



INFORME FINAL

FONDO DE INVESTIGACIÓN
PESQUERA

Proyecto
FIP N° **2003-07**

**Evaluación del stock
desovante de anchoveta
en la I y II Regiones,
año 2003**

DICIEMBRE
2004



INFORME FINAL

FIP N° 2003-07

**Evaluación del stock
desovante de anchoveta
en la I y II Regiones,
año 2003**

• Diciembre, 2004 •



REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA, FIP
Presidente del Consejo:
Felipe Sandoval Precht

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP
Jefe División Investigación Pesquera:
Mauricio Braun Alegría
Director Ejecutivo:
Guillermo Moreno Paredes



JEFE DE PROYECTO

MAURICIO BRAUN ALEGRIA

AUTORES

MAURICIO BRAUN A.
GABRIEL CLARAMUNT Q.
HERNÁN REYES R.
VICTOR CATASTI B.
CARLOS MONTENEGRO S.
VICTOR BAROS P.
EDUARDO DÍAZ R.
JESSICA PIZARRO E.
PEDRO PIZARRO F.

COLABORADORES

VIVIAN VALENZUELA C.
GUILLERMO GALINDO P.
CARLOS GASPAS
RODOLFO SERRA B.

• Diciembre, 2004 •



I. RESUMEN EJECUTIVO

El informe contiene los resultados correspondientes al desarrollo del crucero Módulo Huevos y Módulo Adultos del proyecto FIP 2003-07: "Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2003". De conformidad con la metodología planteada en la propuesta técnica y con el fin de estimar los parámetros biológicos que requiere la aplicación del Método de Producción de Huevos, a saber: fecundidad media poblacional, frecuencia de desove, proporción sexual, producción diaria de huevos y peso promedio estimado de hembras maduras, se realizaron los respectivos muestreos para el recurso anchoveta, durante el período de máxima actividad reproductiva del año 2003.

El monitoreo reproductivo del recurso, efectuado a través del análisis del índice gonadosomático (IGS) y de la actividad de desove (IAD), dan cuenta que en junio de 2003 se visualizó el inicio de la actividad reproductiva masiva, corroborado por la presencia de ovarios vitelogénicos, hidratados y folículos postovulatorios, sin atresia ovárica, evidenciándose el pleno proceso de desove a partir de la segunda quincena de julio, extendiéndose hasta la primera quincena de octubre. Lo anterior se fundamenta en el procesamiento de 20.896 anchovetas y 4.481 ovarios utilizando técnicas macroscópicas y microscópicas.

El crucero Módulo Huevos se efectuó a bordo del B/C "Carlos Porter" y el del Módulo Adultos a bordo de embarcaciones cerqueras comerciales de las empresas Corpesca S.A. y Cía. Pesquera Camanchaca S.A.

El B/C "Carlos Porter" operó entre el 22 de agosto y el 23 de septiembre de 2003, abarcando la zona comprendida entre punta Carrizalillo ($26^{\circ}03'S$) y Arica ($18^{\circ}25'S$), realizando 47 transectas perpendiculares a la costa con 537 estaciones de muestreo bio-oceanográfico, hasta las 60 mn de la costa. Por su parte, las embarcaciones cerqueras operaron entre el 18 de agosto y el 15 de septiembre de 2003, efectuando un total de 120 lances de pesca, de los cuales 60 fueron positivos, es decir con



captura de anchoveta. Las agregaciones de anchoveta se detectaron principalmente entre punta Lobos (21°02'S) y Tocopilla (22°08'S), en las inmediaciones de Arica y entre Antofagasta y punta Amarilla (24°01'S). A bordo se midieron 7.257 anchovetas, cuya amplitud de tamaño fluctuó de 12,0 a 18,5 cm de longitud total, con una moda centrada en los 15,0 cm (19%).

De los 537 lances efectuados con red Calvet, se obtuvieron 129 registros positivos, con un total de 9.264 huevos/ 0,05 m². La media de huevos por estación positiva en invierno de 2003 alcanzó a 72 huevos (DS = 211,76), cifra 22% mayor respecto a la obtenida en invierno de 2002 (media huevos por estación positiva = 59; DS = 128,42) y a la vez levemente menos dispersos; situación que señala una actividad reproductiva a lo largo de toda la zona prospectada.

El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta indicó que el desove se verificó en el rango latitudinal comprendido entre punta San Pedro (25°30'S) y Arica (18°25'S), no reconociéndose registros positivos entre Punta Carrizalillo (26°00'S) y Punta Lavata (25°40'S); frente a Punta Posallaves (24°50'S) y entre Punta Tres Picos (24°20'S) y Punta Amarilla (24°00'S). Longitudinalmente estuvieron presentes hasta 60 mn al oeste de caleta Bandurria (23°20'S) y punta Tames (22°40'S).

Los focos de desove más intensos (> 160 huevos/0,05m²) se localizaron en el sector costero y oceánico frente a Arica; entre caleta San Marcos (21°10'S) y Punta Chilena (21°30'S) y frente a Punta San Pedro (25°30'S), cuyas abundancias en conjunto representaron el 58,4%. Las estaciones con las densidades más importantes (> 1.320 huevos) se localizaron frente a Punta Chileno y caleta San Marcos.

La biomasa del stock desovante de la anchoveta existente en la I y II Regiones, a través del criterio de interpolación o funcional, fue estimada en 424.417 toneladas, con una varianza de $1.623 \cdot 10^{11}$ y un coeficiente de variación de 0,95. Por el criterio de límite inferior o estructural la biomasa se estimó en 522.314 toneladas, con una varianza de $1.63492 \cdot 10^{11}$ y un coeficiente de variación de 0,77.



Los resultados del ajuste no lineal ponderado del modelo de decaimiento exponencial para el área de desove estimada según el criterio de interpolación indican un P_0 de 37,09 huevos/0,05m²/día con un error estándar de 16,033 y un error estándar residual de la regresión de 9,977. La tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos fue de 0,83 día⁻¹, con un error estándar de 0,298.

La fecundidad parcial promedio en los 60 lances efectivos varió de 10.254 a 15.286 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional fue de 13.327 ovocitos, con una varianza de 76.429 y un coeficiente de variación de 0,021.

El porcentaje de hembras de día 1 de edad varió de 0 a 47% y el de día 2 fluctuó de 0 a 46%. Debido a diferencias significativas en los estimados de fracción desovante con FPO de día 1 y FPO de día 2 se optó por utilizar la estimación de FPO 1, por ser más confiable al considerar la hora de colecta y la hora de desove. Así entonces la fracción desovante fue de 18,2% con una varianza de 0,00036 y un coeficiente de variación de 0,10. Esto indicó que durante el tiempo de la exploración las hembras desovaron en promedio cada 5,5 días.

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó una amplitud comprendida entre 0,23 y 0,84 con un promedio de 0,49, una varianza igual a 0,00028 y un coeficiente de variación de 0,035. El peso promedio del cuerpo de las 30 primeras hembras maduras, obtenidas en 60 lances, fluctuó de 19,6 a 28,7 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 25 gramos, con una varianza de 0,085 y un coeficiente de variación de 0,0116.

Las variables oceanográficas superficiales observadas en la zona de estudio durante el crucero 2003, indicaron una condición de normalidad, sin perjuicio que valores significativos de anomalía de salinidad y de la profundidad de la isoterma de 15°C se encontraron en el área oceánica, los que estuvieron asociados a procesos locales,



tales como mezcla superficial por viento principalmente de Antofagasta al sur y a la presencia de giros ciclónicos o anticiclónicos entre Arica y Mejillones.

Los huevos de la especie presentan, en general, una distribución costera con mayores concentraciones en las primeras millas de la costa. En este sentido, se destaca el foco importante que se ubica en las proximidades del río Loa, con una distribución muy costera, que no sobrepasa las 20 mn. Este sector es citado como una zona de surgencia muy importante en términos temporales y espaciales lo que fortalece la hipótesis que las mayores concentraciones de huevos están asociadas a zonas de surgencias. Además, se señala que las mayores agregaciones se presentan en los bordes de gradientes térmicos y salinos.

La distribución de huevos con respecto a las variables ambientales, indicó que las temperaturas que limitaron la distribución del ictioplancton fluctuaron entre los 13°C hasta 18°C, con una leve inclinación por aguas de 15°C y en el caso de los gradientes térmicos; el rango donde se localizan las mayores densidades es entre 0,8 y 1,4 °C/2mn, indicando que a gradientes superiores las concentraciones de huevos disminuyen notablemente.

El modelamiento estadístico de las variables de densidad de huevos y presencia/ausencia de huevos por estación, a través de las variables de posición geográfica de la estación y las variables oceanográficas, verifican que en general las mayores densidades de huevos se encuentran entre los 20° y 24° de latitud y en sectores cercanos a la costa. Respecto de la temperatura, entre los 16 y 18°C se presentan las máximas proporciones de estaciones positivas a huevos. En relación con la salinidad, los modelos utilizados no muestran una clara relación con la distribución espacial de huevos.



II. 3NDICE GENERAL

	P3gina
I. RESUMEN EJECUTIVO -----	1
II. 3NDICE GENERAL -----	5
III. 3NDICE DE FIGURAS, TABLAS y ANEXOS -----	7
IV. OBJETIVOS -----	16
1. Objetivo general -----	16
2. Objetivos espec3ficos -----	16
V. ANTECEDENTES GENERALES -----	17
VI. DESARROLLO METODOL3GICO -----	24
1. 3rea de estudio -----	24
2. Cruceros -----	24
2.1 Monitoreo reproductivo -----	24
2.2 Crucero de recolecci3n de huevos de anchoveta -----	25
2.3 Crucero de recolecci3n de ejemplares adultos de anchoveta ---	29
3. Metodolog3a por objetivo espec3fico -----	34
3.1 Objetivo espec3fico 2.1 -----	34
3.2 Objetivo espec3fico 2.2 -----	40
3.3 Objetivo espec3fico 2.3 -----	44
3.4 Objetivo espec3fico 2.4 -----	48
3.5 Objetivo espec3fico 2.5 -----	50
3.6 Objetivo espec3fico 2.6 -----	52
VII. RESULTADOS -----	59
1. Cruceros de prospecci3n -----	59
2. Monitoreo reproductivo que fundamenta el inicio del crucero -----	60
3. Distribuci3n y abundancia de huevos de anchoveta, a3o 2003 ---	62
4. Crucero de adultos -----	63



5.	Resultados por objetivo específico -----	65
5.1	Objetivo específico 2.1 -----	65
5.2	Objetivo específico 2.2 -----	66
5.3	Objetivo específico 2.3 -----	68
5.4	Objetivo específico 2.4 -----	69
5.5	Objetivo específico 2.5 -----	70
5.6	Objetivo específico 2.6 -----	70
VIII.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS -----	100
1.	Análisis biológico-pesquero -----	100
2.	Análisis oceanográfico -----	103
3.	Análisis de la distribución espacial de huevos asociado a variables oceanográficas -----	106
IX.	CONCLUSIONES -----	110
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	114
XI.	BASE DE DATOS FIP 2003-07 -----	125

FIGURAS

TABLAS

ANEXOS

- ANEXO 1.** Criterios para la delimitación del área de desove en la aplicación del MPDH para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en la zona norte de Chile.
- ANEXO 2.** Personal participante por actividad (HH)
- ANEXO 3.** Taller de análisis y discusión de resultados.



III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS y ANEXOS

FIGURAS

- Figura 1. Posición geográfica de las estaciones bio-oceanográficas. Crucero MPH – Invierno 2003.
- Figura 2. Relación entre el número de lances y el coeficiente de variación para combinaciones de número de hembras muestreadas por lance, para la estimación de Fracción diaria de hembras desovantes a través de FPO de día 1.
- Figura 3. Relación entre el número de lances y el coeficiente de variación para combinaciones de número de hembras muestreadas por lance, para la estimación de Fracción diaria de hembras desovantes a través de FPO de día 2.
- Figura 4. Relación entre el número de lances y el coeficiente de variación para combinaciones de número de hembras muestreadas por lance, para la estimación de Fracción diaria de hembras desovantes a través de FPO de día 1 y 2 combinados (1+2).
- Figura 5. Evolución del índice gonadosomático de la anchoveta en la I y II Región.
- Figura 6. Evolución mensual de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO) (30 de diciembre de 2002 al 2 de noviembre de 2003).
- Figura 7. Evolución semanal del índice gonadosomático de la anchoveta (30 de diciembre de 2002 al 2 de noviembre de 2003).
- Figura 8. Evolución semanal de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO), año 2003.
- Figura 9. Distribución espacial de las estaciones de ictioplancton. Crucero MPH – Invierno 2003.



- Figura 10. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta. Crucero MPH – Invierno 2003.
- Figura 11. Distribución espacial de los lances de pesca realizados por embarcaciones cerqueras. Crucero MPH – Invierno 2003.
- Figura 12. Distribución de tamaños de la anchoveta en la I y II Regiones. Crucero MPH 2003 – Invierno 2003 (A : Por sexo ; B: Total).
- Figura 13. Distribución de frecuencia en número de estadios de huevos.
- Figura 14. Número de huevos por unidad de muestreo (0,05 m²) según edad (días) para estimación del área según interpolación.
- Figura 15. Número de huevos por unidad de muestreo (0,05 m²) según edad (días) para estimación del área según Límite inferior.
- Figura 16. Regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras hidratadas de anchoveta. Agosto – septiembre, 2003.
- Figura 17. Regresión entre la fecundidad parcial y la longitud total de hembras hidratadas de anchoveta. Agosto – septiembre, 2003.
- Figura 18. Distribución superficial de (a) temperatura (°C) y (b) anomalía de temperatura (°C). Crucero MPH - Invierno 2003.
- Figura 19. Profundidad de la isoterma de 15°C (m) (a) y anomalía de profundidad de la isoterma de 15°C (m) (b) Crucero MPH - Invierno 2003.
- Figura 20. Distribución de (a) temperatura (°C) en el nivel de profundidad de 50 m y (b) diferencia de temperatura (°C) entre superficie y el nivel de 50 m de profundidad. Crucero MPH - Invierno 2003.
- Figura 21. Distribución superficial de (a) salinidad (psu) y (b) anomalía de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2003.



- Figura 22. Distribución de (a) salinidad (psu) en el nivel de profundidad de 50 m y (b) diferencia de salinidad (psu) entre superficie y el nivel de 50 m de profundidad. Crucero MPH - Invierno 2003.
- Figura 23. Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas 7 ($25^{\circ}00'S$), 15 ($23^{\circ}40'S$), 23 ($22^{\circ}20'S$), 31 ($21^{\circ}00'SS$), 39 ($19^{\circ}40'S$) y 47 ($18^{\circ}23'S$). Crucero MPH - Invierno 2003.
- Figura 24. Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas 7 ($25^{\circ}00'S$), 15 ($23^{\circ}40'S$), 23 ($22^{\circ}20'S$), 31 ($21^{\circ}00'SS$), 39 ($19^{\circ}40'S$) y 47 ($18^{\circ}23'S$). Crucero MPH - Invierno 2003.
- Figura 25. Anomalías de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) observadas en los cruceros MPH de los años 1992, 1995, 1996 y 1997.
- Figura 26. Anomalías de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) observadas en los cruceros MPH de los años 1999, 2000, 2001 y 2002.
- Figura 27. Anomalías de salinidad superficial del mar (psu) observadas en los cruceros MPH de los años 1992, 1995, 1996 y 1997.
- Figura 28. Anomalías de salinidad superficial del mar (psu) observadas en los cruceros MPH de los años 1999, 2000, 2001 y 2002.
- Figura 29. Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Período 1992 - 2003.
- Figura 30. Distribución espacial y temporal de la temperatura superficial. Período 1992 - 2003.
- Figura 31. Distribución espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Período 1992 - 2003.
- Figura 32. Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial. Período 1992 - 2003.



- Figura 33. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto de la temperatura de 10 metros de profundidad (°C). Período 1992-2002
- Figura 34. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto de la temperatura de 10 metros de profundidad (°C). Año 2003
- Figura 35. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto a la salinidad superficial (psu). Período 1992-2002.
- Figura 36. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto de la salinidad superficial (psu). Año 2003.
- Figura 37. Relaciones entre el promedio de huevos de anchoveta respecto del gradiente térmico (10 m) Período 1999/2002. -----: “Rango óptimo” de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.
- Figura 38. Relaciones entre el promedio de huevos de anchoveta respecto del gradiente térmico (10 m), Año 2003. -----: “Rango óptimo” de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.
- Figura 39. Relaciones entre el promedio de huevos de anchoveta respecto del gradiente salino superficial Período 1999/2002.-----: “Rango óptimo” de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.
- Figura 40. Relaciones entre el promedio de huevos de anchoveta respecto del gradiente salino superficial, Año 2003. -----: “Rango óptimo” de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.
- Figura 41. Distribución espacial de las estaciones oceanográficas realizadas en los cruceros de los proyectos MPH de anchoveta, 1992 a 2003.
- Figura 42. Histogramas de la temperatura superficial (°C), cruceros proyectos MPH de anchoveta, 1992 a 2003.



- Figura 43. Histogramas de la salinidad superficial (psu), cruceros proyectos MPH de anchoveta, 1992 a 2003.
- Figura 44. Densidad de huevos estimada (estimador delta), temperatura y salinidad superficial media estimada (A,B). 1992 – 2002. Proporción de estaciones positivas (con huevos), temperatura y salinidad superficial (C,D). 1992 – 2002. Densidad media huevos (estaciones positivas, estimador media lognormal). Temperatura y salinidad superficial (E,F). 1992 - 2003.
- Figura 45. Gráfica de los efectos del GAM ajustado al conteo de huevos por estación (modelo Poisson con sobre-dispersión), utilizando los predictores año (lineal), latitud, longitud, temperatura y salinidad (suavizadores spline cúbicos). El cero en el eje vertical indica que no hay efecto del predictor sobre la variable respuesta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Anchoveta proyectos MPH 1992 -2003.
- Figura 46. Gráfica de los efectos del GAM ajustado a la proporción de estaciones positivas (distribución de probabilidad Binomial), utilizando los predictores año (lineal), latitud, longitud, temperatura y salinidad (suavizadores spline cúbicos). El cero en el eje vertical indica que no hay efecto del predictor sobre la variable respuesta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Anchoveta proyectos MPH 1992 -2003.
- Figura 47. Gráfica con las tendencias de los índices estandarizados anuales (obtenidos a través de los GAMs) de la densidad de huevos (A) y la proporción estaciones positivas a huevos (B), cruceros MPH anchoveta, 1992 – 2003.



- Figura 48. Resultados del an3lisis de preferencia-rechazo para los a3os 1992, 1999, 2000, 2001 y 2002, que no muestran diferencias significativas. En azul (F(Temp)): Distribuci3n acumulada de temperaturas; En rojo (g(H)): Distribuci3n acumulada del n3mero de huevos seg3n rangos de temperatura (0,1°C).
- Figura 49. Resultados del an3lisis de preferencia-rechazo para los a3os 1995, 1996, 1997 y 2003, que muestran diferencias significativas. En azul (F(Temp)): distribuci3n acumulada de temperaturas; En rojo (g(H)): Distribuci3n acumulada del n3mero de huevos seg3n rangos de temperatura (0,1°C).
- Figura 50. Distribuci3n de estadios de desarrollo de huevos en los a3os de aplicaci3n del M3todo de Producci3n de Huevos en la zona norte.
- Figura 51. N3mero de huevos por unidad de muestreo (0,05 m²) seg3n edad (d3as) para cada uno de los a3os de aplicaci3n del M3todo de Producci3n de Huevos en la zona norte (3rea seg3n m3todo de interpolaci3n).
- Figura 52. Tendencias en los estimados de P₀ seg3n la nueva metodolog3a aplicada en este a3o (Estimaciones actuales) y las informadas en a3os anteriores (Estimaciones anteriores).
- Figura 53. Biomosas corregidas seg3n los nuevos estimados de P₀ (Biomosas corregidas), comparadas con las Biomosas reportadas en a3os anteriores y las Capturas Totales del a3o.
- Figura 54. Captura total anual (ton) y 3reas de desove seg3n criterio de interpolaci3n.
- Figura 55. Tendencias de las biomasa desovante de anchoveta estimadas por MDPH y MECE.



TABLAS

- Tabla 1. Caracterizaci3n de los estadios ov3ricos de peces pel3gicos (Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985).
- Tabla 2. Caracterizaci3n histol3gica de los fol3culos postovulatorios (FPO) (Hunter y Goldberg (1980), ajustados para *E. ringens*, FIP N° 95-01).
- Tabla 3. Clasificaci3n de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984).
- Tabla 4. Evoluci3n semanal de la actividad reproductiva microsc3pica de la anchoveta en la I y II Regiones, 2003.
- Tabla 5. Densidad promedio, constancia y rangos de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, en invierno de los a±os 1992, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.
- Tabla 6. Posici3n geogr3fica de los lances efectuados durante el crucero de adultos, en la I y II Regiones agosto - septiembre de 2003.
- Tabla 7. Datos para el ajuste no lineal ponderado del modelo exponencial y estimaci3n de la Producci3n diaria de huevos para el 3rea de desove segun interpolaci3n.
- Tabla 8. Datos para el ajuste no lineal ponderado del modelo exponencial y estimaci3n de la Producci3n diaria de huevos para el 3rea de desove segun l3mite inferior.
- Tabla 9. Resultados del an3lisis de regresi3n para los modelos ajustados entre la fecundidad parcial con peso corporal y longitud total.



- Tabla 10. Resumen de los datos de los lances. Promedios de las 30 primeras hembras maduras de: longitud total (LT), peso total (PT; Corregido), peso corporal (PC), peso gónada (PG), fecundidad parcial estimada (FPE), hembras maduras (HM), hembras hidratadas (HH), folículos postovulatorios de edad 0, 1 y 2 días. Peso total de hembras corregidas (PTHCOR), hembras (H), Peso total de machos corregidos (PTMCOR) machos (M) del muestreo de proporción sexual.
- Tabla 11. Resumen de resultados de la estimación de la biomasa desovante de anchoveta, según la nueva metodología de cálculo de Producción Diaria de Huevos (P_o), 1992-2003. Re-estimaciones de Biomاسas y P_o solo para el criterio de Interpolación para la delimitación del área de desove.
- Tabla 12. Estadísticas descriptivas de las principales variables monitoreadas en los cruceros de ictioplancton. Cruceros proyectos MPH anchoveta, 1992 a 2003.
- Tabla 13. Resumen ajuste GAM Poisson con sobre-dispersión para la variable conteo de huevos. Grados de libertad y test F para los efectos no-paramétricos
- Tabla 14. Resumen ajuste GAM Binomial para la variable presencia/ausencia de huevos. Grados de libertad y test Chi-cuadrado para los efectos no-paramétricos.
- Tabla 15. Resultados de la prueba de diferencias significativas en el análisis de preferencia-rechazo mediante bootstrap (2000 remuestreos). Diferencia máxima indica la mayor diferencia entre las frecuencias acumuladas de temperatura y número de huevos. Número > Real, indica el número de veces que en el remuestreo (2000) esta diferencia fue superada. Probabilidad indica la proporción de veces que la diferencia máxima fue superada en los remuestreos. Para que sea significativa la diferencia (preferencia o rechazo) la probabilidad debe ser menor a 0,05.



- Tabla 16. Estimaciones de P_0 según nueva metodología (Estimaciones actuales), comparadas con los estimados anteriores (Estimaciones anteriores). P_0 en huevos/0,05 m²/día. Error estándar de P_0 y n: número de puntos utilizados en la regresión. Biomasa en toneladas.
- Tabla 17. Parámetros calculados a través de la aplicación del MPH para la anchoveta en la I y II Regiones. Incluye biomasa recalculadas en base al nuevo P_0 .
- Tabla 18. Estimaciones históricas de la tasa de mortalidad diaria de huevos en la aplicación del MPH para la anchoveta en la I y II Regiones.

ANEXOS

- ANEXO 1.** Criterios para la delimitación del área de desove en la aplicación del MPDH para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta en la zona norte de Chile.
- ANEXO 2.** Personal participante por actividad (HH)
- ANEXO 3.** Taller de análisis y discusión de resultados.



IV. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Cuantificar mediante la aplicación del Método de Producción de Huevos la biomasa desovante de anchoveta, comprendida en la zona costera desde el límite norte de la República hasta los 26° 03'L.S.

2. Objetivos específicos

- 2.1** Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos.
- 2.2** Estimar la proporción de estadios de madurez microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada.
- 2.3** Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas.
- 2.4** Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas.
- 2.5** Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
- 2.6** Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto.



V. ANTECEDENTES GENERALES

El sector pesquero se ha convertido en una de las áreas más dinámicas de la economía del país y sitúan a Chile como una potencia mundial en términos pesqueros. En este sentido cabe destacar que el año 2003 el valor FOB de las exportaciones pesqueras totalizó una cifra aproximada de 2.250 millones de dólares (Elaborado por IFOP en base a información del Banco Central y del Servicio Nacional de Aduanas) lo que representa aproximadamente un 10% del total de las exportaciones chilenas en el año.

Los desembarques del sector se sostienen principalmente en la extracción de unas pocas especies pelágicas y demersales, distinguiéndose entre los recursos pelágicos al jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*), anchoveta (*Engraulis ringens*), caballa (*Scomber japonicus*) y sardina (*Sardinops sagax*), los cuales representan una fracción relevante de la captura total (SERNAPESCA, 2002). En efecto, durante los últimos años, la actividad pesquera de la zona norte se ha cimentado fundamentalmente en las capturas de anchoveta, caballa y jurel, contribuyendo en el desembarque total del año 2003, con aproximadamente el 95% (Martínez *et al.*, 2003).

En la zona norte de Chile, la pesquería de pequeños pelágicos comenzó hacia finales de los años y se basó casi exclusivamente en la captura de anchoveta hasta mediados de la década del 70. Posteriormente, esta pesquería muestra tres períodos principales: el primero (1973-1986) con un crecimiento sostenido, alcanzando hasta 3,4 millones de toneladas a mediados de los '80; en este período se produce el colapso en las capturas de anchoveta y, paralelamente, los desembarques de sardina aumentan significativamente hasta 1985, pasando a constituirse en el principal recurso explotado en dicha región. La segunda fase (1986-1996) es un período de ajuste, producto de la baja experimentada de las capturas hasta llegar en 1996 a 1,4 millones de toneladas; en este período se produce el colapso de la



pesquería de sardina y las capturas de anchoveta, desde 1992-93 en adelante, han representado el desembarque mayoritario de la zona. Posteriormente, la tercera etapa (1997-2002) presenta una tendencia a la estabilización de las capturas a niveles del orden de 1,3 millones de toneladas por año.

De acuerdo a lo anterior, la actividad extractiva de la industria pesquera en la I y II Región está fuertemente vinculada a la disponibilidad del recurso anchoveta, la cual durante el año 2003 registró una importante disminución en el volumen de captura del orden del 70%, pasando de 1,1 millones de toneladas en 2002 a 350 mil ton en el año 2003. Este tipo de fluctuaciones, sumado a las variaciones ambientales, pueden llevar rápidamente a las pesquerías a colapsar.

En el caso de la pesquería pelágica desarrollada en la zona norte, los desembarques muestran grandes fluctuaciones, asociados a la inestabilidad del stock, provocada por la sobreexplotación del recurso y condiciones ambientales desfavorables, relacionadas con el fenómeno de "El Niño" (Martínez *et al.*, 1995; Yáñez *et al.*, 1995). En este sentido, cabe destacar que el comportamiento y distribución de los recursos pelágicos están estrechamente relacionados con el medio ambiente, Morales *et al.* (1996) indican que la anchoveta varía considerablemente su comportamiento con el fenómeno de "El Niño" ya que se profundiza para alcanzar zonas de bajas tensiones de oxígeno disuelto, con el fin de utilizar productos autotróficos en condiciones de mínimos de oxígeno; a su vez, los cambios en el medio físico condicionan de manera importante la cobertura geográfica de los recursos y su abundancia (García, 1993), además de que la distribución y abundancia de los recursos y de sus estadíos de desarrollo (huevos y larvas) se ven afectadas seriamente durante los fenómenos de "El Niño", debido a la aparición de masas de aguas más cálidas y salinas de origen subtropical (Jacob, 2002).

Por lo anterior y considerando que esta pesquería ha sido analizada tomando en cuenta la evolución del esfuerzo de pesca y la variabilidad del medio ambiente y que



además algunos estudios han considerado el efecto del medio ambiente sobre dichos recursos (Cañón, 1986; Castillo y Guzmán, 1985; Oliva *et al.*, 2003; Braun *et al.*, 2004), se hace necesario la obtención de estimaciones de biomasa a través de distintas metodologías. En este sentido, una metodología alternativa para la evaluación de la biomasa desovante en peces pelágicos como la anchoveta, corresponde al “Método de Producción de Huevos” (MPH), desarrollada en 1980 por investigadores del Southwest Fisheries Science Center, La Jolla, California. La producción diaria de huevos se estima a partir del número de huevos totales evaluados en una prospección ictioplanctónica en asociación a otras variables y la fecundidad específica diaria de la población adulta, se determina mediante el procesamiento de muestras de peces, obtenidas durante cruceros de pesca, las que proporcionan información respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción de sexos.

Dentro de este contexto, considerando la importancia de este tipo de estudios para incrementar la comprensión en la distribución y abundancia de los recursos y sus fluctuaciones, el Consejo Zonal de Pesca en concordancia con el Consejo de Investigación Pesquera y Subsecretaría de Pesca, han decidido la continuación de esta línea de investigación con el objeto de contar con los antecedentes técnicos necesarios para una apropiada asesoría técnica al manejo de estos importantes recursos de la zona norte del país.

- **Antecedentes del Método de Producción de Huevos (MPH)**

El Método de Producción de Huevos define la biomasa desovante como la fracción de peces capaces de desovar durante el período del crucero (Parker, 1980). Los peces que no son capaces de desovar son presumidos como aquellos que no han llegado a su primera madurez sexual. Peces en condición de postdesove se asume que han sido capaces de desovar durante el Crucero de forma tal que son incluidos como parte de la biomasa desovante (Macewicz *et al.*, 1996). La biomasa desovante se estima por la relación entre la producción diaria de huevos



(huevos evacuados al mar en un d3a por la poblaci3n total de hembras) y la fecundidad espec3fica diaria de la poblaci3n adulta (huevos potenciales de ser desovados por d3a por tonelada m3trica). La producci3n diaria de huevos se calcula de los datos de densidad y estado de desarrollo embrionario de los huevos colectados en un crucero de ictioplancton. La fecundidad espec3fica diaria de la poblaci3n adulta se determina mediante el procesamiento de muestras de peces obtenidas durante un crucero de pesca, las cuales proporcionan informaci3n respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporci3n de sexos.

La aplicaci3n del M3todo de Producci3n de Huevos para la determinaci3n de la biomasa de peces pel3gicos multidesovantes con fecundidad indeterminada, como anchoveta y sardina, tuvo dificultades debido al desconocimiento de m3todos adecuados para estimar la frecuencia del desove. En 1979, Hunter y Goldberg (1980), acogiendo una sugerencia formulada por Yamamoto y Yoshioka (1964), en el sentido, de que la frecuencia del desove podr3a ser determinada a trav3s de la incidencia de los fol3culos postovulatorios, logran mediante la inducci3n del desove de anchoveta de California, mantenidas en cautiverio, caracterizar histol3gicamente el proceso de degeneraci3n de los fol3culos postovulatorios en funci3n del tiempo, y a partir de ello, definir criterios para establecer la edad de dichas estructuras, y utilizarlas para la estimaci3n directa de la frecuencia del desove en poblaciones naturales de peces pel3gicos multidesovantes.



El método para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta, se fundamenta en gran parte en el ciclo de desarrollo del ovario, el cual pasa por una serie de estadíos. El ovocito en el transcurso de su desarrollo crece en el ovario proveyéndose de vitelo y horas antes del desove comienza un proceso de hidratación, aumentando aproximadamente cuatro veces su volumen total. Los ovarios con ovocitos hidratados son fácilmente reconocibles a simple vista, debido a que la dilución del vitelo hace transparente a los ovocitos. En el curso de los tres días posteriores al desove, la capa de células que originalmente rodeaba el ovocito, ahora denominado folículo postovulatorio, sufre un proceso de degeneración.

El ovocito, una vez que es evacuado y fertilizado pasa por una serie continua de fases de desarrollo embrionario, cuya duración es dependiente de la temperatura del agua.

El "Método de Producción de Huevos" presenta en términos generales las siguientes ventajas:

a) Proporciona una estimación instantánea de la biomasa desovante, b) sus fuentes de error están identificadas, siendo factible estimar fácilmente la precisión de cada una de ellos, c) proporciona información biológica anexa (fecundidad, tasa de mortalidad de huevos, proporción de peces maduros, etc) de utilidad para evaluar la condición del stock y el reclutamiento potencial, y d) constituye una fuente de información auxiliar para calibrar las evaluaciones indirectas.

Los resultados obtenidos con la aplicación del MPH en Chile, indicaron para la subpoblación de anchoveta en la zona norte una biomasa desovante de 1.053.000 toneladas en 1992 (Rojas y Oliva, 1993). Posteriormente, en 1995 Claramunt *et al.* (1996) estimaron una biomasa de anchoveta de 1.223.515 toneladas y en 1996 los niveles bajaron considerablemente alcanzando a sólo 581 mil toneladas (FIP N° 96-01), manteniéndose valores similares en 1997, registrándose 594 mil tone-



ladas (FIP N° 97-01), coincidiendo con la evaluación acústica de la biomasa de la anchoveta, la cual alcanzó a 623 mil toneladas (FIP N° 97-01). La aplicación en 1999 entregó una biomasa de 1.118.674 toneladas (FIP N° 99-10).

En el año 2000 y 2001 las estimaciones se efectuaron por dos criterios estructural o límite inferior y funcional o de interpolación que se relacionan con la manera en que se representa el área de desove. Las estimaciones para el 2001 fueron 332.243 y 425.890 toneladas, respectivamente, las que notan un decremento respecto a agosto de 2000, que fueron de 587.806 y 754.040, toneladas para los métodos antes mencionados.

En el año 2002, la biomasa del stock desovante a través del criterio de interpolación o funcional fue estimada en 757.308 t y por el criterio de límite inferior o estructural se estimó en 567.175 t. Con respecto al año 2003, la biomasa del stock desovante existente en la I y II Regiones, estimada a través del criterio de interpolación o funcional alcanzó a 424.417 t, y por el criterio de límite inferior o estructural fue estimada en 522.314 t.

En el año 2000, se efectuó un reprocesamiento de la información obtenida durante la aplicación del MPH en años anteriores bajo criterios únicos y estandarizados, lo que permitió comparar los estimados de biomasa desovante de anchoveta. Una conclusión importante del reanálisis es que al observar los resultados del MPH como serie de tiempo, se visualiza que las tendencias en las biomásas son independientes de los criterios de estimación de las áreas de desove, pudiendo ser usadas en el estudio de sus fluctuaciones o como índices de calibración de métodos indirectos, lo que hace recomendable su aplicación. Es así que al comparar las tendencias históricas de biomasa desovante con las capturas totales del año, se observa que siguen la misma tendencia, indicando la robustez de los resultados del MPH (Oliva *et al.*, 2001).

Es importante indicar, que las biomásas estimadas en 1996 y 1997, presentaron una considerable disminución, representando sólo un 54 y 51%, respectivamente,



de lo reportado en 1995. Situación que ya en 1997, basada en la aplicación del MPH, se indicaba la situación de riesgo del stock desovante de la anchoveta (Oliva *et al.*, 1998), lo cual posteriormente fue corroborado en 1998, con la ocurrencia del peor año pesquero que se tiene reporte en los últimos 50 años, año en que la captura anual de anchoveta alcanzó sólo a 122 mil toneladas.



VI. DESARROLLO METODOLÓGICO

De conformidad con la metodología planteada en la propuesta técnica y con el fin de estimar los parámetros biológicos que requiere la aplicación del Método de Producción de Huevos, a saber: fecundidad media poblacional, frecuencia de desove, proporción sexual, producción diaria de huevos y peso promedio estimado de hembras maduras, se realizaron los respectivos muestreos para el recurso anchoveta, durante el período de máxima actividad reproductiva del año 2003.

La colecta de huevos y el muestreo de ejemplares adultos de anchoveta se efectuaron a bordo del B/C “Carlos Porter” y a través de la operación de 4 embarcaciones pesqueras industriales en régimen de Pesca de Investigación, respectivamente.

1. Área de estudio

El área de estudio comprendió la zona tradicional de desove de anchoveta, que se extiende desde el límite norte de la República, 18°20'S, hasta el paralelo 26°03'S y desde la costa hasta 60 millas náuticas (**Figura 1**).

2. Cruceros

2.1 Monitoreo reproductivo

Con el propósito de determinar con exactitud la fecha de inicio del crucero de muestreo de huevos, se analizó la información proveniente del monitoreo reproductivo de la anchoveta.

El muestreo reproductivo de la anchoveta se desarrolló de enero a octubre de 2003. El procedimiento aplicado consistió en recolectar gónadas de hembras de anchoveta de la captura comercial, con el fin de determinar mediante técnicas macroscópicas (variaciones del índice gonadosomático) y microscópicas (índice



de actividad de desove), la condición reproductiva de la especie (**Tablas 1 y 2**). Para ello se analizaron macroscópicamente 20.896 hembras y microscópicamente 4.481 ovarios de anchoveta, cifras 26,2% y 9% menor con respecto a las analizadas en el año 2002, respectivamente.

2.2 Crucero de recolección de huevos de anchoveta

El diseño de muestreo estuvo configurado por una grilla de 573 estaciones distribuidas en 47 transectas perpendiculares a la costa, equidistante cada 10 mn. Las estaciones se localizaron en las transectas a 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 millas de la costa.

Debido a las condiciones meteorológicas imperantes durante la realización del crucero, la grilla de estaciones bio-oceanográficas señalada en la propuesta técnica no pudo realizarse a plenitud y el detalle de las transectas que no se logró completar, se entrega en el siguiente cuadro:

Número de transecta	Localidad	Latitud	N°estaciones efectuadas
1	Punta Carrizalillo	26°00'S	9 (1 a 40 mn)
2	Sur Punta Ballena	25°50'S	1 (a 35 mn)
3	Punta Lavata	25°40'S	0
4	Punta San Pedro	25°30'S	2 (1 y 5 mn)
5	Islote Blanco	25°20'S	5 (1 a 20 mn)
6	Bahía Nuestra Señora	25°10'S	5 (1 a 20 mn)
25	Punta Aña	22°00'S	10 (1 a 45 mn)
26	Cerro Tolar del Carmen	21°50'S	10 (1 a 45 mn)
27	Punta Arenas	21°40'S	10 (1 a 45 mn)
28	Punta Chileno	21°30'S	10 (1 a 45 mn)
29	Punta Chipana	21°20'S	10 (1 a 45 mn)
30	Caleta San Marcos	21°10'S	10 (1 a 45 mn)



En cada estación, se obtuvo una muestra de zooplancton mediante el uso de redes estándares **CaIVET** (Californica Vertical Tow), en su versión doble **PAIROVET** (Smith *et al.*, 1985) de 0,05 m² de área de boca, equipadas con mallas de 150 µm de abertura de poro, la cual se remolcó verticalmente desde una profundidad máxima de 70 m o desde 5 m sobre el fondo hasta la superficie en el caso de profundidades menores. El calado y virado se realizó a una velocidad nominal de 1 m/s, considerándose un tiempo de estabilización de 10 segundos una vez alcanzada la máxima profundidad de muestreo.

Durante la ejecución de cada lance de pesca se registraron 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.

Las muestras obtenidas en cada una de las estaciones se preservaron inmediatamente después de extraídas del copo colector de la red, con una solución de formalina en agua de mar al 5% tamponada con tetraborato de sodio, para evitar de esta manera un posible deterioro de los ejemplares capturados.

Para el procesamiento de las muestras en el laboratorio, se emplearon microscopios estereoscópicos marca Nikon y Zeiss con aumento de 8 a 40 veces. El procesamiento inicial de las muestras en laboratorio en tierra, contempló dos etapas:

- Extracción de cada una de las muestras, la totalidad de los estadios tempranos de peces (huevos y larvas),
- Identificación taxonómica de huevos de anchoveta, para luego clasificarlos según estadios de desarrollo



2.2.1 Registro de datos oceanográficos

En cada transecta perpendicular a la costa se realizaron 13 estaciones distribuidas entre 1 y 60 mn de la costa, separadas por una distancia de 5 mn (**Figura 1**). En cada una de ellas se obtuvo registros continuos de temperatura (°C) y salinidad con profundidad (dbar) hasta un máximo de 100 dbar, mediante el uso de un CTD marca Sea Bird modelo 19, equipado con bomba. En algunas estaciones se tomaron muestras de agua mediante el uso de botellas de muestreo oceanográfico tipo Niskin de 1,7 L para el análisis de salinidad y se realizaron además mediciones de temperatura con termómetros de inversión. Los muestreos discretos de agua para análisis de salinidad y registros de temperatura se efectuaron con el objeto de validar los datos del equipo electrónico y efectuar correcciones a éstos, si fuese necesario. Los análisis de las muestras correspondientes a salinidad fueron efectuados en el laboratorio de IFOP, utilizando un salinómetro digital marca TSK modelo DIGIAUTO.

2.2.1.1 Procesamiento de la información

La información del CTD fue procesada de acuerdo a procedimientos recomendados por el fabricante. El control de calidad de los datos de CTD se realizó con la información de temperatura y salinidad obtenida en terreno con los termómetros de inversión y los análisis de muestras de agua para salinidad.

Tanto la recolección de las muestras de agua como las observaciones de temperatura, para el control de calidad de los datos del CTD, son tomados en forma espaciada entre estaciones con la finalidad de obtener información representativa de todo el crucero, ya que los sensores del CTD, en especial el de salinidad, podría presentar un corrimiento respecto a los datos verdaderos en algún momento del trabajo de terreno. Para evitar desviaciones entre los valores del CTD y los del muestreo discreto debido a diferencias de profundidad en la obtención de las muestras, originadas principalmente, por el balance del buque y el ángulo del cable,



es que la información discreta se obtuvo sólo de la capa de mezcla superficial de la columna de agua.

Dado que los termómetros calibrados y el salinómetro utilizados como equipos de control, tienen sólo una precisión de 0,05°C y 0,05 psu, respectivamente, es que se utilizó este valor como límite en las diferencias entre las mediciones del CTD y las de estos dos instrumentos. La observación de las diferencias entre ambas mediciones se hizo en forma secuencial de acuerdo a la realización de las estaciones, para determinar de esta forma el comportamiento del equipo electrónico en el tiempo. En caso, de presentarse diferencias mayores a 0,05 en alguna de las variables se procedería a corregir la información desde la estación en que se registre esta diferencia.

No obstante lo anterior y para asegurar un buen comportamiento del CTD previo al trabajo de terreno, se realizó una inter calibración con el CTD Neil Brown modelo MK3C del B/C “Abate Molina”, el que es utilizado como equipo control. En este caso se obtuvo perfiles de temperatura y salinidad en la columna de agua desplegando ambos equipos en forma simultánea. A los datos de cada perfil se les aplicó el “Test para muestras pareadas” (Zar, 1974).

Esta prueba estadística se utiliza cuando existen dos muestras dependientes, en el sentido de que cada observación en una muestra se asocia con alguna observación particular de la otra. La hipótesis nula considera que las medias de las dos poblaciones son iguales (diferencia cero) versus que estas difieren (mayor o menor) y utiliza la estadística de prueba t, definida como,

$$t = \frac{\bar{d} - c}{S_d}$$

donde, \bar{d} corresponde a las diferencias promedio de las muestras, c especifica el nivel de diferencia crítico (en este caso 0,01 dado por el nivel de precisión de los



equipos CTD_s), S_d es el error estandar asociado a las diferencias y finalmente t posee una distribuci3n t-Student con $n-1$ grados de libertad.

Los datos finales de CTD permitieron obtener la variable densidad, expresada como sigma-t (Millero y Poisson, 1981).

Los valores de salinidad se entregan en forma adimensional, siguiendo las recomendaciones de UNESCO (1981); por conveniencia se anotan omitiendo el factor 10^{-3} .

