajo por la temporalidad adquirida en este período	Gramos	Número

6. REFERENCIAS

- Alday, A., A. Uriarte, M. Santos, I. Marín, A. Martínez de Murguía & L. Motos. 2006. Degeneration of postovulatory follicles of Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus*). Resúmenes XXVI congreso de Ciencias del Mar, Iquique 22-26 de Mayo. 191 p.
- Alheit, J., V.H. Alarcón, and B. Macewicz. 1984. Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*, Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 25: 43-52.
- Alheit, J. 1993. Use of the daily egg production method for estimating biomass of clupeoid fishes: a review and evaluation. Bull. Mar. of Science. 53: 750-767.
- Alzola R. 2001. Guía de estudio: Técnicas Histológicas. Curso de Histología, Embriología y Teratología. Universidad nacional del centro de la Provincia de Buenos aires. 15 pp.
- Barange, M. and I. Hampton. 1997. Spatial structure of co-occurring anchovy and sardine populations from acoustic data: Implications for survey design. Fish. Oceanog. 6: 94-108.
- Barange, M., J. Coetzee and N. Twatwa. 2005. Strategies of space occupation by anchovy and sardine in the southern Benguela: role of stock size and intra-species competition. ICES J. mar. Sci. 62:645-654.
- Bernal, M. 1999. Preliminary results on a two stage modeling of sardine (*Sardina pilchardus*, Walb) egg presence and abundance of the Spanish coast and its implication for stocks assessment. WD. Report of the Working Group on the Assessment of Mackerel, Horse Mackerel, Sardine and anchovy, ICES CM 2000/ACFM: 5.
- Bernal, M., Borchers, D.L., Valdéz, L., Lanzós, A.L., Buckland, S.T. 2001. A new ageing method for eggs of fish species with daily spawning synchronicity. Can. J. Fish and Aquat. Sci, 58:2330-2340.
- Bernal, M., Stratoudakis, Y., Coombs, S., Angelico, M.M., Lago de Lanzós, A., Porteiro, C., Sagarminaga, Y., Santos, M., Uriarte, A., Cunha, E., Valdés, L., Borchers, D. 2007. Sardine spawning off the European Atlantic coast: Characterization of and spatio-temporal variability in spawning habitat. Progress in Oceanography (doi:10.1016/j.pocean.2007.04.018).
- Borchers, D.L., S.T. Buckland, I.G. Priede, and S. Ahmadi. 1997. Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 2727 –2742.

- Blaxter, J.H.S. & J.R. Hunter. 1982. The biology of clupeoid fishes. *Advances in Marine Biology*. Vol. 20. 1-223.
- Braun, M., G. Claramunt, V. Valenzuela, G. Herrera, H. Reyes, M. Pizarro, J. Saavedra, V. Catasti, Z. Young y R. Serra. 2005. Evaluación del stock desovante de anchovetas en la I y II Regiones, año 2004. Informe Final. Proyecto FIP 2004-1 y FIP 2004-2. 153 pp + Anexos.
- Burgoyne, L. 1999. The Mechanisms of Pyknosis: Hypercondensation and Death . *Exp. Cell. Res* 214-222 p.
- Canales, T .M., Canales, C., Castillo, J., Aranís, A., Caballero, L.G., y Cerna. F. 2007. Investigación Evaluación de Stock y CTP anchoveta centro sur, 2007. Informe Final. IFOP/SUBPESCA. 25 pp + Anexos.
- Canales, T .M., Canales, C., Castillo, J., Aranís, A., Caballero, L.G., y Cerna. F. 2007. Investigación Evaluación de Stock y CTP sardina común centro sur, 2007. Informe Final. IFOP/SUBPESCA. 23 pp + 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. *Aquat. Living Resour.* 20, 77-84.
- Castro, L.R.,G.R. Salinas & E.H. Hernández. 2000.Environmental influences on winter spawning of the anchovy, *Engraulis ringens*, off central Chile. *Marine Ecology Progress Series*. 197:247-258.
- Castro, L.R., and E.H., Hernández. 2000. Early life survival of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile during the 1995 and 1996 winter spawning seasons. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 129: 1107-1117.
- Claramunt, G., G. Herrera, J. Pizarro, P. Pizarro, R. Escribano, M. Oliva, A. Olivares, C. Guerra y A. Zuleta. 1996. Evaluación del stock desovante de anchoveta por el “Método de Producción de Huevos” en la I y II Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 95-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad “Arturo Prat” Iquique. 49p+anexos.
- Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Escribano, E., Oliva, M., Olivares, A., Guerra, C., Zuleta, A. 1997. Evaluación del stock desovante de anchoveta por el método de la producción de huevos en la I y II Regiones. Informe Final FIP 96-01. Informes Técnicos FIP – IT/96-01,75 p.