De los perfiles de CTD se obtuvo la profundidad de la isoterma de 15°C y la temperatura y salinidad del nivel de 50 metros.

Para la determinaci3n de la anomalía de temperatura y salinidad superficial y el de profundidad de la isoterma de 15°C , se utilizaron los promedios mensuales calculados para la zona de estudio con datos hist3ricos.

Con los datos ya procesados se confeccionaron cartas superficiales de distribuci3n de las variables temperatura y su anomalía, salinidad y su anomalía, profundidad de la isoterma de 15°C y su anomalía, temperatura y salinidad a 50 m de profundidad y la diferencia de éstas con respecto al valor registrado en superficie.

2.3 Crucero de recolecci3n de ejemplares adultos de anchoveta

Por lo general, en los cardúmenes de Clupeoídeos como la anchoveta la distribuci3n de los peces es generalmente homogénea respecto al tamaño y a la condici3n de las g3nadas, por lo cual la estimaci3n de la fracci3n de hembras en desove se relaciona con el tipo de muestreo aplicado, situaci3n que es evidente durante la época de mayor actividad de desove.



De acuerdo al conocimiento disponible acerca del proceso reproductivo de la anchoveta, en períodos sin perturbación ambiental, los cardúmenes con hembras en estado hidratado caracterizados por el predominio de machos se ubican en cardúmenes específicos, los cuales se separan de aquellos que están en otra condición reproductiva. Este comportamiento ha sido observado por otros investigadores (Blaxter y Hunter, 1982; Oliva *et al.*, 1989; Martínez *et al.*, 1992 - 1993- 1994, Oliva *et al.*, 2000).

En consecuencia el diseño de muestreo orientado a estudiar los parámetros indicados en los objetivos específicos 2.2, 2.3 y 2.4, corresponde al de conglomerados bietápico. Las unidades de primera etapa corresponden a los "lances" de pesca y las unidades de segunda etapa a los "peces capturados" en cada lance. En ese marco, el esfuerzo de muestreo indica al número "n" de lances y al número "m" de peces, necesarios para hacer mínima la varianza, cuando se dispone de recursos económicos fijos. Al respecto, es importante mencionar que en las anteriores aplicaciones del MPH se ha llegado a la misma conclusión en cuanto al tamaño mínimo de muestras de adultos, esto es, que un esquema de muestreo de 30 hembras por lance, para un total de 40 lances, es adecuado para un coeficiente de variación menor a 0,2. Es así que se han efectuado 50 lances en 1992 (Rojas y Oliva, 1993), 40 lances en 1995 (Claramunt *et al.*, 1996), 32 lances en 1996 (Claramunt *et al.*, 1997), 60 lances en 1997 (Oliva *et al.*, 1998), 51 lances en 1999 (Oliva *et al.*, 2000), 60 lances en 2000 (Oliva *et al.*, 2001) y 60 lances en los años 2001 y 2002 (Oliva *et al.*, 2002, 2003).

En el año 2003 se propuso realizar 40 lances positivos (con anchoveta), lográndose en definitiva efectuar 60 lances positivos de un total de 120 realizados.

Con la información disponible de años anteriores, se procedió a evaluar el tamaño mínimo de lances y número de ejemplares por lance. Para esto se seleccionaron los años 2000 y 2002 por ser los que tienen mayor número de lances y a que representan un máximo de fracción diaria de hembras desovantes (2000 con 0,19



día⁻¹) y un mínimo (2002 con 0,14 día⁻¹) dentro de la serie histórica. Este análisis se realizó mediante remuestreo computacional no paramétrico, en donde de cada año se seleccionaron al azar combinaciones de lances y número de hembras por lance. Las combinaciones van de 5 a 60 lances a intervalos de 5 lances y de 5 a 30 hembras por lance a intervalos de 5 hembras. En cada combinaci3n se realizaron 500 remuestreos. En cada remuestreo se obtuvo la fracci3n diaria de hembras desovantes a trav3s de folículos postovulatorios de día 1, día 2 y combinaci3n de ambos. Finalmente se obtuvo la media y el coeficiente de variaci3n, concluyendo que es más eficiente aumentar el número de lances que el número de hembras por lance, lo que es concordante con los resultados de Picquelle (1985). Con un esquema de muestreo de 30 lances y 30 hembras se asegura un coeficiente de variaci3n inferior al 20% con fracciones desovantes altas y bajas, tanto para estimaciones provenientes a trav3s de FPO de día 1 y día 2. Al combinar FPO 1 y 2 se reduce el tamaño mínimo. Sin embargo, dado que la fracci3n desovante podría ser menor a 0,14 día⁻¹ y a que no en todas las oportunidades se pueden combinar los FPO de día 1 con día 2, una estrategia como la planteada inicialmente de 40 lances y 30 hembras por lance parece ser la mejor opci3n. Más de 40 lances sería un esfuerzo innecesario (**Figuras 2, 3 y 4**).

a) Muestreo de ejemplares adultos de anchoveta

El muestreo se realizó a bordo de embarcaciones cerqueras las que se equiparon con una red anchovetera para sistema Petrel, construida de paños con nudos y sin nudos en los distintos sectores de la red (copos, antecopos, refuerzos y cuerpos finos), cuyas dimensiones fueron de 600 * 65 brazas, con un embande de 32%. Adem3s, las embarcaciones contaban con sonar, radar, ecosonda, navegador por satélite, radiogoni3metro y radios (HF y VHF).

El muestreo consistió en abrir los ejemplares desde el ano hasta las aletas pectorales, seleccionando aquellos especímenes vivos, los cuales fueron inmediatamente fijados en formalina al 10% buferada (introducidos completamente en el



fijador), la que se prepar3 segun Santander *et al.* (1984); Hunter y Macewicz (1985); Oliva *et al.* (1989); Rojas y Oliva (1993); Oliva *et al.* (1998). La preparaci3n fue de acuerdo a las siguientes proporciones:

- 16,2 litros agua destilada
- 117 gramos fosfato de sodio dib3sico ($\text{Na}_2 \text{H PO}_4$)
- 72 gramos fosfato de sodio monob3sico ($\text{Na H}_2 \text{PO}_4 \text{H}_2\text{O}$)
- 1,8 litros soluci3n de formaldehido (37%)

A bordo se recolectaron como m3nimo 100 ejemplares por lance, registr3ndose su longitud total por sexo y estadio de madurez (macrosc3pico). Esta actividad permiti3 obtener antecedentes oportuno y a tiempo real respecto de la composici3n por tama1o y condici3n reproductiva de la anchoveta.

Correcci3n por fijaci3n

Debido a que los peces se preservaran en formalina hasta su procesamiento en laboratorio, ser3 necesario aplicar una correcci3n a los registros de peso, ya que el fijador introduce una variaci3n en este par3metro. De acuerdo a lo recomendado por Hunter (1985), en el sentido que en los factores que influyen en esta variaci3n est3n las diferencias interespec3ficas, tama1o de los peces, estado del pez cuando es preservado, tiempo en formalina y raz3n de formalina y diluyente. Por lo que los efectos de preservaci3n en formalina son muy espec3ficos, siendo necesaria una calibraci3n para cualquier cambio en t3cnica, especie o estadio de vida. Este factor de correcci3n ser3 calculado como sigue: Una muestra de machos y una de hembras, se pesar3 en fresco, para luego ser fijadas, con la misma soluci3n y procedimiento a utilizar a bordo, siendo vueltos a pesar a intervalos regulares. El factor de correcci3n para cada sexo, ser3 calculado como la media del porcentaje de variaci3n de las mediciones de peso efectuadas despu3s de 48 h desde la fijaci3n.



b) Procesamiento de las muestras en el laboratorio histol3gico

Los especimenes preservados en formalina neutralizada se procesaron en el laboratorio. Se registr3 la longitud total de cada ejemplar, medido en un icti3metro con una precisi3n de 0,5 cent3metros, y el peso total, peso g3nada, mediante la utilizaci3n de una balanza con una precisi3n de 0,01 gramos.

Terminada la fijaci3n, los ovarios se deshidrataron e incluyeron en paraplast, luego se efectuaron cortes histol3gicos de 5 micrones de espesor, los que fueron teñidos con hematoxilina y contrastados con eosina. Finalmente, se montaron con entellan en portaobjetos y se les efectu3 su lectura y an3lisis.

c) An3lisis microsc3pico de los ovarios

Las variaciones de la condici3n reproductiva se determinaron a trav3s del an3lisis de la distribuci3n mensual de los estadios de madurez de los ovarios, en base al diagn3stico histol3gico del par3nquima gonadal, aplicando una escala microsc3pica espec3fica (**Tabla 2**).



3. Metodología por objetivo específico

En la presente sección se desarrollan los aspectos metodológicos para cada uno de los objetivos específicos.

3.1 Objetivo específico 2.1

"Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos"

a) Clasificación de los huevos de anchoveta de acuerdo a estadios de desarrollo

La clasificación de los huevos de anchoveta por estadio de desarrollo se efectuó en la totalidad de los ejemplares de cada muestra, utilizando el criterio establecido por Moser y Ahlstrom (1985), quienes dividieron el período del desarrollo embrionario de los huevos de anchoveta en once estadios de acuerdo a los cambios morfológicos que se producen en el transcurso de la embriogénesis (**Tabla 3**). Los huevos que no pudieron ser asignados a ninguno de dichos estadios, debido a opacidad o daño en sus estructuras internas, se clasificaron como deteriorados (DET.).

b) Determinación de la edad de los huevos de anchoveta

La determinación de la edad de los huevos de anchoveta se efectuó mediante un procedimiento automatizado descrito por Lo (1985), el cual se programó en Visual Basic for Applications. El procedimiento asigna la edad sobre la base de los datos de fase de desarrollo, temperatura del agua en el momento de la captura y hora de la pesca.



El modelo temperatura-estado de desarrollo dependiente, planteado por Lo (1985) es el siguiente:

$$y_{it} = a e^{(bt+ci)} t^d \quad \text{Ec. 1}$$

donde :

y_{it} : edad promedio de los huevos del estado i -ésimo a la temperatura t

a, b, c, d : parámetros del modelo

El ajuste del modelo a través del estudio experimental entregó la siguiente expresión:

$$y_{it} = 16,07 e^{-(0,1145 t + 0,098 i)} t^{1,74} \quad \text{Ec. 2}$$

La estimación definitiva de la edad (y_{itk}) corresponde a la edad promedio (y_{it}) obtenida del modelo de temperatura dependiente ajustada por la hora de la pesca (K) asumiendo que el máximo del desove se produce a las 22:00 horas y ajustando la edad por la porción del día desde las 22:00 horas previas hasta el momento de la recolección para el día más cercano.

La expresión básica para la determinación de la edad de los huevos es:

$$y_{itk} = y_{it} + k - T \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

i : fase de desarrollo

t : temperatura en °C

k : hora de la estación

T : tiempo esperado para el huevo fase de desarrollo i , el cual se estima a través de:

$$T = \text{residuo de } (Y_{it} + 22) / 24 \quad \text{Ec. 4}$$



Las decisiones de correcci3n segun la hora de la estaci3n (K) son:

$$y_{itk} = \begin{cases} y_{it} - G & \text{si } k < T - G \\ y_{it} + k - T & \text{si } T - G < k < T + G \\ y_{it} + G & \text{si } T + G < k \end{cases}$$

Donde G es el doble de la desviaci3n estandar de la edad dentro de cada estadio.

Los huevos de la categora DET (deteriorados) fueron asignados a un estadio de desarrollo segun los siguientes criterios de decisi3n (Hewitt *et al.*, 1984):

1. Huevos que pudieron ser identificados dentro de un rango de estadios, fueron asignados en forma ponderada de acuerdo a la proporci3n por estadio ya determinada para la muestra.
2. En aquellas estaciones en las que s3lo se encontraron huevos DET, estos fueron distribuidos aleatoriamente siguiendo una distribuci3n uniforme dentro del rango de estadios posibles.

c) Estimaci3n de la producci3n diaria de huevos en el mar y tasa de mortalidad

El parámetro P_0 , producci3n diaria de huevos en el mar, es el n3mero de huevos desovados por noche, por unidad de area. Es el parámetro que aporta mayor varianza, raz3n por la cual actualmente se siguen buscando nuevas alternativas de aumento de la precisi3n del estimador. Utilizando el procedimiento entregado por Picquelle y Stauffer (1985), la abundancia de los huevos a las edades determinadas se analiz3 utilizando el siguiente esquema de muestreo sistemático: el area de muestreo se dividi3 en rectángulos de $5 \times 10 \text{ m}^2$. En el centro de cada rectángulo se obtuvo una muestra de zooplancton equivalente a $0,05 \text{ m}^2$ de superficie. Este diseño



de muestreo asume que la distribución de los huevos al interior de un bloque es independiente de la distribución dentro de los bloques adyacentes (P. Smith, en Picquelle y Hewitt, 1983).

La estimación de P_0 para este año (2003) fue modificada respecto de la metodología seguida en años anteriores. Esta modificación obedece principalmente a las recomendaciones emanadas del Meeting “Small Pelagic Fish Spawning Habitat and the Daily Egg Production Method” del Programa SPACC (Small Pelagic and Climate Change) de GLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics) Internacional que se llevó a cabo en Concepción, 12 al 16 de enero del 2004 y que reunió a especialistas de diferentes países (México, España, Sud África, Francia, Estados Unidos, Grecia, Australia, Nueva Zelanda, Noruega; Alemania, Portugal, Gran Bretaña) (página web: <http://www.pml.ac.uk/globec/structure/RegProgs/SPACC/workshop/concepcion/htm>) que están aplicando el Método de Producción de Huevos y a un Taller de trabajo realizado con Nancy Lo (NOAA, EEUU) y Andrés Uriarte (AZTI, España) el día 9 de enero del 2004 en dependencias de INPESCA, Talcahuano. Una de las sesiones del Meeting versó sobre aspectos de los métodos de estimación y se recomendó que con el fin de hacer comparables las estimaciones entre especies y/o poblaciones se aplique una metodología similar. Los cambios introducidos guardan relación principalmente con 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. La metodología a seguir es:

- a) Una vez asignada la edad según estadio, temperatura, hora de colecta y pico de desove diario (ya explicado en punto anterior) 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 asigna la edad esperada según hora de colecta y pico de desove diario (i.e. 22:00 h).



- b) Se incluyen las estaciones negativas (sin huevos) que quedan circunscritas en lo que se define como 1rea de desove. Se les asigna la edad segun hora de colecta y pico de desove.
- c) Se excluyen los huevos menores a 4 horas por estar muy cercanos al pico de desove (submuestreo).
- d) Se excluyen los huevos en edades superiores, que por estar cercanas a la eclosi3n son submuestreados. Se puede aplicar un corte del 15-20% de las edades superiores o al 90% de la edad de eclosi3n segun la temperatura promedio o la mayor del crucero. Para el 2003 se cort3 segun el 90% de la edad segun temperatura promedio (mayores a 2,5 d1as).
- e) Se estima el error est1andar del n1mero de huevos segun categor1as de 0,5 d1as.
- f) Se realiza el ajuste no lineal ponderado por el inverso del error est1andar del n1mero de huevos segun categor1as de edad.

La producci3n diaria de huevos y la tasa de mortalidad son estimadas segun el modelo de regresi3n no lineal de tipo exponencial (Picquelle y Staufer, 1985) dado por el modelo:

$$P_t = P_0 e^{(-zt^*)} \quad \text{Ec. 5}$$

donde:

- P_t^* = N1mero de huevos por 0,05 m² en la edad t^{*}
- P_0 = Producci3n diaria de huevos por unidad de 1rea (0,05 m²)
- z = Tasa instant1nea 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 obtiene 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.

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

$$.CV[\hat{P}_0] = \frac{\sqrt{\hat{v}(P_0)}}{\hat{P}_0} \quad \text{Ec. 6}$$

donde :

$v(P_0)$ = Varianza estimada de P_0

Luego se sigue 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. Respecto a los criterios utilizados en la estimación del área de desove, éstos se presentan en detalle en el **Anexo 1**.

Cabe señalar, que en la búsqueda de estimadores de menor varianza, Borchers *et al.*, (1997) plantean la utilización de modelos aditivos generalizados para estimar la producción diaria de huevos, alternativa que puede ser explorada en futuras aplicaciones del MPH en Chile.



Es necesario recalcar que la modificaci3n introducida para la estimaci3n de P_0 implicaba que la estimaci3n inicial para el a1o 2003 no podr3a ser comparada con los estimados de a1os anteriores, efecto que se arrastra a la biomasa. Para tales efectos, fue necesario recalcular los P_0 y las biomاسas de a1os anteriores de modo de reconstruir una nueva serie hist3rica. La ventaja del MPH es que esto puede ser realizado sin mayor dificultad, pudiendo introducir avances metodol3gicos que hagan m3s robustas las estimaciones de la biomasa desovante y los par3metros biol3gicos asociados.

3.2 Objetivo espec3fico 2.2

“Estimar la proporci3n de estadios de madurez sexual microsc3picos y la fracci3n diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada”

a) An3lisis microsc3pico de los ovarios

Las variaciones de la condici3n reproductiva se determinaron a trav3s del an3lisis de la distribuci3n mensual de los estadios de madurez de los ovarios, en base al diagn3stico histol3gico del par3nquima gonadal, aplicando una escala microsc3pica espec3fica.



b) Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes (F)

El cálculo de la frecuencia de desove se basa en el criterio utilizado por Hunter y Goldberg (1980). Cada ovocito hidratado está rodeado por un folículo alargado y fino, una capa epitelial de células granulosas y una única capa externa de tejido conectivo de células con algunos capilares sanguíneos. Durante la ovulación, los ovocitos completamente hidratados son liberados desde sus folículos. El folículo vacío o folículo postovulatorio no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, éste se deteriora rápidamente y es reabsorbido.

Para usar los folículos postovulatorios en la estimación de la frecuencia de desove, es necesario dividir el proceso de deterioración y reabsorción del folículo en series de diferentes estadios histológicos, cada uno con una edad asignada. En la anchoveta la edad de los folículos postovulatorios puede ser determinada solamente hasta 56 horas después del desove.

La clasificación por edad de los folículos postovulatorios se basa en los diferentes estadios de degeneración por los que ellos atraviesan. La definición de éstos se llevó a cabo según criterios discretos de las características citológicas y morfohistológicas (tamaño, forma aparente, aspectos de las células granulosas y del lumen).

En la clasificación por edades de los folículos postovulatorios, se utilizaron criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Goldberg (1980) para *E. mordax* y por Macewicz y Hunter (1993) para *T. symmetricus*. Se asume que los cambios citológicos y morfohistológicos que experimentan los folículos postovulatorios de *E. ringens* son cronológicamente similares a los señalados para aquellas especies, lo cual permite la diferenciación de folículos postovulatorios nuevos como también de día 1 y 2, cuyas características se definen en la **Tabla 4**. Para la determinación de la frecuencia de hembras desovantes se utilizaron sólo los ovarios con folículos postovulatorios.



Los lances positivos fueron distribuidos en un ciclo completo de 24 horas y la edad de los folículos postovulatorios pudo ser determinada hasta 56 horas después del desove, debido a que los folículos de mayor edad pueden ser confundidos con otras estructuras tales como folículos en estado atrésico (Hunter y Goldberg, 1980; Hunter y Macewicz, 1980). En consecuencia, se separaron dos grupos independientes de folículos postovulatorios de 24 horas: los del día 1 con edad entre 9 y 32 horas, y los del día 2 con edad entre 33 y 56 horas. Debido a su independencia, estos dos grupos se unieron logrando así duplicar el número de muestras (Alheit *et al.*, 1984).

Suponiendo que el muestreo de hembras hidratadas o de hembras de edad de día 1 ó de día 2 no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes por el lance i fue estimada por:

$$\bar{F}_i = \frac{m_{hi}}{m_i} \vee \frac{m_{1i}}{m_i} \vee \frac{m_{2i}}{m_i} \quad \text{Ec. 7}$$

donde:

$$m_i = m_{hi} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai} \quad \text{Ec. 8}$$

y cada uno de los términos son:

- m_{hi} = Número de hembras hidratadas en el lance i .
- m_{1i} = Número de hembras de día 1 en el lance i .
- m_{2i} = Número de hembras de día 2 en el lance i .
- m_{ai} = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con folículos postovulatorios con una edad menor de 9 horas).
- m_i = Número de hembras maduras en el lance i .

\bar{F}_i = Fracción desovante en el lance i.

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

$$m_{hi} = \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} \quad \text{Ec. 9}$$

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

$$\bar{F}_i = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum \left[\frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} + m_{1i} + m_{2i} + m_{a_i} \right]} = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum m_{y_i}} \quad \text{Ec. 10}$$

A partir de esta expresión, se obtiene la fracción promedio de hembras desovantes total, de la forma:

$$\bar{\bar{F}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{F}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ec. 11}$$



cuya varianza es:

$$V(\overline{F}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left(\frac{m_{y_i}}{\overline{m}} \right)^2 (F_{y_i} - \overline{F})^2 \quad \text{Ec. 12}$$

donde:

\overline{F} = Fracci3n promedio de hembras desovantes por d3a en todos los lances.

m_{y_i} = $((m_{1i} + m_{2i}) / 2) + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}$ = N3mero corregido de hembras maduras en el i3simo lance.

\overline{m} = N3mero corregido de hembras maduras en el i3simo lance:

$$\overline{m} = \sum \frac{m_{y_i}}{n} \quad \text{Ec. 13}$$

n = Tama3o de muestra

3.3 Objetivo espec3fico 2.3

"Estimar la fecundidad parcial en funci3n del peso corporal, el modelo de regresi3n correspondiente a esta relaci3n y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas"

La fecundidad se estim3 de acuerdo al m3todo gravim3trico descrito por Hunter y Goldberg (1980), Hunter *et al.*, (1985), Santander *et al.*, (1984), Oliva *et al.*, (1989) y Rojas y Oliva (1993).

Este m3todo se basa en que todos los ovocitos hidratados en el interior del ovario son liberados en corto tiempo y el n3mero de 3stos reflejar3 la fecundidad parcial. Cabe mencionar dos ventajas comparativas respecto a otros m3todos 1) ahorro de tiempo en su conteo (rapidez en la determinaci3n) y 2) no hay dudas sobre la



disgregación de las modas en los diagramas de frecuencia - tamaño de los ovocitos, debido a que los ovocitos hidratados se caracterizan por su enorme tamaño, transparencia y consistencia blanda.

Las hembras hidratadas fueron recolectadas de cada lance, preferentemente al atardecer, debido a que la hidratación ocurre generalmente entre las 16 y 23 horas (Rojas y Oliva, 1993).

Todos los ovarios que se recolectaron como hidratados fueron sometidos a un examen histológico descartándose aquellos que tenían indicios de desove (presencia de folículos postovulatorios) y seleccionando sólo aquellos que con seguridad estaban hidratados, los cuales se pesaron con una precisión de 0,01 gramo.

El procedimiento técnico de conteo se inició con la absorción de líquido superficial del ovario con papel filtro, submuestreando la mitad más grande del ovario. Se tomaron tres segmentos del tejido, uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. Estas tres submuestras fueron de aproximadamente 0,2 g cada una, asegurando una cantidad no inferior a 100 ovocitos hidratados por submuestra.

Las submuestras se pesaron en una balanza analítica, con una precisión de 0,0001 gramos. Posteriormente, se colocaron en una cápsula petri cubriéndolas con gotas de glicerina (33%) y se contabilizaron bajo microscopio estereoscópico.

El número promedio de los ovocitos hidratados de las tres submuestras (metodología descrita por Hunter *et al.*, 1985) fue utilizado para la estimación del número total de ovocitos hidratados del ovario (fecundidad parcial), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\bar{E}_i = \bar{n}_o W_i \quad \text{Ec. 14}$$



donde:

\bar{E}_i = Fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario).

W_i = Peso húmedo del ovario (g).

\bar{n}_o = Número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.

El Método de Producción de Huevos requiere la estimación de la fecundidad media poblacional o modal, es decir, del número de ovocitos liberados por una hembra promedio representativa del total de la población de hembras maduras. Para ello es necesario ajustar un modelo que explique los datos de la fecundidad parcial en función de un parámetro corporal. De acuerdo a lo reportado por otros autores (Santander *et al.*, 1984; Rojas y Oliva, 1993; Claramunt *et al.*, 1996 y en Claramunt *et al.*, 1997) el mejor modelo es el que se relaciona con el peso corporal (peso total menos peso gónada). Se asumió que esta relación es la que explicó las variaciones de la fecundidad parcial. Esto se probó mediante análisis de regresión y pruebas estadísticas, las que definieron el mejor modelo que explicó las variaciones de la fecundidad parcial en el período de estudio. Se utilizaron los siguientes modelos:

$$Y'_{ji} = a + bx \text{ Ec. 15}$$

$$Y'_{ji} = a * x_{ji}^b \text{ Ec. 16}$$

donde:

Y'_{ji} = Fecundidad parcial estimada de la hembra j en el lance i.

a y b = Parámetros del modelo (intercepto y pendiente).

X_{ji} = Peso corporal (peso total menos peso ovario) de la hembra j en el lance i.

La fecundidad parcial se calculó utilizando las hembras recolectadas en el área de muestreo (Regiones I y II). Se determinó una regresión entre la fecundidad parcial (número de ovocitos hidratados) y el peso del cuerpo de hembras sin gónada.

Las 30 hembras maduras de cada lance que se procesaron inicialmente fueron seleccionadas con el fin de estimar su fecundidad por medio del modelo de regresión de mejor ajuste.

La fecundidad media poblacional y su varianza se estimó siguiendo la metodología aplicada en el Método de Producción de Huevos descrita por Hunter **et al.** (1985):

$$\bar{\bar{E}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{E}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ec. 17}$$

donde:

- $\bar{\bar{E}}$ = Fecundidad media poblacional.
- m_i = Número de peces muestreados en el lance i.
- \bar{E}_i = Promedio de la fecundidad parcial en el lance i.

Dado que para el promedio se utiliza la fecundidad parcial estimada a través del modelo de regresión, es decir, cada estimado tiene su propia varianza asociada, entonces la estimación de la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variación adicional.

$$\hat{V}ar(\bar{\bar{E}}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 \left[\frac{(\bar{E}_i - \bar{\bar{E}})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + \bar{w}_i - \bar{w}_h \hat{V}ar(\beta) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n} \quad \text{Ec. 18}$$

donde:

- $\bar{\bar{E}}$ = Estimado de la fecundidad media poblacional.
- \bar{E}_i = Promedio de la fecundidad para el lance i.
- S_h^2 = Varianza de la regresión.



- n_h = N3mero de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresi3n.
 W_i^* = Peso corporal promedio para el lance i .
 W_h^* = Peso corporal promedio de hembras utilizadas en la regresi3n.
 $\text{Var}(\beta)$ = Varianza de la pendiente de la regresi3n.
 n = N3mero de lances.

3.4 Objetivo espec3fico 2.4

"Estimar la proporci3n sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas"

La fracci3n de hembras (R , proporci3n sexual) fue estimada para cada lance de una submuestra compuesta por 100 ejemplares. Debido al efecto de la preservaci3n, el peso registrado fue corregido por un factor de correcci3n por fijaci3n.

El peso medio de las hembras, al igual que la proporci3n sexual, se estimaron a trav3s de los estimadores para muestreo bi-et3pico, los que se presentan a continuaci3n:

El peso medio de las hembras es:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ec. 19}$$

donde:

$$\bar{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}}{m_i} \quad \text{Ec. 20}$$

donde:

- W = peso medio estimado de las hembras
- \bar{w}_i = peso medio de las hembras en el lance i
- y_{ij} = peso de la hembra j-ésima en el lance i
- n = número de lances muestreados
- m_i = número de hembras examinadas en el lance i

La varianza del peso medio estimado de las hembras es:

$$\hat{v}(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{w}_i - W)^2}{\left(\sum_{i=1}^n m_i / n\right)^2 n / (n-1)} \quad \text{Ec. 21}$$

El peso total del cuerpo de hembras fue ajustado en aquellas hembras que histológicamente presentaron ovocitos hidratados u ovocitos con el núcleo emigrando hacia el polo, a través de la relación matemática que resultó entre el peso total del cuerpo y el peso del cuerpo sin gónada.

La proporción sexual en peso es:

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \hat{R}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ec. 22}$$



donde:

$$\hat{R}_i = \frac{\sum_{l=1}^{l_i} y_{il}}{\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}} \quad \text{Ec. 23}$$

donde

- \hat{R} = Proporción de hembras en peso
- \hat{R}_i = Proporción de hembras en el lance i
- y_{il} = Peso de la hembra l en el lance i
- x_{ij} = Peso del ejemplar j en el lance i
- n = Número de lances muestreados
- m_i = Número de ejemplares examinados en el lance i
- l_i = Número de hembras examinadas en el lance i

La varianza de la proporción sexual en peso es:

$$\hat{v}(\hat{R}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\hat{R}_i - \hat{R})^2}{(\sum_{i=1}^n m_i / n)^2 n / (n-1)} \quad \text{Ec. 24}$$

3.5 Objetivo específico 2.5

"Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos"

El método se basa en el modelo desarrollado por Parker (1980) y modificado por Stauffer y Piquelle (1980):



$$B = K \frac{P_o * W}{R * F * E} \quad \text{Ec. 25}$$

donde:

- B = Biomasa desovante en toneladas m3tricas.
- P_o = Producci3n diaria de huevos en el 3rea investigada (huevos producidos por 0,05 m² por d3a).
- W = Peso promedio de las hembras maduras (g) de la poblaci3n.
- R = Proporci3n de sexos (fracci3n de hembras de la poblaci3n en peso).
- F = Fracci3n de hembras maduras que desovan por d3a.
- E = Fecundidad parcial (n3mero promedio de huevos desovados por hembra por desove).
- K = Factor de conversi3n de gramos a toneladas m3tricas.

La varianza de la estimaci3n de la biomasa se calcula por el m3todo delta (Seber, 1973, Stauffer y Picquelle, 1980), como una funci3n de la varianza y covarianza de la estimaci3n de los par3metros:

$$\begin{aligned} Var(B) = & B^2 \{ Var(P_o) / P_o^2 + Var(W) / W^2 + Var(R) / R^2 + Var(E) / E^2 \\ & + Var(F) / F^2 + 2[Cov(P_o W) / P_o W - Cov(P_o R) / P_o R - Cov(P_o E) / P_o E \\ & - Cov(P_o F) / P_o F - Cov(WR) / WR - Cov(WE) / WE - Cov(WF) / WF \\ & + Cov(RE) / RE + Cov(RF) / RF + Cov(FE) / FE] \} \end{aligned}$$

El c3lculo de la varianza se simplifica, dado que el muestreo orientado a la estimaci3n del P_o, es independiente del muestreo destinado a la estimaci3n de los par3metros de adultos (W, R, F y E). En este sentido, las covarianzas entre P_o y los par3metros de adultos, son consideradas nulas, de forma tal que las covarianzas distintas de cero, son las correspondientes a los par3metros de adultos, las cuales se estiman de acuerdo a la expresi3n:



$$\text{cov}(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i k_i (\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha})(\hat{\beta}_i - \hat{\beta})}{\bar{m} \bar{k} n(n-1)}$$

donde $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ representa un par de parámetros de adultos, i indexa al lance, n es el número de lances, m_i es el número de hembras muestreadas para estimar $\hat{\alpha}_i$ en el lance i -ésimo, k_i es el número de hembras muestreadas para estimar $\hat{\beta}_i$ en el lance i -ésimo.

3.6 Objetivo específico 2.6

“Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores”

3.6.1 Información analizada

Para efectuar el análisis integrado de las variables recolectadas se realizó un estudio espacio-temporal de la distribución y abundancia de los huevos de anchoveta y de las variables oceanográficas asociadas. Para ello se validaron los archivos de la base de datos correspondientes a 9 cruceros bio-oceanográficos realizados en el período 1992-2003. La información considera los siguientes registros: fecha, latitud y longitud de las lecturas de huevos de anchoveta y su correspondiente valor de densidad (referido a ind/0,05m²); asimismo, se utilizan los datos de temperatura superficial y de 10 m de profundidad y salinidad superficial provenientes de las estaciones oceanográficas.



3.6.2 Procesamiento de la información

Para el análisis integrado de las variables registradas tanto pesqueras como bio-oceanográficas, se utilizara como plataforma de trabajo los sistemas de información geográfica (SIG) IDRISI (Eastman, 1995) y TNTmips (Microimages, 1997). Con dichos SIG y para realizar una descripción espacial y temporal de las variables plánticas y oceanográficas se generaron cartografías para cada variable, el objetivo principal de la utilización del SIG es la de superponer distintos planos de información, por ejemplo datos bio-oceanográficos, pesqueros o imágenes satelitales, para encontrar relaciones espaciales y temporales.

La confección de mapas implico realizar previamente la georeferenciación de la costa, que se obtuvo desde las cartas náuticas electrónicas (CNE) del SHOA, mediante la técnica de Control de Puntos (Buttler *et al.*, 1990). Luego se confeccionaron los archivos de vectores bases en formato SIG, los que contemplaron, la georeferencia con sus respectivos datos. Posteriormente cada variable fue interpolada, a través del método de Kriging, mediante módulos del software Surfer.

Con el objeto de relacionar y superponer los distintas planos de información (en total 36 capas de información), que poseen diferentes coberturas espaciales y distintas escalas y/o resoluciones geográficas, fue necesario transformar los mapas para que se encuentren en una idéntica escala espacial, de este modo las cartografías deben poseer una misma resolución y cobertura geográfica. Lo anterior significó generar imágenes en rasters que tengan similar cantidad de filas y columnas, a través del módulo RESAMPLE del SIG. Por otra parte, con el propósito de favorecer el análisis visual de las imágenes creadas, éstas fueron reclasificadas en clases de valores, los cuales se asocian a diferentes colores. Para ello se utilizaron dos módulos del TNTmips: a) módulo RASTER HISTO, que permite conocer y analizar la distribución de frecuencia de los valores de las variables cartografiadas, y b) módulo REPLACE, que reclasifica los valores de las celdas de una imagen.



3.6.3 An3lisis integrado

Con los SIG mencionados y para detectar la posible asociaci3n entre la distribuci3n de los huevos y los par3metros ambientales, se desarrollaron dos enfoques: a) se realiz3 un an3lisis espacial y visual de la informaci3n realizando la cartograf3a de las variables y explorando las correlaciones espaciales cruzadas (crosstabulaciones) y se calcul3 el n3mero de celdas de huevos respecto de la temperatura y de la salinidad, lo anterior con el prop3sito de generar gr3ficos con la frecuencia (n3mero de celdas) respecto de dichas variables, b) se estableci3 una relaci3n funcional entre la distribuci3n de los recursos y las variables mayormente relacionadas; y c) se realiz3 un modelamiento estad3stico de la densidad de huevos asociado a variables ambientales.

a) An3lisis cartogr3fico entre la distribuci3n del ictioplacton y las variables oceanogr3ficas

Para establecer las relaciones se realizaron asociaciones cruzadas entre la distribuci3n de los huevos de la especie y las variables oceanogr3ficas; posteriormente, se generaron los gr3ficos con la frecuencia (n3mero de celdas) de la distribuci3n de los huevos con respecto a la temperatura y salinidad. Con esto se determinaron rangos 3ptimos de preferencia en relaci3n a dichas variables.

Para establecer las relaciones entre las variables, en primer lugar se realiz3 un estudio visual (en pantalla) de las im3genes generadas, luego se ejecutaron asociaciones cruzadas entre la distribuci3n de los huevos y las variables oceanogr3ficas; posteriormente, se generaron los gr3ficos con la frecuencia (n3mero de celdas) de la distribuci3n del ictioplancton con respecto a la temperatura y salinidad. Con esto se determinaron rangos de distribuci3n del ictioplancton y estratos 3ptimos de preferencia en relaci3n a dichas variables.

b) Relaciones entre la distribuci3n del ictioplancton y las variables oceanogr3ficas



Finalmente, se efectu3 un an3lisis a trav3s de modelos de regresi3n. Para ello, de cada uno de los p3xeles se calcularon la densidad de los huevos de anchoveta, temperatura y salinidad; adem3s se estimaron los diferenciales de temperatura y salinidad mediante los comandos del SIG. La prueba de la hip3tesis se realiz3 mediante modelos de regresi3n m3ltiple “paso a paso” (stepwise), en este an3lisis se utiliz3 el programa estad3stico S-PLUS. Cabe se3alar que dicha metodolog3a es similar a la propuesta por Power y May (1991), Reddy *et al.*, (1995), Y3nez *et al.* (1997) y Oliva *et al.*, (2003).

c) Modelamiento estad3stico de la densidad de huevos asociado a variables ambientales

El modelamiento de la densidad de huevos de anchoveta se realiz3 mediante dos alternativas: un modelo lineal generalizado, GLM (McCullagh y Nelder, 1989), y un modelo aditivo generalizado, GAM (Hastie y Tibshirani, 1990).

El GLM propuesto, corresponde b3sicamente a un modelo en el cual la respuesta (densidad de huevos) corresponde a una variable aleatoria con distribuci3n perteneciente a la familia exponencial.

De esta forma se plantea un modelo de la forma:

$$g(\mu) = \eta_i \quad (1)$$

Donde

$$\eta_i = \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} \quad (2)$$

Se denomina predictor lineal con p predictores y g corresponde a la funci3n de enlace, la cual relaciona el predictor lineal con la media de la variable respuesta



(en este caso la densidad de huevos). Los predictores corresponden a las variables ambientales y de posición (temperatura, salinidad, latitud y longitud).

El método de estimación de los parámetros del modelo corresponde a máxima verosimilitud. Para resolver los sistemas de ecuaciones se utiliza el Método Scoring, el cual consiste, en términos operacionales, en un estimador de mínimos cuadrados iterativamente ponderados (Krzanowski, 1998).

El GAM por su parte, en su estructura aleatoria es similar al GLM, dado que la variable respuesta sigue perteneciendo a la familia exponencial. La diferencia reside en la componente sistemática, es decir en el predictor lineal, el cual tiene la forma:

$$\eta_i = f_1(X_{i1}) + f_2(X_{i2}) + \dots + f_p(X_{ip}) \quad (3)$$

donde f son funciones no especificadas (“no paramétricas”) las que son estimadas utilizando un algoritmo cuya estructura básica corresponde a un “scatterplot smother”. Las funciones estimadas $f_j(x_j)$ pueden revelar posibles no-linealidades en los efectos de los predictores sobre la variable respuesta.

El suavizamiento spline cúbico es utilizado, de forma tal de buscar una función $f(x)$ que minimice la expresión:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 + \lambda \int_a^b (f''(t))^2 dt \quad (4)$$

Nótese que la integral de la segunda derivada de la función mide que tan suave es la función f . λ es un parámetro de suavizamiento no-negativo, el cual gobierna el “trade-off” entre la bondad del ajuste a los datos y que tan suave es la función f .



El ajuste del modelo se realiza a trav3s de un procedimiento conocido como retro-ajuste ponderado descrito en detalle en Hastie y Tibshirani, (1990).

La bondad de los ajustes en GLM y GAM se estudia a trav3s del an3lisis de deviance, la cual corresponde a un test de raz3n de verosimilitud entre un modelo saturado (n par3metros) y un modelo propuesto (p par3metros). Adem3s, la deviance puede ser usada para comparar modelos anidados y de esta forma realizar inferencia sobre el efecto particular de ciertos predictores en la respuesta estudiada.

3.6.4 Preferencia - rechazo

El an3lisis cuantitativo (no espacial) se realiz3 mediante la aplicaci3n de t3cnicas de remuestreo computacional. Se debe considerar que el muestreo de huevos permite la observaci3n pareada de densidad de huevos y las variables f3sico-qu3micas del ambiente marino. Este hecho permite utilizar la prueba introducida por Perry y Smith (1994), en su versi3n univariada. Sea entonces f_i una variable f3sico-qu3mica medida en el crucero, donde $i = 1, \dots, n$ indexa a la muestra. Sea t otra variable que tiene el mismo rango que f (i.e. $\max[t] - \min[t] = \max[x] - \min[x]$) pero que es discreta y que est3 ordenada de menor a mayor. Sea $I(f_i, t)$ una variable indicadora que toma el valor 1 si $x_i \leq t$ y 0 en cualquier otro caso. Entonces

$$F(x, t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(f_i, t)$$



Es la función de distribución acumulada para f . Tomando ventaja del pareo de observaciones físico-químicas y de densidad de huevos (z observada), construimos la función de distribución acumulada conjunta bajo la hipótesis nula de independencia entre ambas variables

$$G(z, t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{\bar{z}} I(f_i, t)$$

donde z representa la media global de la densidad de huevos. La significancia estadística de la diferencia entre las dos curvas (G y F), se calcula mediante la máxima distancia vertical absoluta de la siguiente manera:

$$\max |G(f, z, t) - F(f, t)| = \max \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i - \bar{z}}{\bar{z}} \right) I(f_i, t) \right|$$

y su probabilidad, que bajo la hipótesis de una relación al azar entre ambas curvas debe tener un valor bastante pequeño, es evaluada a través de una distribución de frecuencia producida mediante bootstrap para el estadístico de esta última ecuación. Después de determinar la diferencia máxima absoluta entre las dos curvas, se procede a comparar con la distribución de la diferencia absoluta máxima de más de 2000 repeticiones de remuestreo bootstrap para la abundancia de huevos y la variable ambiental.



VII. RESULTADOS

Los resultados que a continuación se presentan dicen relación con el desarrollo de los cruceros de prospección, monitoreo reproductivo del recurso, distribución espacial de huevos, producción diaria de huevos, fracción diaria de hembras desovantes, fecundidad parcial y media poblacional, proporción sexual, peso promedio de hembras madura, biomasa del stock desovante y variables oceanográficas.

1. Cruceros de prospección

El crucero de prospección Módulo huevos de anchoveta, se realizó a bordo del B/C “Carlos Porter”, durante el período comprendido entre el 18 de agosto y el 23 de septiembre de 2003 (**Figura 1**).

El crucero de prospección y muestreo de ejemplares adultos de anchoveta se realizó preferentemente a bordo de cuatro embarcaciones cerqueras entre el 18 de agosto y el 15 de septiembre de 2003, ambas fechas inclusive.

Las naves autorizadas para tales efectos fueron las siguientes PAM: “Trueno I”, y “Salmón” de la Empresa Pesquera CORPESCA ; “Costa Grande II” y “Loa V” de Empresa Pesquera Camanchaca, según Resolución de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca número 1880 del 14/8/2003. Además, colaboraron en la recolección de anchoveta adulta los PAM: “Mero”, “Pachica” y “Mar del Sur” de la Empresa Pesquera CORPESCA, el PAM “Costa Grande I” y “Licanten” de la Empresa Pesquera CAMANCHACA, y las embarcaciones artesanales: “Ike II”, “Isaura”, “Tritón II”, “Arkhos II”, “Shalom II” y “Santa Carolina”.

Las actividades de muestreo de anchoveta, tanto de huevos como de adultos, se desarrollaron en el período de máxima actividad reproductiva.

2. Monitoreo reproductivo que fundamenta el inicio del crucero



El desarrollo del crucero se basó en el análisis del proceso reproductivo que se monitoreó a través del seguimiento de la actividad del desove de la anchoveta con las muestras recolectadas de la captura comercial de especies pelágicas, utilizando técnicas macroscópicas (variaciones del índice gonadosomático - IGS) y microscópicas (índice de actividad de desove - IAD).

El muestreo se realizó en los principales puertos de la I y II Regiones durante el año 2003, considerando la información biológica de la anchoveta, destacándose los datos de longitud, peso, sexo y estadios de madurez. El seguimiento del IGS en lo transcurrido del año 2003, indicó un período de reposo relativo de febrero a mayo, intensificándose la actividad reproductiva durante los meses de junio y julio, con un desove importante en agosto-noviembre, condición que comenzó a disminuir en diciembre de 2003 (**Figuras 5 y 7**).

Cabe señalar que para el inicio de crucero se utilizó la información a nivel macroscópico y microscópico del monitoreo reproductivo de la anchoveta del proyecto: "Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Norte, año 2003". Con relación al IGS, el proyecto se apoyó en el informe biológico pesquero del proyecto precitado, analizando solamente la tendencia de este índice.

El cálculo de los índices microscópicos se sustentó de la observación histológica de 4.630 hembras (corresponde al 100% de la muestra), las que fueron muestreadas semanalmente desde enero a octubre y distribuidas de tal manera de intensificar durante la actividad reproductiva de la anchoveta. El número de hembras analizadas resultó satisfactorio en la medida que el análisis microscópico entregó información precisa y detallada de los cambios que acontecieron asociado al proceso de maduración del ovario, corroborando y confirmando la tendencia observada a través del IGS.

El cálculo del índice de actividad de desove (IAD) requiere de la observación sistemática del ovario contabilizándose la presencia de folículos postovulatorios de



diferentes edades y de los ovocitos hidratados, para estimar la proporción de individuos que alcanzaron este estado en el stock parental maduro. El análisis histológico de las gónadas se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Hunter y Goldberg (1980) y Hunter y Macewicz (1985).

$$\text{IAD} = \frac{\text{Hembras con folículos postovulatorios día 0 + día 1 + Hembras hidratadas}}{\text{N}^\circ \text{ hembras maduras}} * 100$$

El cálculo del índice de atresia ovárica requiere conocer el porcentaje de hembras con presencia de ovocitos atrésicos y resulta un indicador inverso al IAD.

$$\text{IAO} = \frac{\text{N}^\circ \text{ hembras en estado de atresia ovárica}}{\text{N}^\circ \text{ hembras maduras}}$$

El análisis microscópico efectuado a las anchovetas recolectadas en la I y II Región, evidenció para el mes de junio, el inicio de una actividad reproductiva masiva, caracterizándose ésta, por la presencia de ovarios con ovocitos vitelogénicos, hidratados y presencia de folículos post-ovulatorios.

El pleno desove, corroborado por la permanencia de ovocitos vitelogénicos, hidratados y la presencia masiva de folículos post-ovulatorios, se manifestó entre la segunda quincena de julio y primera quincena de octubre de 2003, observándose durante este período, los mayores valores del índice de actividad de desove (**Figuras 6 y 8; Tabla 4**).

El análisis de los ovarios, en la segunda quincena de octubre, señala que la anchoveta aún estaba desovando, visualizándose con un bajo porcentaje, los primeros indicios de atresia ovárica (**Tabla 4**).

3. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta, año 2003

De los 537 lances efectuados con red Calvet, se obtuvieron 129 registros positivos, con un total de 9.264 huevos/ 0,05 m². La media de huevos por estación positiva en invierno de 2003 alcanzó a 72 huevos (DS = 211,76), cifra 22% mayor respecto a la obtenida en invierno de 2002 (media huevos por estación positiva = 59; DS = 128,42) y a la vez levemente menos dispersos; situación que señala una actividad reproductiva a lo largo de toda la zona prospectada (**Figura 9**).

Con relación a la intensidad y extensión espacial del desove, las densidades promedio por estaciones positivas y totales, muestran situaciones distintas con respecto al invierno de 2002. Es así, como la intensidad de desove exhibe un incremento igual a 22%, experimentando la cobertura geográfica de huevos una disminución del orden de 45,2% (**Tabla 5**).

El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove se verificó en el rango latitudinal comprendido entre Punta San Pedro (25°30'S) y Arica (18°25'S), no reconociéndose registros positivos a huevos, entre punta Carrizalillo (26°00'S) y punta Lavata (25°40'S), frente a punta Posallaves (24°50'S) y finalmente en la zona comprendida entre punta Tres Picos (24°20'S) y punta Amarilla (24°00'S) y longitudinalmente estuvieron presentes hasta 60 mn al oeste de caleta Bandurria (23°20'S) y punta Tames (22°40'S), respectivamente.

Los focos de desove más intensos (> 160 huevos//0,05m²) se localizaron en el sector costero y oceánico frente a Arica, entre caleta San Marcos (21°10'S) y punta Chileno (21°30'S) y frente a punta San Pedro (25°30'S), cuyas abundancias en conjunto representaron el 58,4% respecto del total de huevos de anchoveta cuantificados. En este contexto, las estaciones con las densidades más importantes (> 1.320 huevos) se localizaron frente a punta Chileno y caleta San Marcos, respectivamente (**Fig. 10**). En relación al número de huevos, el invierno de 2003 presentó con respecto al crucero MPH precedente una tasa de cambio negativa igual a 49,2%, constituyéndose en el cuarto registro más importante de la serie 1992-2003.



4. Crucero de adultos

a) Número de lances en muestreo de adultos

De acuerdo al diseño de muestreo, se efectuaron 120 lances en total, de los cuales 60 fueron efectivos (**Tabla 6; Figura 11**). Al respecto, es importante mencionar, que en las anteriores aplicaciones del MPH en Chile, se han realizado 50 lances (Rojas y Oliva, 1993), 40 lances (Claramunt *et al.*, 1996), 32 lances (Claramunt *et al.*, 1997), 60 lances (Oliva *et al.*, 1998), 51 lances (Oliva *et al.*, 2000), 60 lances (Oliva *et al.*, 2001), 60 lances (Oliva *et al.*, 2002), 60 lances (Oliva *et al.*, 2003) y en Perú 40 lances (Ayón y Buitron, 1997).

La posición de cada lance, en el curso del crucero, se efectuó de acuerdo a la distribución espacial de los cardúmenes y condiciones meteorológicas.

La estrategia utilizada permitió obtener suficientes lances con pesca de anchoveta de acuerdo a lo requerido por el “Método de Producción de Huevos”.

b) Número de anchovetas muestreadas en cada lance

Se muestrearon 30 hembras en cada lance (Picquelle y Stauffer, 1985; Rojas y Oliva, 1993, Oliva *et al.*, *op. cit.*), las que se analizaron histológicamente de acuerdo a lo propuesto por Rojas y Oliva (1993), con el fin de registrar la incidencia de folículos postovulatorios para la determinación de la frecuencia de desove.



En aquellos lances con presencia de hembras hidratadas se recolectaron como m3nimo 30 anchovetas en esa condici3n. Durante el crucero se mantuvo una constante coordinaci3n entre el muestreo de adultos y muestreo de ictioplancton.

c) Distribuci3n de los lances de pesca de anchoveta

En t3rminos generales, durante el per3odo de realizaci3n del crucero se observ3 baja presencia de anchoveta en toda la zona de estudio.

Las agregaciones de anchoveta se detectaron, principalmente, en los siguientes sectores: entre punta de Lobos y Tocopilla ($21^{\circ}02'$ - $22^{\circ}08'S$); entre la zona lim3trophe con Per3 y Arica ($18^{\circ}23'$ - $18^{\circ}28'S$). Tambi3n se observaron en forma secundaria peque1as agregaciones entre Antofagasta y punta amarilla ($23^{\circ}40'$ - $24^{\circ}01'S$). La distribuci3n estuvo circunscrita en las 3reas asociadas a las primeras 20 mn, present3ndose algunos lances en zonas m3s oce3nicas.

d) Capturas en los lances de pesca

Las capturas registradas en los distintos lances con pesca durante el crucero alcanzaron a 916 toneladas. Las embarcaciones prospectaron hasta las 110 mn (**Figura 11**).

e) Distribuci3n de tama1os de ejemplares de anchoveta

Durante el crucero se midieron 7.257 anchovetas, cifra 48% menor respecto al a1o 2002. Del total de anchovetas medidas 3.587 correspondieron a machos con longitudes comprendidas entre 12,0 a 18,5 cm de longitud total, con una moda en los 15,0 cm (20%), mientras que las hembras presentaron un rango de tama1o comprendido entre los 12,5 y 18,0 cm de longitud total, con una moda en los 15,0 cm (18%) (**Figura 12**). En comparaci3n con las tallas observadas en igual per3odo del a1o 2002, se observa un incremento en los valores modales, de 14,5 a 15,0 cent3metros.

f) Correcci3n por fijaci3n



El factor de corrección fue calculado en base a 30 hembras y 30 machos. El promedio de la variación en porcentaje del peso para cada sexo fue calculada después del tercer día, resultando en un 100,8 % (D.E.:1,1) para hembras y de 98,5% (D.E.:1,4) para machos. Estos factores de corrección fueron aplicados a todas las mediciones de pesos promedios y proporción sexual.

5. Resultados por objetivo específico

5.1 Objetivo específico 2.1

"Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos"

Producción diaria de huevos

El número de huevos por estadio de desarrollo, indicó una mayor representación en los estadios II, III, IV, V, VI y VIII, observándose una disminución paulatina a partir de este último estadio (**Figura 13**).

Según la nueva metodología aplicada a la estimación de la Producción diaria de huevos, la definición del área de desove cobra mayor importancia, debido al hecho de que se consideran las cohortes de huevos no observadas en las estaciones negativas al interior de ella, repercutiendo en el número de observaciones para el ajuste del modelo exponencial y en la ponderación por el error estándar según categorías de edad (**Tablas 7 y 8**).

Los resultados del ajuste no lineal ponderado del modelo de decaimiento exponencial para el área de desove estimada según el criterio de interpolación indican un P_0 de 37,09 huevos/0,05m²/día con un error estándar de 16,033 y un error estándar residual de la regresión de 9,977 (**Figura 14**).



A partir de dicho ajuste no lineal ponderado por el error estándar según categorías de edad (**Tabla 7**) se obtuvo una tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos de $0,83 \text{ día}^{-1}$, con un error estándar de 0,298. Al ponderar por la proporción que representa el área positiva respecto del área total del crucero, se obtiene un P_0 ponderado de 10,79 huevos/ $0,05\text{m}^2/\text{día}$ con una desviación estándar de 8,657 huevos/ $0,05\text{m}^2/\text{día}$.

Para el criterio de límite inferior, por el ajuste no lineal ponderado por el error estándar según categorías de edad (**Tabla 8**), se obtuvo un P_0 de 47,17 huevos/ $0,05\text{m}^2/\text{día}$ con un error estándar de 19,155 (**Figura 15**). La tasa instantánea de mortalidad es de $0,83 \text{ día}^{-1}$ con un error estándar de 16,03, correspondiendo al segundo registro más alto de la serie, el primero fue en 1992 (**Tabla 18**). Al ponderar por el área resulta en un P_0 de 13,28 huevos/ $0,05\text{m}^2/\text{día}$, con una desviación estándar de 10,173 huevos/ $0,05\text{m}^2/\text{día}$.

5.2 Objetivo específico 2.2

"Estimar la proporción de estadios de madurez microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada"

- **Muestreo**

Se analizaron 1.800 hembras, correspondientes a 60 lances provenientes de la Pesca de Investigación realizada entre el 18 de agosto y el 23 de septiembre del año 2003. De cada lance se recolectaron 30 especímenes.

- **Proporción de estadios de madurez microscópico**

El análisis histológico de los ovarios recolectados entre el 18 de agosto y el 23 de septiembre de 2003 indicó que el 100% de las hembras se encontraban activas. El



comportamiento reproductivo de la anchoveta evidencia que el Crucero se efectu3 durante el m3ximo proceso de desove (**Figuras 5 a 8**).



- **Fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta**

Teóricamente se pueden tener estimados independientes de este parámetro, los cuales pueden obtenerse a partir de:

- Porcentaje de hembras con ovocitos hidratados
- Porcentaje de hembras con folículos postovulatorios día 1
- Porcentaje de hembras con folículos postovulatorios día 2

De las anchovetas capturadas en el crucero de adultos se lograron dos conjuntos de datos independientes para la determinación de la frecuencia del desove: hembras de edad día 1 y 2.

El porcentaje de hembras de día 1 de edad varió de 0 a 47% y el de día 2 fluctuó de 0 a 46%. La fracción desovante con FPO de día 1 fue de 0,182 y con FPO de día 2 fue de 0,075. El test pareado indicó que existen diferencias entre ambas estimaciones (t_{calc} : 4.3; $t_{0,05(2),59}$: 2,0). En estos casos lo recomendable es utilizar la estimación de FPO 1, por ser esta más confiable al considerar la hora de colecta y hora de desove. Por otro lado, la estimación de FPO 2 se encuentra muy alejada de las estimaciones históricas, indicando una subestimación. Así entonces la fracción desovante estimada fue de un 18,2% con una varianza de 0,00036 y un coeficiente de variación de 0,10. Esto indicó que durante el período de crucero las hembras desovaron en promedio cada 5,5 días.



5.3 Objetivo específico 2.3

“Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas”

La estimación de la fecundidad parcial de anchoveta se realizó sobre la base del recuento de ovarios clasificados histológicamente como hidratados, sin presencia de folículos postovulatorios.

El ajuste de la fecundidad parcial en función del peso corporal, para las 99 hembras que efectivamente clasificaron microscópicamente como hidratadas, y que fueron analizadas por los modelos lineal y potencial, se entrega en la **Tabla 9**. Se utilizó el modelo de tipo lineal para los cálculos de fecundidad media poblacional (**Figuras 16 y 17**). El modelo de tipo lineal es preferible debido a (Hunter *et al.*, 1985): 1) Explica mejor la variación que los curvilíneos; 2) sus coeficientes de regresión tienen significado biológico; 3) para la estimación de producción de huevos, la fecundidad de los ejemplares en los extremos (grandes y pequeños) no es tan crítica como en la de los rangos medios, los que son bien explicados por el modelo lineal simple.

La fecundidad parcial promedio correspondiente a los 60 lances efectivos varió de 10.254 a 15.286 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional fue de 13.327 ovocitos, con una varianza de 76.429 y un coeficiente de variación de 0,021.



5.4 Objetivo específico 2.4

"Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas".

- **Proporción sexual en peso de hembras maduras**

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó una amplitud comprendida entre 0,23 y 0,84 con un promedio de 0,49, una varianza igual a 0,00028 y un coeficiente de variación de 0,035.

- **Peso promedio de hembras maduras**

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

El peso promedio del cuerpo de las 30 primeras hembras maduras, obtenidas en 60 lances, fluctuó de 19,6 a 28,7 gramos (**Tabla 9**). El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 25 gramos, con una varianza de 0,085 y un coeficiente de variación de 0,0116.



5.5 Objetivo específico 2.5

"Estimar la biomasa del stock desovante de la anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos"

La biomasa del stock desovante de la anchoveta existente en la I y II Regiones, durante el período de máxima actividad reproductiva (agosto-septiembre del año 2003), a través del criterio de interpolación o funcional fue estimada en 424.417 toneladas, con una varianza de $1.623 \cdot 10^{11}$ y un coeficiente de variación de 0,95 (**Tabla 11**).

Por el criterio de límite inferior o estructural la biomasa se estimó en 522.314 toneladas, con una varianza de $1.63492 \cdot 10^{11}$ y un coeficiente de variación de 0,77.

5.6 Objetivo específico 2.6

"Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores"

5.6.1 Condiciones oceanográficas asociadas al crucero de huevos, año 2003

5.6.1.1 Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial en la zona de estudio (**Fig. 18 a**) registró valores comprendidos entre $13,3^{\circ}$ y $18,3^{\circ}\text{C}$, ubicándose el máximo a 35 mn de la costa frente a Arica (est. 504) y el mínimo en el sector costero a 5 mn al suroeste de Tal Tal (est. 11). La diferencia máxima de temperatura entre la costa y una distancia de 30 mn hacia el oeste fue menor a los 2°C , lo que indica un frente térmico débil en este período de aproximadamente $0,07^{\circ}\text{C}/\text{mn}$. Los mayores gradientes térmicos horizontales se encontraron en el área costera de caleta Camarones y



también entre punta Lobos y Tocopilla, los que fueron de $0,15^{\circ}\text{C}/\text{mn}$. El sector oceánico de mayores temperaturas relativas, $> 17^{\circ}\text{C}$, se presentó como foco desde el límite norte de la zona hasta la latitud de Pisagua, ubicándose una extensión más delgada de este foco desde caleta Camarones hasta Pisagua. El sector costero desde Tocopilla hasta Antofagasta no registró gradientes térmicos, excepto en la zona frente a la península de Mejillones, donde se observó un pequeño foco de agua más fría.

5.6.1.2 Anomalías de temperatura

La distribución superficial de temperatura originó anomalías de esta variable (**Figura 18 b**) principalmente de tipo negativo en gran parte de la zona, las cuales correspondieron a valores menores a 1°C de desviación respecto del promedio histórico en el sector oceánico y de -1 a $2,5^{\circ}\text{C}$ en el sector costero. Una excepción lo constituyen dos focos principales de anomalías térmicas positivas, siempre menores a 1°C , ubicadas desde Arica a caleta Camarones, y desde Mejillones al sur (25°S es el límite de promedios históricos), incluyendo en esta última área también parte del sector costero. Desde Pisagua a Iquique, la entrada de agua oceánica hacia el sector costero que alcanzó al menos hasta las 5 mn, originó una anomalía negativa de menor magnitud respecto a los sectores vecinos e incluso un pequeño núcleo de valores positivos. Una condición similar a la descrita anteriormente se registró también en la costa desde Tocopilla hasta la localidad de Mejillones y frente a Antofagasta, observándose en esta última localidad anomalías levemente positivas.



5.6.1.3 Profundidad de la isoterma de 15°C

La isoterma de 15°C presentó el habitual patrón de distribución de profundidad (**Fig. 19 a**), es decir, aumenta desde la costa hacia el sector oceánico. En general, se puede separar la zona de estudio en dos áreas menores: la primera corresponde al área entre Arica y Mejillones, la que registró en general, tanto en la costa como en el sector oceánico, menores profundidades que las encontradas desde esa localidad al sur. En esta área la isoterma tuvo en el sector costero una profundidad menor a los 20 m prácticamente a lo largo de toda la zona, excepto en el sector de punta Arenas a Tocopilla, donde se registró una profundidad mayor, de 20 a 30 m. En la costa se destacó también el aumento de la profundidad de la isoterma frente a Pisagua, donde ésta tuvo un nivel que superó los 40 m en un pequeño foco ubicado a 20 mn de la costa. En el sector oceánico se registró un aumento de la profundidad respecto a la costa a niveles entre los 20 y 40 m, con algunas áreas de máxima profundidad que superaron los 50 m y que comprendieron el área que va de Arica a Iquique y de Tocopilla a Punta Grande, ambas al oeste de las 40 mn de la costa. En esta área, la máxima profundidad fue de 78 m, ubicada a una distancia de 60 mn de la costa y centrada en los 22°20'S, entre Tocopilla y punta Grande.

Al sur de Mejillones, se registraron mayores profundidades relativas de la isoterma de 15°C, principalmente en el sector oceánico. En el sector costero entre punta Coloso y los 25°S la profundidad de esta isoterma fue de hasta 30 m en las primeras 20 mn, con un máximo de 50 m en los 25°S, pero en bahía Moreno y desde los 25° de latitud hacia el sur la profundidad de esta variable fue menor a 10 m. El sector oceánico, en tanto, registró valores en general entre 40 a 60 m, con un foco de máximos valores mayores a 60 m, entre punta Tres Picos y los 26°S. El máximo de profundidad de esta área, y que también corresponde al de toda la zona de estudio, fue de 93 m y se ubicó a 55 mn de la costa en la sección de los 25°S de latitud.



Así como se vio en la distribución de profundidad de la isoterma de 15°C, los valores de anomalía de esta variable (**Figura 19 b**) permiten separar a la zona en las mismas dos áreas anteriores. En el área norte, Arica-Mejillones, la anomalía tuvo en general valores dentro del rango de ± 10 m, sin embargo, en el sector oceánico, pegado al límite oeste de la zona de estudio, se encontraron algunos focos con valores de anomalía que estuvieron levemente por sobre este rango y valores significativos, tanto negativos como positivos, entre 20 y 30 m. En este sentido, se presentaron tres focos de anomalías negativas, el primero frente a caleta Camarones, el segundo entre Iquique y caleta Patillos, ambos por sobre las 40 mn de la costa, y el tercero se localizó entre las localidades de caleta Chipana y punta Arenas centrado en las 25 mn de la costa. El foco positivo, de menor superficie, se ubicó entre Tocopilla y punta Grande, también al oeste de las 40 mn de la costa.

En el área sur, que comprende desde Mejillones hasta los 25°S (límite sur de los promedios históricos) las anomalías del sector oceánico fueron positivas y mayores a 20 m prácticamente en toda el área, incluso desde punta Tres Picos (24°20'S) hacia el sur llegaron a valores mayores a +30 y sólo en algunas estaciones a +40 m. En el sector costero, sólo en las primeras 5 mn los valores de anomalía fueron negativas y también levemente significativas. Se destacó en esta área los valores de anomalía de -40 m en las estaciones de 40 y 45 mn de la costa en los 25°S.

5.6.1.4 Temperatura en el nivel de 50 m de profundidad y su diferencia con el valor medido en superficie.

La temperatura en el nivel de 50 m de profundidad (**Fig. 20 a**) estuvo en el rango de 13,4° a 18,3°C. El mínimo registrado se ubicó en el sector costero del extremo sur de la zona a 20 mn al noroeste de Taltal, mientras que el máximo se encontró en el sector oceánico a 55 mn frente a Arica. En general se puede dividir el área en dos, la primera área corresponde a Arica y Mejillones, donde predominaron los valores de temperatura $> 13^{\circ}\text{C}$ con la presencia de algunos focos de mayor



temperatura ubicados frente a Arica, Pisagua y Tocopilla, todos por sobre las 30 mn de la costa. El segundo sector, corresponde al de Mejillones y los 26°S, en donde las temperaturas fueron mayores a 14°C, predominando valores superiores a 15°C. El sector costero de esta segunda área fue la que tuvo en general las menores temperaturas de toda la zona con valores inferiores a 13°C.

Las diferencias de temperatura entre el nivel de superficie y el de 50 m (**Figura 20 b**) estuvieron en el rango de -0,1°C a 4,5°C. La mínima diferencia se presentó a 40 mn frente a punta Tres Picos, sector donde se encontraron agrupadas algunas estaciones con diferencias negativas pero todas entre 0 y 0,1°C. La diferencia máxima se presentó a 10 mn frente a Arica. En general, las mayores diferencias se presentaron entre Arica y Mejillones, sector ya indicado anteriormente, el cual tuvo valores mayores a 2°C, siendo también importante la superficie que ocupó la diferencia térmica > 3°C, la cual fue de Arica a Tocopilla en el sector oceánico preferentemente. En esta área también se presentó el máximo de diferencia, > 4°C, formando un pequeño foco frente a Arica centrado en las 10 mn. En esta área se presentaron también dos focos de temperatura < 2°C, los que estuvieron asociados a los focos de máximas de temperatura relativa en el nivel de 50 m. Las diferencias menores a 1°C se presentaron formando un gran núcleo que cubrió gran parte de la superficie desde Mejillones hasta el límite sur de la zona. En el sector costero de esta misma área se registraron diferencias térmicas de hasta +2°C.

5.6.1.5 Salinidad superficial del mar

La salinidad superficial (**Figura 21 a**) estuvo en el rango de valores de 34,5 a 35,13 psu, ubicándose el máximo en el sector oceánico a 55 mn frente a Arica y el mínimo a 20 mn al noroeste de Tal Tal. Las menores salinidades, tanto costeras como oceánicas, se encontraron en el borde sur de la zona. La distribución de esta variable mostró salinidades de valor intermedio, dentro del rango indicado, en el sector costero entre Arica y Tocopilla, condición dada por los procesos de surgencia de intensidad débil que se encontrarían en desarrollo en esa área. Una



excepción a lo anterior ocurrió frente a Pisagua donde, como se observó también con la temperatura, se presentó agua oceánica más salina que alcanzó hasta las 5 mn, lo que elevó en la franja costera los valores, habitualmente más bajos de esta variable. Las salinidades relativas más altas (> 35 psu) se localizaron en un foco principal en el sector oceánico entre Arica y Pisagua, asociado al foco de máxima térmica superficial y en dos pequeños focos salinos, uno a 20 mn frente a punta Junín y otro a 40 mn frente a punta Lobos (21°S).

5.6.1.6 Anomalías de salinidad

Los valores de anomalía de salinidad (**Figura 21 b**) en la zona fueron en general negativos. Valores positivos de esta variable se registraron sólo en algunos focos aislados en el sector oceánico desde los 21°S de latitud hacia el sur, particularmente el único foco costero se ubicó en la zona costera desde punta Tres Picos (límite sur de los valores de los promedios históricos) hasta los 25°S , pero de valor menor que 0,1 psu. Anomalías negativas significativas que superaron los 0,2 psu, se ubicaron en el sector oceánico de la mitad norte de la zona, entre las localidades de caleta Camarones e Iquique.

5.6.1.7 Salinidad en el nivel de 50 m de profundidad y su diferencia con el valor medido en superficie

La salinidad en el nivel de 50 m (**Figura 22 a**) estuvo en el rango de valores de 34,3 a 35,07 psu. El mínimo se localizó a 10 mn frente a la punta sur de la península de Mejillones y el máximo a 55 mn frente a Arica. En general la salinidad mostró valores de 34,8 a 34,9 psu en la franja costera desde Arica hasta Tocopilla, y de 34,7 a 34,8 psu desde esa localidad hacia el sur. El área oceánica de mayores valores relativos fue el de Arica a caleta Patillos con salinidad $> 34,7$ psu, mientras que hacia el sur decreció en general a un rango de 34,4 a 34,7 psu, excepto por dos focos de salinidades mayores a 34,7, uno frente a Tocopilla y otro frente a punta Tres Picos.



La diferencia de salinidad entre la capa superficial y la de 50 m (**Figura 22 b**) mostr3 dos sectores: uno que cubre el 3rea Arica a Antofagasta, con diferencias mayores a 0,1 psu; y otro, desde Antofagasta hasta el l3mite sur con diferencias menores a esa cantidad, incluso con valores negativos en la costa y un foco en el sector oce3nico frente a punta Tres Picos.

5.6.1.8 Distribuci3n vertical de temperatura y salinidad

La distribuci3n de temperatura en las 6 transectas escogidas (**Figura 23**) se caracteriz3 por mostrar un notorio levantamiento de las isotermas en la franja costera de los primeros 30 mn. De norte a sur, tanto en superficie como en los primeros 50 m en la vertical, las temperaturas de las transectas mostradas decrecieron en alrededor de 2°C, sin embargo, ya en los 70 m y hasta los 100 m de profundidad los valores de temperatura son similares y cercanos a los 14°C en toda la zona. En las transectas ubicadas m3s al norte, las termoclinas fueron levemente m3s intensas. Una condici3n particular se observ3 en la transecta 7 (25°S) en donde, entre las 30 y 55 mn, se produjo un levantamiento de la isoterma de 15° desde los 70 m de profundidad hasta la superficie, lo que origin3 la presencia de temperaturas m3s fr3as (< 15°C) tanto en superficie como en la columna de agua en comparaci3n a los sectores adyacentes. El sector costero de las primeras 10 mn registr3 la mayor temperatura en los primeros 50 m en la transectas de m3s al norte (Arica), con valores que llegaron a 17°C en superficie, pero que disminuyeron r3pidamente a 15°C en los 10 m de profundidad.

La salinidad en la vertical (**Figura 24**) se caracteriz3 por mostrar en todas las transectas un n3cleo de bajo valor ubicado entre los 60 y 80 m de profundidad el cual, en todos los casos, se extendi3 hacia la costa y subi3 su nivel de profundidad, llegando a la superficie en algunas de las transectas. Este n3cleo alcanz3 valores m3nimos que fueron inferiores a 34,3 psu en el extremo norte de la zona, sin embargo, hacia el norte el valor del n3cleo aument3 constantemente,



hasta llegar a un valor cercano a los 34,8 psu en la transecta de Arica. En la capa de los primeros metros del sector oceánico, la salinidad fue notoriamente menor hacia las transectas ubicadas hacia al sur en la zona, siendo éstas cercanas a los 34,7 psu, mientras que en el extremo norte ésta variable alcanzó valores de hasta 35,0 psu, lo que ocurrió al menos desde la transecta de los 21°S, con un máximo de 35,1 psu en la transecta de Arica. En la transecta 7 (25°S) se observó la misma estructura vertical que se presentó en la temperatura, esto es un levantamiento de las isohalinas de menor salinidad centrado en las 40 mn y desde los 60 m de profundidad.

5.6.1.9 Condiciones oceanográficas durante los cruceros MPH

En el marco de los cruceros de los proyectos de evaluación del stock desovante de anchoveta por el método de producción de huevos se han realizado 9 cruceros, los cuales fueron efectuados durante los meses de agosto o septiembre de los años 1992, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.

A continuación, se presenta un resumen de las condiciones oceanográficas encontradas en la zona de estudio durante la realización de los cruceros indicados hasta el año 2002, en la cual se describe, en base a las anomalías de temperatura y salinidad superficial, la situación de normalidad o anomalía superficial. Una condición de anomalía se debe principalmente a eventos interanuales como eventos El Niño- Oscilación del Sur (El Niño y La Niña), sin embargo, procesos locales particulares, como viento, mezcla, intensidad de la surgencia y desarrollo de filamentos, presencia de giros de meso escala, paso de ondas atrapadas a la costa, entre otros, pueden originar en las variables temperatura y salinidad desviaciones significativas del promedio histórico, pero sin representar necesariamente una condición anormal.

En el año 1992, la zona norte de Chile se caracterizó por presentar una condición cálida, principalmente durante el verano, debido al evento El Niño 1991-1992



(Blanco *et al.*, 1992a; Blanco *et al.*, 1992b). La condición de anomalía de temperatura superficial del mar (TSM) anormalmente alta en verano declinó de +2°C a menos de +1°C hacia agosto, fecha del crucero (**Figura 25**). No obstante lo anterior, las condiciones de salinidad superficial del mar (SSM) se mantuvieron ese mes por sobre el promedio con valores que llegaron hasta +0,2 psu en la mitad norte de la zona (**Figura 27**).

El crucero MPH de agosto de 1995 indicó condiciones cercanas a lo neutral, tanto en salinidad como en temperatura, en la mitad norte de la zona. Sin embargo, en la mitad sur las condiciones estuvieron bajo el promedio, levemente en temperatura pero más intenso en salinidad, pues se alcanzaron anomalías de -0,2 a -0,3 psu en esta última variable (**Figuras 25 y 27**). El invierno 1996 presentó una condición similar, con tendencia a anomalías negativas en ambas variables, pero en la mitad sur de la zona las anomalías fueron menos importantes, mientras que en la mitad norte éstas superaron el valor de -1°C y -0,1 psu. En términos generales, el Pacífico Tropical estuvo bajo condiciones frías La Niña en los años 1995 y 1996, evento que habría mantenido a la zona norte de Chile con características frías a lo largo de ambos años, al menos hasta diciembre de 1996 (Blanco *et al.*, 2002).

El año 1997 fue evidentemente anormal. En mayo de ese año se registraban ya anomalías positivas en toda la zona, las que incluso eran mayores a +2°C en el sector costero desde punta Lobos (21°S) hasta Antofagasta (23°30'S) (Blanco *et al.*, 2002). Durante el crucero MPH de septiembre de 1997 se registraron en la zona anomalías de +2 y hasta +3°C, viéndose principalmente afectada el área desde Arica a Antofagasta. En salinidad, para este período, se observaron condiciones mayores a +0,1 psu, con algunos sectores costeros con anomalía de +0,2 psu. La intrusión de aguas calidas y salina en la zona de estudio no sólo afectó la condición superficial, sino que también la columna de agua, pues la isoterma de 15°C se profundizó en septiembre más de 40 m respecto al promedio



del mes, alcanzando una profundidad mayor a los 150 m sobre el promedio en diciembre (Braun *et al.*, 1998).

El período 1999 a 2001 se caracterizó por condiciones que estuvieron, en general, dentro de rangos normales en ambas variables a nivel superficial (**Figuras 26 y 28**). No obstante lo anterior, los años 2000 y 2001 tuvieron una tendencia a valores de anomalía de TSM negativos, mientras que en 1999 y 2002 estos valores fueron con tendencia positiva. En el caso de la SSM, el mes de agosto de 1999 tuvo una tendencia a valores positivos, pero los siguientes períodos, agosto de 2000 y 2001 y septiembre de 2002, tuvieron una tendencia a valores negativos, en especial el último período indicado, él que registró anomalías mayores a -0,2 psu en algunas áreas del sector oceánico (40 a 60 mn) de la zona. La observación de las condiciones de mezcla, circulación geostrofica, entre otras, permitió identificar que las anomalías encontradas de TSM y/o SSM levemente significativas y muy localizadas, en estos cruceros, respondían a condiciones de características locales.

5.6.2 Análisis integrado de la distribución espacial de huevos asociada a las condiciones oceanográficas

Para el análisis de las relaciones entre las variables oceanográficas y la distribución espacial de los huevos, se utilizaron las bases de datos de los 9 proyectos de evaluación de la biomasa desovante de anchoveta que se han realizado para el recurso anchoveta en la zona norte del país, financiados por el FIP (período 1992-2003).

5.6.2.1 Análisis descriptivo y distribución espacio-temporal de los huevos de anchoveta, de la temperatura y de la salinidad

Las distribuciones espaciales de los huevos de la especie se pueden apreciar en la **Figura 29**. En el año 1992, la distribución de los huevos de anchoveta posee una



gran cobertura espacial encontrándose presentes a lo largo de toda la costa en las primeras 10 mn, destacándose tres focos principales: el primero se localiza frente a Arica y se extiende incluso hasta el oeste de los 71°W, este foco es el que presenta las mayores densidades; el segundo foco cubre desde los 19°30'S hasta Iquique a una distancia de 15 mn de la costa; finalmente, existe otro foco ubicado ente Mejillones y Antofagasta pero que posee una escasa cobertura espacial. Con respecto a la temperatura, se puede apreciar que predominan las aguas de 16-17°C (**Figuras 30 y 31**), observándose que el foco localizado en Arica se encuentra dentro de una masa costera de aguas de 15°C; asimismo se aprecia que el segundo foco se encuentra al lado costero del gradiente térmico formado por las aguas de 16 y 17°C (**Figura 31**) y por el gradiente salino constituido por aguas de 34,9 y 35,0 psu (**Figura 32**). En cuanto a la salinidad superficial, ésta se distribuye entre los 34,6 y 35,3 psu, lo que es alto para el normal de la zona en esta época del año.

En 1995, la cobertura de los huevos difiere respecto de 1992, la distribución de este año está centrada mayoritariamente al sur de los 21°S, no detectándose grandes focos al norte de esta latitud; este año se observan tres focos principales: el primero, ubicado en las proximidades de Tocopilla se destaca por la gran abundancia que presenta; el segundo, se registra al frente del mismo puerto a una distancia de 60-80 mn y finalmente un núcleo localizado en la latitud 24°20'S y en la longitud 71°W. Respecto a la TSM, se observa que predominan aguas de entre 14 y 17 °C. La salinidad, en tanto, disminuye respecto de 1992 y se ubica en el rango 34,3-35,1 psu. Durante 1996, los huevos de anchoveta disminuyen notablemente su extensión geográfica y se encuentran alejados de la costa, incluso el único foco importante en la zona costera se localiza en las proximidades de Mejillones; este año se produce una gran concentración frente a Iquique a una distancia de 40-50 mn de la costa, también se destaca que al sur de Antofagasta no hay registros de esta variable. En cuanto a la temperatura se observa que predominan aguas de 15-16°C y se destaca que el foco principal está asociado con el borde interno del frente térmico que conforman las aguas de 16 y 17°C (**Figuras 30 y 31**) y también está relacionado a la discontinuidad salina producida por las salinidades de 34,8-34,9 psu. En cuanto a la



salinidad, ésta se mantiene en niveles muy parecidos al año 1995 y se localiza en el rango de 34,4-35,0 psu.

En 1997, los huevos varían de comportamiento espacial respecto de los años anteriores, dicha distribución es mucho más desplazada hacia el sur, talvez debido a los efectos del fenómeno de El Niño, no obstante lo anterior se vuelven a detectar tres núcleos principales: el primero se localiza frente a Arica pero con una escasa extensión geográfica y muy aledaño a la costa; el segundo, al igual que el año anterior, se ubica frente a los 21°S a una distancia de 40-50 mn de la costa destacándose que este año vuelve a convertirse en el más importante; por último, el otro núcleo se ubica entre Mejillones y Antofagasta. Por parte de la temperatura se observa el gran aumento de ésta debido al fenómeno de El Niño, también es importante señalar que el núcleo de mayor densidad de huevos está relacionado con el borde costero de las aguas de 18-19°C (**Figura 31**). De igual manera que la temperatura, la salinidad experimenta un importante incremento, incluso superando los 35,3 psu en el sector norte de la zona de estudio (**Figura 32**).

Durante 1999, la cobertura geográfica de los huevos de anchoveta disminuye significativamente, siendo la menor de los años analizados, sin embargo se detectan grandes densidades de huevos, un primer sector se extiende desde los 20°30'S hasta Tocopilla y es un núcleo netamente costero que no sobrepasa las 5 mn de la costa; el segundo, se ubica a unas 50 mn frente a Tocopilla y posee una regular cobertura espacial, finalmente, el tercero se emplaza entre Mejillones y Antofagasta y se caracteriza por una altísima densidad de huevos y por su cobertura netamente costera. Respecto a la relación con la temperatura se observa que el primer núcleo se encuentra en aguas surgentes en tanto que el último y más importante está asociado a una masa de agua fría de temperaturas de 13-14°C (**Figura 31**). En cuanto a la salinidad, ésta adquiere niveles parecidos al año 1992, especialmente al norte de Tocopilla con valores que alcanzan los 35,3 psu (**Figura 32**).



En el año 2000, la distribución espacial de los huevos de anchoveta se incrementa notablemente, no obstante que no se aprecian núcleos de alta densidad de huevos a excepción de la zona cercana a Tocopilla (**Figura 29**), donde se observa un frente térmico formado por aguas de 16 y 17°C destacándose que en sus bordes externos se localizan las altas densidades de huevos, además, al igual que en 1996, los focos de huevos de anchoveta están relacionados con el gradiente salino de 34,8-34,9 psu. Con respecto a la temperatura, se advierte que son muy similares al año anterior, no obstante que se observa una leve disminución de éstas en el sector norte del área de estudio. En cuanto a la salinidad, ésta se mantiene en niveles muy parecidos al año 1995 y se localiza en el estrato de 34,4-35,0 psu.

Durante el 2001, la repartición geográfica de los huevos de la especie sufre una gran disminución y alcanza una notable semejanza con 1999. Este año, junto con 1999, son los que poseen la menor cobertura geográfica de los años analizados, sin embargo se detectan núcleos los cuales registran una gran densidad de huevos, el primero está localizado frente al puerto de Arica y registra una gran extensión longitudinal; el segundo sector se extiende desde los 20°30'S hasta Tocopilla y es un núcleo claramente costero y que tiene una gran densidad de huevos; por último, el tercer centro se ubica frente a Antofagasta y se caracteriza por una gran concentración de huevos, con una superficie muy costera que no sobrepasa las 5 mn de la costa. En cuanto a su asociación con la temperatura, se aprecia que los dos núcleos más importantes están vinculados a una masa de aguas surgentes que registran temperaturas entre 13 y 14°C (**Figuras 29, 30 y 31**). Respecto a la salinidad, ésta presenta valores similares a 1999, especialmente desde Iquique al sur.

El 2002 presenta una distribución espacial del ictioplancton parecida al 2000, en términos de cobertura geográfica, con una gran cantidad de estaciones positivas, en el presente año los huevos de anchoveta estuvieron presentes casi a lo largo de toda costa en las primeras millas desde Arica hasta Mejillones, al sur de esta localidad los huevos virtualmente desaparecen salvo contadas excepciones

(Figura 29). En el 2002 se destacan tres focos principales: el primero se localiza al sur de Arica y se extiende incluso hasta el oeste de los 71°W, este foco se caracteriza por presentar densidades intermedias, el segundo núcleo se ubica entre Iquique y el Loa y posee una gran concentraci3n de huevos, con una distribuci3n muy costera que no sobrepasa las 10 mn de la costa, el tercer sector se sitúa al oeste de Tocopilla y se distingue por abarcar una gran área geográfica. En relaci3n con la temperatura, se destaca que los mayores focos se localizan en aguas de 16-17°C y en los bordes de fuertes diferenciales térmicos, destacándose que el foco más importante se encuentra en el borde interno del frente, en tanto que los otros dos núcleos se encuentran en las zonas oceánicas de los diferenciales térmicos. Con respecto a la salinidad, ésta se sitúa en el rango 34,4 y los 35,15 psu con un marcado gradiente latitudinal en el cual las salinidades más relevantes se encuentran desde en el sector Arica-Loa, se destaca que los núcleos más abundantes de la especie se observan en zonas de fuertes gradientes salinos (Figuras 29 y 32).

El ańo 2003 se caracteriza por presentar una disminuci3n en la cobertura geográfica de los huevos de la especie respecto del ańo precedente, de hecho este ańo sumado a 1999 y 2001 son los que presentan la menor cobertura geográfica de los ańos analizados. No obstante lo anterior, en este ańo se manifiestan focos que contienen grandes densidades de huevos, a saber: los dos primeros focos se localizan frente al puerto de Arica en las primeras millas de la costa, éstos poseen una escasa cobertura espacial (que no supera las 300 mn²) pero registran densidades sobre los 500 ind/m²; el tercer núcleo se localiza en las cercanías del río Loa y es el más importante en términos de cobertura espacial y de concentraciones de huevos, en este sentido este foco abarca un área de casi 1.000 mn² y registra densidades de más de 1.000 ind/m²; finalmente, el último núcleo se ubica en la península de Mejillones y se caracteriza por presentar una extensi3n espacial intermedia (app 400 mn²) y densidades que superan los 600 ind/m². En cuanto a su asociaci3n con la temperatura, los núcleos se encuentran en aguas que fluctúan entre los 13 y 17°C y en sectores de gradientes térmicos relevantes. Respecto a la salinidad, ésta se



localiza en el estrato de 34,4-35,2 psu, con una repartición espacial muy parecida al año 2002, con un brusco gradiente norte-sur en el cual las salinidades más relevantes se encuentran en el área norte de la zona de estudio (**Figura 32**).

5.6.3 Análisis integrado

5.6.3.1 Relación entre el número de celdas con huevos y las variables ambientales

5.6.3.1.1 Relación entre el número de celdas con huevos y la temperatura

La relación entre el número de celdas con huevos de anchoveta y la temperatura a 10 metros de profundidad se muestra en las **Figuras 33 y 34**.

En 1992, si bien los huevos tienen una gran expansión geográfica, su distribución también presenta, en general, bajas densidades. El foco que registra las mayores densidades cubre desde los 19°30'S hasta Iquique a una distancia de 15 mn de la costa, en términos espaciales se puede visualizar que los mayores focos se encuentran asociados a los bordes internos que forman las aguas de 15 y 16°C, temperaturas donde se ubicaron la mayor cantidad de huevos de la especie (**Figura 33**).

En tanto que 1995 y 96, los huevos poseen una menor cobertura geográfica pero con mayores concentraciones; es así como es posible detectar núcleos muy densos de huevos, los que se localizan entre Iquique y Tocopilla vinculados preferentemente a aguas de 14-16°C (**Figura 33**), y a los bordes de los gradientes térmicos.

Durante 1997, hay una notable entrada de aguas cálidas incluso con temperaturas que superan los 20°C debido a que la zona estuvo afectada por el fenómeno de El



Niño; a su vez, los huevos mantienen su extensa cobertura geográfica centrándose mayoritariamente en temperaturas superiores a los 17°C.

En 1999 la zona vuelve a presentar temperaturas normales pero hay una escasa presencia de huevos implicando una escasa cobertura geográfica; no obstante se aprecian grandes densidades, se destaca que los huevos de la especie se registraron entre los 13 y 17°C, sin embargo las más altas concentraciones se encuentran relacionadas con aguas de 14 y 15°C.

En el año 2000, la distribución espacial de los huevos de anchoveta se incrementa pero no se registran grandes densidades excepto un área cerca de Tocopilla, en este año debido al notable predominio de las aguas entre 15 y 16°C se produce una alta concentración de los huevos en estas temperaturas, aunque también se aprecia un buen porcentaje de huevos en los 14°C.