- Claramunt, G. and R. Serra. 2005. Characterizing the spawning habitat of anchoveta, *Engraulis ringens*, in northern Chile. In: van der Lingen, C.D., Castro, L., Drapeau, L. and D. Checkley, Jr. (Eds.). 2005. Report of a GLOBEC-SPACC Workshop on Characterizing and Comparing the Spawning Habitats of Small Pelagic Fish. GLOBEC Report 21: 33pp.
- Conan, G.Y. (1985). Assessment of shellfish stocks by geostatistical techniques. ICES C.M., 30 (mimeo).
- Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons. New York. 900 p.
- Cressie, N.A.C., Hawkins, D.M., 1980. Robust estimation of the variogram. I.J. Int. Assoc. Math. Geol. 12, 115–125. Englund, E., Sparks, A., 1991.
- Cressie, N. A. C. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley and Sons. NY, 900 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.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., Castro, L., Oyarzún, C. 2005. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informe Final FIP 2004-03.
- Cubillos, L.A., 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 (doi: 10.1016/j.fishres.2007.06.007).
- De Oliveira, J.AA. 2002. The development and implementation of a joint management procedure for the South African pilchard and anchovy resources. PhD Thesis, University of Cape Town, South Africa, 319pp.
- Deutsch, C.V., and Journel, A.G. (1998). GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. 2ndEd. Oxford University Press, New York. 369 pp. Diggle PJ, Ribeiro PJ, Christensen OF. 2003. An introduction to model-based geostatistics. In J. Moller (Ed.),

- Spatial Statistics and Computational Methods, vol. 173, Lecture Notes in Statistics, Springer.
- Drummond, C., N. Bazzoli., E. Rizzo and Y. Sato. 2000. Postovulatory Follicle: A Model for Experimental Studies of Programmed Cell Death or Apoptosis in Teleosts. *Exp. Zool.* 287:176–182 p
- Eilers, P.H.C., Marx, B.D. 1996. Flexible smoothing with B-splines and penalties (with discussion). *Statistical Science* 11:89-121.
- Elliott, J. 1977. Some methods for the spatial analysis of benthic invertebrates. *Sci. Pub. N°25.* Ambleside (England); Freshwater Biological Association.
- Escribano, R., R. Venegas, J. Pizarro and G. Claramunt. 1996. Temperature-dependent development rate of eggs of the “ANCHOVETA” *Engraulis ringens* from northern Chile. *Estudios Oceanológicos.* 15: 39-46.
- Fitzhugh, G.R. & W.F. Hettler. 1995. Temperature influence on postovulatory follicle degeneration in Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. *Fish. Bull., U.S.* 93(3): 568-572.
- Fletcher, W., and N. Sumner. 1999. Spatial distribution of sardine (*Sardinops sagax*) eggs and larvae: an application of geostatistics and resampling to survey data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 56: 907-914.
- Fox, C.J.; O’Brien, C.M., Dickey-Collas, M., Nash, R.D.M., 2000. Patterns in the spawning of cod (*Gadus morhua* L.), sole (*Solea solea* L.) and plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in the Irish Sea as determined by generalized additive modelling. *Fisheries Oceanography* 9, 33-49.
- Giannoulaki, M., Machias, A., Koutsikopoulos, Somarakis, S., 2006. The effect of coastal topography on the spatial structure of anchovy and sardine. *ICES J. Mar. Sci.* 63, 650-662.
- Hornik, 2002. The R FAQ, <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>.
- 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., and B.J. Macewicz. 1980. Sexual maturity, batch fecundity, spawning frequency, and temporal pattern of spawning for the northern anchovy, *Engraulis mordax*, during the 1979 spawning season. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 21:139-149.
- Hunter, J.R. & B.J. Macewicz. 1985. Measurement of Spawning frequency in Multiple Spawning Fishes. *In: An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish:*