Durante el 2001, nuevamente la cobertura geográfica de los huevos sufre una gran contracción y en conjunto con 1999 son los de menor repartición espacial, a su vez se aprecian altas concentraciones al norte de Tocopilla y al frente de Antofagasta. Este año los huevos de anchoveta se registran en temperaturas entre los 13 hasta los 17°C, con una leve preferencia por temperaturas entre 14-16°C (**Figura 33**).

El 2002 el ictioplancton presenta un repunte, en términos de repartición espacial, con respecto al año precedente. Este año se presentaron tres núcleos principales que se caracterizan por presentar altas concentraciones de huevos; en cuanto a su relación con la temperatura, el ictioplancton se presentó en un rango desde los 13°C hasta los 18°C, con una clara preferencia por los 16-17°C (**Figura 33**).

En el año 2003, nuevamente la cobertura geográfica de los huevos sufre una disminución y junto con 1999 y 2001 son los que presentan la menor cobertura geográfica de los años analizados. Sin embargo, en este año se manifiestan focos

que contienen grandes densidades de huevos, con dos focos que se destacan, a saber: el primero se ubica en las proximidades del río Loa con un área de casi 1.000 mn² y densidades de más de 1.000 ind/m²; y el otro, se sitúa en la península de Mejillones y que contiene un área de app 400 mn² y densidades que superan los 600 ind/m². Al igual que en años anteriores, el ictioplancton se presentó en un rango desde los 13°C hasta los 18°C, con una preferencia por los 15°C (**Figura 34**).

5.6.3.1.2 Relación entre el número de celdas con huevos y la salinidad

En las **Figuras 35** y **36** se presenta la asociación entre el número de celdas con huevos de anchoveta y la salinidad.

En 1992 las salinidades registran altos valores asociados al evento “El Niño”, incluso alcanzando los 35,5 psu al norte de Iquique (**Figura 32**). La asociación entre las variables muestra que los huevos se encuentran desde los 34,7 a 35,2 psu con una nítida predominancia de salinidades entre los 34,8 y 35 psu.

El escenario mencionado anteriormente varía drásticamente en 1995 debido al fuerte descenso de la salinidad, la cual no supera los 35 psu, situación por la cual los huevos de la especie tienden a agruparse en un rango de salinidades más bajo de 34,4 a 34,9 psu, con una preferencia por los 34,5 psu (**Figura 35**).

Durante 1996 los rangos de salinidades decrecen levemente y se distribuyen en el estrato de 34,4–34,9 psu, con un claro dominio de aguas de 34,6 a 34,8 psu, debido a lo anterior los huevos se focalizan mayoritariamente en los 34,7. Se destaca que el foco más abundante (localizado frente a Iquique) está relacionado con el diferencial salino formado por aguas de 34,7 y 34,8 psu.

En 1997 hay una notable entrada de aguas cálidas ya que la zona de estudio fue influenciada por el evento El Niño implicando un significativo incremento de las temperaturas y de las salinidades, las cuales llegan hasta los 35,4 psu en el sector



noroeste de Iquique (**Figura 32**); en este año los huevos se distribuyen en el rango 34,7-35,2 psu, no obstante se asocian mayoritariamente a salinidades superiores a los 34,9 psu (**Figura 35**).

Durante 1999, las variables ambientales vuelven a la normalidad y las salinidades registradas decaen considerablemente y se ubican en el estrato 34,4-35,2 psu, a su vez, este año la ocupación espacial de los huevos es muy baja, no obstante la baja cantidad de huevos de la especie, éstos se concentran en los 34,7 y 34,8 psu, en zonas costeras que tienen marcados diferenciales salinos.

Durante el año 2000 las salinidades son absolutamente normales y se sitúan entre los 34,2 y 34,9 psu, por su parte la repartición geográfica de los huevos se incrementa notablemente. En este año los huevos se disponen en el rango 34,2-34,9 psu, con una nítida inclinación por los 34,8 y 34,9 psu, cabe destacar que las concentraciones más significativas (en los alrededores de Tocopilla) se sitúan en los bordes del gradiente salino formado por las aguas de 34,7 y 34,8 psu (**Figuras 32 y 35**).

El año 2001, presentó condiciones ambientales en las costas chilenas absolutamente normales, lo que es corroborado por el seguimiento que realiza el SHOA que menciona que específicamente en septiembre del año se observó una tendencia generalizada hacia condiciones normales a lo largo de la costa chilena (BAC N°132). Las salinidades alcanzan valores que fluctúan entre los 34,1 y 35,1 psu, sin embargo los huevos de la especie tienen una marcada preferencia por el rango 34,6-34,8 psu.

En el año 2002 las salinidades se localizan entre los 34,4 y los 35,15 psu con un fuerte diferencial norte-sur, este rango de salinidades es el más alto desde el año 2000 en adelante. La relación entre los pixeles con presencia de ictioplancton y la salinidad indica que el recurso se distribuyó en el rango 34,4-35,2 psu, con una nítida predilección por el estrato 34,7-34,9 psu, lo que es concordante con lo acontecido en años anteriores (**Figura 35**).



Durante el año 2003 las salinidades se localizan entre los 34,4 y los 35,2 psu con un marcado gradiente en el sentido latitudinal, la repartición espacial de las salinidades es similar a la registrada el año anterior. Respecto a la asociación entre las celdas con presencia de ictioplancton y la salinidad indica que el recurso se distribuyó en el rango 34,4-35,1 psu, con una nítida predilección por el estrato 34,7 y 34,8 psu, lo que es coincidente con lo expuesto en años anteriores (**Figura 36**).

5.6.4 Relación entre la densidad promedio de huevos y el gradiente térmico

La relación entre la densidad promedio de huevos y el gradiente térmico se muestra en las **Figuras 37** y **38**, se destaca que la densidad promedio de los huevos fue estimada por segmentos de gradiente térmico cada 0,20°C.

En 1992, en general las densidades promedio son altas especialmente las que se localizan en el rango de gradientes 1,6-2,1°C/2mn, en dicho año ajusta una regresión de tipo polinómica que da cuenta del 40% de la varianza, lo que manifiesta una regular asociación entre ambas variables. En 1995, los promedios de huevos decrecen, respecto del 92, y solo se observa una densidad sobre los 40 ind/0,05m², la cual se asocia a un gradiente de 1,4 °C/2mn, este año nuevamente se ajusta una relación polinomial que describe el 42% de la varianza y que indica que las mayores densidades se ubican entre los 1,3 y 1,7 °C/2mn (**Figura 37**).

En el año 1996, las densidades promedios de huevos tienden a disminuir y no sobrepasan los 50 ind/0,05m², a su vez este año exhibe un coeficiente R² bajo y el rango óptimo se encuentra entre los 1,2 y 1,7 °C/2 mn. Durante 1997, la zona de estudio fue afectada por el fenómeno de “El Niño”, lo que se tradujo en un gran incremento de las temperaturas sumado a una baja considerable de las densidades promedio por pixel, en este año no se ajustó ninguna curva.



En 1999, se aprecia un gran aumento en la densidad promedio lo que sumado a la baja cobertura espacial significaría una concentración de los huevos de la especie en sectores muy específicos; en dicho año se ajustó una regresión polinómica que explica el 40%, con un rango óptimo de 1,0-1,5 °C/2mn (**Figura 37**).

En los años 2000 y 2001, hay una disminución de las densidades las que varían mayoritariamente entre los 1 y 20 ind/0,05m²; en estos años se aprecia que las mayores concentraciones se logran entre los 0,9 y 1,3°C/2mn, además es posible observar que en gradientes superiores a los 1,3°C/2mn, las densidades de huevos disminuyen notablemente (**Figura 37**).

El año 2002 evidenció un incremento en la distribución espacial de los huevos y en sus concentraciones las cuales exhiben tres focos muy abundantes de ictioplancton, este año debido al notable predominio de las aguas entre 15 y 18°C se produce una alta concentración de los huevos en estas temperaturas; por otra parte, se aprecia que los frentes térmicos juegan un rol significativo en la distribución de la especie ya que los focos más importantes se localizan en zonas de fuertes cambios negativos de la temperatura y de notables gradientes térmicos. En este sentido, se advierte que las densidades más relevantes se alcanzan entre los 1,2 y 1,6°C/2mn, aunque en algunas ocasiones también se alcanzan altas concentraciones en gradientes mayores.

Durante el año 2003, a pesar de una disminución de la cobertura geográfica de los huevos se presentan focos que alcanzan niveles de densidad considerables, con dos núcleos que se destacan, el primero se ubica en las proximidades del río Loa con un área de casi 1.000 mn² y densidades de más de 1.000 ind/m²; y el otro, se sitúa en la península de Mejillones y que contiene un área de app 400 mn² y densidades que superan los 600 ind/m². En este año las mayores concentraciones se logran entre los 0,8 y 1,3°C/2mn, destacándose que las densidades de huevos disminuyen considerablemente en gradientes superiores a los 1,3°C/2mn, lo que es concordante a lo acontecido en los años 2000 y 2001 (**Figura 38**). Esta relación



implica que los huevos se ubicarían preferentemente en los bordes de las zonas de surgencias.

5.6.4.1 Relación entre la densidad promedio de huevos y el gradiente salino

Las relaciones entre la densidad promedio de huevos respecto del gradiente salino se presentan en las **Figuras 39** y **40**, se destaca que la densidad promedio de huevos de anchoveta fue estimada por categorías de 0,02 psu de gradiente salino.

En términos generales en 1992 los huevos presentan densidades promedio altas que generalmente superan los 20 ind/0,05m², en este año se establece una relación logarítmica positiva que describe el 34% de la varianza y que indica que las mayores densidades están en el rango 0,10-0,13 psu/2mn (**Figura 39**).

Durante 1995 y 1996, se deducen asociaciones de tipo polinómica; en el 95 se constata una relación polinomial débil que solamente explica el 21% de la varianza, indicando que las densidades más altas se localizarían entre los 0,07 y 0,09 psu/2mn; en tanto que en 1996 la relación es mucho más robusta lo que implica que el R² sea de 0,57 y que refleja una gran disminución de las densidades de huevos en gradientes superiores a 0,09 psu/2mn.

En el año 1997, al igual que en el caso de la relación huevos v/s gradiente térmico, no se aprecia una relación entre las variables debido a la distribución que existe en dicho año, lo anterior puede deberse a que la zona estuvo bajo los efectos del evento “El Niño”.

En 1999, como se mencionó anteriormente hubo un gran aumento en la densidad promedio y los huevos estuvieron muy focalizados, este año se ajustó una regresión lineal negativa que indica que a gradientes superiores a los 0,09 (psu/2mn) las concentraciones decaen considerablemente.



Durante los años 2000-2001, hay una disminución de las densidades de huevos con respecto a 1999, en ambos años se logran regresiones de tipo polinómicas, cabe hacer notar que nuevamente en gradientes superiores a 0,09 psu/2mn se produce un gran descenso en las densidades promedio (**Figura 39**).

El año 2002 muestra un incremento en la concentración espacial de los huevos y en los valores de salinidad respecto a los años 2000 y 2001, debido a lo anterior, este año se desarrollan bruscos diferenciales salinos que afectan la repartición geográfica del ictioplancton. Así, la **Figura 39** señala una relación polinomial entre ambas variables y en la que se concluye que las mayores densidades del ictioplancton se sitúan entre los 0,06 y 0,10 psu/2mn, lo que no es concordante con años anteriores en los cuales las mayores abundancias se sitúan en diferenciales menores a 0,08 psu/2mn.

Como se mencionó anteriormente el año 2003, a pesar de una disminución de la cobertura geográfica de los huevos se presentan focos que alcanzan niveles de densidad considerables. En este año se ajustó un modelo polinomial entre ambas variables y en la que se concluye que las mayores densidades del ictioplancton se sitúan entre los 0,06 y 0,09 psu/2mn, lo que coincidente con el año anterior, cabe destacar que en gradientes superiores a los 0,10 psu/2mn las densidades de huevos disminuyen considerablemente (**Figura 40**).

5.6.5 Modelamiento estadístico de la densidad de huevos asociado a variables ambientales

5.6.5.1 Análisis exploratorio de datos

Para el análisis de las relaciones entre las variables oceanográficas y la distribución espacial de los huevos, se utilizaron las bases de datos de los 9 proyectos de evaluación de la biomasa desovante de anchoveta que se han realizado para el recurso anchoveta en la zona norte del país, financiados por el FIP entre 1992 y el año 2003.



En la **Tabla 12** se presenta un resumen de estadísticas descriptivas de las principales variables monitoreadas por los distintos proyectos entre 1992 y el año 2003. Las variables latitud y longitud de la estación se encuentran presentes para las 5.411 estaciones realizadas en los 9 años de estudio, al igual que el número total de huevos por estación y por consiguiente la presencia o ausencia de huevos. Sin embargo, respecto de las variables temperatura y salinidad, existen diferencias debido a que estas fueron tomadas a diferentes profundidades, según el año en que se realizó el estudio. No obstante lo anterior, la temperatura y salinidad superficial fueron monitoreadas en todos los estudios, razón por la cual se utilizan estas variables en los modelos propuestos.

Respecto de la cobertura latitudinal de los estudios, entre 1992 y 1996 se observa una extensión progresiva, partiendo en 1992 con 330 mn hasta llegar a las 450 mn en 1996, año a partir del cual se mantiene la extensión latitudinal, hasta el año 2002. Esta zona corresponde al área entre límite norte del país y los 26° de latitud sur. Además, el número de estaciones realizadas tuvo un incremento de un 47% desde el año 1992, cuando se realizaron 542 estaciones, hasta 1997, año en que se monitorearon 800 estaciones. A partir de este último se han realizado entre 502 y 598 estaciones por año (**Tabla 12; Figura 41**).

Por su parte, la posición longitudinal presenta algunas variaciones, asociadas al diseño de muestreo del estudio, (largo de las transectas, distancia entre estaciones al interior de una transecta). Los cambios que se presentan son básicamente la presencia de transectas largas en algunos años, con el objetivo de cubrir correctamente el área de desove del recurso y transectas cortas en la zona cercana a la desembocadura del Río Loa, donde las estaciones se encuentran más cercanas entre sí y se espera mayor densidad de huevos (**Tabla 12; Figura 41**).

La temperatura superficial media estimada en la zona de estudio, presentó sus máximos en los años 1992 y 1997, con 16,47 y 18,37° C, respectivamente, lo que se



explica por sendos fenómenos de El Niño que afectaron la región en dichos años. Respecto de la variabilidad de las mediciones de temperatura, se registraron las mayores variaciones los años 1995 y 1997, en tanto durante 1996 y el año 2000 la región presentó su mayor homogeneidad térmica (**Tabla 12; Figura 42**).

Respecto de las salinidades superficiales, estas presentaron sus mayores oscilaciones en 1997 y 1999, con valores extremos de 34,54 a 35,32 y 34,42 a 35,18 psu, respectivamente. En la **Figura 43**, se presenta el histograma de las salinidades, donde se puede apreciar presencia de masas de aguas de distintas salinidades en el área de estudio, las que se presentan mejor delimitadas en los años 2000 y 2001.

Durante los distintos cruceros realizados, se han observado importantes variaciones en la proporción de estaciones positivas (con huevos) y en las densidades medias (número de huevos/0.05 m²). En este sentido, cabe destacar que para la estimación de las densidades medias de huevos por año, se utilizó un estimador de la media de una distribución delta Pennigton (1986), dada la naturaleza de la variable en estudio (distribución asimétrica y con gran número de observaciones cero). Es así como se puede observar una fuerte caída de las densidades entre 1992 y 1995, para posteriormente mantener las bajas densidades hasta el año 1999. Entre el año 2000 y 2003 se observan un comportamiento oscilatorio en la densidad media estimada, mostrando una alta variabilidad el parámetro estimado (**Fig. 44a**).

Así mismo, se estimó la proporción de estaciones positivas a huevos, modelando la variable presencia/ausencia a través de una distribución de probabilidad binomial. Además, se estimó la densidad media de las estaciones positivas, bajo el supuesto que éstas tienen una distribución log-normal (nótese que el producto de la probabilidad de éxito y la media log-normal, es proporcional a la media de la distribución delta). Ambas estimaciones por año, se presentan junto a las temperaturas y salinidades medias en la **Figuras 44 c, d, e y f**. En general la tendencia en la proporción de estaciones positivas, sigue un comportamiento



similar a la densidad media, con importantes oscilaciones en el período de estudio, con las máximas registradas los años 1992, 2000 y 2002, años en que las densidades medias también fueron las más altas. Por su parte, las densidades en las estaciones positivas a huevos presentan un comportamiento similar a los parámetros ya citados, con una notable diferencia en el año 1997, donde se presenta una alta densidad, en concordancia con la temperatura y salinidad superficial.



5.6.5.2 Modelamiento estadístico

Para conocer la relación existente entre las variables oceanográficas y la distribución de los huevos de anchoveta, se ajustaron modelos aditivos generalizados (GAM), a las variables conteo de huevos y la presencia/ausencia de huevos, por separado. Para el primer caso, se modeló el conteo de huevos a través de quasi-verosimilitud, permitiendo al estimación del parámetro de dispersión ϕ (Nelder, 2000). Dicho modelo será llamado Poisson con sobre-dispersión.

Por su parte, la variable presencia/ausencia, se modeló a través de una distribución de probabilidad binomial. Los predictores lineales en ambos modelos, estuvieron constituidos por las variables latitud y longitud de las estaciones bio-oceanográficas, junto a la temperatura y salinidad superficial, las cuales son introducidas a los modelos a través de funciones no-paramétricas suaves, de la forma de los suavizadores splines cúbicos (Hastie y Tibshirani, 1990). Junto con estas variables, se introdujo el factor año, como un predictor lineal, el cual permite conocer la tendencia del índice anual de densidad de huevos (conteo), junto a la proporción de estaciones con presencia de huevos.

En este sentido, los modelos ajustados fueron significativos ($p < 0,01$), son pseudo- R^2 de 0,208 para el modelo Poisson con sobre-dispersión y un 0,127 para el Binomial (**Tablas 13 y 14**). Claramente los predictores presentaron un comportamiento no-lineal, lo que se confirma a través de las pruebas F y χ^2 , a excepción de la temperatura superficial en el caso del conteo de huevos. La influencia de cada predictor sobre la variable respuesta es presentada gráficamente través de los suavizadores splines cúbicos.



En la **Figura 45** se presentan los suavizadores spline cúbicos para cada predictor en el modelo Poisson con sobre-dispersión. Se puede observar que a latitudes por sobre los 24° , hay un efecto negativo sobre el número de huevos por estación, lo que confirma que el desove está restringido principalmente a la zona al norte de dicha latitud. Por su parte la longitud tiene un efecto positivo sobre el número de huevos por estación a latitudes muy cercanas a la costa, mientras que sobre los 71° de longitud, se verifica un efecto negativo.

En relación con la variable temperatura superficial, se observa un efecto negativo de ésta sobre el número de huevos por estación, a temperaturas inferiores a los 16°C . Además, el efecto temperatura, por sobre los 18°C presenta una alta incertidumbre, reflejado por la amplitud de las bandas de confianza del suavizador spline (**Figura 45**).

La variable salinidad muestra una alta incertidumbre en el suavizador a salinidades inferiores a los 34,4 psu, revelada por la gran amplitud de las bandas de confianza, mientras que por sobre los 34,8 psu se revela un efecto negativo de la salinidad sobre el número de huevos por estación.

Respecto del modelo binomial ajustado, para el predictor latitud se observa un efecto positivo entre los 21° y 22° de latitud sur, en tanto que por sobre los 23° hay un claro efecto negativo sobre la proporción de estaciones positivas. Por su parte, la variable longitud de la estación, muestra un efecto positivo en torno a los 71° , con un claro efecto negativo sobre los $71^\circ 30'$ (**Figura 46**).

La variable temperatura, por su parte, muestra un efecto positivo sobre la proporción de estaciones positivas a huevos entre los 16° y 17°C de temperatura, en tanto que temperaturas inferiores y superiores a este rango, tienen un claro efecto negativo sobre la proporción de estaciones con presencia de huevos (**Figura 46**).



Al igual que lo observado en el modelo ajustado para el conteo de huevos, la funci3n suave ajustada para la variable salinidad presenta una alta incertidumbre a valores inferiores a los 34,4 psu, en tanto a valores inferiores a los 34,8 psu se observa un efecto negativo sobre la proporci3n de 3xito en la obtenci3n de huevos en las estaciones bio-oceanogr3ficas.

Finalmente, a partir de los modelos ajustados, se pueden obtener tendencias anuales en la densidad relativa media de huevos por estaci3n y de la probabilidad de 3xito anual en la obtenci3n de huevos. Para el caso de la densidad de huevos, se observa una alta incertidumbre para el a1o 1992, de forma tal que no es posible distinguir un nivel de densidad preciso para tal a1o, en tanto que durante los a1os 1995 y 1996 se presentan las m3s bajas densidades de huevos del per3odo, para posteriormente, entre 1997 y 2001 registrar un aumento de las densidades, per3odo en el cual, el modelo no presenta mayores variaciones, con amplias bandas de confianza para los coeficientes estimados, lo que refleja un baja precisi3n en la estimaci3n de la se1al anual. El a1o 2002 se presenta como el m3s alto de la serie, con las m3ximas densidades relativas de huevos por estaci3n, para posteriormente en el a1o 2003 registrarse una baja (**Figura 47**).

Para el caso de la probabilidad de 3xito en la obtenci3n de huevos, se observa una alta variabilidad del 3ndice anual en el per3odo 1992 – 2002, con un m3ximo para el a1o 2002, al igual que lo presentado para la densidad media. El resto de la serie, no presenta una tendencia clara, destac3ndose un valor m3nimo para el a1o 2001 (**Figura 47**).

5.6.6 Preferencia - rechazo

Para el a1o 1992, 1999, 2000, 2001 y 2002 el an3lisis seg1n la metodolog3a de Perry y Smith (1994) no muestra preferencias o rechazos (**Figura 48; Tabla 15**).



Los a1os que mostraron ciertas preferencias o rechazos significativos (**Figura 49**; **Tabla 15**) fueron el a1o 1995, que muestra una preferencia significativa alrededor de los 14,8°C. En el a1o 1996 se observa un rechazo por temperaturas inferiores a 15,4°C. El a1o 1997 entrega preferencias por temperaturas alrededor de los 19°C. El a1o 2003, muestra preferencias por temperaturas cercanas a los 14,8°C.

5.6.7 Re-estimaci3n de las biomosas hist3ricas

Debido a que este a1o se cambi3 la metodolog1a de estimaci3n de P_0 (ver Metodolog1a punto 3.1 c), se realiz3 un taller interno de trabajo (UNAP e IFOP del 20 al 22 de marzo de 2004) en el que se re-estimaron todos los P_0 para cada a1o, mediante la misma metodolog1a aplicada para el a1o 2003, es decir agrupaci3n por cohortes diarias, inclusi3n de las estaciones negativas y de cohortes no observadas ("ceros"), con un ajuste mediante regresi3n no lineal ponderada por el inverso del error est3ndar en categor1as de 0,5 d1as. La distribuci3n de estadios de desarrollo para cada a1o se entrega en la **Figura 50**, apreci3ndose que el estadio I est3 subrepresentado en toda la serie. Dado que en la nueva metodolog1a influye en la definici3n del 3rea de desove, ya que se deben incorporar las estaciones negativas ("cero huevos") al interior, es que 3sta se realiz3 solamente para el criterio de interpolaci3n. Al respecto, es necesario se1alar que los dos criterios utilizados para la definici3n del 3rea de desove: "interpolaci3n" y "l1mite inferior" han mostrado igual tendencia. Estando hoy en d1a el equipo de trabajo y luego de la experiencia adquirida, inclinado a utilizar solamente el criterio de interpolaci3n, ya que no tiene mucho sentido utilizar dos 3reas de desove que rinden distintas biomosas (aunque con igual tendencia). El n1mero de huevos por estaci3n de muestreo (0,05 m²) en funci3n de la edad para cada a1o de aplicaci3n del MPH se entrega en la **Figura 51**.

En la **Tabla 16** se entregan los nuevos estimados de P_0 y los informados con la metodolog1a anterior. En general se aprecia que la nueva metodolog1a hace descender los valores de P_0 , principalmente debido a la inclusi3n de ceros en la regresi3n. Sin embargo, a pesar de las diferencias metodol3gicas las tendencias



en los P_0 se mantienen estables (**Figura 52**), lo que se traslada a las biomazas, que si bien son m1s bajas que las anteriormente reportadas, las tendencias hist3ricas se mantienen estables (**Tabla 16, Figura 53**).

Las tendencias similares entre las biomazas estimadas y las capturas totales del a1o, son explicadas por el hecho de que las capturas totales del a1o son muy bien explicadas por el 1rea de desove de anchoveta en el per3odo del Crucero (**Figura 54**).



VIII. ANÁLISIS Y DISCUSI3N DE LOS RESULTADOS

1. Análisis biol3gico-pesquero

a) Extensi3n temporal y geogr3fica del proceso de desove de anchoveta 2003

En agosto-septiembre de 2003, las estaciones con presencia de huevos de anchoveta (positivas) fueron menores a las reportadas el a3o 2002, pero mayores al 2001 (**Tabla 5**).

El análisis de los ovarios de la anchoveta capturada en la I y II Regiones, se3al3 que en junio se inici3 la actividad reproductiva masiva, evidenci3ndose el pleno desove entre la segunda quincena de julio y la primera quincena de octubre, observ3ndose durante este per3odo los mayores valores del índice de actividad de desove.

La anchoveta en agosto-septiembre se distribuy3 en una zona, circunscrita preferentemente dentro de las primeras 20 millas náuticas, coincidiendo con la acotada distribuci3n de los huevos, diferente a lo ocurrido en el 2002, pero muy similar al 2001, donde las capturas se obtuvieron en zonas muy costeras.

En el crucero del a3o 2003, se obtuvieron 129 registros positivos (con presencia de huevos), correspondiente a un 24% del total de estaciones. Las estaciones con presencia de huevos de anchoveta fueron significativamente menores en comparaci3n a lo reportado en el crucero precedente, lo que se traduce en una tasa de cambio negativa igual a 58,2%, exhibiendo el desove un incremento en su intensidad (22%) y una menor cobertura geogr3fica (45,2%).



En relación al número de huevos, el invierno de 2003, exhibe con respecto al crucero MPH 2002, un porcentaje de cambio negativo igual a 49,2%, constituyéndose este año en el cuarto registro más importante de la serie 1992-2003 (**Tabla 5**).

b) Estimación de la producción de huevos (P_0)

El parámetro P_0 , producción diaria de huevos en el mar, es el parámetro que aporta mayor varianza, razón por la cual se están introduciendo continuamente avances metodológicos para lograr un aumento en la precisión del estimador. Es así que recogiendo las recomendaciones emanadas del Meeting de SPACC y del Taller de Trabajo con la Dra. Nancy Lo (NOAA) y Andrés Uriarte (AZTI), de forma de lograr mayor precisión y de hacer comparables las estimaciones del norte y centro-sur de Chile con otros *Engraulis*, en distintos hábitats, se modificó la metodología a seguir. Creemos que ésto significa un avance en la aplicación del MPH en Chile.

Una de las ventajas del MPH es que se pueden introducir avances metodológicos que hagan más robustas las estimaciones de biomasa desovante y los parámetros biológicos asociados.

c) Parámetros de anchoveta adulta

El análisis de los parámetros de adultos indicó que la proporción sexual de la anchoveta concuerda con los valores reportados para los años 1992 y 2000. Cabe mencionar, que de los siete años en que se ha aplicado el MPH en cinco de ellos los machos han presentado una mayor proporción. La fecundidad registrada en el 2003, a igual peso promedio de hembra madura, fue menor a la reportada en el 2002, ubicándose dentro de los valores intermedios de la serie histórica. La frecuencia de desove registró un valor promedio alto dentro de la serie histórica, comparable al obtenido en 1995 (**Tabla 17**). Durante el 2003 se observó un peso de hembra madura (25 g), superior al 2002, pero un valor intermedio respecto a la



serie histórica, comparable con lo reportado en 1999. El tamaño modal de la anchoveta registrado en el presente año (15 cm) estuvo por sobre el tamaño reportado en el año 2002 el cual alcanzó a 14,5 centímetros.

d) Biomasa desovante

Al comparar las biomásas de años anteriores (corregidas según la nueva metodología de estimación de P_0) se apreció para el 2003 un aumento en un 17% respecto del año 2002 (**Tabla 11**). Las tendencias históricas de biomasa desovante con las capturas totales del año siguen la misma tendencia, indicando la robustez de los resultados del MPH.

El análisis de los estimados de biomasa a través de dos criterios (estructural o límite inferior y funcional o de interpolación) se relacionan con la manera que se representa el área de desove, en este contexto el criterio estructural es una opción ligada al diseño de muestreo, dado que el muestreo utilizado es el sistemático de transectas, donde las estaciones están predefinidas a una distancia fija al interior de una transecta, de forma tal que conocer el área que representa cada estación es natural. Sin embargo, tendería a subestimar el área de desove, puesto que la zona no muestreada no tiene la posibilidad de quedar incluida en el área de desove, de esta manera esta estimación permite tener una visión de un nivel de referencia mínimo de la biomasa del stock desovante de la anchoveta.

Por otra parte, el criterio funcional podría sobreestimar el área de desove, dado que a través de las observaciones vecinas a las estaciones no muestreadas se decide sobre la necesidad de incluirlas como parte del área de desove, por lo que es muy sensible al grado de dispersión que presenten las estaciones positivas.

Las biomásas estimadas bajo los dos escenarios muestran, en general, la misma tendencia con diferencias de escalas producto de la disimilitud en el tamaño de las áreas de desove. Lo cual es una característica importante al observar los resultados del MPH como serie de tiempo, ya que indica que las tendencias en las



biomasas son independientes de estos criterios de análisis, pudiendo ser usadas en el estudio de sus fluctuaciones o como índices de calibración de métodos indirectos.

2. Análisis oceanográfico

La ausencia de gradientes térmicos y salinos superficiales intensos en la franja costera de la zona de estudio es una condición habitual en la época de invierno (Braun *et al.*, 2000; Braun *et al.*, 2001; Braun *et al.*, 2002, Braun *et al.*, 2003; Braun *et al.*, 2004; Blanco *et al.*, 2001) dado los menores valores que registran estas variables en el sector oceánico. No obstante lo anterior, los procesos de surgencia se presentaron a lo largo de toda la franja costera. Los afloramientos fueron más intensos, en términos relativos, en caleta Camarones, de Iquique a Tocopilla y de Mejillones hasta el límite sur, lo que se indica dadas las menores temperaturas superficiales observadas en aquellos sectores costeros. El levantamiento de las isothermas e isohalinas en la franja costera a través de todas las transectas analizadas gráficamente (distribución vertical) mostró que prácticamente toda la zona de estudio de vio afectada por procesos de surgencia normales en intensidad y habituales para la época de estudio. La presencia de bajas salinidades en las primeras millas de la costa, producto de la ubicación de un destacado núcleo de baja salinidad subsuperficial, señaló que el agua surgente en esta oportunidad fue principalmente de origen subantártico o de una mezcla de agua con fuerte participación de ésta. Los procesos de afloramiento fueron más intensos en la mitad sur, lo que es mostrado por la mayor pendiente de las isothermas y por los menores valores de temperatura en las primeras millas de la costa.

Las mayores temperaturas y salinidades superficiales registradas en el sector costero se ubicaron frente a la localidad de Pisagua. En esta área, los procesos de surgencia serían menos intensos y junto a un transporte geostrófico hacia la costa (Braun *et al.*, 2003), serían los responsables de un acercamiento de agua superficial más cálida y salina de origen subtropical hacia el borde costero. Lo



anterior, es también corroborado por las anomalías negativas de TSM de un menor valor (0° a -1°C) que se encontraron en el mismo sector.

Tanto los valores de anomalía de TSM, SSM y profundidad de la isoterma de 15°C , basados en los promedios mensuales históricos, indican para la franja costera condiciones habituales. Aún cuando se presentó una entrada de agua de origen subtropical frente a Pisagua, esta condición la que puede identificarse como un proceso no anormal en la zona.

En el sector oceánico, las anomalías de TSM indican condiciones en general dentro de los rangos normales para la época, sin embargo, la anomalía de salinidad superficial significativa de $-0,2$ psu en el sector norte sería consecuencia de procesos relacionados con un giro ciclónico presente en el lugar, aunque éste se encuentra centrado más al oeste (Braun *et al.*, 2003). El giro ciclónico señalado, se presentaría frente a caleta Camarones y sería la causa de la anomalía de salinidad negativa y de una menor profundidad de la isoterma de 15°C , variable que tiene anomalías negativas mayores a 20 m. Otro giro ciclónico se presenta desde Iquique a punta Patache (Braun *et al.*, *op cit*), originando también las anomalías negativas de esta misma variable.

Por otro lado, las anomalías positivas no significativas de SSM, registradas en el sector oceánico entre Tocopilla y punta Grande, estarían asociadas a un giro anticiclónico presente en esa área (Braun *et al.*, *op cit*). A este respecto, la circulación geostrofica superficial obtenida con datos del crucero de Monitoreo Bio-oceanográfico de la zona norte, efectuado durante la misma época (Braun *et al.*, *op cit.*), señala la ubicación de un giro ubicado al nor-oeste del área indicada. Tal proceso puede causar la profundización de la isoterma de 15°C en 20 m respecto del promedio mensual histórico. A este respecto, también se puede señalar que la fuerte mezcla mayor a los 10 m, observada de los perfiles de CTD, registró un máximo relativo en esta misma área, proceso que pudo provocar que las



anomalías de TSM y SSM no sean positivas o mayores a las encontradas, respectivamente.

Desde Mejillones al sur todas las variables señalan que el sector estuvo bajo un fuerte régimen de vientos locales. El viento fuerte en este sector es la causa de la mezcla importante en el intervalo de 30 a 50 m, lo que originó las bajas temperaturas y salinidades superficiales, la profundización de la isoterma de 15°C y con ello las anomalías positivas de hasta +40 m en esta variable. Asimismo, la mezcla de la capa superficial originó que las diferencias de temperatura y salinidad entre el nivel superficial y el de 50 m de profundidad sean las menores del área. No obstante lo anterior, se destacó que en el sector se encontraron solamente anomalías negativas en la variable salinidad pero no así en temperatura.

En las transecta de los 25°S se destacaron las anomalías de hasta -40 m que se presentaron en el sector central (40 a 50 mn). Lo anterior se produjo por que las estaciones indicadas no presentaron una temperatura de 15°C en su columna de agua, mientras que las estaciones vecinas éste valor estuvo a profundidades de 40 y 60 m. No es claro precisar el origen del levantamiento de las isotermas e isohalinas observado en esta transecta y con ello la presencia de las importantes anomalías de profundidad de la isoterma de 15°C. A este respecto, lo estrecho del sector afectado, el brusco levantamiento de las isotermas e isohalinas en al menos 50 m y la ubicación del sector respecto a la costa no permite definir bien el origen del proceso, considerando aun más que la transecta de más al norte no presentó la situación indicada y en la transecta inmediatamente al sur no hay información por malas condiciones meteorológicas.

En resumen, las condiciones oceanográficas superficiales en la zona de estudio durante el crucero fueron de normalidad. Lo anterior se dedujo de las anomalías de temperatura superficial, salinidad y profundidad de la isoterma de 15° que estuvieron en general dentro de los rangos típicos para el período. No obstante lo anterior, hubo valores de anomalía significativa de salinidad y de la profundidad de



la isoterma de 15°C localizados en el área oceánica, los cuales están estarían originados por procesos locales como mezcla superficial por viento, principalmente en el área de Antofagasta al sur, y a pequeños giros ciclónicos o anticiclónicos detectados en el área entre Arica y Mejillones. Como dos áreas de condiciones opuestas se señalan las localidades de 1) Arica a Mejillones, con baja mezcla, y 2) el área de Mejillones hasta los 26°S, que presentó una fuerte mezcla superficial. Los procesos de surgencia se observaron a lo largo de toda la franja costera, siendo éstos de intensidad moderada desde Mejillones hacia el sur y más débiles entre Pisagua e Iquique. En el último sector indicado se encontraron las temperaturas de la franja costera más altas de período de estudio.

3. Análisis de la distribución espacial de huevos asociado a variables oceanográficas

En cuanto a la distribución de los huevos, éstos exhiben, en general, una distribución costera localizándose en los bordes de gradientes térmicos y salinos, los cuales a su vez se vinculan a zonas de surgencia. En este sentido Braun *et al.*, (2001) dan cuenta que los huevos de anchoveta están mayormente asociados a zonas que desarrollan gradientes térmicos moderados y fuertes, en tanto que las larvas se ubican en sectores donde los diferenciales de temperatura son más modestos.

Cabe recordar que las pesquerías de sardina y anchoveta desarrolladas en la zona norte del país han experimentado fluctuaciones de corto plazo y largo plazo; las primeras, relacionadas con cambios ambientales aperiódicos, como son los fenómenos "El Niño" (Yáñez y García, 1993; García, 1993). Asimismo, esta zona posee una elevada insolación, que en conjunto con el afloramiento de aguas frías, ricas en nutrientes, permiten desarrollar una productividad primaria capaz de sostener altos niveles de biomasa de recursos pesqueros (Pizarro *et al.*, 1994). También se debe destacar que las mayores concentraciones y agregación de las especies se sitúan principalmente en las primeras 20 mn de la costa, área que se caracteriza por presentar procesos de surgencia durante la mayor parte del año y fuertes gradientes



t3rmicos y salinos, en este sentido Strub *et al.*, (1991) encontraron una fuerte correlaci3n espacial entre diferenciales t3rmicos y la presencia de altas concentraciones de fitoplancton.

El estudio entre la repartici3n geogr3fica de los huevos de anchoveta y la temperatura indica que el ictioplancton se present3 mayoritariamente en el estrato de 13°C a 18°C, con una clara preferencia por los 15°C, lo que es coincidente con lo encontrado en cruceros realizados y cuyos resultados son descritos por Braun *et al.*, (2001) y Oliva *et al.*, (2002). En relaci3n a la salinidad, los huevos se distribuyen entre los 34,4 y 35,1 psu con una preferencia por los 34,7 y 34,8 psu, lo que es similar a lo propuesto por Braun *et al.*, (2001) y Oliva *et al.*, (2002) los cuales dan cuenta que las variables ictiopl3ntonicas tienen una n3tida preferencia por salinidades entre 34,7 y 34,9 psu.

En este estudio nuevamente el foco m3s importante se ubica en las proximidades del r3o Loa, con una distribuci3n muy costera que no sobrepasa las 20 mn y de altas agregaciones de huevos de la especie. Cabe destacar que dicho sector es reportado como una zona de surgencia muy importante en t3rminos temporales y espaciales (Barbieri *et al.*, 1995; Braun *et al.*, 2001). Lo anterior robustece la hip3tesis que las mayores concentraciones de huevos de la especie est3n asociadas a zonas de surgencias.

Respecto de la relaci3n entre las variables ambientales y la distribuci3n espacial de los huevos, estudiada mediante la aplicaci3n de modelos aditivos generalizados, los resultados obtenidos durante el presente estudio son concordantes con los obtenidos en el estudio realizado el a3o 2002. No obstante lo anterior, se deber3n explorar modelos alternativos que den cuenta de las interacciones entre las variables consideradas, adem3s de la dependencia existente entre las observaciones en el espacio.



El análisis de Perry y Smith (1994) ha mostrado resultados contradictorios en el análisis de la distribución de huevos asociado a la temperatura a 10 m de profundidad, no pudiendo extraer conclusiones válidas y consistentes. Esto, más que ser un problema de la metodología usada (ya que con otros sale la misma situación) responde a que las variables utilizadas (i.e temperatura) no sean las que dan cuenta de la predilección del hábitat de desove por las hembras de anchoveta. Probablemente existen otras características oceanográficas, además de temperatura o salinidad, que reflejen la selección de áreas apropiadas para el desove de anchoveta. Variabilidad interanual en el nivel del mar, profundidad de la termoclina, cambios en los patrones espaciales de clorofila, profundidad de la capa de mínimo oxígeno no han sido estudiados hasta el momento. El ambiente biológico, tal como presencia de predadores, producción primaria y secundaria y disponibilidad de alimento también debiera ser considerado.

Una discusión de los resultados de los proyectos de estimación de la biomasa desovante con otras estimaciones de biomasa de anchoveta ya fue incluida en el informe final del proyecto FIP N° 2001-10 (Oliva *et al.*, 2002). Al respecto cabe indicar que las únicas otras estimaciones de biomasa de anchoveta existentes provienen de la aplicación de un modelo estadístico de captura a la edad (MECE) que incluye la estimación de biomasa desovante por el MDPH como información auxiliar para ajustar el modelo (Serra *et al.*, 2004), en calidad de índice relativo. Por consiguiente, estas estimaciones disponibles de biomasa desovante no son independientes de la del MDPH.

En la **Figura 55** se grafican ambas series donde resalta primero que el nivel de ambas series es diferente, siendo la biomasa desovante por el MDPH aproximadamente un orden de magnitud menor que las estimadas por MECE. Otro aspecto que resalta es que en todos los años la tendencia no es similar en ambas series. Ambos aspectos fueron discutidos en el taller metodológico cuyos resultados y recomendaciones se incluyen en el Anexo 3. Al respecto, se planteó que la fuerte diferencia de nivel pudiera ser explicada en algún grado porque el desove de la anchoveta que ocurre en el sur del Perú es mayor que lo supuesto, materia que



podrá ser aclarada en una actividad conjunta con IMARPE y que ya ha sido identificada. Asimismo se recomendó reforzar el muestreo de los adultos debido a que esta es otra fuente potencial de error. En relación con la tendencia de ambas series, un factor que pudiera incidir es la cobertura espacial del crucero, el que en algunos años no corta la distribución del desove hacia la Alta Mar (ver **Figura 29**) y en otros el desove se observó espacialmente disminuido y concentrado (**Figura 29**, años 1999 y 2001). Con respecto al área de distribución se recomendó extenderla hasta 90 o 100 mn (Anexo 3). El balance del desove entre el sur del Perú y norte de Chile puede ser también otro elemento a considerar en las variaciones de las tendencias. Otro aspecto que ha sido considerado es la estructura de edades de la captura utilizada en la evaluación de stock, la que se ha construido sobre base de año calendario; al respecto se está trabajando para convertirla a año biológico, criterio más adecuado para una especie de vida corta y con dos períodos de desove en el año como la anchoveta. Este aspecto podría también contribuir en explicar la diferencia en las tendencias en algunos años.



IX. CONCLUSIONES

1. En invierno de 2003, la intensidad y extensión espacial del desove, analizada a través de las densidades promedio por estaciones positivas y totales, respectivamente; muestran situaciones distintas con respecto al invierno de 2002. Es así, como la intensidad de desove exhibe un incremento igual a 22%, experimentando la cobertura geográfica de huevos una disminución del orden de 45,2%.
2. El análisis microscópico de los ovarios de la anchoveta capturada en la I y II Regiones, evidenció que en junio se inició la actividad reproductiva masiva, caracterizándose ésta por la presencia de ovarios con ovocitos vitelogénicos, hidratados y presencia de folículos post ovulatorios, evidenciándose el pleno desove desde la segunda semana de julio, continuando en agosto y septiembre hasta la segunda semana de octubre, comportamiento que corresponde a un proceso normal para este recurso en la zona norte de Chile.
3. El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove se verificó en el rango latitudinal comprendido entre punta San Pedro ($25^{\circ}30'S$) y Arica ($18^{\circ}25'S$), no reconociéndose registros positivos a huevos, entre punta Carrizalillo ($26^{\circ}00'S$) y punta Lavata ($25^{\circ}40'S$), frente a punta Posallaves ($24^{\circ}50'S$) y, finalmente, en la zona comprendida entre punta Tres Picos ($24^{\circ}20'S$); y, punta Amarilla ($24^{\circ}00'S$) y longitudinalmente estuvieron presentes hasta 60 mn, al oeste de caleta Bandurria ($23^{\circ}20'S$) y punta Tames ($22^{\circ}40'S$).



4. Con respecto al número de huevos, el invierno de 2003 presentó con respecto al crucero MPH precedente una tasa de cambio negativa igual a 49,2%, constituyéndose en el cuarto registro más importante de la serie 1992-2003.
5. Los focos de desove más intensos (> 160 huevos// $0,05m^2$) se localizaron en el sector costero y oceánico frente a Arica, entre caleta San Marcos ($21^{\circ}10'S$) y punta Chileno ($21^{\circ}30'S$) y punta San Pedro ($25^{\circ}30'S$), cuyas abundancias en conjunto representaron el 58,4% respecto del total de huevos de anchoveta cuantificados. En este contexto, las estaciones con las densidades más importantes (> 1.320 huevos) se localizaron frente a punta Chileno y caleta San Marcos, respectivamente.
6. La anchoveta en agosto-septiembre se distribuyó preferentemente en áreas comprendidas de la costa hasta las 20 mn, coincidiendo con la cobertura de los huevos, similar a lo ocurrido en el año 2001, donde las capturas se obtuvieron en zonas muy costeras que no sobrepasaron las 10 millas náuticas.
7. Las agregaciones de anchoveta se detectaron, principalmente, en los siguientes sectores: entre punta de Lobos y Tocopilla ($21^{\circ}02' - 22^{\circ}08'S$) ; entre la zona limítrofe con Perú y Arica ($18^{\circ}23' - 18^{\circ}28'S$). También se observaron en forma secundaria pequeñas agregaciones entre Antofagasta y punta amarilla ($23^{\circ}40' - 24^{\circ}01'S$).
8. La biomasa del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, durante el período de máxima actividad reproductiva (agosto-septiembre del año 2003) estimada por el criterio de interpolación o funcional fue de 424.417 toneladas con una varianza de $1,623 * 10^{11}$ y un coeficiente de variación de 0,95. Por el criterio de límite inferior o estructural la biomasa se estimó en 522.314 toneladas, con una varianza de $1,63492 * 10^{11}$ y un coeficiente de variación de 0,77.



9. Al comparar las biomazas de años anteriores se apreció una disminución de un 17% respecto del año 2002. No obstante, las tendencias históricas de biomasa desovante con las capturas totales del año siguen la misma tendencia, indicando la robustez de los resultados del MPH.
10. Las condiciones oceanográficas superficiales en la zona de estudio durante el crucero fueron, en general, normales. Los valores de anomalía significativos de salinidad y de la profundidad de la isoterma de 15°C localizados en el área oceánica, estarían asociados a procesos locales como mezcla superficial, principalmente en el área de Antofagasta al sur y a pequeños giros ciclónicos o anticiclónicos detectados en el área entre Arica y Mejillones.
11. Se determinaron dos áreas de condiciones opuestas: Arica a Mejillones, con baja mezcla, y el área de Mejillones hasta los 26°S, que presentó una fuerte mezcla superficial.
12. Los procesos de surgencia se observaron a lo largo de toda la franja costera, siendo estos procesos de intensidad moderada desde Mejillones hacia el sur y, más débiles, entre Pisagua e Iquique.
13. El análisis entre la distribución de los huevos de anchoveta y la temperatura indica los huevos de la especie se presentan en el rango de 13°C a 18°C. En cuanto a la salinidad, el ictioplancton se localiza preferentemente entre los 34,5 y 35,1 psu.
14. Los focos de más importantes se localizan en zonas de gradientes térmicos relevantes; de esta manera se observa que el rango donde se localizan las mayores densidades es entre 0,8 y 1,4°C/2mn, siendo posible concluir que a



gradientes superiores las concentraciones de huevos disminuyen notablemente.

- 15.** Los resultados obtenidos del modelamiento estadístico de las variables densidad de huevos y presencia/ausencia de huevos por estación, a través de las variables de posición geográfica de la estación y las variables oceanográficas, verifican que en general las mayores densidades de huevos se encuentran entre los 20°S y 24°S de latitud y en sectores cercanos a la costa.
- 16.** Respecto de la temperatura, se observa que entre los 16 y 18°C se presentan las máximas proporciones de estaciones positivas a huevos. En relación con la salinidad, los modelos utilizados no muestran una clara relación de esta variable con la distribución espacial de huevos.



X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alheit, J., V.H. Alarcon and B.J. Macewicz. 1984. Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 25: 43-52.

Ayon, P. y B. Buitron. 1997. Estimación de la biomasa desovante del stock norte-centro de la anchoveta por “el Método de Producción de Huevos”, durante el invierno 1996. En Crucero de Evaluación de la Biomasa Desovante de la Anchoveta. BIC Humboldt 9608-09. IMARPE-PERU. CEE-VECEP ALA 92/43. Informe N° 123. 13-19.

Barbieri, M. A., M. Bravo, M. Farias, A. Gonzalez, O. Pizarro Y E. Yáñez. 1995. Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. Invest. Mar., Valparaíso. 23: 99-122.

Blanco J. L., M. Carr, A. Thomas and P. Strub, 2002. Hydrographic conditions off northern Chile during the 1996-1998 La Niña and El Niño events. J. Geophys. Res., 107, C3.

Blanco, J. L., H. Reyes y A. Vega. 1992a. Condiciones oceanográficas en la zona norte de Chile durante Febrero-Marzo de 1992. En: Monitoreo mensual de la distribución y abundancia de recursos pelágicos y de las condiciones bio-oceanográfica, zona norte. Febrero-Marzo 1992. Programa de Evaluación Directa de recursos pelágicos zona norte. IFOP. Informe a Empresas Pesqueras Zona Norte.

Blanco, J. L., A. Vega y H. Reyes. 1992b. Condiciones oceanográficas en la zona norte de Chile durante Abril de 1992. En: Monitoreo mensual de la



distribución y abundancia de recursos pelágicos y de las condiciones bio-oceanográfica, zona norte. Programa de Evaluación Directa de recursos pelágicos zona norte. IFOP.

Blanco, J. L. A. C. Thomas, M. E. Carr Y P. T Strub. 2001. Seasonal climatology of hydrographics conditions in the upwelling region off northern Chile. *J. Geophys. Res.*, 106, C6, 11451-11467.

Blaxter, J. and J. Hunter, 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.* 20: 201 – 223.

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.

Braun, M., J. L. Blanco, J. Osses y J. Castillo. 1998. Monitoreo mensual de las condiciones biooceanográficas en la I y II Regiones. Informe Final FIP N°96-07 Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 128 pp + Tablas y Figuras. (monitoreo mayo 97 a dic 97)

Braun, M.; H. Reyes; J. Osses; J. Castillo; V. Valenzuela y M. Espejo. 2000. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones. Informe Final FIP N°99-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). (monitoreo mayo 99 a marzo 2000)

Braun, M., H. Reyes, J. Osses, V. Catasti y J. Castillo. 2001. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2000. Informe Final Proyecto FIP N° 2000-01. Instituto de Fomento Pesquero. Valparaíso.

Braun, M., H. Reyes, J. Osses, J. Castillo y V. Catasti. 2002. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2002. Segundo



informe de avance FIP N° 2002-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile).

Braun, M., H. Reyes, V. Valenzuela, E. Pizarro, J. Castillo y V. Catasti. 2003.

Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2002. Informe Final FIP N°2002-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 183 p + Anexos.

Braun, M., H. Reyes, V. Valenzuela, J. Castillo, J. Osses y V. Catasti. 2004.

Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2002. Informe Final. FIP 2002-01. 156 pp + tablas y figuras.

Butler, M., C. Leblanc, J. Belbin Y J. Macneil. 1990. Cartografía de recursos marinos: un manual de introducción. FAO, Documento Técnico de Pesca N° 274. 281 p.

Cañon, J. R. 1986. Variabilidad ambiental en relación con la pesquería pelágica de la zona norte de Chile. In: "La pesca en Chile", P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso: 195 – 205.

Castillo, J. y O. Guzmán. 1985. Variaciones de la distribución espacial de la sardina española y jurel durante El Niño 1982-83. Invest. Pesq. (Chile), 32: 79-93.

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. 49 p + anexos.

Claramunt, G., G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, R. Escribano, M. Oliva, A. Olivares y A. Zuleta. 1997. Evaluación del stock desovante de anchoveta por el "Método de Producción de Huevos" en la I y II Regiones. Informe Final,



Proyecto FIP 96-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad “Arturo Prat” Iquique. 75 p. + anexos.

Eastman, J. R. 1995. IDRISI for windows: User’s Guide. Clark University, MA-USA, 372 pp.

García, M. 1993. Fluctuaciones ambientales y su relación con pesquerías pelágicas del Pacífico suroriental. Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero, Esc. Cs. del Mar, UCV. Valparaíso. 104 pp.

Hastie, T. J. and R. J. Tibshirani. 1990. Generalized additive models, Chapman & Hall, London.

Hewitt, R. Bindman and N. Lo. 1984. Procedures for Calculating the Egg Production Estimate of Spawning Biomass. Administrative report LJ-84-19. National Marine Fisheries Service. Southwest Fisheries Center. La Joya. Ca. U.S.A. 46 p.

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. and B. J. Macewicz. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin: Vol 83 N° 2. 119-136.



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

Jacob, B. 2002. Variabilidad espacio temporal de las condiciones oceanográficas físicas y biológicas asociadas a la Anchoveta (*engraulis Ringens*) en la zona norte de Chile durante los periodos Pre El Niño (1995-96) y El Niño (1997-98). Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Pesca y Acuicultura. Universidad del Mar.

Krzanowski, W. 1998. An Introduction to Statistical Modelling. Arnold, London.

Lo, N. 1985. A model for temperature – dependent northern anchovy egg development and an automatic procedure for the assignment of egg to staged eggs. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43 – 50.

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

Macewicz, B. J.; J. J. Castro; C. E. Coto and J. R. Hunter. 1996. Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. CALCOFI-REP, 1996, vol 37, pp. 140-151.

Martínez, C., G. Böhm, R. Gili, J. Oliva, M. Cortés, E. Díaz, L. Muñoz, M. Nilo y E. Palta. 2003. Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Norte. Informe Final. Inst. Fom. Pesq.

Martínez, C., L. Caballero, G. Böhm, J. Oliva, R. Gili, V. Böcic, P. Barria 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. Barria y R. Serra. 1993. Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1992. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. 135 p.

Martínez, C., L. Caballero, U. Parker, G. Böhm, J. Oliva, V. Fernández, S. Peña, R. Gili, H. Hidalgo, P. Barria, 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. 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. 1995. Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte en 1993. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 135 p.

Mccullagh, P. and J. A. Nelder. 1989. Generalized Linear Models (2nd Edition), Chapman & Hall, London.

Microimages. 1997. TNTmips The Map & Image Processing System 5.8, User's Guide and Technical References. MicroImages, Inc, Nebraska, USA.

Millero, F. and A. Poisson. 1981. International one atmosphere equation of state of seawater. Deep Sea Res., 28A, 625-629.

Morales, C. E., J. L. Blanco, M. Braun, H. Reyes AND A. G. Davies. 1996. Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: The effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990-1995). Invest. Pesq., Valparaíso: 24, 77-96.



Moser, G. and E.H. Ahlstrom. 1985. Staging anchovy eggs. In An Egg Production Method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the Northern anchovy, *Engraulis mordax*. Lasker, R. (Ed.). NOAA Technical Report NMFS 36, December 1985.

Nelder, J. A. 2000. Quasi-likelihood and pseudo-likelihood are not the same thing. *Journal of Applied Statistics*. Vol 27 N° 8: 1007-1011.

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. Castillo, J. Blanco y O. Rojas. 1998. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones (1997). Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 97-01. 133 p.

Oliva J., M. Braun, J. Cordoba, J. Castillo, V. Catasti, 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. 133 p.

Oliva J., C. Montenegro, M. Braun, O. Rojas, E. Díaz, V. Catasti, H. Reyes, P. Barría, R. Serra, G. Claramunt, G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, R. Escribano y M. Oliva. 2001. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 2000-06. 114 p. + anexos.

Oliva J., C. Montenegro, M. Braun, O. Rojas, H. Reyes, V. Catasti, E. Díaz, P. Barría, R. Serra, V. Baros, A. Vargas, G. Claramunt, G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, Y. Muñoz, R. Escribano y M. Oliva. 2002. Evaluación



del stock desovante de la anchoveta por el método de producción de huevos en la I y II Regiones, año 2001. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 2001-10. 86 p. + anexos.

Oliva J., H. Reyes, V. Baros, E. Díaz, C. Montenegro, V. Catasti, G. Claramunt, G. Herrera, J. Pizarro, P. Pizarro y S. Soto. 2003. Evaluación del stock desovante de la anchoveta por el método de producción de huevos en la I y II Regiones, año 2002. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 2002-10. 87 p. + anexos.

Parker, K. 1980. A direct method for estimating northern anchovy, *Engraulis mordax*, spawning biomass. Fish. Bull., U.S. 78: 541-544.

Perry, R. and J. Smith. 1994. Identifying Habitat Associations of Marine Fishes Using Survey Data: An Application to the Northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 51 : 589-602.

Pennington, M. 1986. Some statistical techniques for estimating abundance indices from trawl surveys. Fish. Bull. (U.S.) 84:519-525.

Picquelle, S. 1985. Sampling Requirements for the Adult Fish Survey . NOAA Technical Report NMFS 36, Lasker (Ed)

Picquelle, S. J. and R. P. Hewitt. 1983. The northern anchovy spawning biomass for the 1982-83 California fishing season. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 24: 16-28.

Picquelle, S. J. and G. Stauffer. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assessment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish:



application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 7-15.

Pizarro, O., S. Hormazabal, A. Gonzalez y E. Yáñez. 1994. Variabilidad del viento, nivel de mar y temperatura en la costa norte de Chile. Invest. Mar., Valparaíso, 22:85-101.

Power, J. H. y L. N. May. 1991. Satellite observed sea surface temperatures and yellow fin tuna catch and effort in the Gulf of Mexico. Fish. Bull., 89 (3-4): 429-439.

Reddy, R., V. Lyne, R. GaY, A. Easton y S. CLarke. 1995. An application of satellite-derived sea surface temperatures to southern bluefin tuna and albacore off Tasmania, Australia. Sci. Mar., 59 (3-4): 445-454.

Rojas, O. y J. Oliva. 1993. Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta de la Zona Norte por el Método de Producción de Huevos. Programa de evaluación directa de recursos pelágicos de la zona Norte. Convenio Empresas Pesqueras del Norte e Instituto de Fomento Pesquero. 50 p.

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

SERNAPESCA, 2002. Anuario Estadístico de Pesca.

Serra, R., C. Canales y G. Böhm. 2004. Investigación CTP anchoveta y sardina española I y II, 2005, Fase 2. IFOP/SUBPESCA. Informe de Avance.



- Seber G. 1973.** The estimation of animal abundance and related parameters. Hafner Press, N.Y. 506 p.
- Smith. P. E., W. Flerx and R. P. Hewitt. 1985.** The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 27-32.
- Stauffer, G. D. and S. J. Picquelle. 1980.** Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Southw. Fish. Cent. Admin. Rep. LJ - 80-09. 41 p.
- Strub, P., P. kosro y A. Huyer. 1991.** The nature of the filaments in the California Current Sistem. J. Geophys. Res., 96: 14743 – 14768.
- UNESCO, 1981.** The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci., N°36.
- Yamamoto, K. and H. Yoshioka. 1964.** Rhythm of development in the oocyte of the medaka, *Oryzias latipes*. Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ. 15: 5-19.
- Yáñez, E. y M. García. 1993.** Fluctuaciones de pesquerías pelágicas y del medio ambiente en el Pacífico Suroriental. Estudios y Documentos, Esc. de Cs. del Mar, UCV, 17/93, 32 pp.
- Yáñez, E., A. Gonzalez Y M. A. Barbieri. 1995.** Estructura térmica superficial del mar asociada a la distribución espacio-temporal de sardina y Anchoqueta en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. Invest. Mar., Valparaíso, 23: 123-147



Yáñez, E., M.A. Barbieri y V. Catasti. 1997. Sea surface thermal structure associated to the small pelagic fish resources distribution in central Chile. In: Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Technology and Applications. ERIM, Michigan, USA, Vol. I, 583-592.

Zar, Jerrold H. 1974. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, INC.



XI. BASE DE DATOS FIP 2003-07

La estructura de las bases de datos, con toda la informaci3n b3sica que se obtuvo durante la ejecuci3n del proyecto FIP 2003 - 07 "Evaluaci3n del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, a1o 2003" se encuentra almacenada en registros magn3ticos. Los archivos y el formato de grabaci3n de cada una de las componentes del proyecto se detallan a continuaci3n.

1. Datos oceanogr3ficos y meteorol3gicos

La informaci3n oceanogr3fica y meteorol3gica de cada una de las estaciones oceanogr3ficas realizadas durante los cruceros de monitoreo, se encuentran en el siguiente archivo: **CRUCE463**, cuyo formato de grabaci3n (Formulario de codificaci3n), corresponde a una modificaci3n del formato **NODC**. El formato **IFOP** est3 compuesto por un registro de identificaci3n y varios registros de informaci3n:

a) Registro de identificaci3n

Campo	Columna de inicio	Formato
país	1	E 2
buque	3	A 2
latitud grados	5	E 2
minutos	7	R 3.1
longitud grados	10	E 2
minutos	13	R 3.1
marsden	16	E 3
a1o	19	E 2
mes	21	E 2
día	23	E 2
hora local	25	R 3.1
instituci3n	28	E 2



Continuaci3n

Campo	Columna de inicio	Formato
crucero	30	E 3
estaci3n	33	A 3
prof.ecosonda	36	E 4
m3xima profundidad	40	E 2
n3 observaciones	42	E 2
trans. Secchi	44	E 2
direcci3n olas	46	E 2
altura olas	48	E 1
per3odo olas	49	E 1
direcci3n viento	50	E 2
velocidad viento	52	E 2
presi3n barom3trica	54	R 3.1
bulbo seco	57	R 3.1
bulbo h3medo	60	R 3.1
tiempo	63	E 2
tipo nubes	65	E 1
cant. nubes	66	E 1
visibilidad	67	E 1
latitud n-s	68	A 1
longitud w-e	69	A 1
tipo de datos	76	A 1
control	80	E 1



b) Registros de datos

identificación		1		35 (Repetición)
profundidad (m)	36		E 4	
temperatura (°C)		40		R 4.2
salinidad	44		R 5.3	
oxígeno (ml/l)		49		R 4.4
control		80		E 1

Observaciones:

Formato tipo: A n: Alfanumérico

E n: Entero

R n: Real sin el punto (ej. 34.356 en formato R 5.3 es 34356

n: Número de columnas

Columna 28 y 29 - códigos institución : 01=SHOA, 02=IFOP, 03=UCV, 04=SSP y 05=otros

Columna 76 - códigos del tipo de datos: B = botellas, C = CTD

Columna 80 - código control : 1 identificación de la estación y 2 último dato observado



Los datos meteorológicos se encuentran codificados de acuerdo las normas y códigos del NODC. A continuación se entregan codificaciones realizadas a los datos meteorológicos.

ALTURA OLA DOMINANTE	
CODIGO	altura de la Ola
X	X altura no determinada
0	0 a 0.25 m
1	0.25 a 0.75 m
2	0.75 a 1.25 m
3	1.25 a 1.75 m
4	1.75 a 2.25 m
5	2.25 a 2.75 m
6	2.75 a 3.25 m
7	3.25 a 3.75 m
8	3.75 a 4.25 m
9	> 4.25 m

PERIODO DE OLA	
CODIGO	período
X	calma o no determinado
2	5 seg o menos
3	6 seg
4	8 seg
5	10 seg
6	12 seg
7	14 seg
8	16 seg
9	18 seg
0	20 seg
1	> 21 seg

TIPO DE NUBE	
CODIGO	NUBE
s	sin nubes
X	nube no visible
0	cirrus
1	cirrocumulus
2	cirrostratus
3	altocumulos
4	altostratus
5	nimbostratus
6	stratocúmulos
7	stratus
8	cúmulos
9	cumulonimbus

VISIBILIDAD	
CODIGO	distancia de visibilidad
0	< 50 m
1	50 a 200 m
2	200 a 500 m
3	500 m a 1 km
4	1 a 2 km
5	2 a 4 km
6	4 a 10 km
7	10 a 20 km
8	20 a 50 km
9	50 km o más
x	no registrado

TIEMPO PRESENTE	
CODIGO	CONDICION
0	despejado
1	parcial nublado
2	capas continuas de nubes
3	ráfagas con polvo o nieve
4	neblina o bruma
5	chubascos
6	lluvia
7	nieve o lluvia y nieve
8	lluvia torrencial
9	tormenta
x	no registrado

OTROS	
Direcciones viento y olas grados verdaderos	
Intensidad del viento nudos	
cantidad de nubes de 0 a 8 partes, 9 = no observado	

2. Huevos y P₀



La información ictioplanctónica de cada una de las estaciones realizadas durante el crucero MPH de invierno de 2003 se almacenó en el archivo base datos P₀.xls, y cuyo formato de grabación se detalla a continuación:

Columna	Tipo de información
1	Código estación
2	Número de transecta
3	Distancia a la costa (mn)
4	Localidad
5	Fecha (Día, mes, año)
6	Hora
7	Longitud decimales
8	Latitud decimales
9	Número total Huevos de anchoveta/0,05m ²
10	Temperatura 0m (°C)
11	Temperatura 10m (°C)
12	Salinidad 0m (ups)
13	Salinidad 10m (ups)

Descripción: Archivo con base de datos del número de huevos por estadio y estación de muestreo, temperatura a 10 m de profundidad y hora de muestreo. Entrada para la estimación de Producción diaria de huevos (P₀)

Columnas

Nº huevos por E S T A D O S D E D E S A R R O L L O, corregidos por DES
Del I al XI estadios de desarrollo de Huevos. En Filas el número de huevos en cada estadio por estación. Número de huevos ya está corregido por huevos desintegrados (DES).

Hora: Hora de muestreo de la estación. En hora y fracción de hora.

Tº 10m: Temperatura (°C) de la estación a 10 m de profundidad.



3. Archivo Base datos Adultos 2003.xls

Descripción: Archivo con la base de datos de ejemplares adultos de anchoveta muestreados en los lances de pesca. Permite estimar los parámetros de adultos: Peso promedio de hembra, Proporción sexual, Fecundidad Parcial y Fracción diaria de hembras desovantes.

Hoja 1: Datos Lances

Columnas corresponden a:

- Lance:** Número de Lance
- Barco:** Nombre de la embarcación
- Fecha:** Día, mes, año
- Hora de la colecta:** Hora, minuto
- Latitud:** grado, minuto
- Longitud:** grado, minuto
- Captura:** en toneladas
- Anchoveta:** x = lance positivo

Hoja 2: Datos Hembras

Columnas corresponden a:

- Lance:** Orden del Lance.
- Orden:** Número de orden de la hembra del lance
- LT(cm):** Longitud Total en centímetros
- PT (g):** Peso Total en gramos
- PE (g):** Peso Eviscerado en gramos
- PG (g):** Peso Gónada en gramos
- EMM:** Estado de Madures Microscópico según escala en Informe
- FPO:** Presencia de Folículos PostOvulatorios (0, 1 o 2 días). 999: Sin FPO.
- PC:** Peso Corporal en gramos (PT-PG).



Hoja 3: Prop. Sexual

Columnas corresponden a:

Lance correlativo: Orden de lances de pesca correlativos.

LANCE: Número de Lance de Pesca

NO: Número de Orden del ejemplar.

PT: Peso Total en gramos del ejemplar

SEXO: Sexo del ejemplar. 1: Macho. 2: Hembra

Hoja 4: Fecundidad

NO: Número de orden del ejemplar

LT: Longitud Total en centímetros

PT: Peso Total en gramos

PE: Peso Eviscerado en gramos

PG: Peso Gónada en gramos

PC: Peso Corporal en gramos (PT-PG)

EMM: Estado de Madurez Microscópico según escala. 6: Hidratado

FECUNDIDAD: Fecundidad parcial estimada para el ejemplar, en número de ovocitos.

FIGURAS

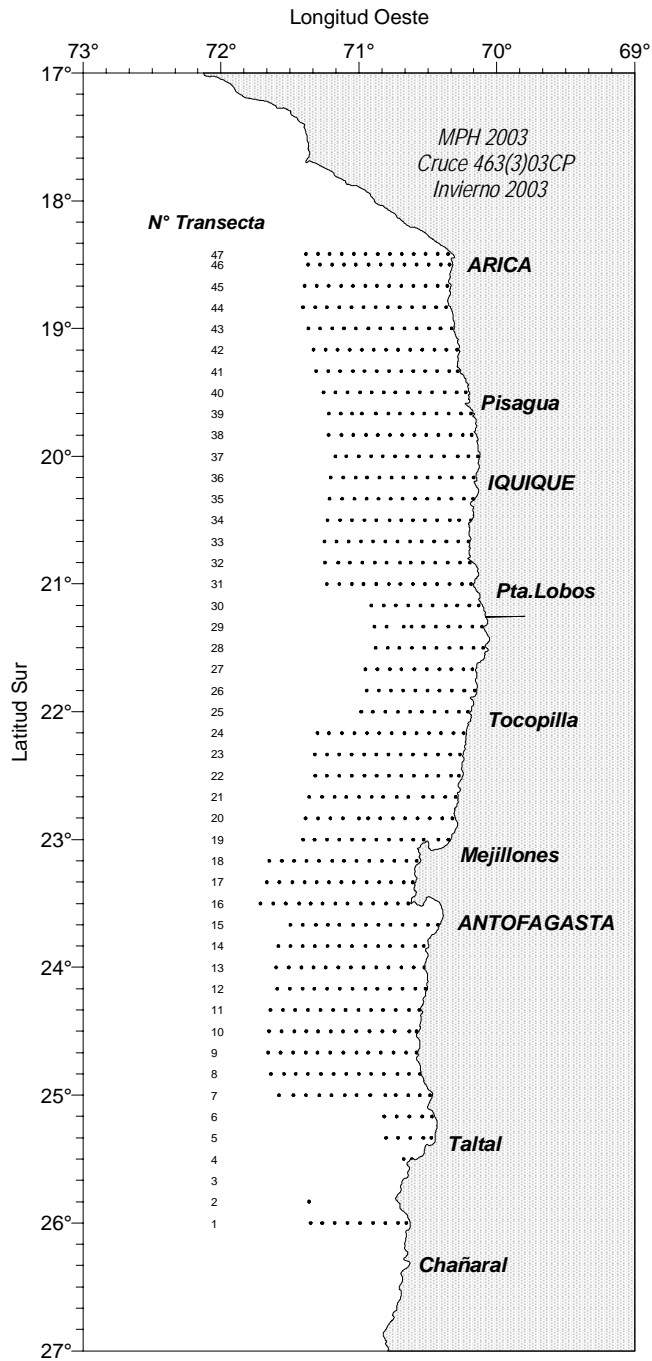


Figura 1. Posición geográfica de las estaciones bio-oceanográficas. Crucero MPH – Invierno 2003.

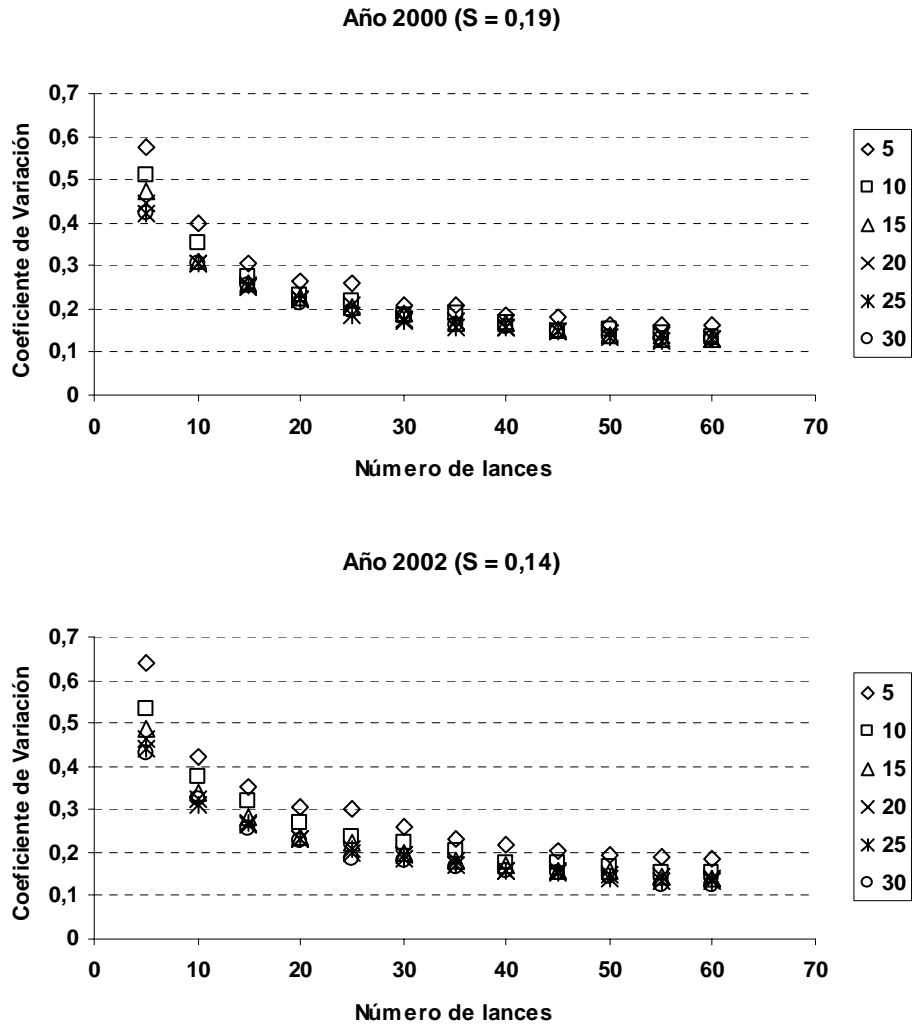


Figura 2. Relación entre el número de lances y el coeficiente de variación para combinaciones de número de hembras muestreadas por lance, para la estimación de Fracción diaria de hembras desovantes a través de FPO de día 1.

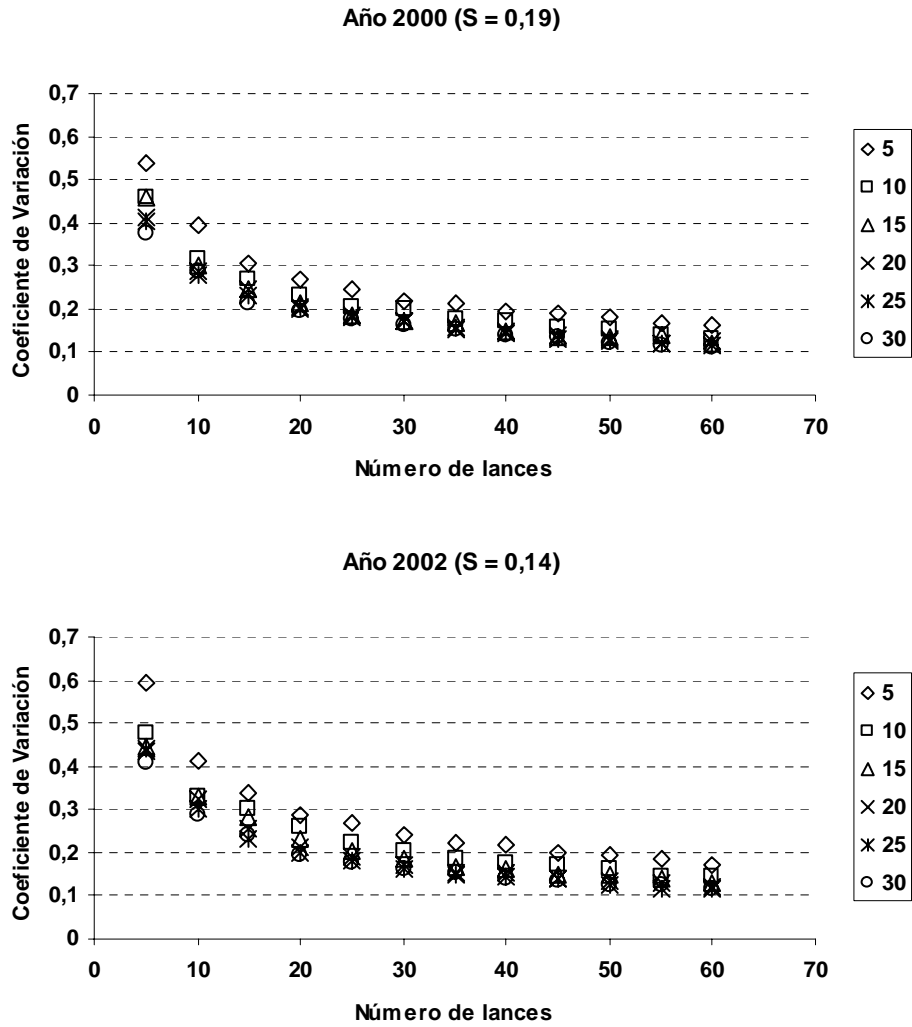


Figura 3. Relación entre el número de lanzes y el coeficiente de variación para combinaciones de número de hembras muestreadas por lance, para la estimación de Fracción diaria de hembras desovantes a través de FPO de día 2.

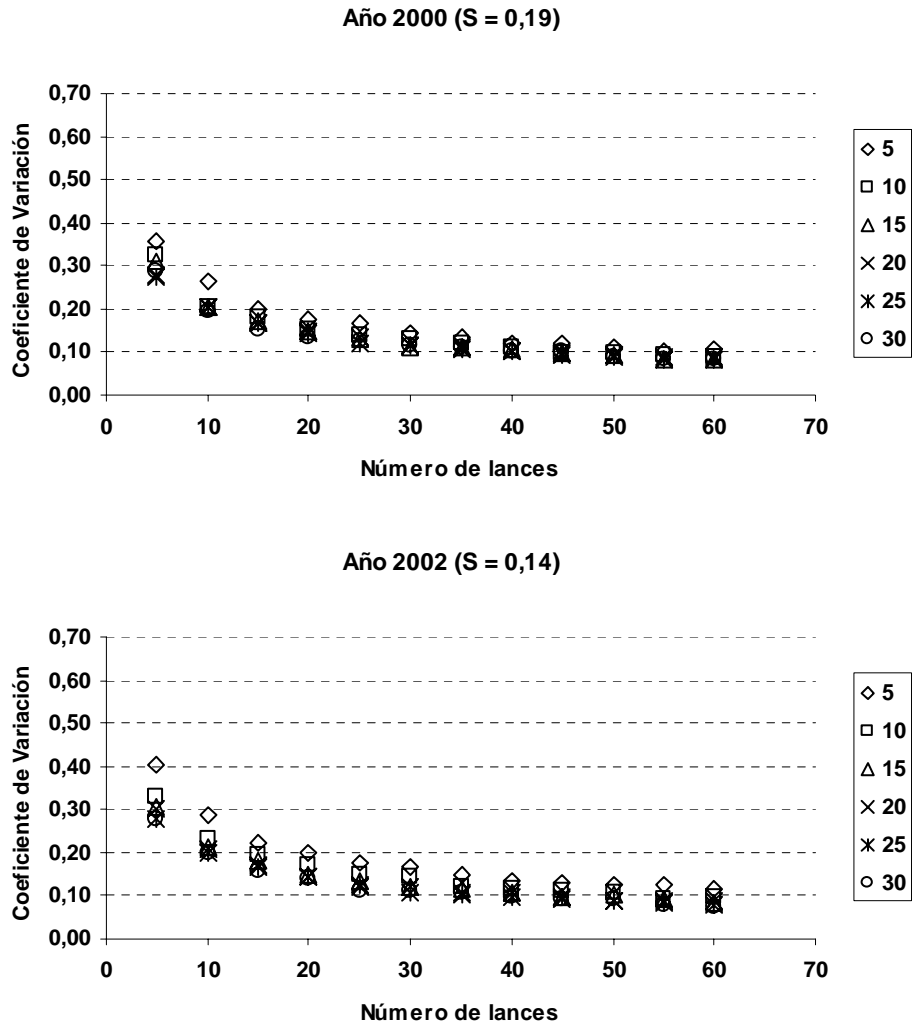


Figura 4. Relación entre el número de lances y el coeficiente de variación para combinaciones de número de hembras muestreadas por lance, para la estimación de Fracción diaria de hembras desovantes a través de FPO de día 1 y 2 combinados (1+2).

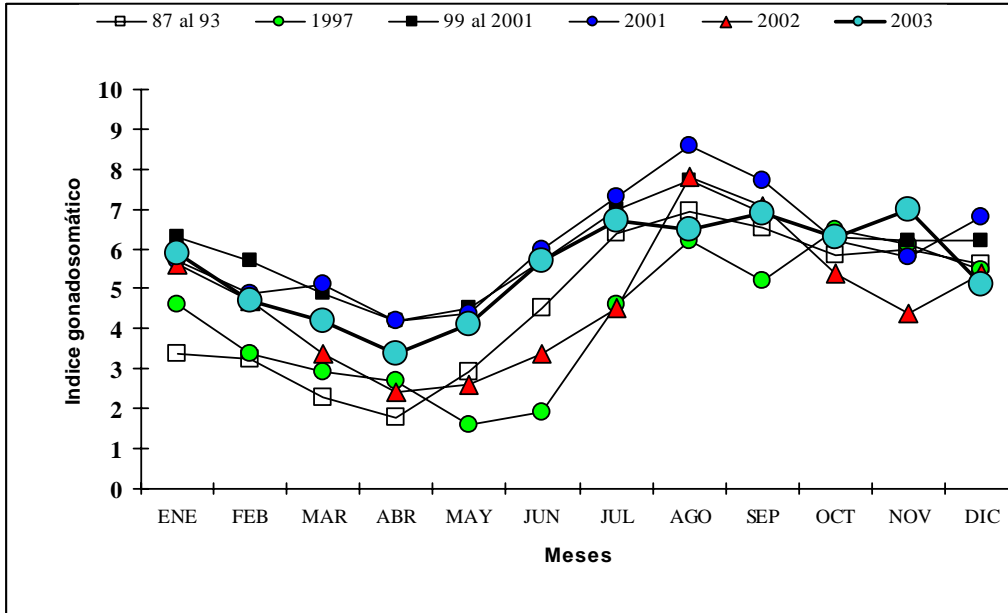


Figura 5. Evolución del índice gonadosomático de la anchoveta en la I y II Región

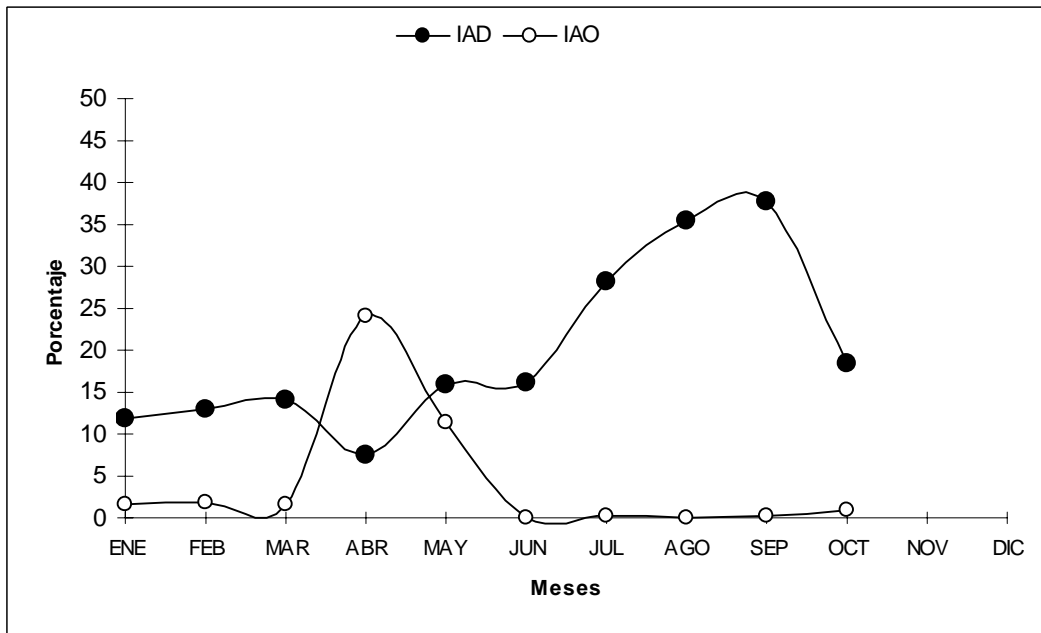


Figura 6. Evolución mensual de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO) (30 de diciembre de 2002 al 2 de noviembre de 2003).

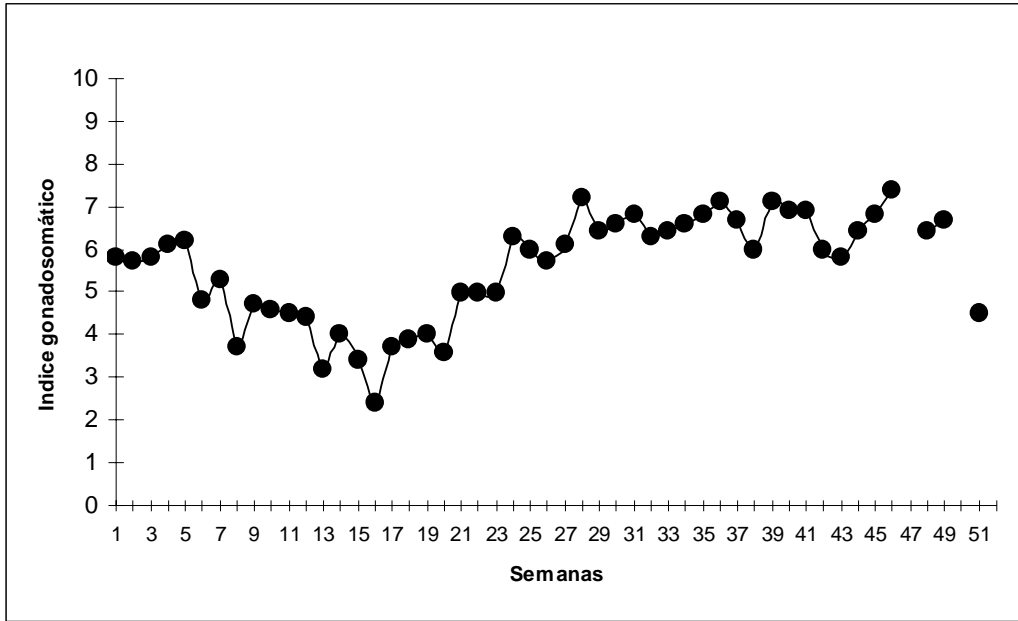


Figura 7. Evolución semanal del índice gonadosomático de la anchoveta (30 de diciembre de 2002 al 2 de noviembre de 2003).

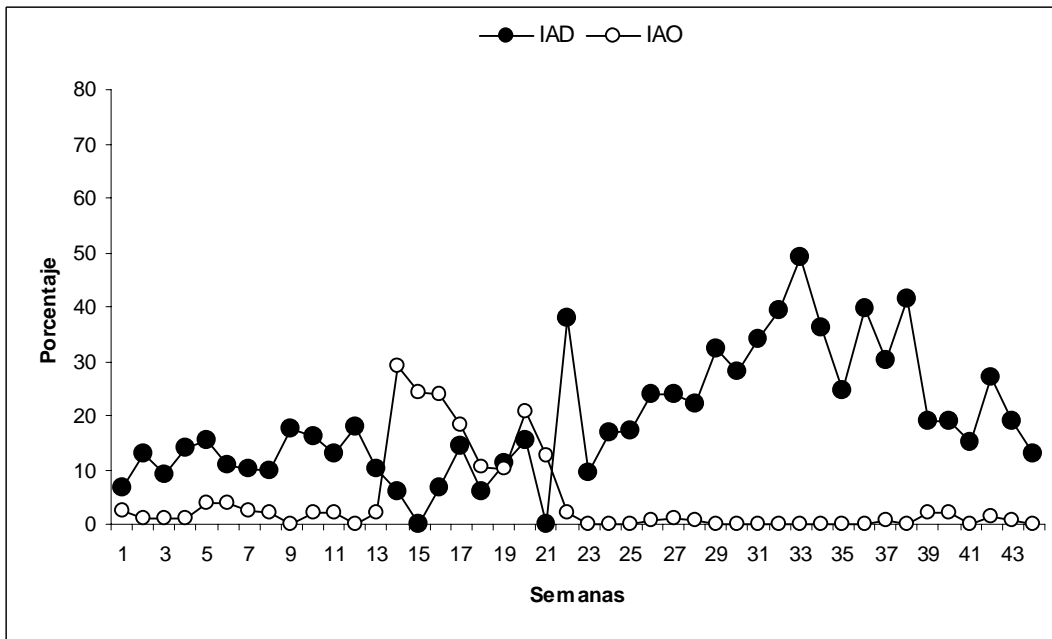


Figura 8. Evolución semanal de los índices de actividad de desove (IAD) y atresia ovárica (IAO), año 2003.