- application to the northern Anchovy, *Engraulis mordax*. R. Lasker (Ed), NOAA-NMFS, Tech. Rep., 36: 79-94.
- Ibaibarriaga, L.; M. Bernal; L. Motos; A. Uriarte; D. Borchers; M. Lonergan and S. Wood. 2007. Characterization of stage-classified biological processes using multinomial models: a case study of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) eggs in the Bay of Biscay. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 64, N° 3 , pp. 539-553.
- ICES. 2005. Report of the study group on the estimation of the spawning biomass of sardine and anchovy. ICES CM 2005/G 02, 81 p.
- Ihaka, R and Gentleman, R. 1996. R: A language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics. 5:299-314.
- Isaaks, E.H., and R.M. Srivastava (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York. 561 pp.
- Journel, A.G., and C.J. Huijbregts (1978). Mining geostatistics. Academic Press, London.
- Kucharczyk, D., R. Kujawa, A. Mamcarz, E. Wyszomirska and D. Ulikowski. 1999. Artificial spawning of ide (*Leuciscus idus*) under controlled conditions. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Fisheries, Vol.2, Issue 2
<http://www.ejpau.media.pl/series/volume2/issue2/fisheries/art-05.html>
- Lasker, R. (Ed). 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the northern anchovy, *Engraulis mordax* . NOAA Technical Report NMFS 36, 99pp.
- Leong, R. 1971. Induced spawning of the northern anchovy *Engraulis mordax* Girard Fish. Bull. 69 (2): 357-360
- Llanos, A. and L., Castro. 2004. Latitudinal and seasonal egg size variations of the anchoveta *Engraulis ringens* off the Chilean Coast. Fish. Bull. 102: 207-212.
- Lo, N. 1985. A model for temperature – dependent northern anchovy egg development an automatic procedure for the assignment of egg to staged eggs. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43 – 50.
- Lo, N., J. Hunter and A. Charter. 2001. Use of a continuous egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California. Fishery Bulletin 99: 554-571.

- Macewicz, B.J. and J.R.Hunter, 1993. Spawning frequency and fecundity of Jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 34: 112-121.
- Maravelias, C.D., D.G. Reid, E.J. Simmonds, and J.Haralabous. 1996. Spatial analysis and mapping of acoustic survey data in the presence of high local variability: geostatistical application to North Sea herring (*Clupea harengus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53: 1497-1505.
- Martínez, C., L. Caballero, G. Böhm, J. Oliva, R. Gili, V. Bčić, P. Barría y R. Serra. 1992. Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1991. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 51 p.
- Martínez, C., U. Parker, L. Caballero, G. Böhm, J. Oliva, S. Peña, R. Gili, H. Hidalgo, V. Fernández, P. Barría y R. Serra. 1993. Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1992. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 135 p.
- Martínez, C., L. Caballero, U. Parker, G. Böhm, J. Oliva, V. Fernández, S. Peña, R. Gili, H. Hidalgo, P. Barría, R. Serra y M. Nilo. 1994. Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1993. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 135 p.
- Mello, L.G.S., Rose, G.A., 2005. Using geostatistics to quantify seasonal distribution and aggregation patterns of fishes: an example of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 62, 659-670.
- Motos, L. 1996. Reproductive biology and fecundity of the Bay of Biscay anchovy population (*Engraulis encrasicolus* L.). Sci. Mar., 60 (Supl. 2): 195-207.
- Moser, H.G., and E.H. Ahlstrom. 1985. Staging anchovy eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS. 36: 37-41.
- Motos, L. 1994. Estimación de la biomasa desovante de la población de anchoa del golfo de Viscaya, *Engraulis encrasicolus*, a partir de su producción de huevos. Bases metodológicas y aplicación. PhD Thesis, Leioa, Spain.

- Oliva G., Carvajal W., Tresierra A. 1986. Biología reproductiva e histología de gónadas en peces. Universidad de Trujillo. Perú, 151 pp.
- Oliva, J., J. Barañados, Y M. Tirado. 1989. Determinación de la fecundidad y frecuencia del desove de la sardina (*Sardinops sagax*), 1986. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Rev. Pacífico Sur (Número especial): 341-348.
- Oliva, J., M. Braun, J. Cordoba, J. Castillo, V. Cataste, V. Valenzuela, O. Rojas, J. Blanco y C. Martínez. 2000. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II regiones 1999. Instituto de fomento pesquero. Informe final. Proyecto FIP 99-10. 134 p.
- Parker, R.L., Rice, J.A. 1985. Discussion on “some aspects of the spline smoothing approach to nonparametric regression curve fitting” (by B.W. Silverman). Royal Statistical Society Series B 47:40-42.
- Pauly, D. and R. Pullin. 1988. Hatching time in spherical, pelagic marine fish eggs in response to temperature and egg size. Environ. Biol. Fish. 22: 261-271.
- Pelletier, D. y A.M. Parma. 1994. Spatial distribution of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*): An application of geostatistics to longline survey data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 1506-1518.
- Pepin, P. 1991. Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci, 48:503-518.
- Petitgas, P., & A. Prampart. 1995. EVA: Estimation Variance. A geostatistical software for structure characterization and variance computation, Editions de l'Orstom, collection logORSTOM, Paris.
- Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data. In Megrey, A., and E. Moskness (Eds.) Computers in Fisheries Research. Chapman & Hall, London. pp. 113-142.
- Picquelle, S.J. and G. Stauffer. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assesment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 7-15.
- Quinn II, T. and R. Deriso. 1999. Quantitative fish Dynamics. Oxford University Press. New York, USA. 542 p.
- Quiñones R.A., Montes R.M., 2001, Relationship between freshwater input to the coastal zone and the historical landings of the benthic/demersal fish *Eleginops maclovinus* in central-south Chile. Fish. Oceanogr. 10, 311–328