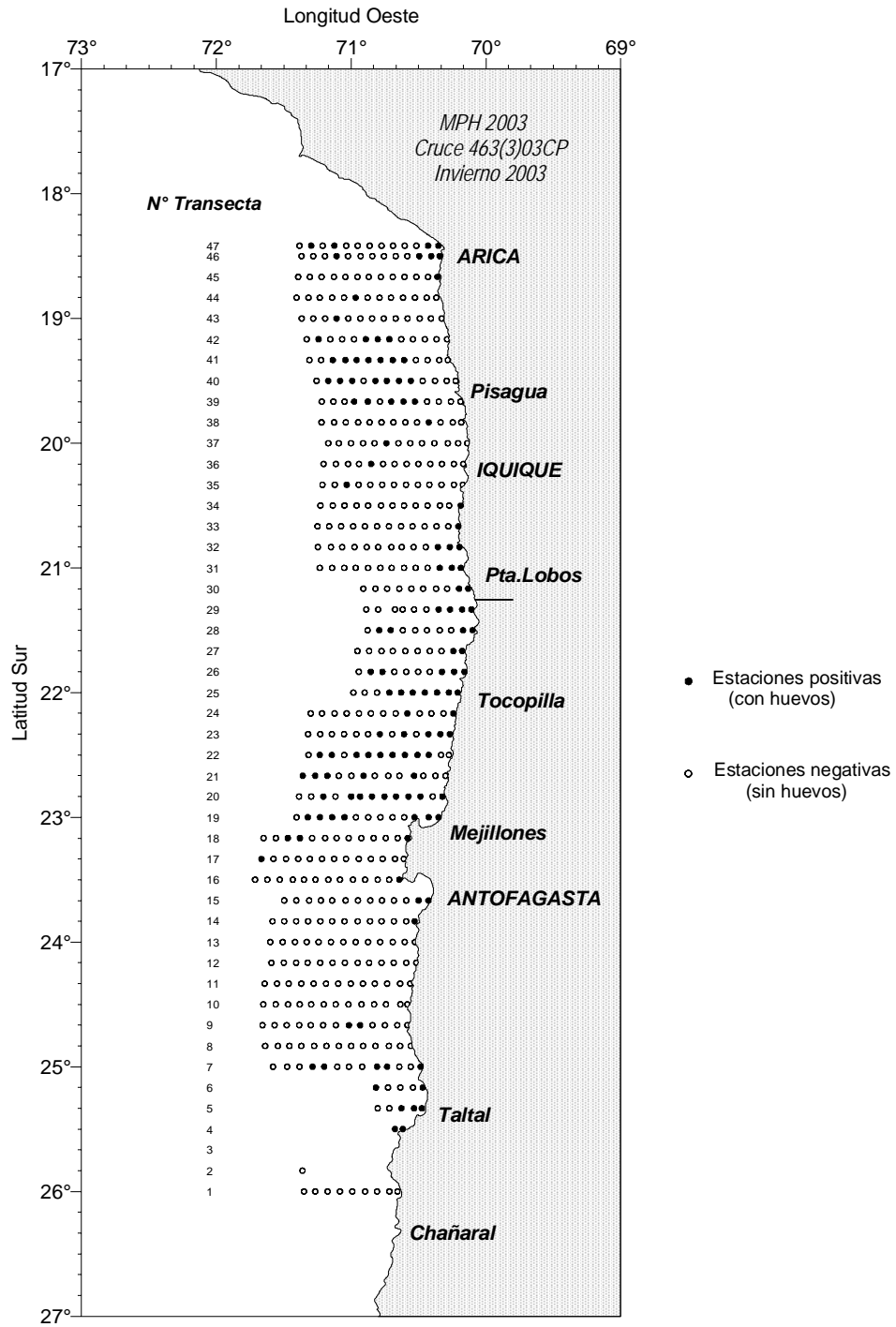


Figura 9. Distribución espacial de las estaciones de ictioplancton. Crucero MPH - Invierno 2003.

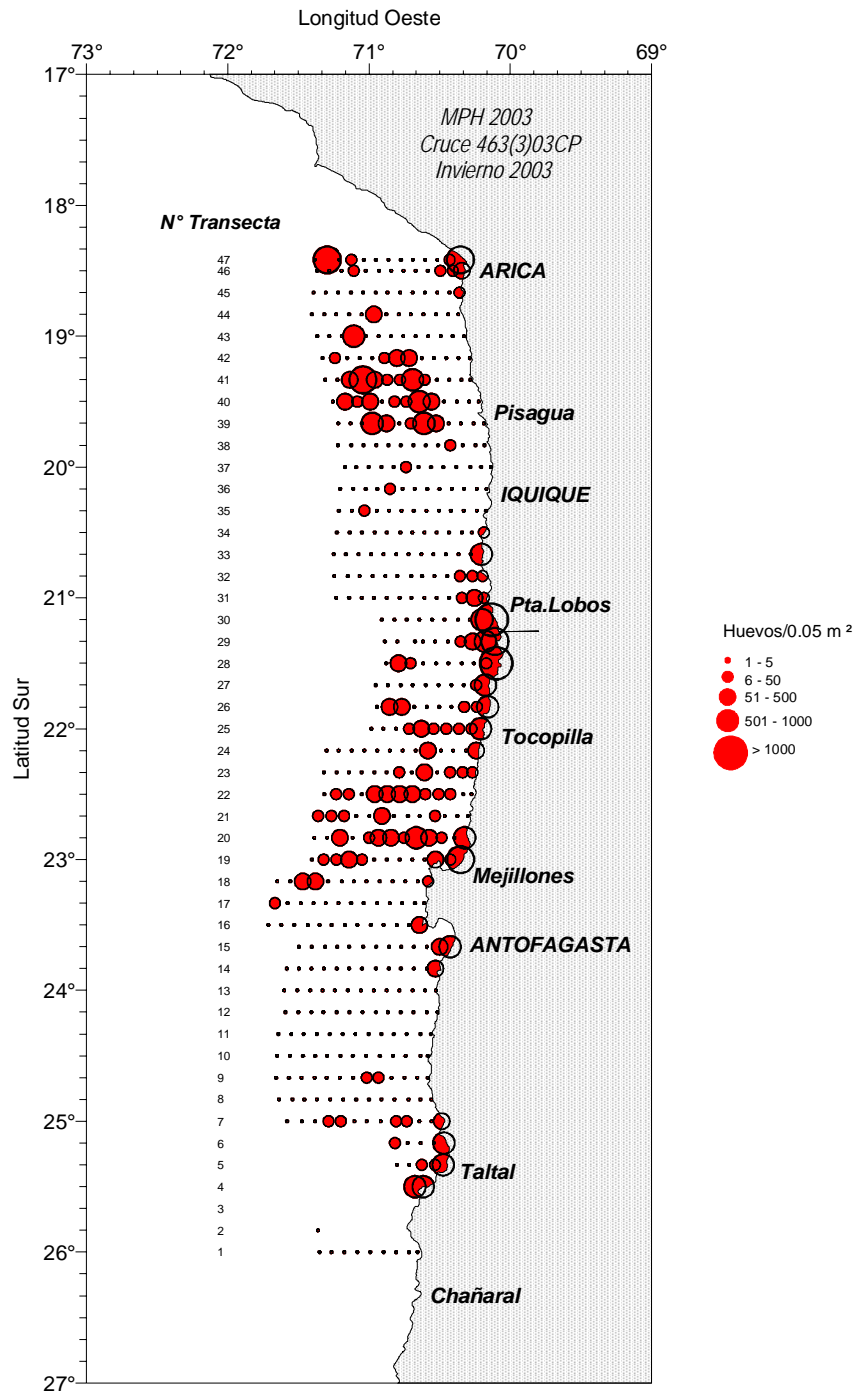


Figura 10. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2003.

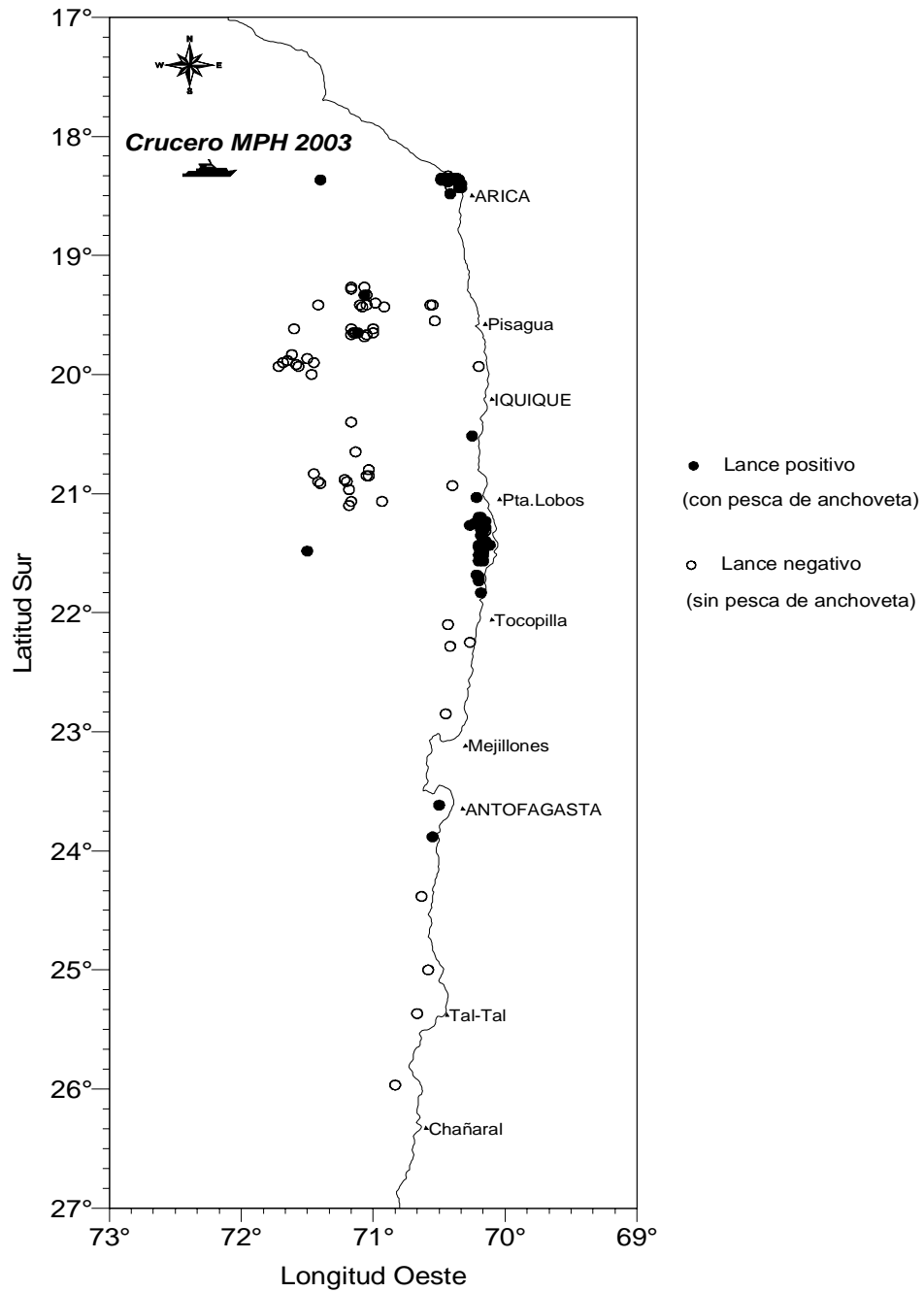


Figura 11. Distribución espacial de los lances de pesca realizados por embarcaciones cerqueras. Crucero MPH - Invierno 2003.

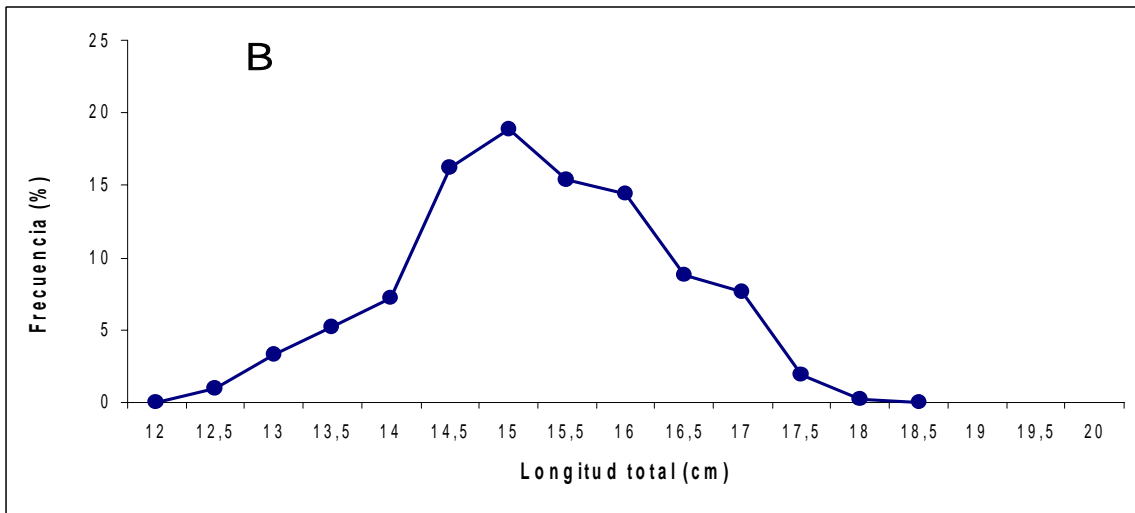
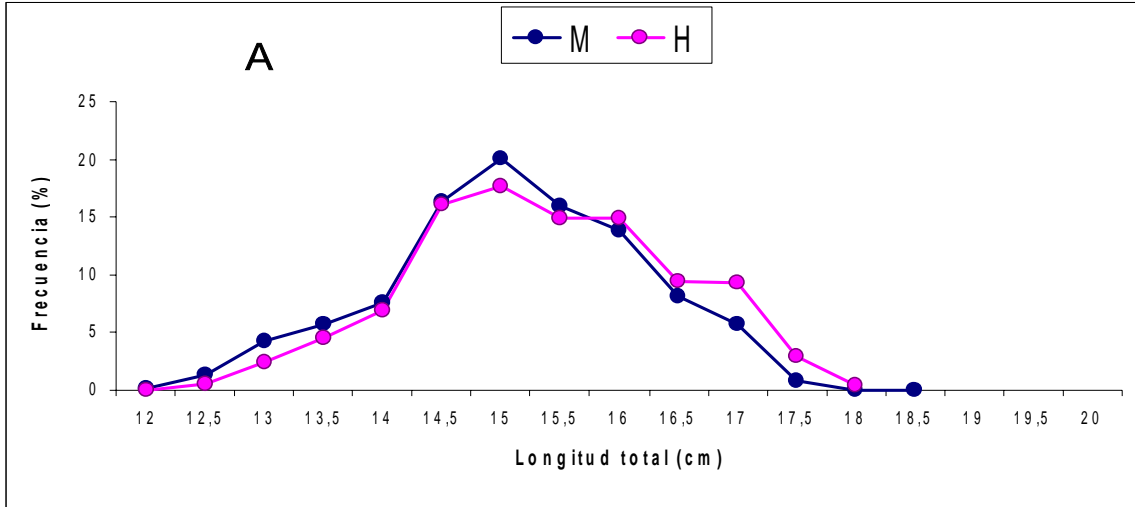


Figura 12. Distribución de tamaños de la anchoveta en la I y II Regiones. Crucero MPH - Invierno 2003 (A: Por peso y B: Total).

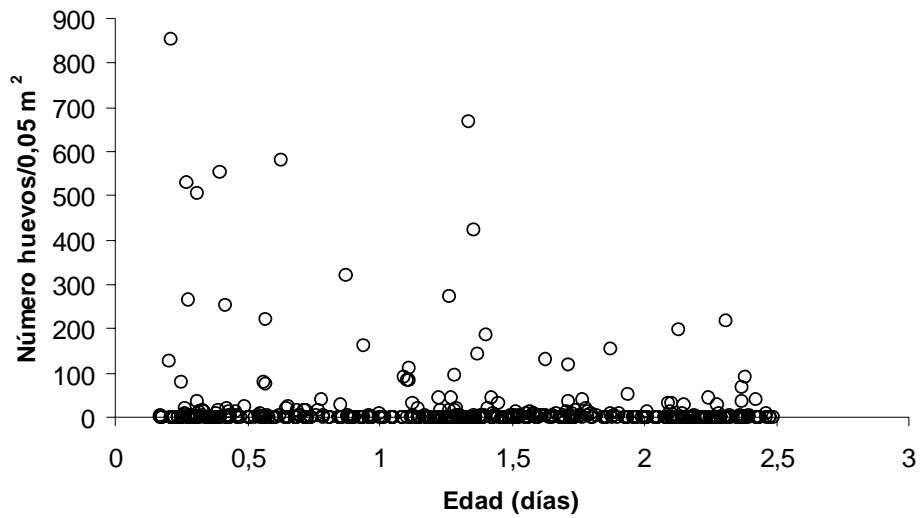


Figura 15. Número de huevos por unidad de muestreo (0,05 m²) según edad (días) para estimación del área según Límite inferior.

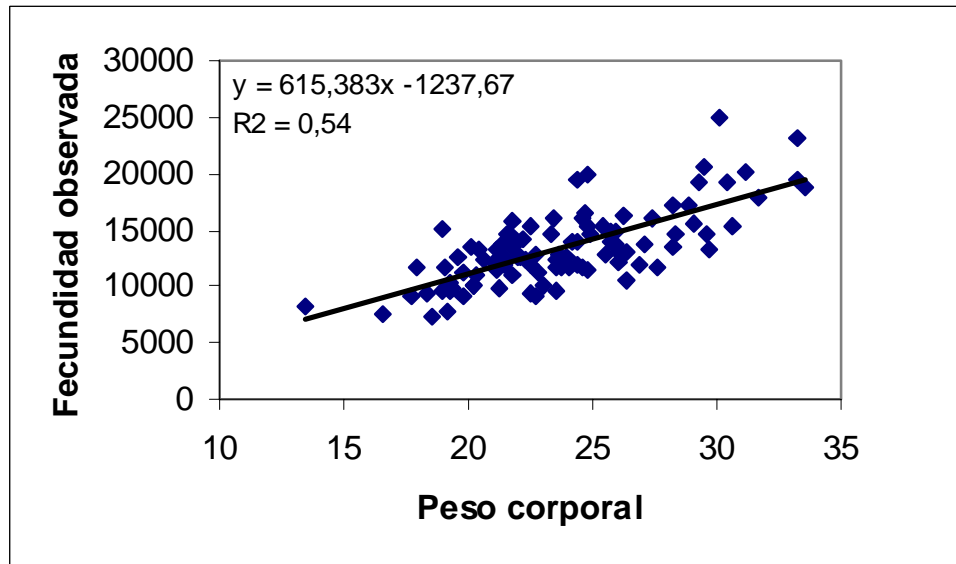


Figura 16. Regresión entre la fecundidad parcial y el peso corporal de hembras hidratadas de anchoveta. Agosto – septiembre, 2003.

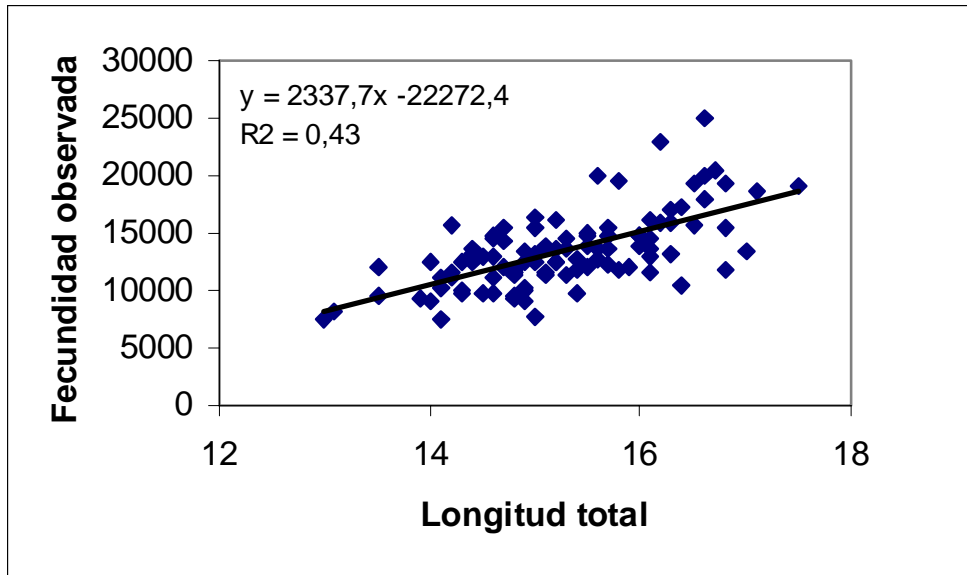


Figura 17. Regresión entre la fecundidad parcial y la longitud total de hembras hidratadas de anchoveta. Agosto – septiembre, 2003.

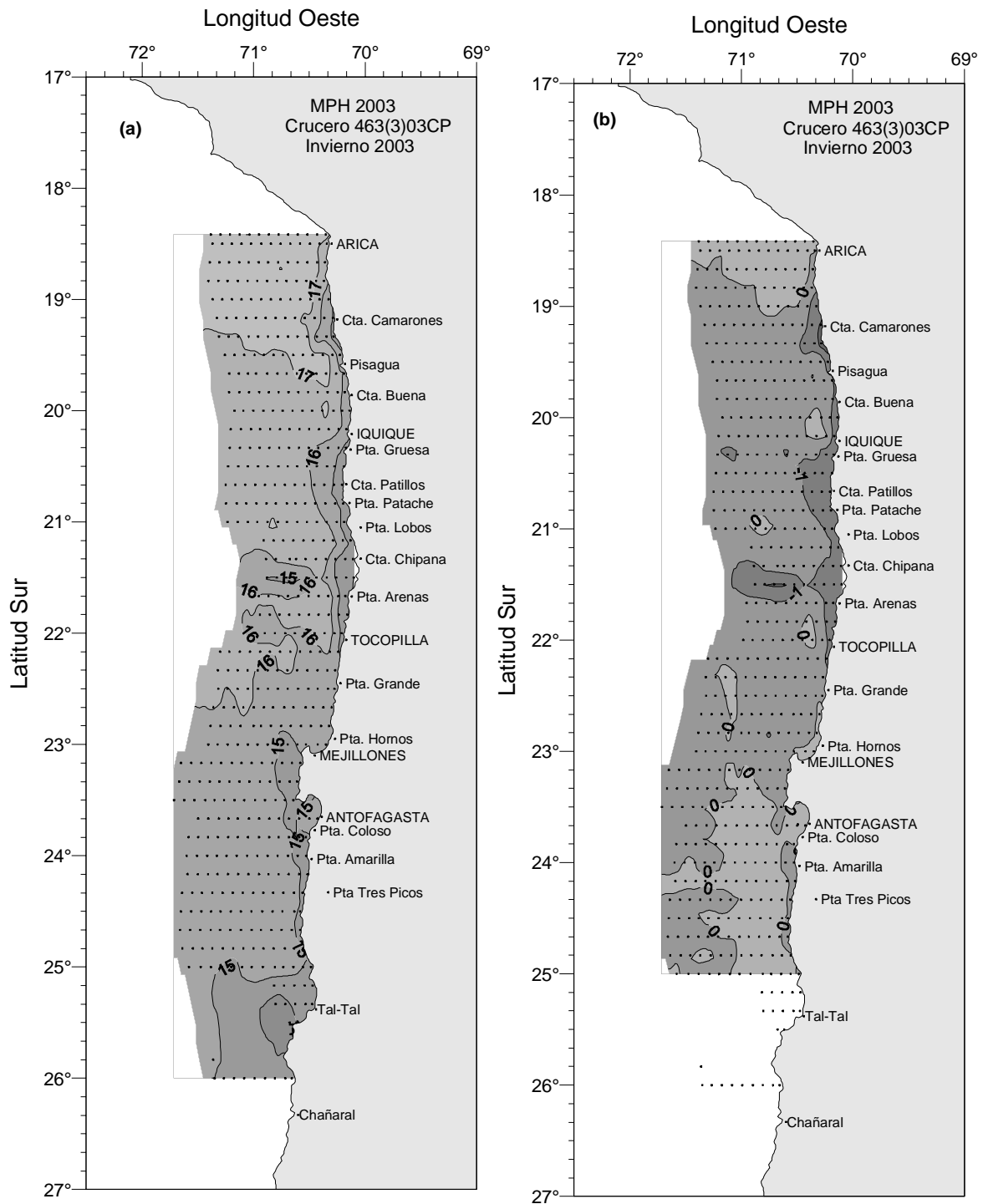


Figura 18. Distribución superficial de (a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y (b) anomalía de temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Crucero MPH - Invierno 2003.

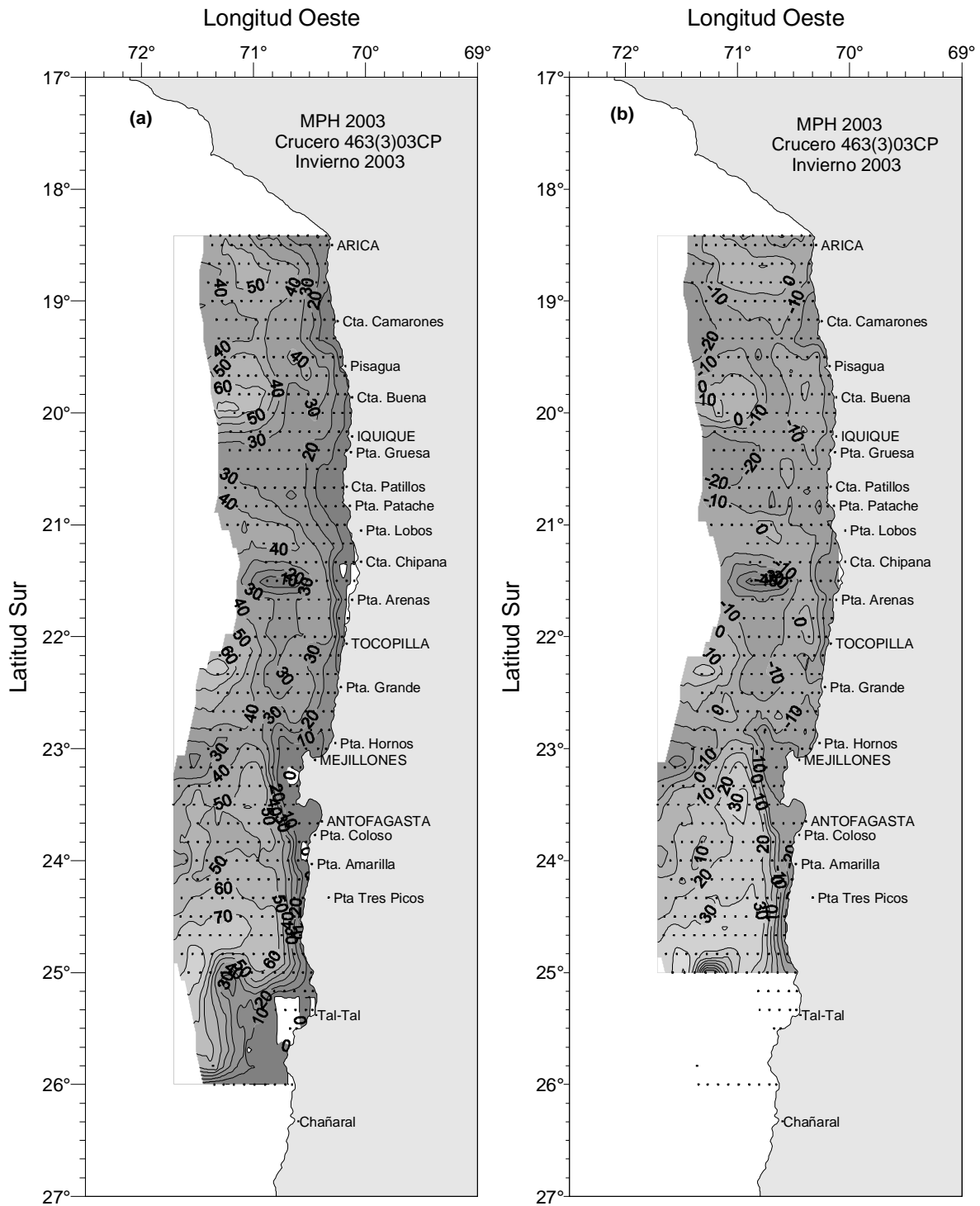


Figura 19. Profundidad de la isoterma de 15°C (m) (a) y anomalía de profundidad de la isoterma de 15°C (m) (b). Crucero MPH - Invierno 2003.

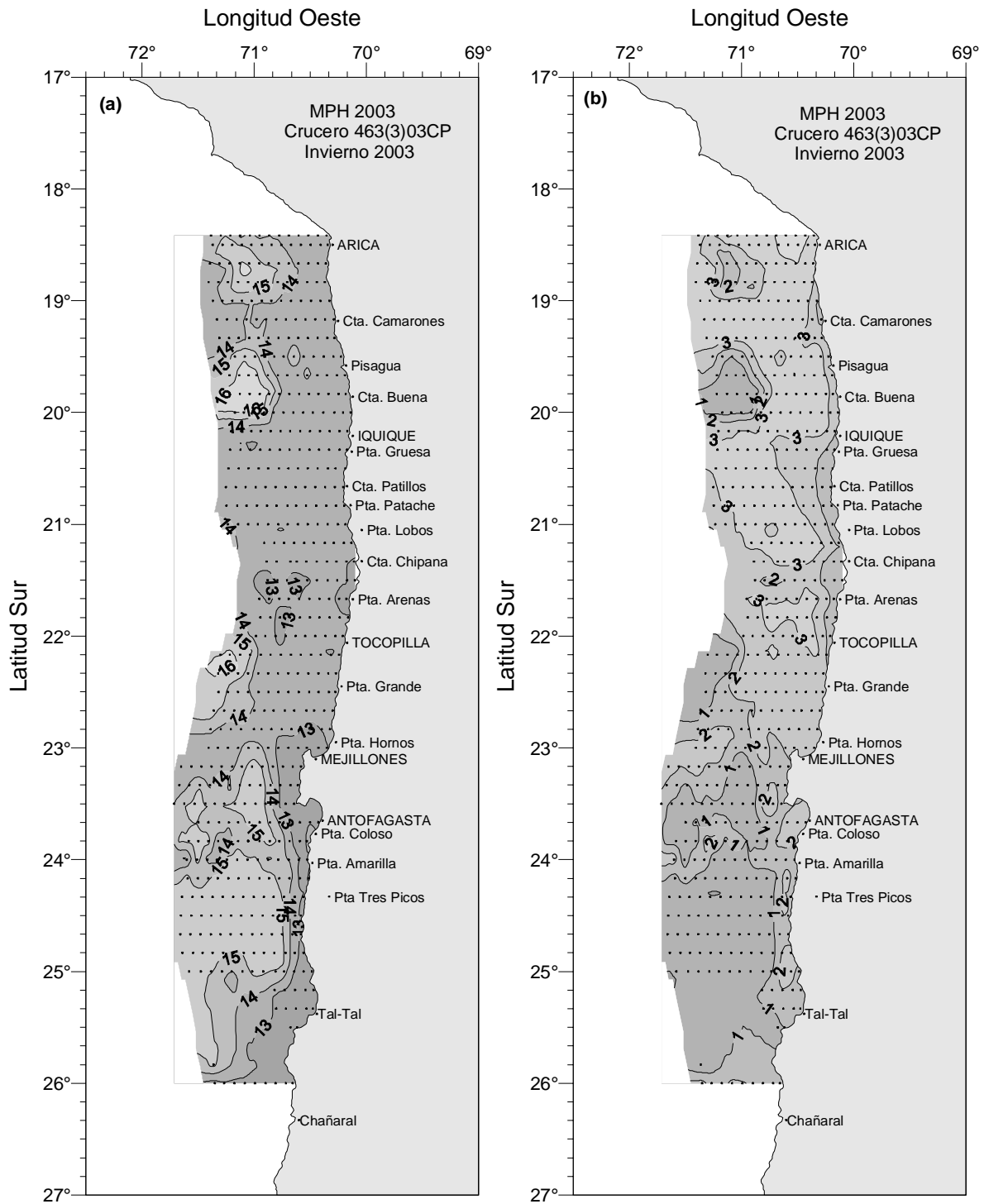


Figura 20. Distribución de (a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el nivel de profundidad de 50 m y (b) diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre superficie y el nivel de 50 m de profundidad. Crucero MPH - Invierno 2003.

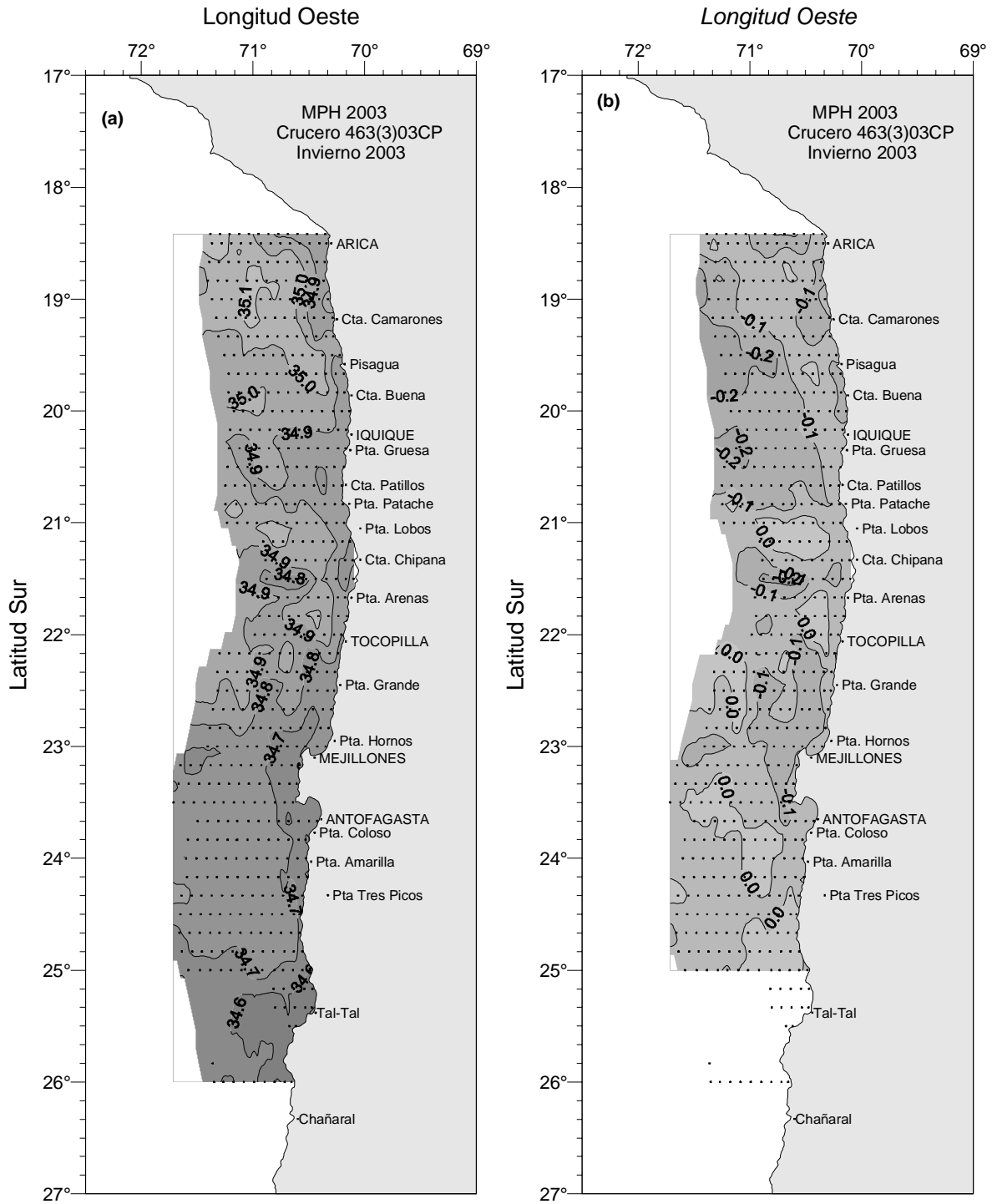


Figura 21. Distribución superficial de (a) salinidad (psu) y (b) anomalía de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2003.

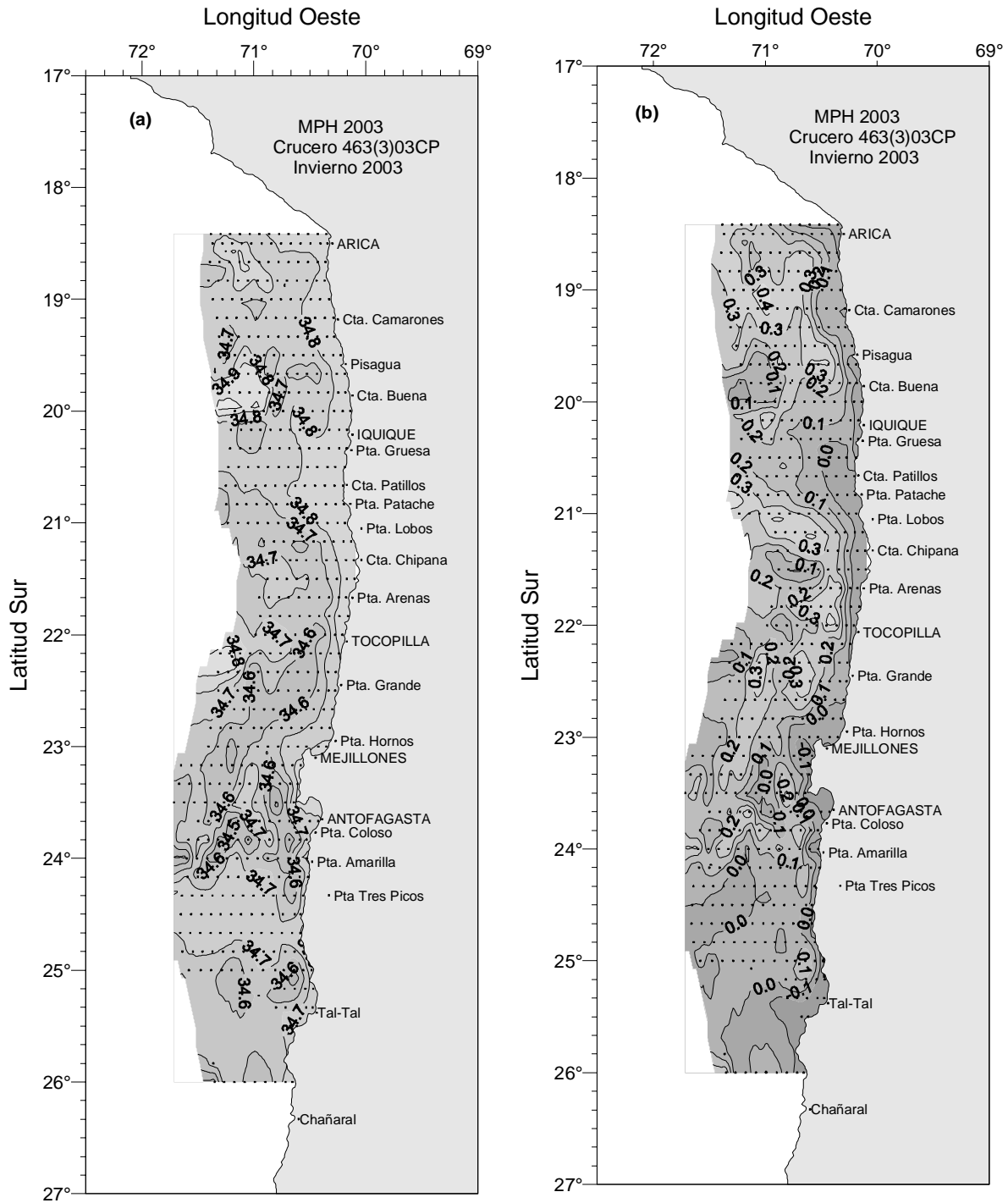


Figura 22. Distribución de (a) salinidad (psu) en el nivel de profundidad de 50 m y (b) diferencia de salinidad (psu) entre superficie y el nivel de 50 m de profundidad. Crucero MPH - Invierno 2003.

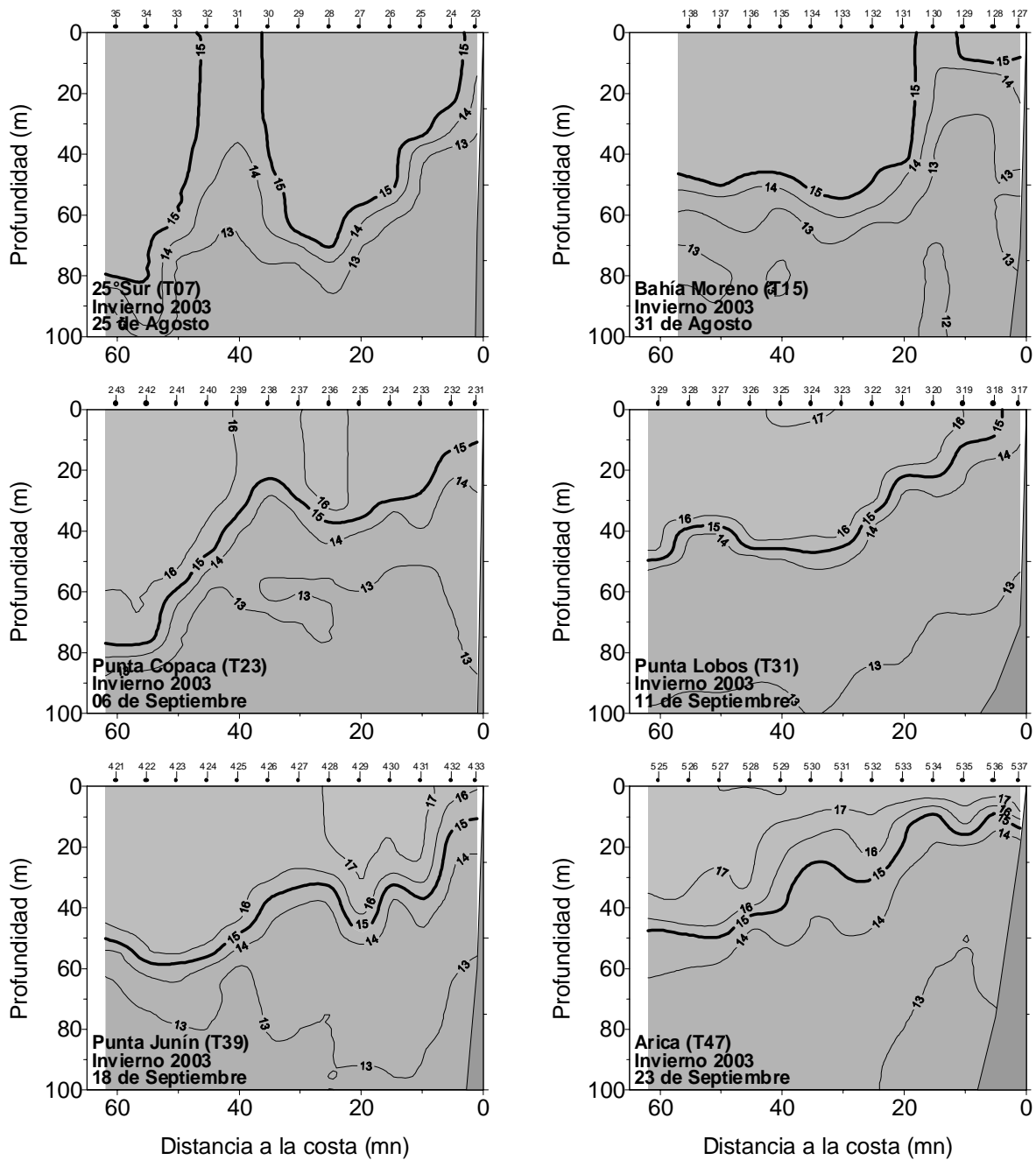


Figura 23. Distribución vertical de temperatura (°C) en las transectas 7 (25°S), 15 (23°40'S), 23 (22°20'S), 31 (21°S), 39 (19°40'S) y 47 (18°23'S). Crucero MPH 2003 - Invierno 2003.

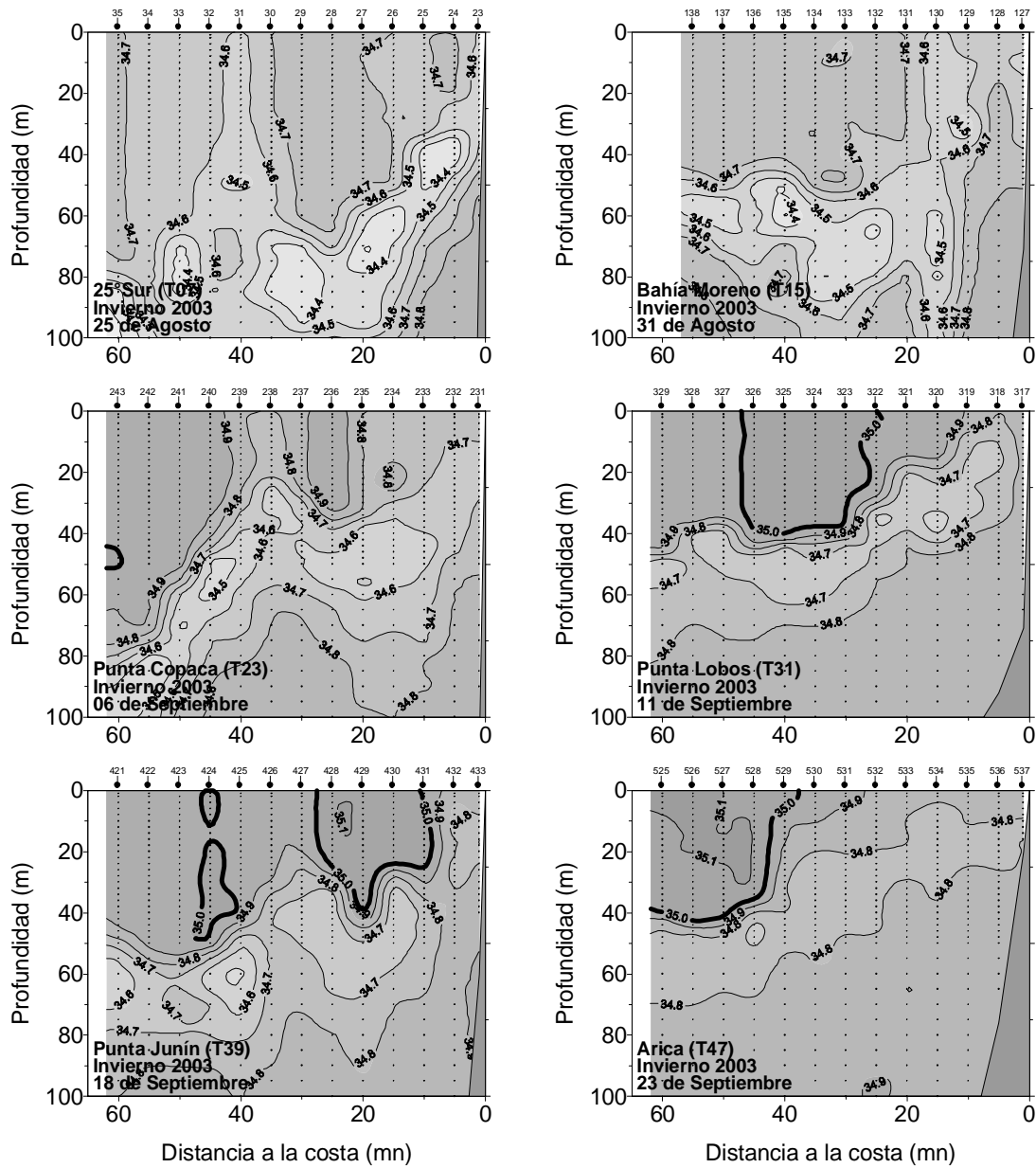


Figura 24. Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas 7 (25°S), 15 (23°40'S), 23 (22°20'S), 31 (21°S), 39 (19°40'S) y 47 (18°23'S). Crucero MPH 2003 - Invierno 2003.

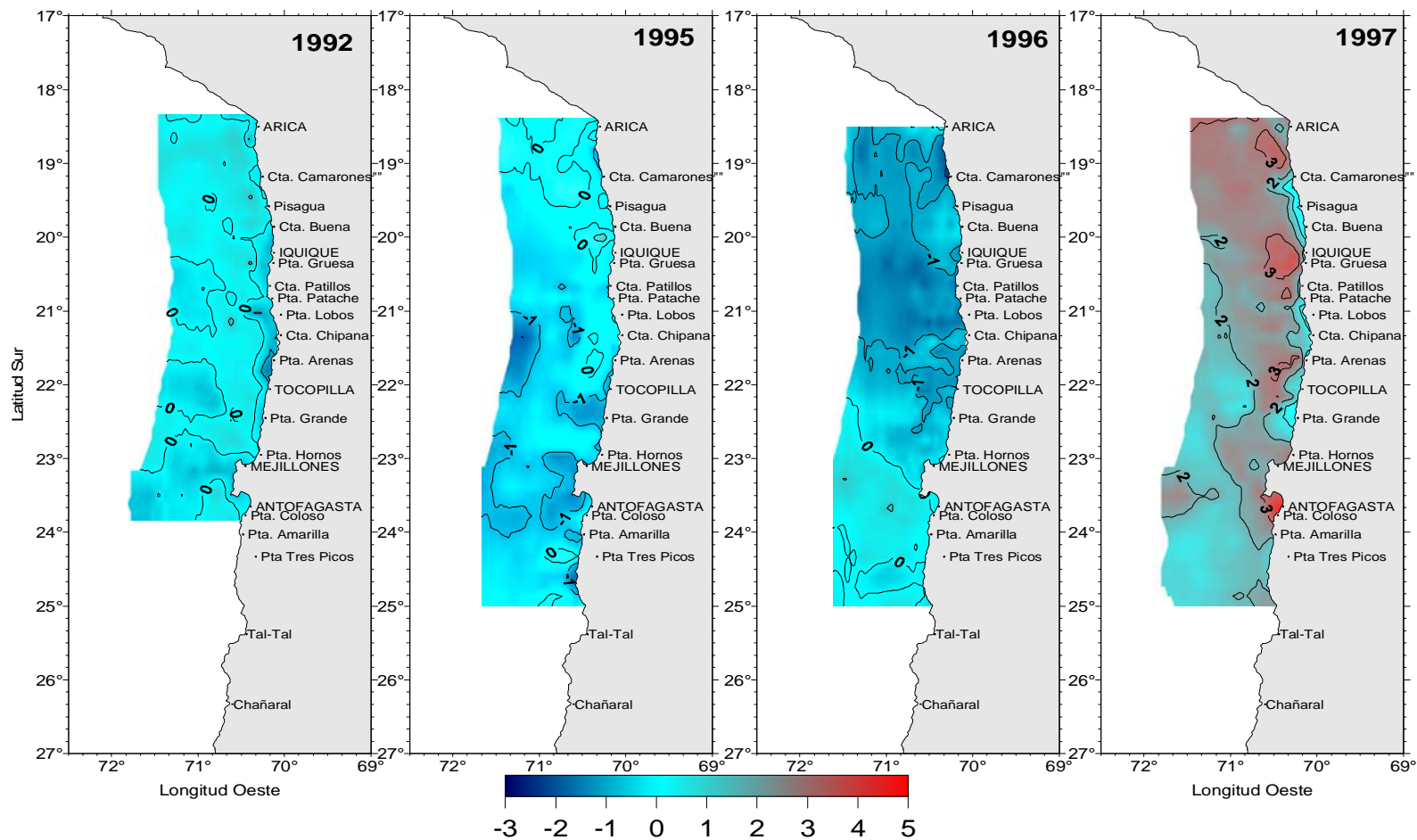


Figura 25. Anomalías de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) observadas en los cruceros MPH de los años 1992, 1995, 1996 y 1997.

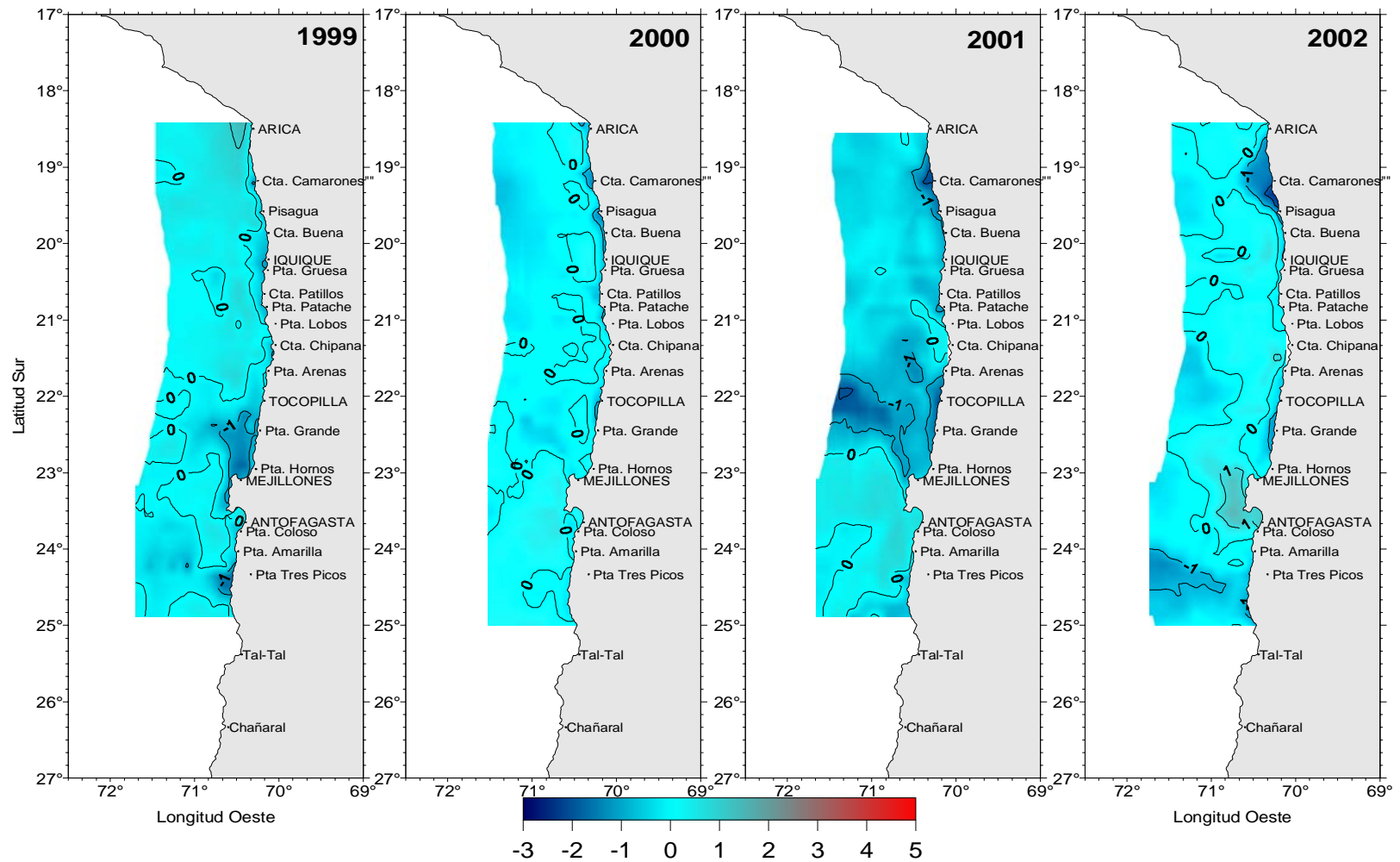


Figura 26. Anomalías de temperatura superficial del mar (°C) observadas en los cruceros MPH de los años 1999, 2000, 2001 y 2002.

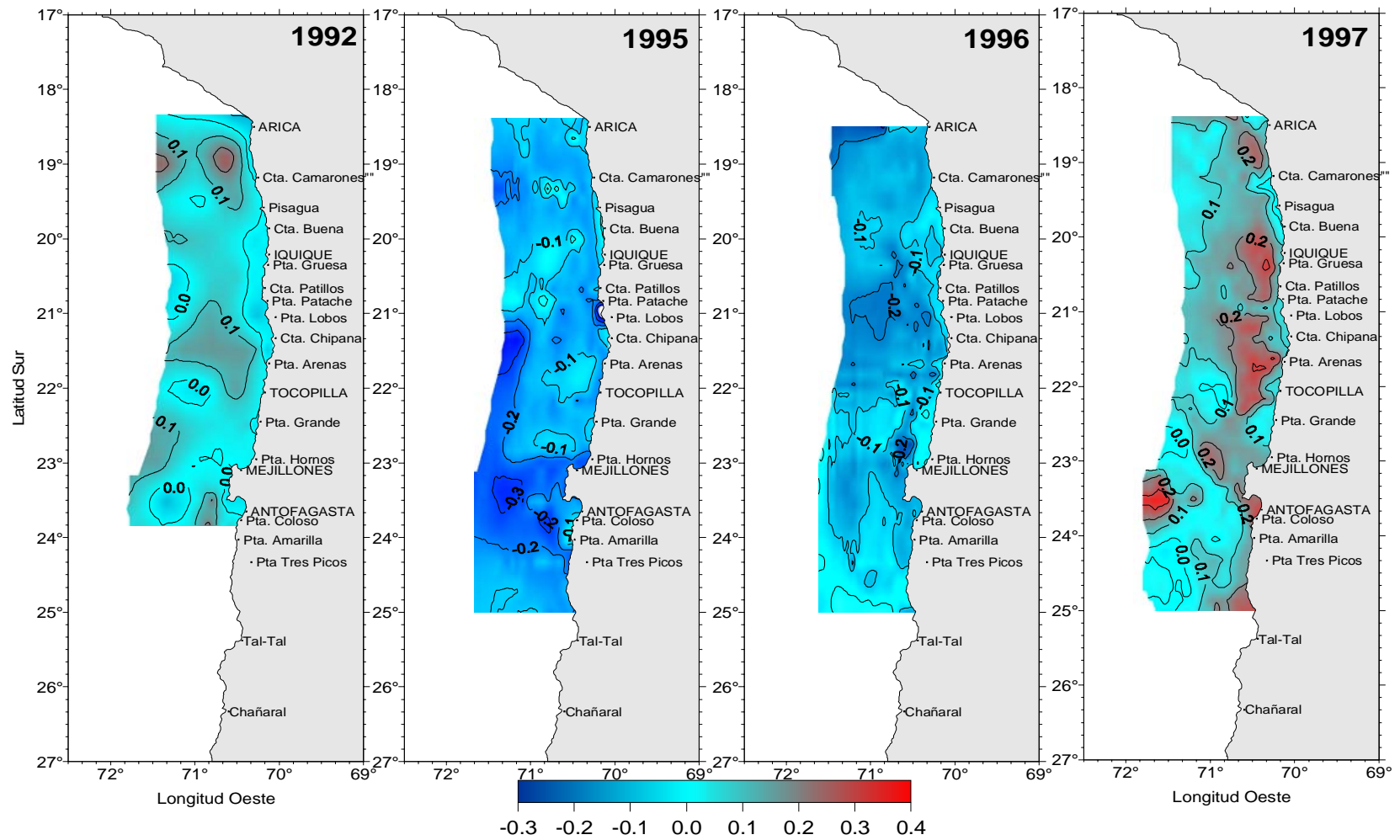


Figura 27. Anomalías de salinidad superficial del mar (psu) observadas en los cruceros MPH de los años 1992, 1995, 1996 y 1997.

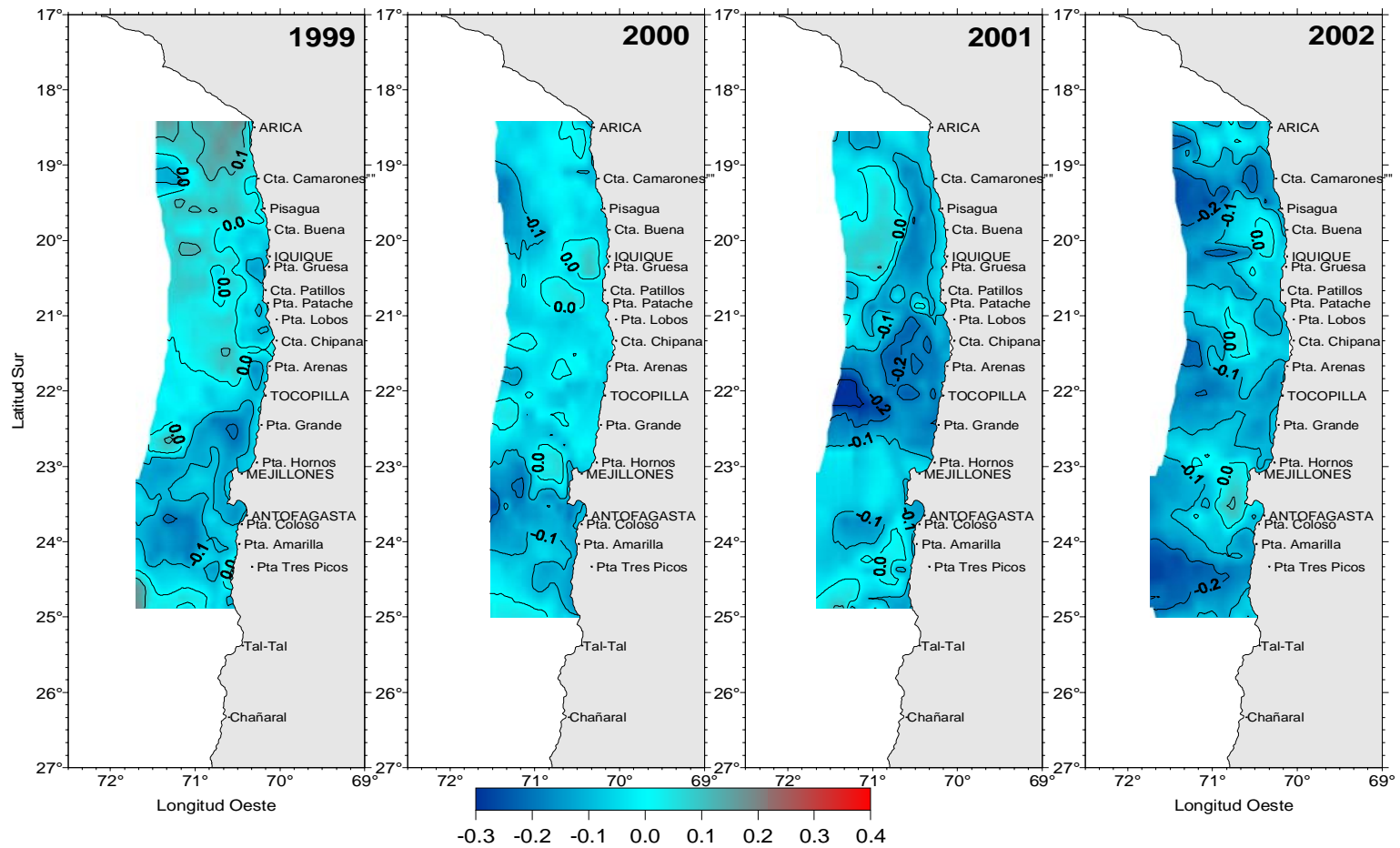


Figura 28. Anomalías de salinidad superficial del mar (psu) observadas en los cruceros MPH de los años 1999, 2000, 2001 y 2002.

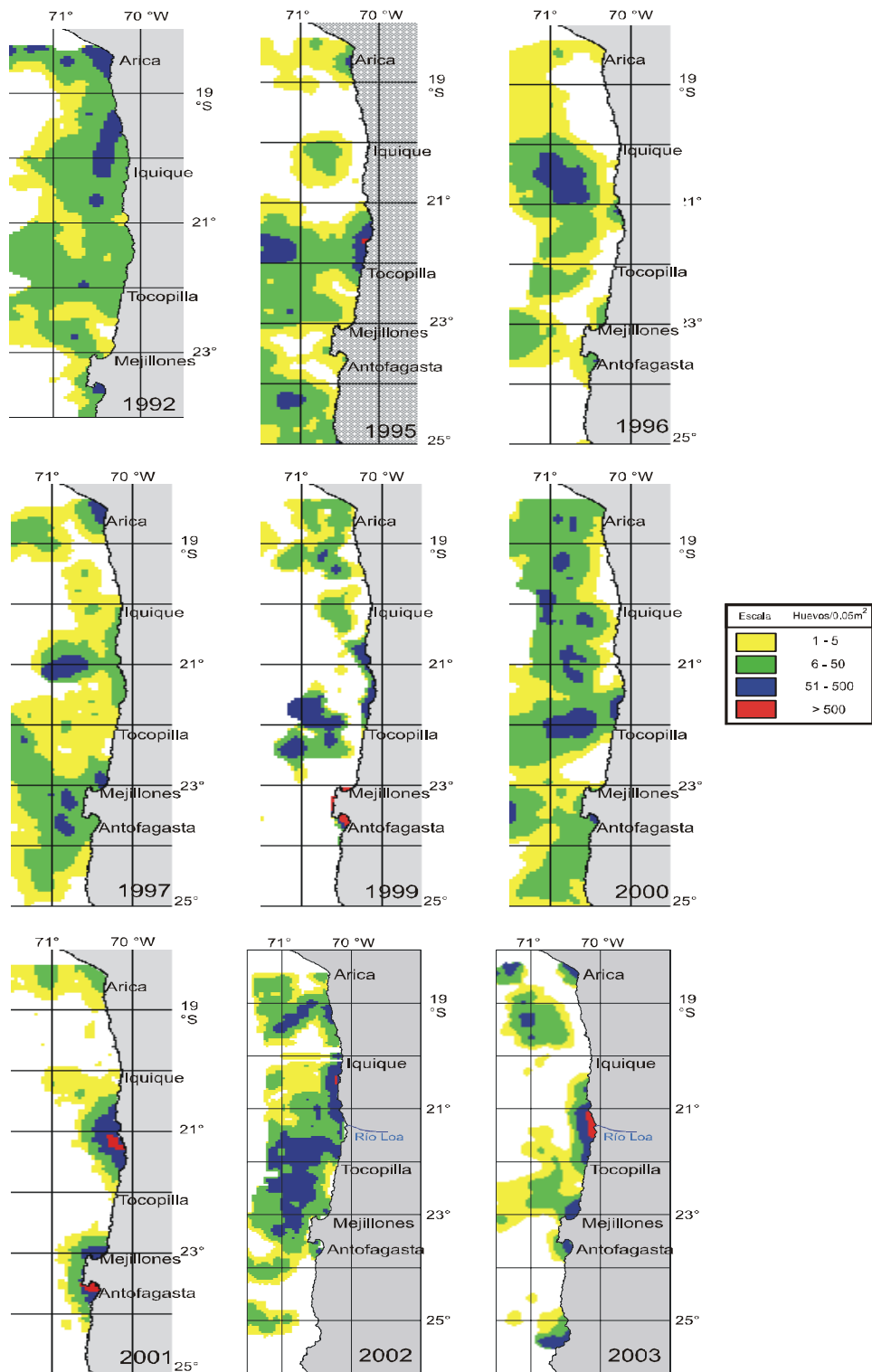


Figura 29. Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Período 1992 - 2003.

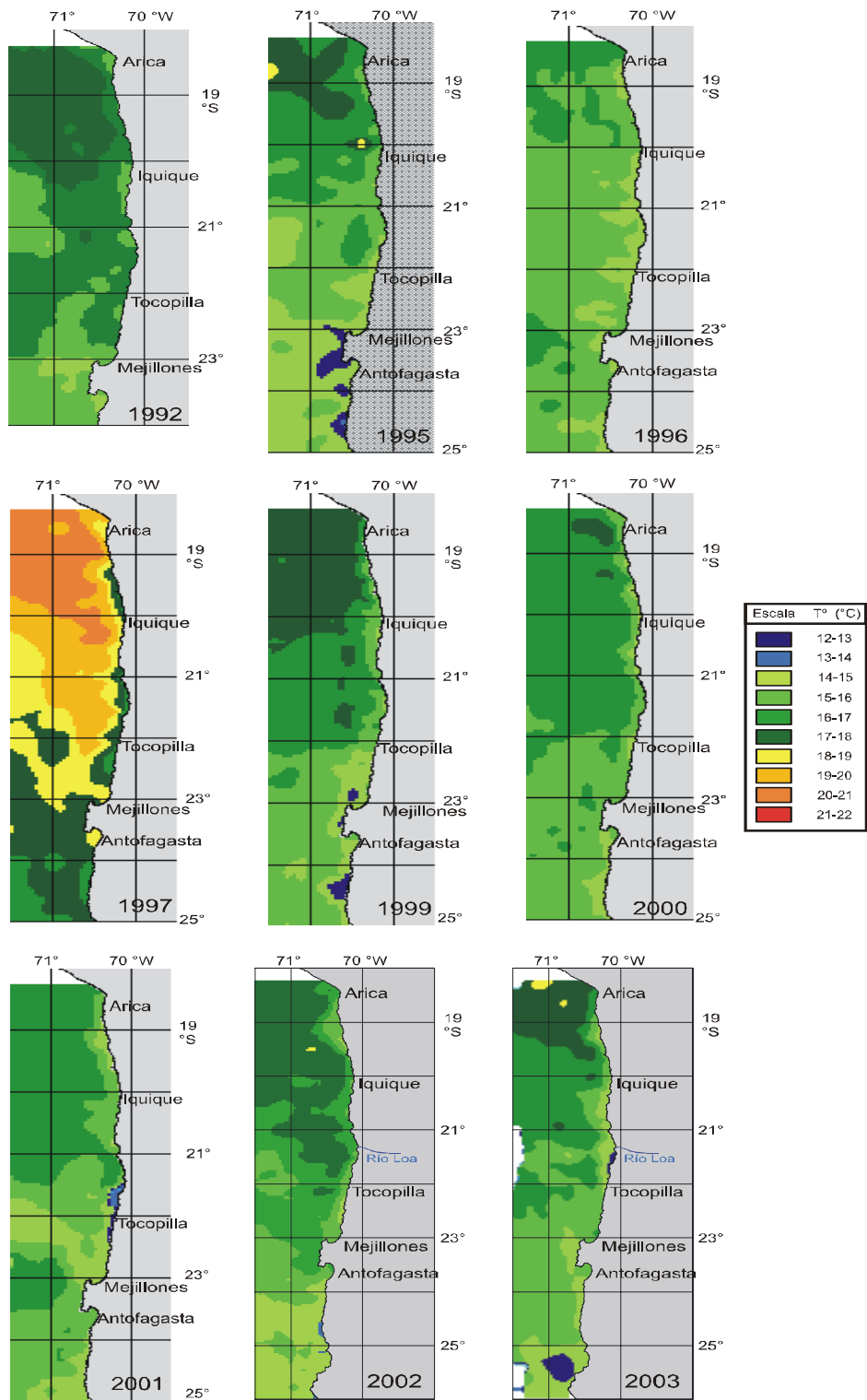


Figura 30. Distribución espacial y temporal de la temperatura superficial. Período 1992 - 2003.

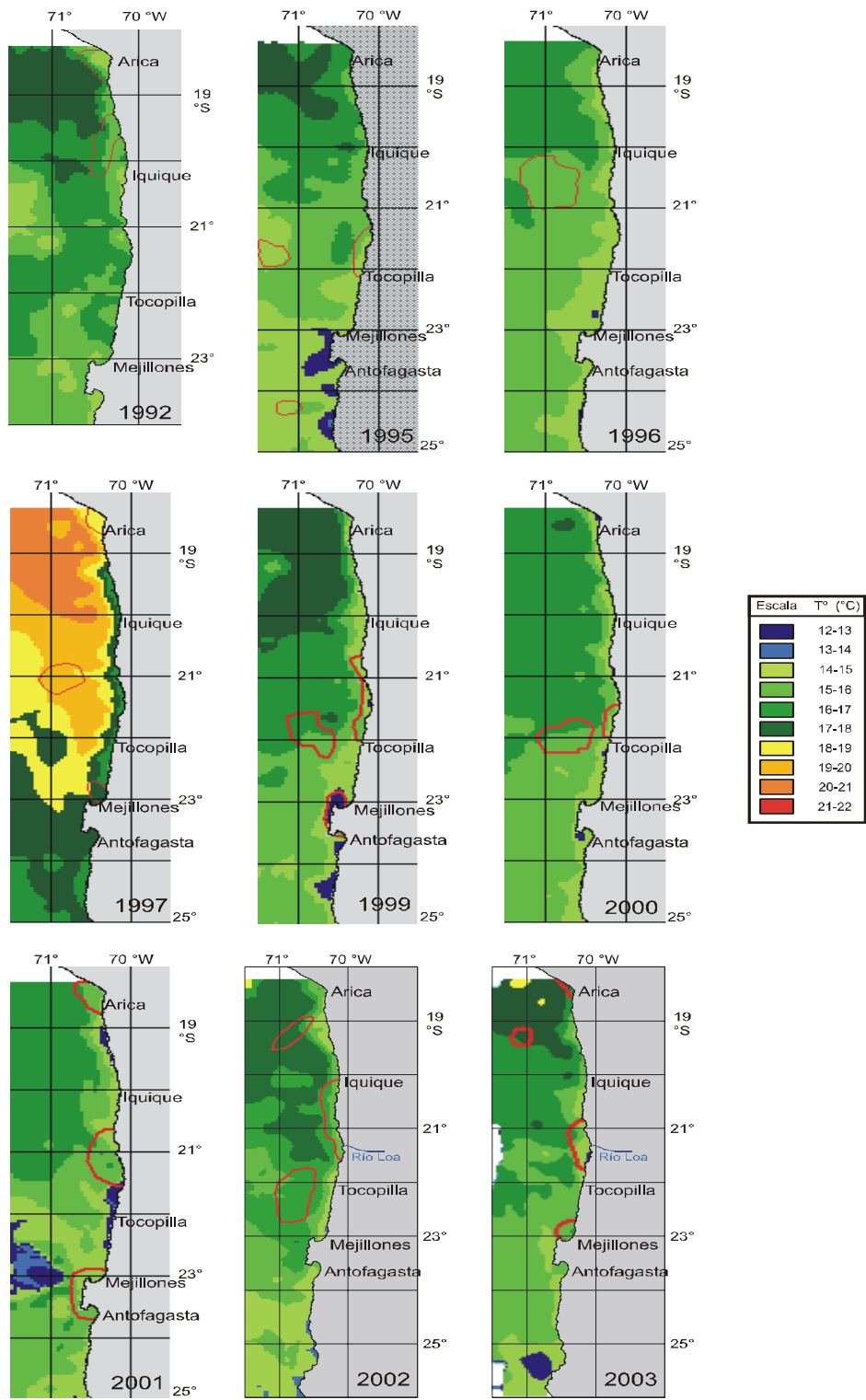


Figura 31. Distribución espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Período 1992 - 2003.

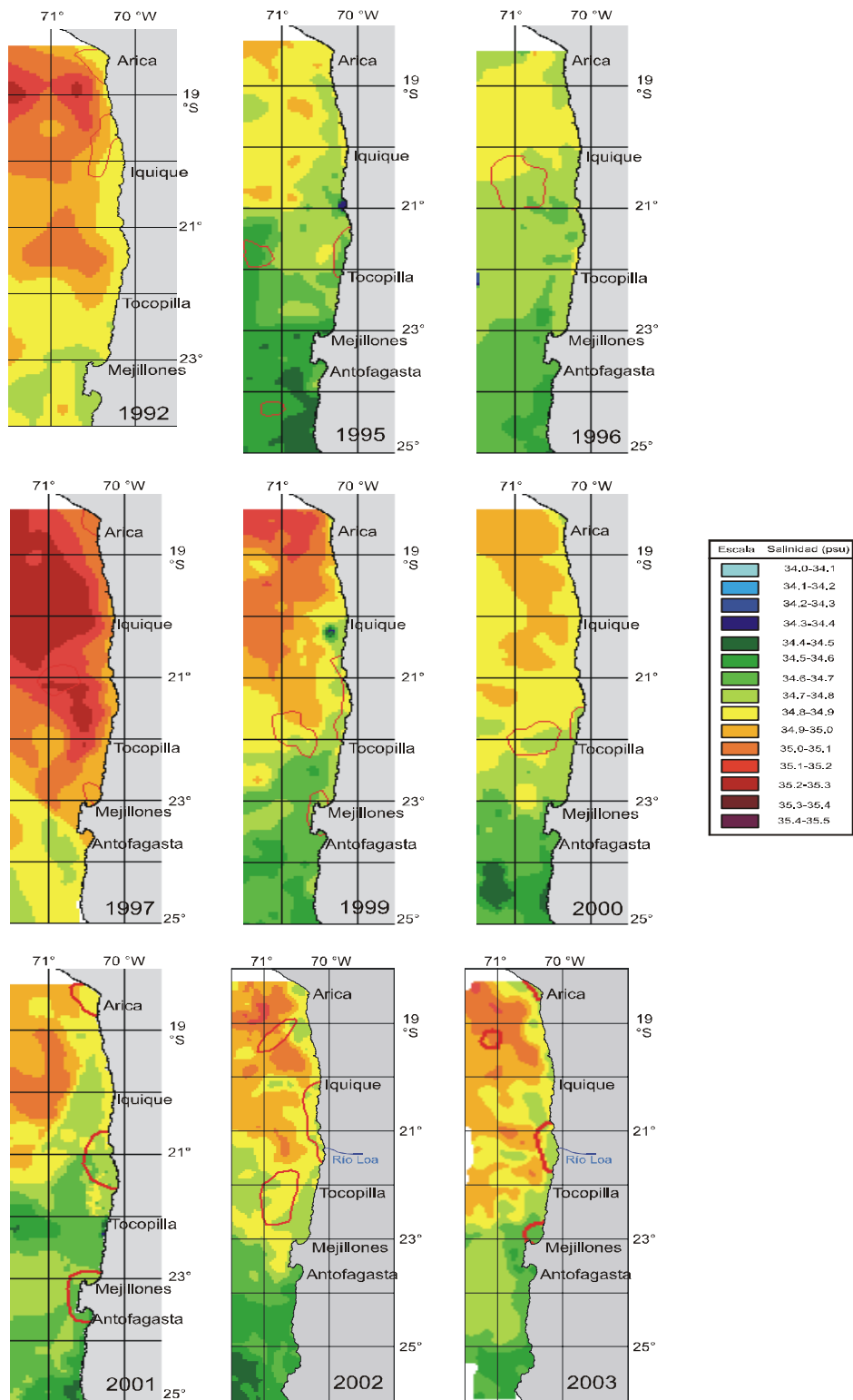


Figura 32. Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial. Período 1992 - 2003.

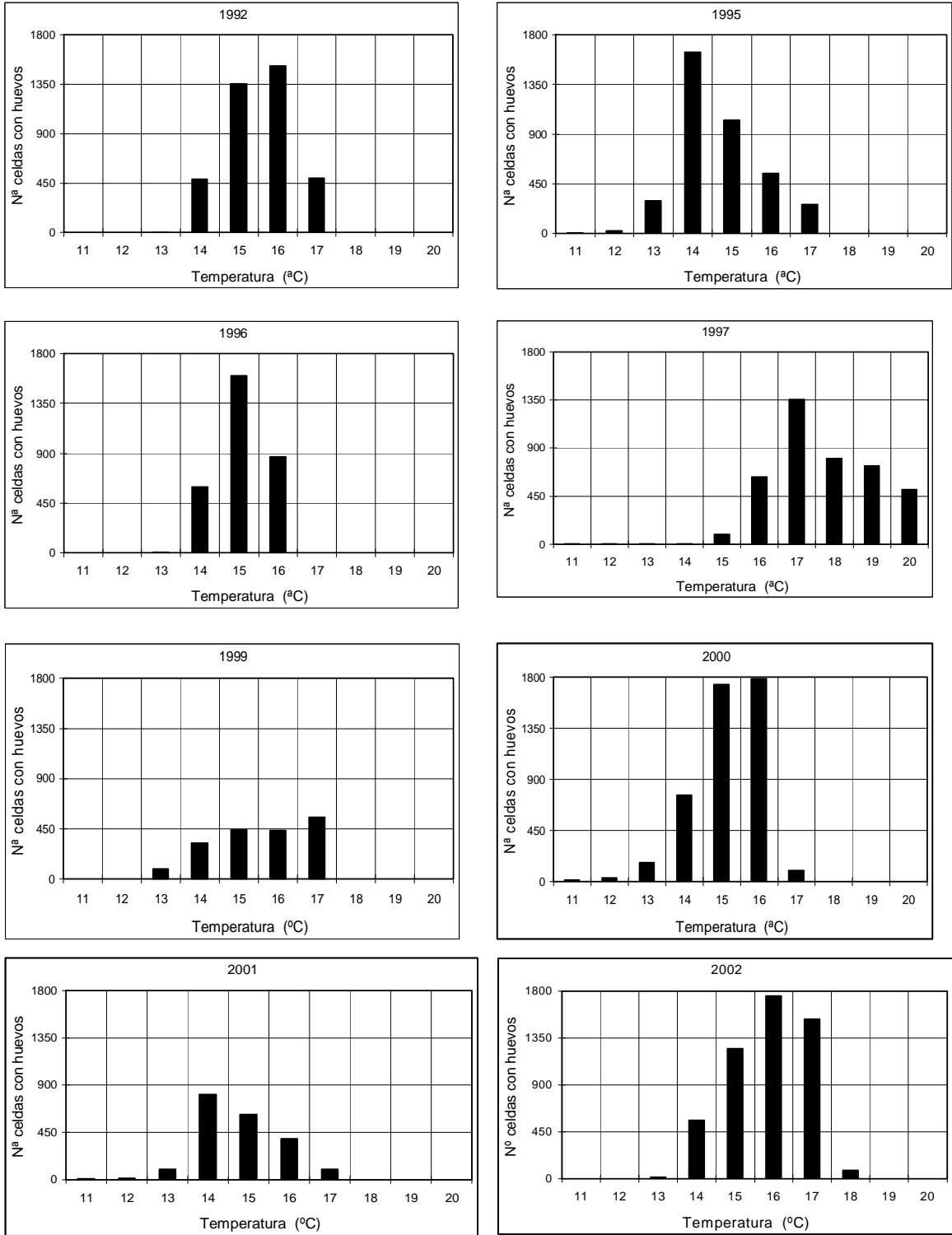


Figura 33. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto de la temperatura de 10 metros de profundidad (°C). Período 1992-2002.

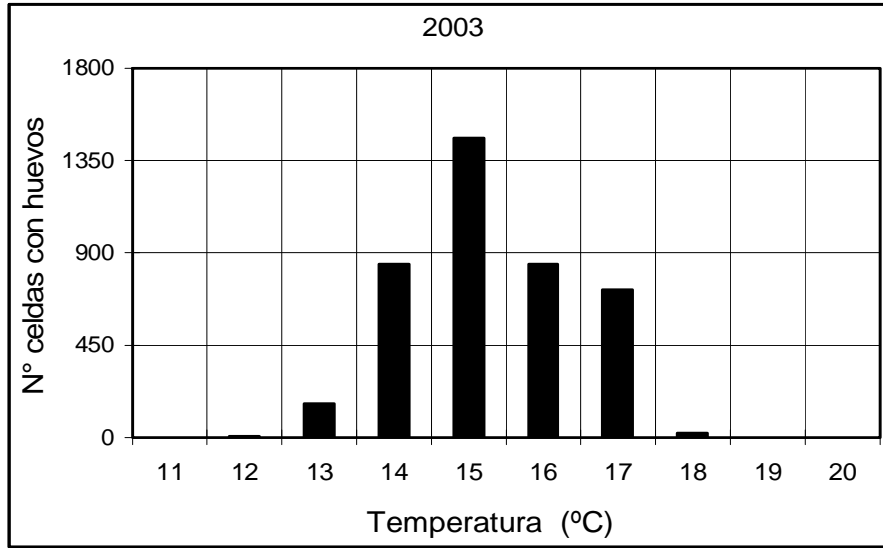


Figura 34. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto de la temperatura de 10 metros de profundidad (°C). Año 2003.

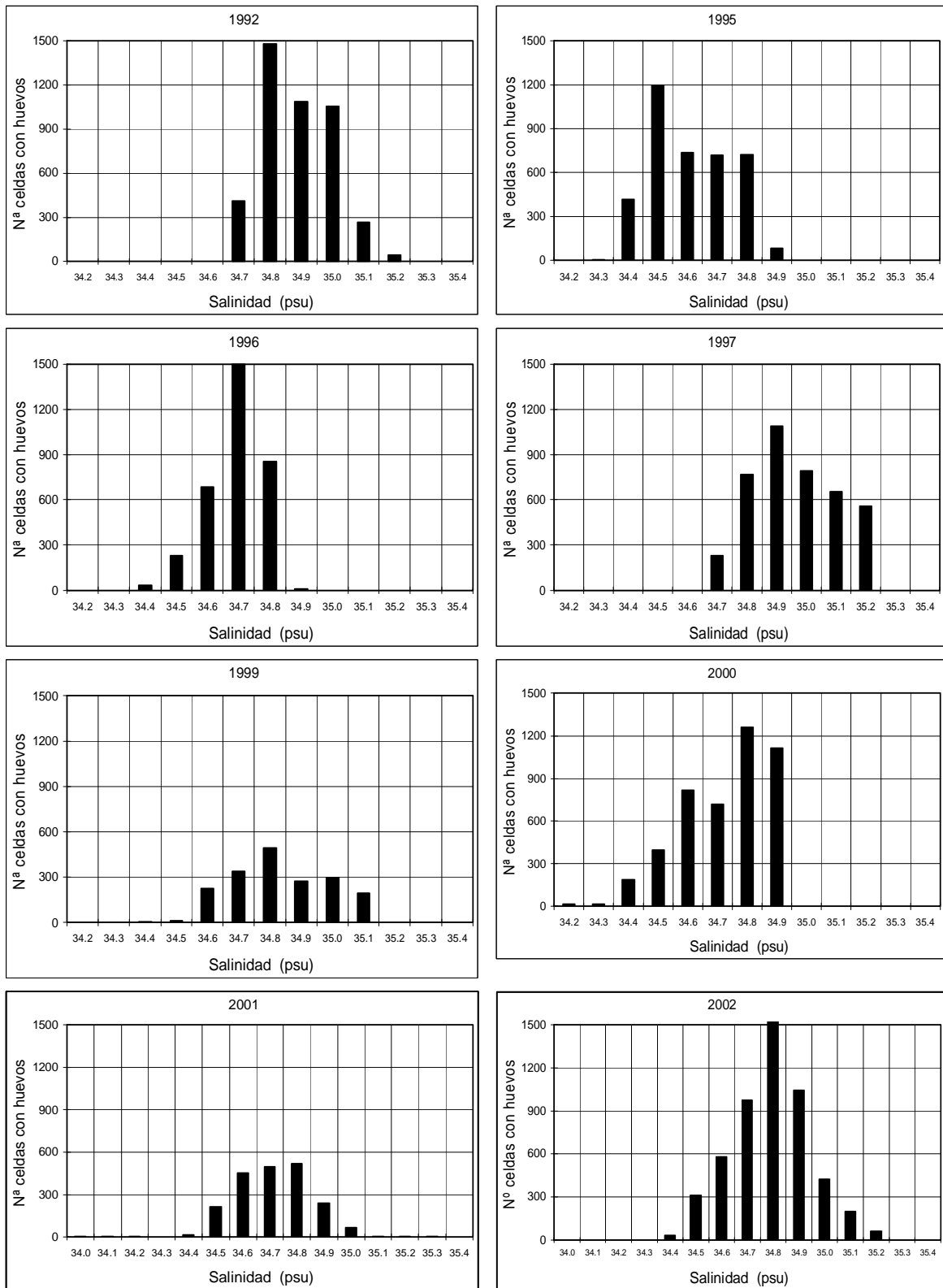


Figura 35. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto a la salinidad superficial (psu). Período 1992-2002.