- Ribeiro PJ, Diggle PJ. 2001. geoR: A package for geostatistical analysis. R News 1-2:15- 18.
- Rojas, O. y J. Oliva. 1993. Evaluación del stock desovante de anchoveta de la zona norte por el método de producción de huevos. Programa evaluación directa de recursos pelágicos de la zona norte. IFOP (Chile), 37 pp. + anexos.
- Schlather M. 2001. Simulation and analysis of random fields. R News 1-2:18-20.
- 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.
- Smith, P.E., Hewitt, R.P. 1985. Sea survey design and analysis for an egg production method of anchovy biomass assessment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 17-26.
- Somarakis, S.; K. Ganias; C. Koutsikopoulos; A. Machias & C. Papaconstantinou. 2002. Application of the Daily Egg Production Method (DEPM) for the estimation of the spawning biomass of sardine stocks in coastal waters of the central Aegean and Ionian Seas. General Fisheries Commission for the Mediterranean Scientific Advisory Committee. SubComission for Stock Assessment. Working Group on small pelagic fishes. FAO, Rome, 21 pp.
- Somarakis, S., I. Palomera, A. García, L. Quintanilla, C. Koutsikopoulos, A. Uriarte, and L. Motos. 2004. Daily egg production of anchova in European waters. ICES Journal of Marine Science. 61: 944-958.
- Soto, S. 2001. Tasa de desarrollo de huevos de *Engraulis ringens* Jenyns en función de la temperatura. Tesis para optar al título de Biologo Pesquero. Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Stratoudakis, Y., Bernal, M., Borchers, M.F. 2003. Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985-2000. Fisheries Oceanography, 12:49-60.
- Stratoudakis, Y., M. Bernal, K. Ganias & A. Uriarte. 2006. The daily egg production method: recent advances, current applications and future challenges. Fish and Fisheries. 7: 35-57.
- Swartzman, G., Brodeur, R., Napp., J., Hunt, G., Demer, D., Hewitt, R., 1999. Spatial proximity of age-0 walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) to zooplankton near the Pribilof Islands, Bering Sea, Alaska. ICES J. Mar. Sci. 56, 545-560.

- Tarifeño, E., Carmona, E, Llanos-Rivera, A., Castro, L.R. 2007. Temperature effects on the anchoveta *Engraulis ringens* egg development: do latitudinal differences occur? Environ. Biol. Fish (DOI 10.1007/s10641-007-9208-7).
- Thompson, SK. 1992. Sampling. Jhon Wiley and Sons, INC. 350 p.
- Van den Hurk, R. and J. Peute . 1985. Functional aspects of the postovulatory follicle in the ovary of the African catfish, *Clarias gariepinus*, after induced ovulation: an ultrastructural and enzyme-histochemical study. Cell. Tissue Res.240:199–208.
- Van der Lingen, C., L. Hutchings, D. Merkle, J. van der Westhuizen and J. Nelson. 2001. Comparative spawning habitats of anchovy (*Engraulis capensis*) and sardine (*Sardinops sagax*) in the southern Benguela upwelling ecosystem. P. 185-209. In: G. Kruse, N. Bez, T. Booth, M.Dorn, S. Hills, R. Lipcius, D. Pelletier, C. Roy, S. Smith and D. Witherell. (Eds). Spatial processes and Management of Marine Populations. University of Alaska Sea Grant, USA.
- Varela, Z. 1982. Ovulación inducida e inseminación artificial del bagre negro *Rhamdia sapo* proyecto fao/pnud/uru/78/005. Dpto. Acuicultura y Aguas Continentales Inape.
- Wahva, G. 1980. Splines bases, regularization and generalized cross validation for solving approximation problems with large quantities of noisy data. In: Cheney, W. (Ed.) Approximation Theory III. Academic Press, New York.
- 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.
- Wood, S.N., 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. CRC/Chapman & Hall, 416pp.
- Zar, J.H., 1999. Bioestatistical Analysis, fourth ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 663.

ANEXO: TALLER DE DIFUSION