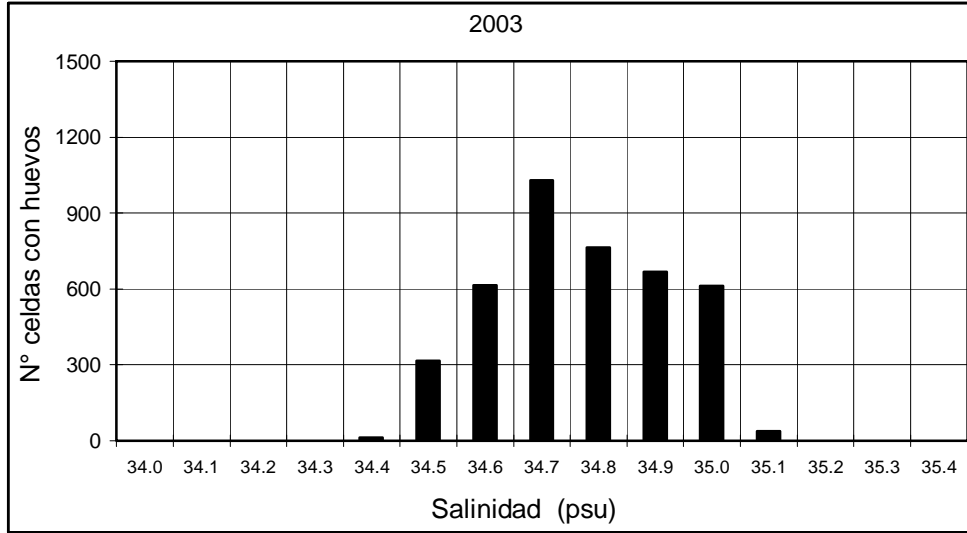


Figura 36. Número de celdas con huevos de anchoveta respecto de la salinidad superficial (psu). Año 2003.

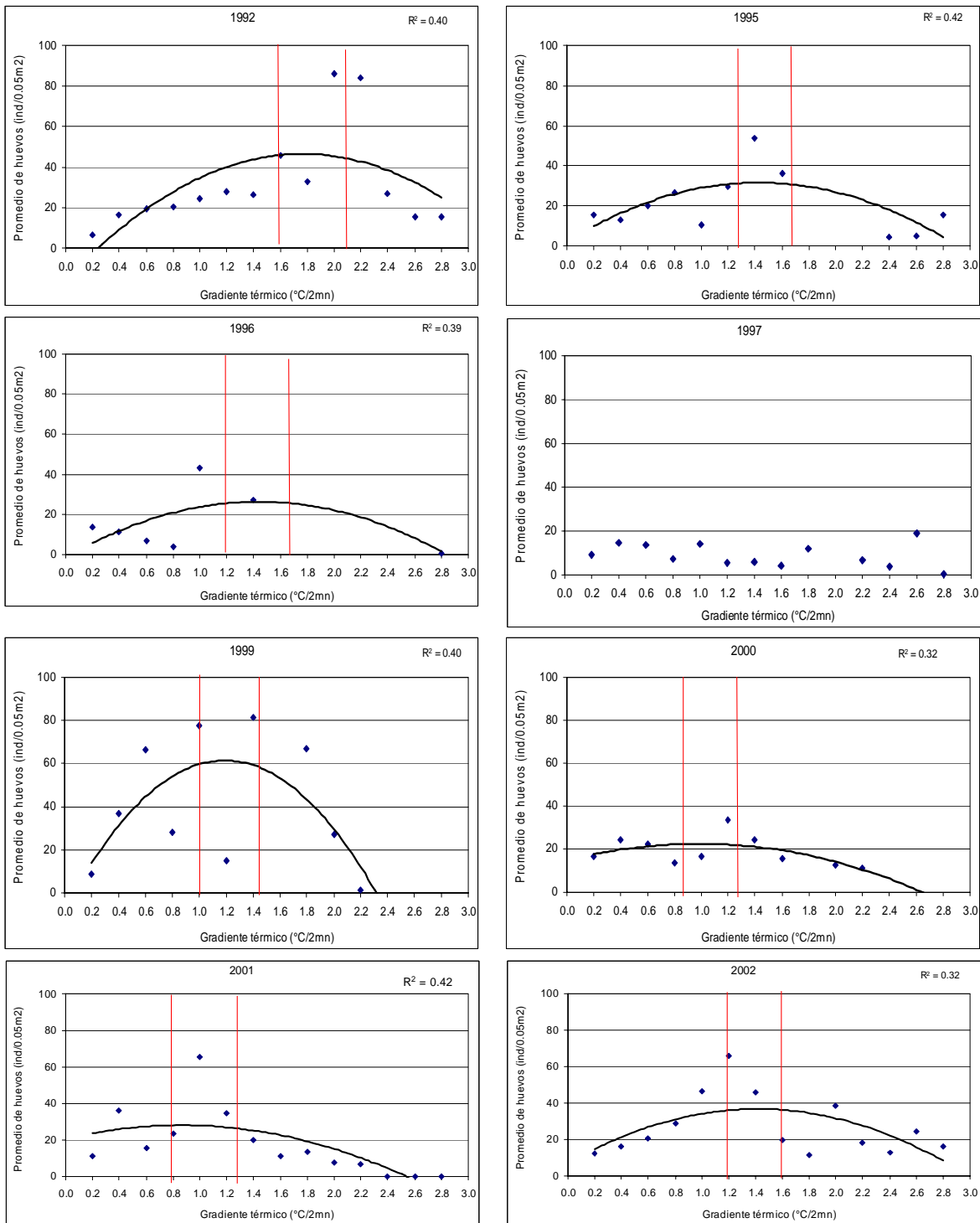


Figura 37. Relaciones entre el promedio de huevos de anchoveta respecto del gradiente térmico (10 m). — "Rango óptimo" de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.

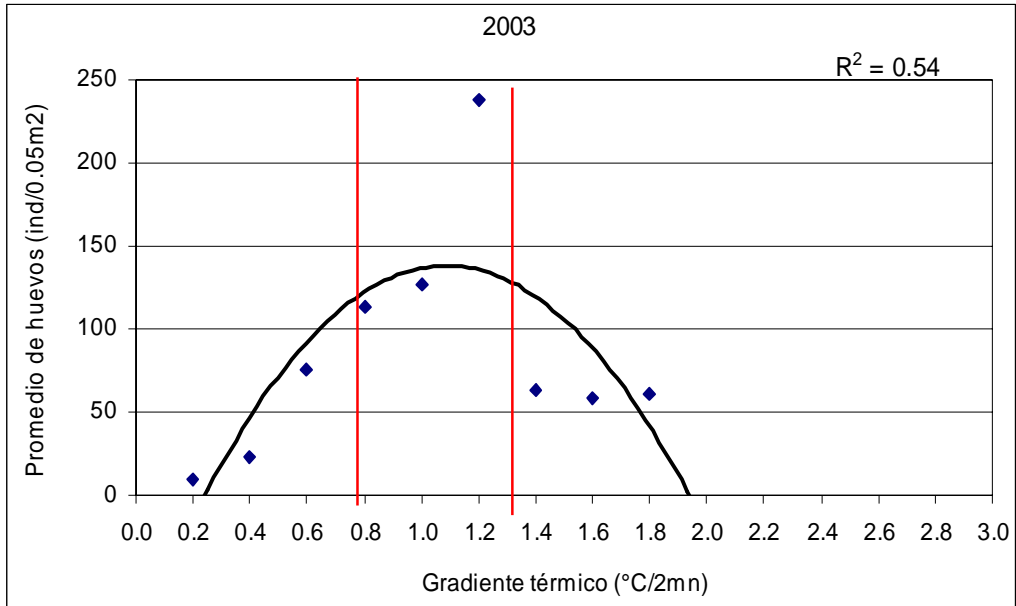


Figura 38. Relaciones entre el promedio de huevos de anchoveta respecto del gradiente térmico (10 m). — "Rango óptimo" de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.

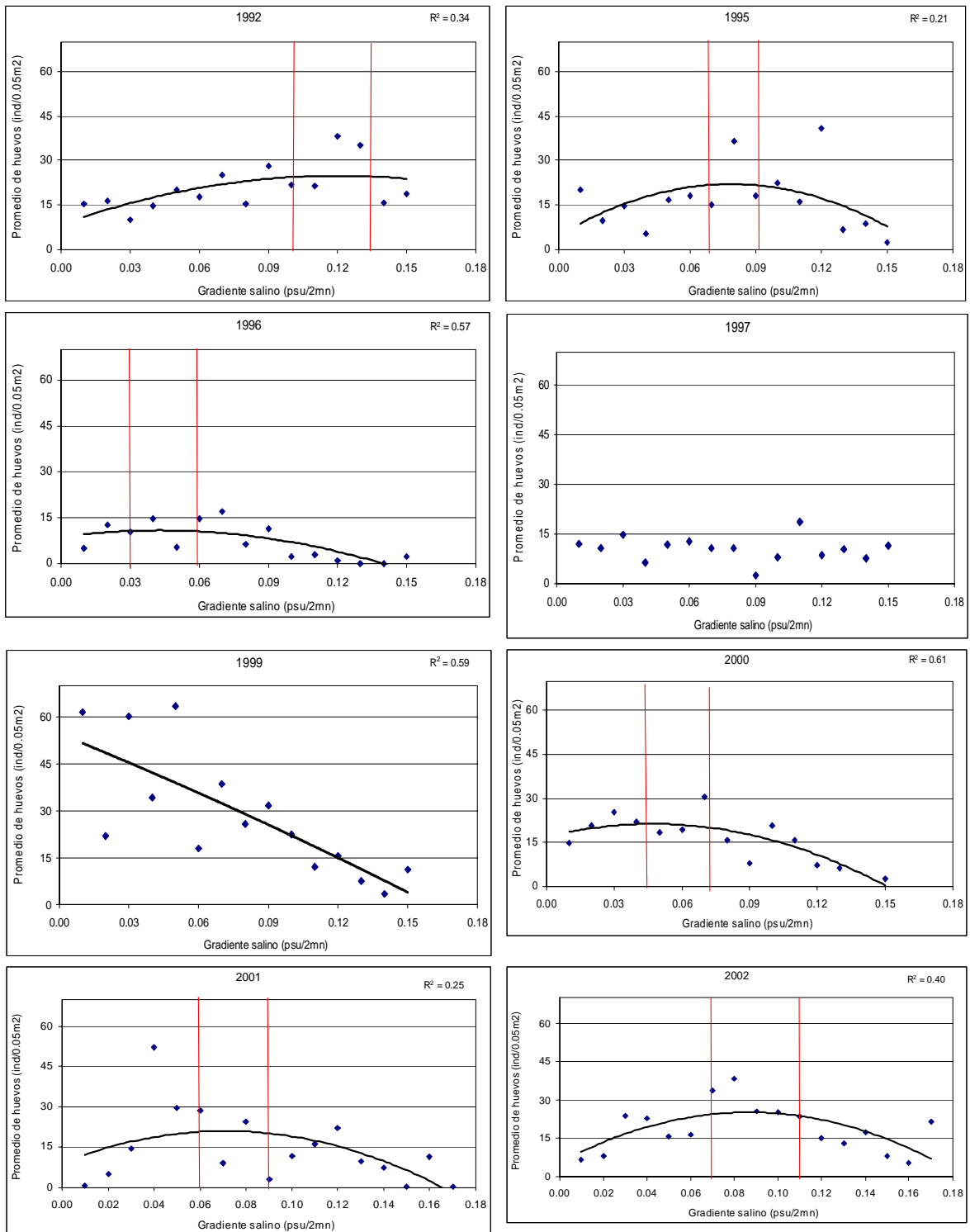


Figura 39. Relaciones entre el promedio de los huevos de anchoveta respecto del gradiente salino. — “Rango óptimo” de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.

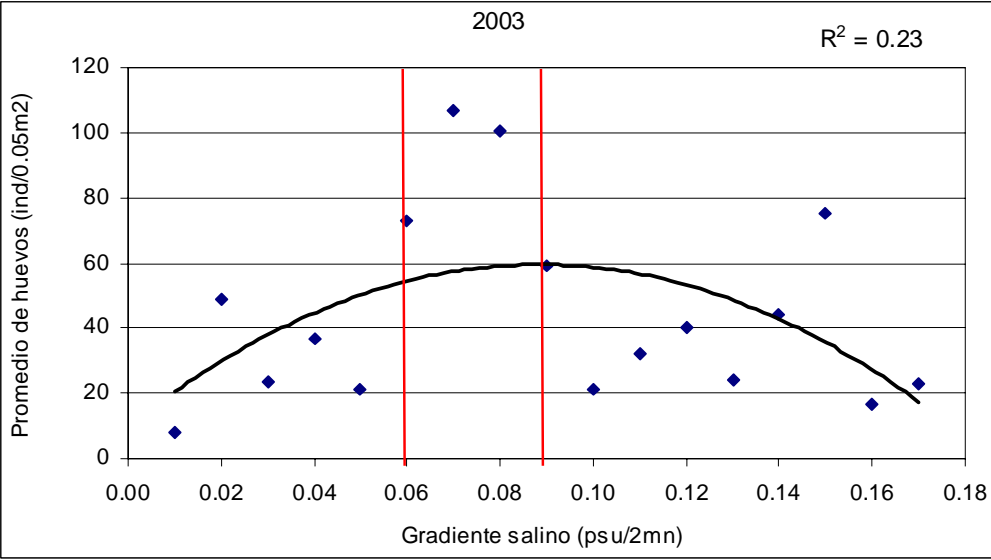


Figura 40. Relaciones entre el promedio de los huevos de anchoveta respecto del gradiente salino superficial. — "Rango óptimo" de densidad de huevos de anchoveta respecto de la variable ambiental.

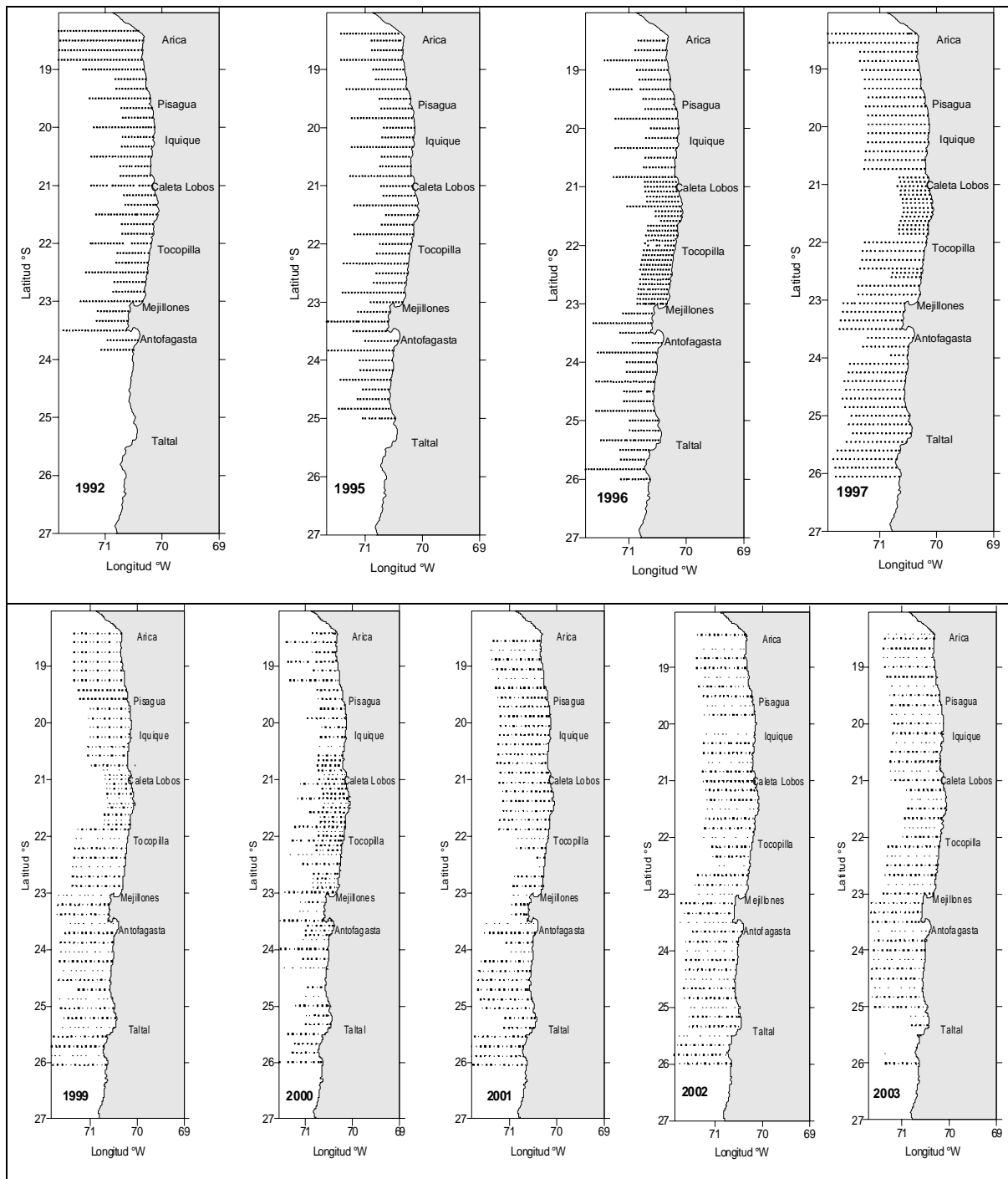


Figura 41. Distribución espacial de las estaciones oceanográficas realizadas en los cruceros de los proyectos MPH de anchoveta, 1992 a 2003.

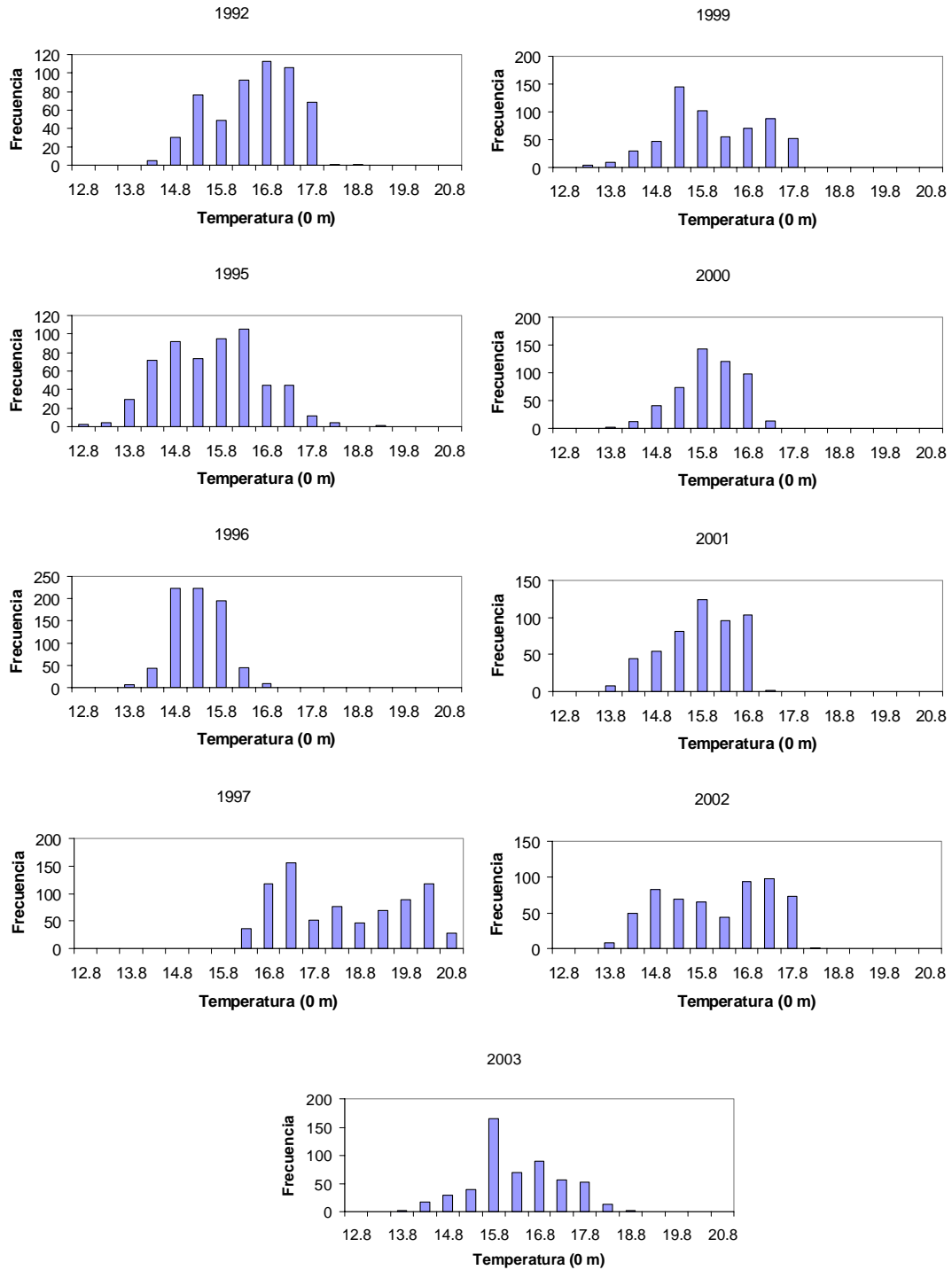


Figura 42. Histogramas de la temperatura superficial ($^{\circ}$ C), cruceros proyectos MPH de anchoveta, 1992 a 2003.

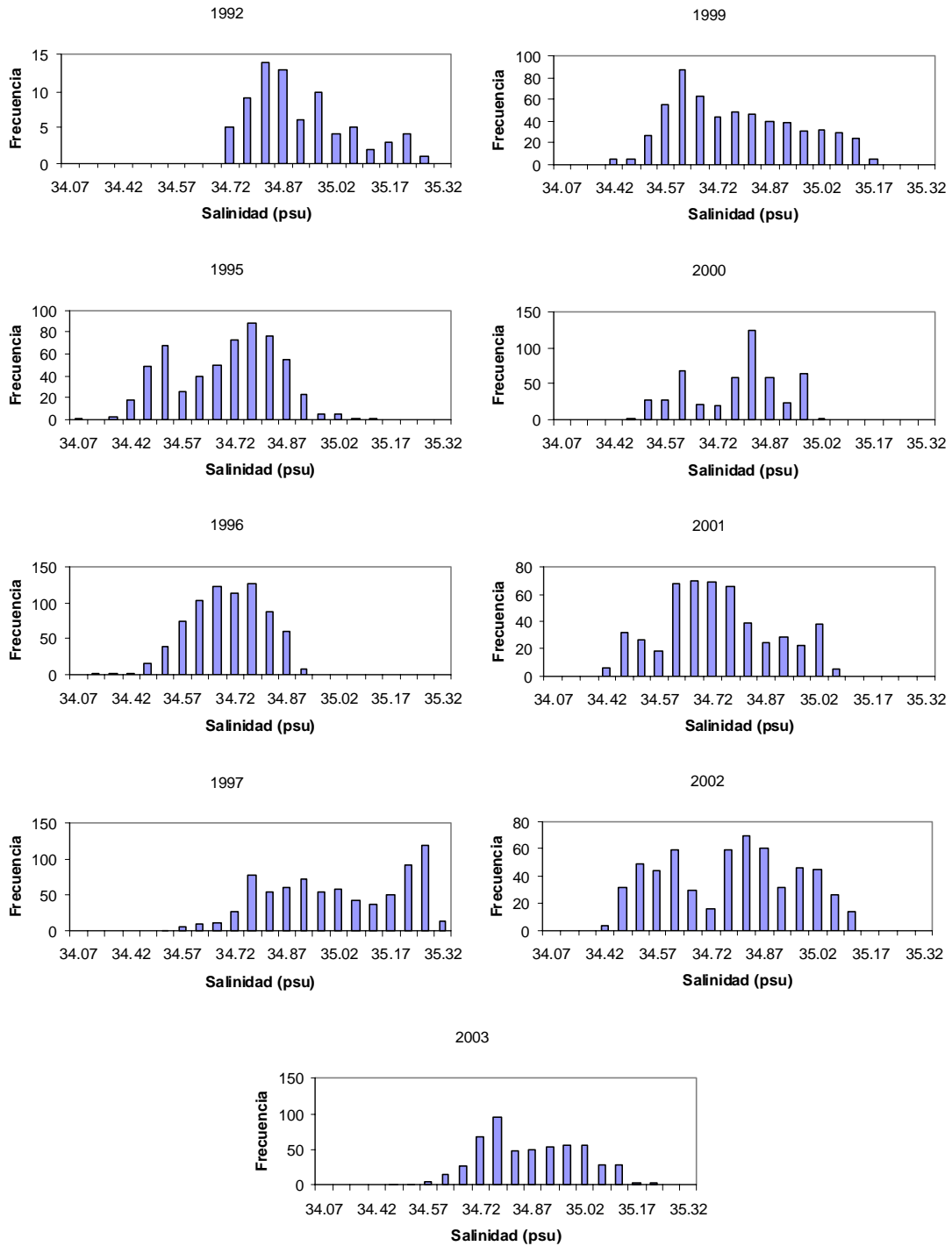


Figura 43. Histogramas de la salinidad superficial (psu), cruceros proyectos MPH de anchoveta, 1992 a 2003.

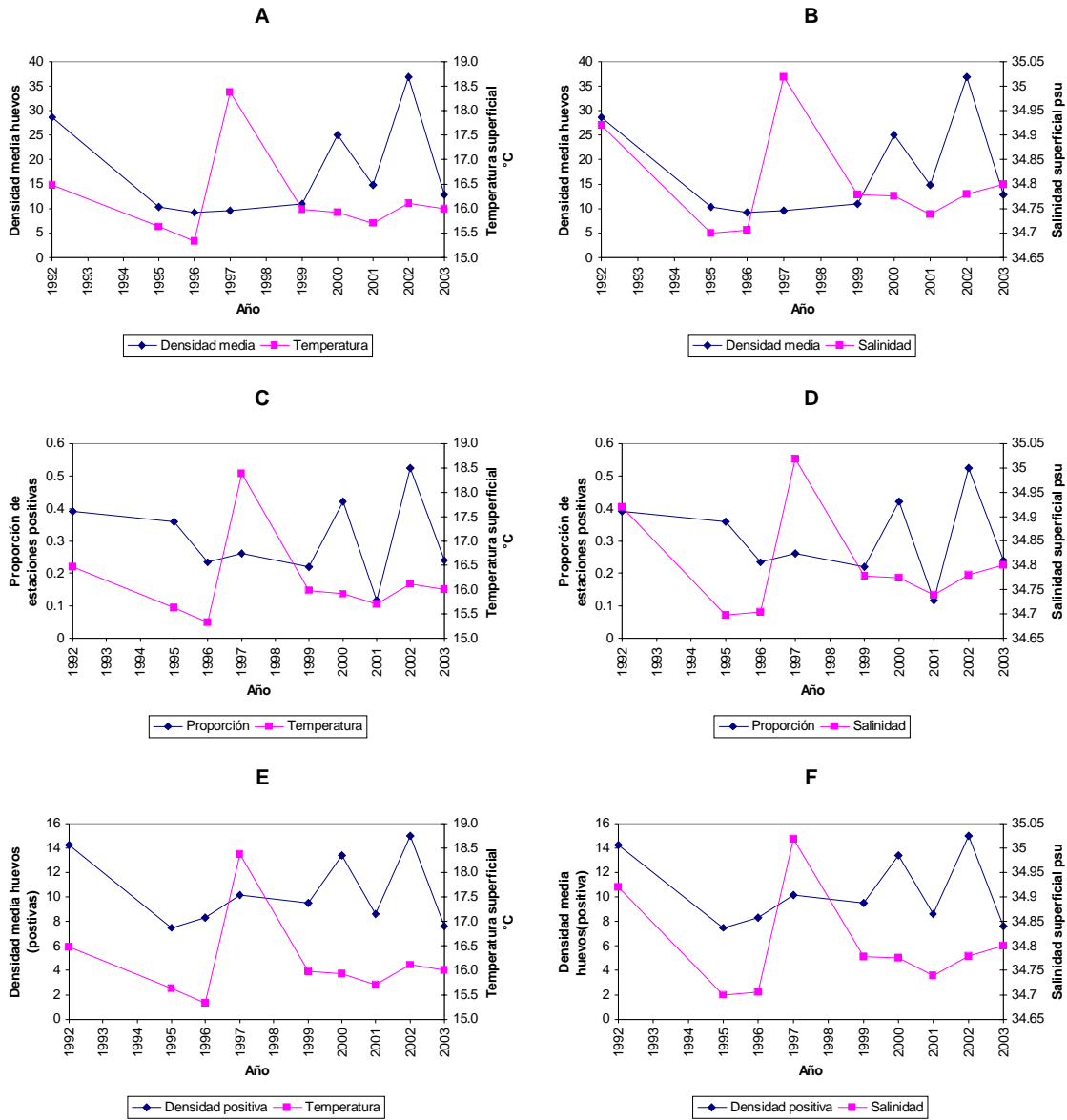


Figura 44. Densidad de huevos estimada (estimador delta), temperatura y salinidad superficial media estimada (A,B). 1992 – 2002. Proporción de estaciones positivas (con huevos), temperatura y salinidad superficial (C,D). 1992 – 2002. Densidad media huevos (estaciones positivas, estimador media lognormal). Temperatura y salinidad superficial (E,F). 1992 - 2003.

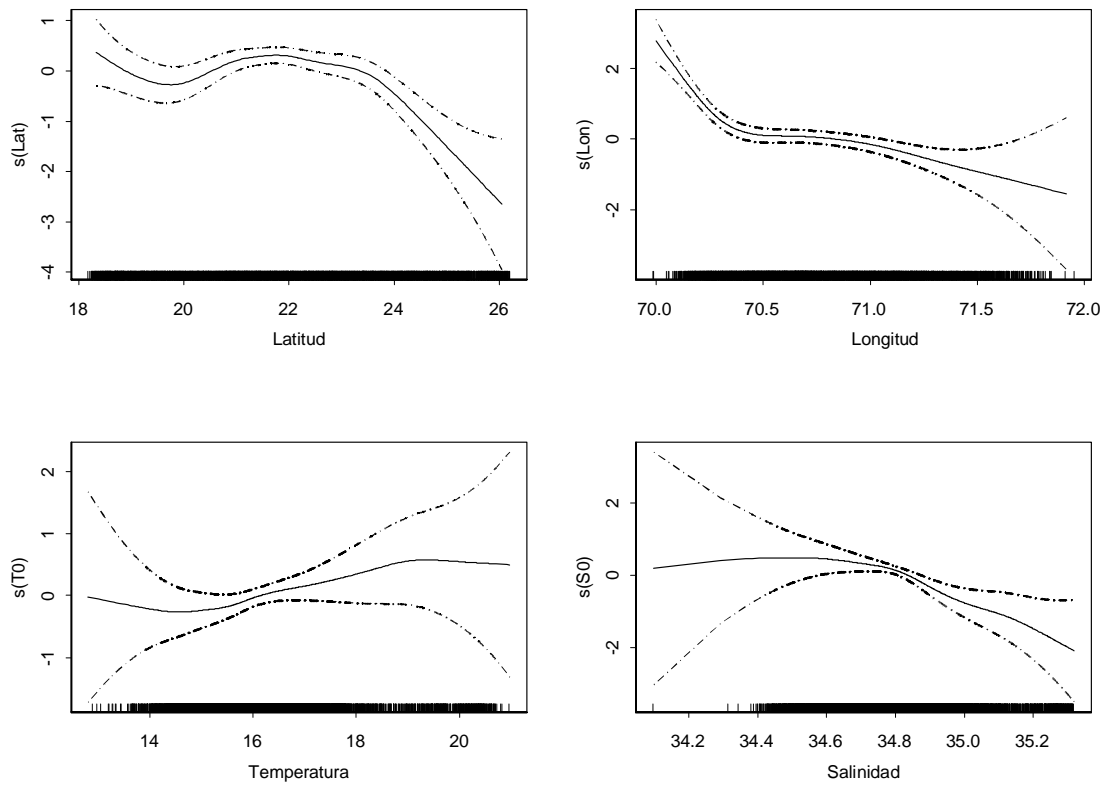


Figura 45. Gráfica de los efectos del GAM ajustado al conteo de huevos por estación (modelo Poisson con sobre-dispersión), utilizando los predictores año (lineal), latitud, longitud, temperatura y salinidad (suavizadores spline cúbicos). El cero en el eje vertical indica que no hay efecto del predictor sobre la variable respuesta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Anchofeta proyectos MPH 1992 -2003.

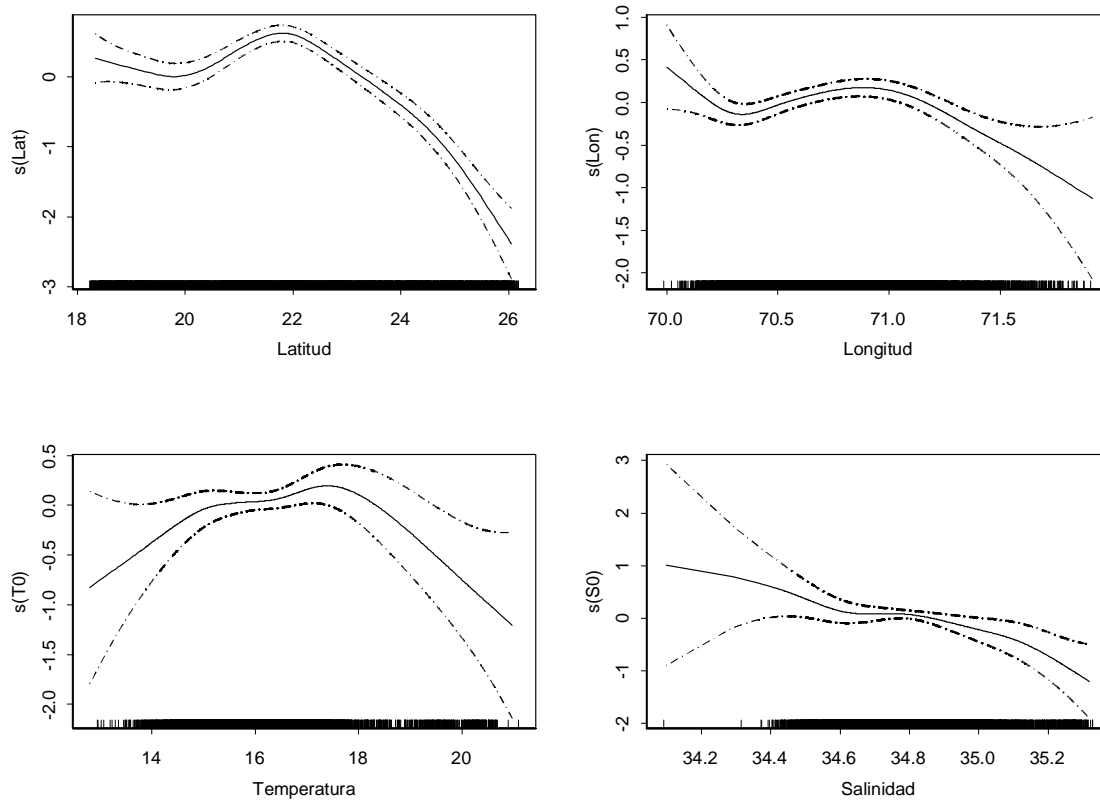


Figura 46. Gráfica de los efectos del GAM ajustado a la proporción de estaciones positivas (distribución de probabilidad Binomial), utilizando los predictores año (lineal), latitud, longitud, temperatura y salinidad (suavizadores spline cúbicos). El cero en el eje vertical indica que no hay efecto del predictor sobre la variable respuesta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Anchoyeta proyectos MPH 1992 -2003.

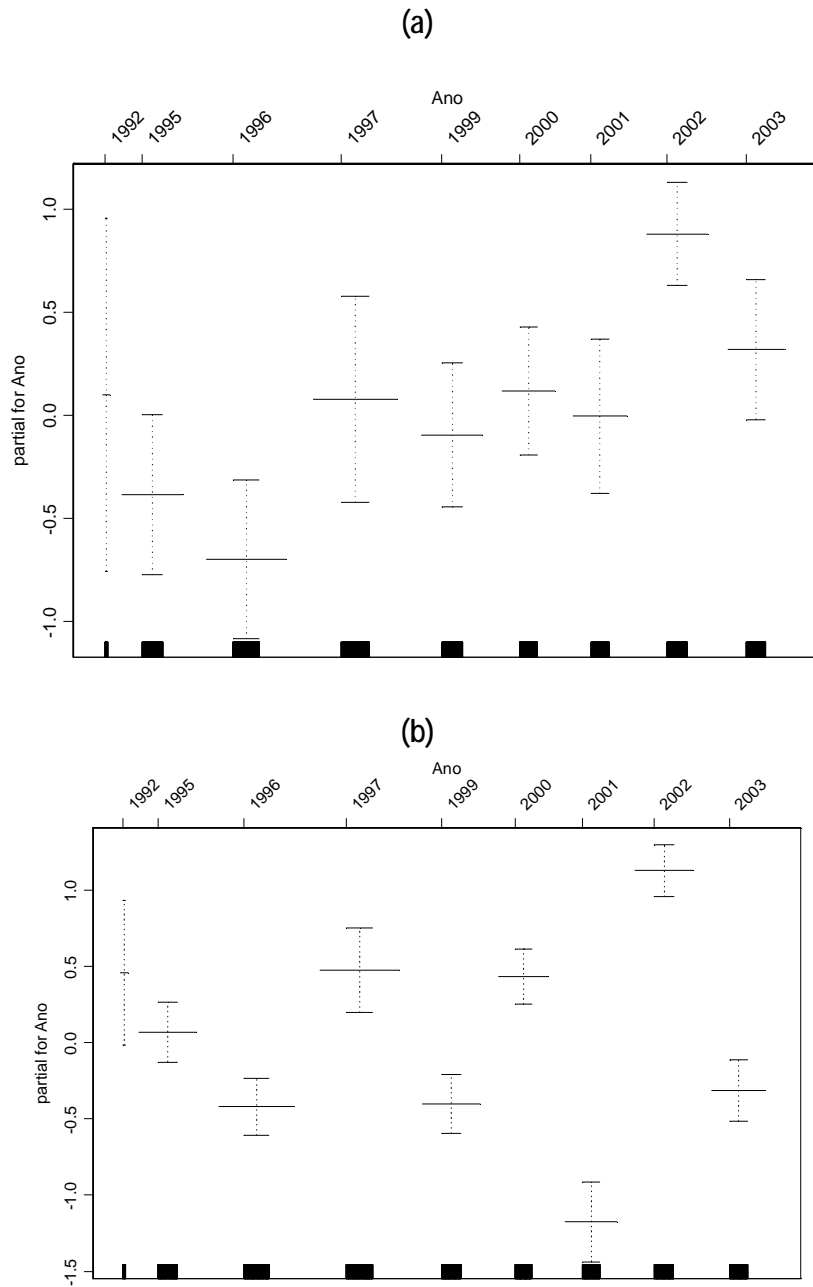


Figura 47. Gráfica con las tendencias de los índices estandarizados anuales (obtenidos a través de los GAMs) de la densidad de huevos (A) y la proporción estaciones positivas a huevos (B), cruceros MPH anchoveta, 1992 – 2003.

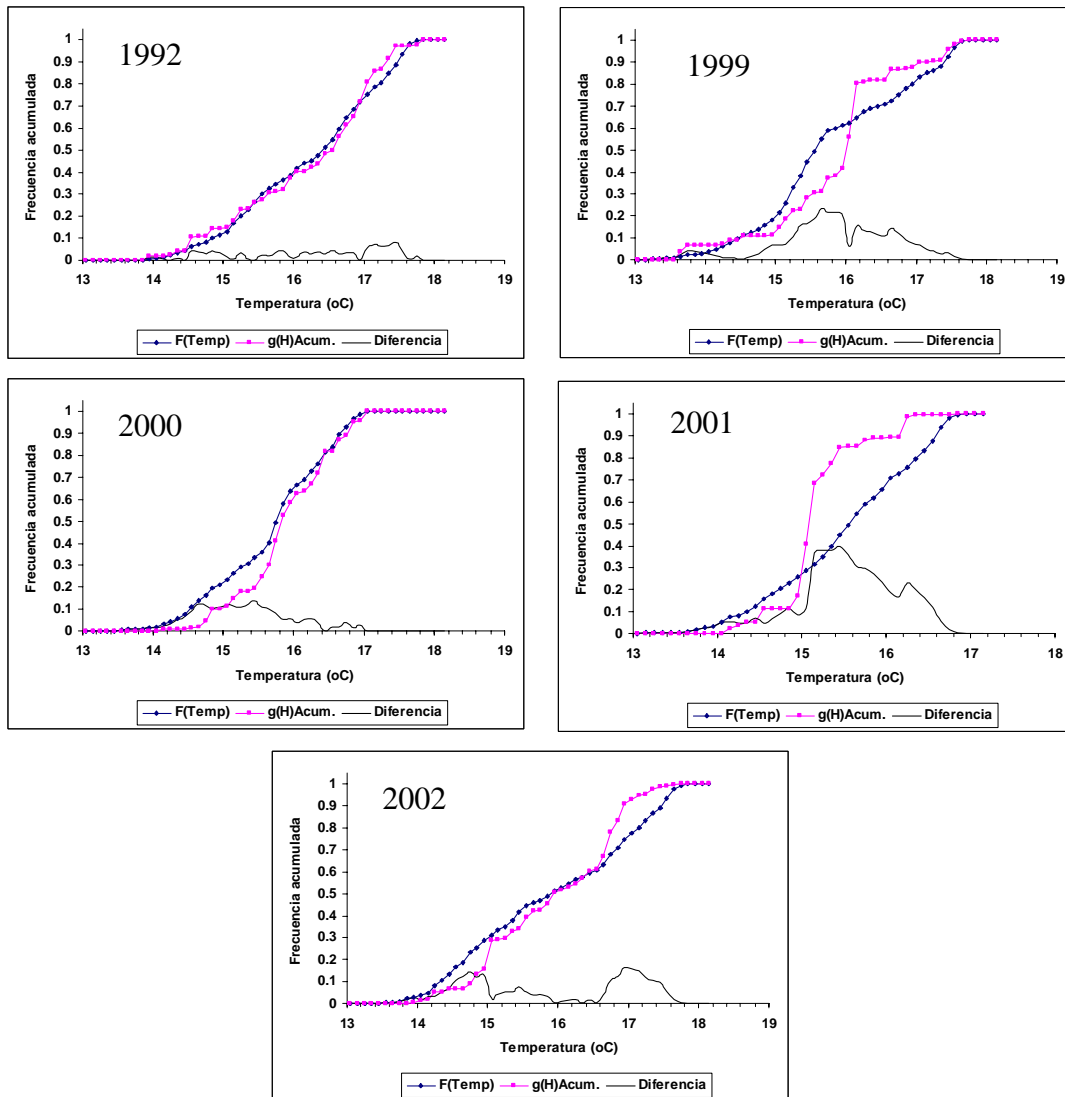


Figura 48. Resultados del análisis de preferencia-rechazo para los años 1992, 1999, 2000, 2001 y 2002, que no muestran diferencias significativas. En azul (F(Temp)): Distribución acumulada de temperaturas; En rojo (g(H)): Distribución acumulada del número de huevos según rangos de temperatura (0,1 °C).

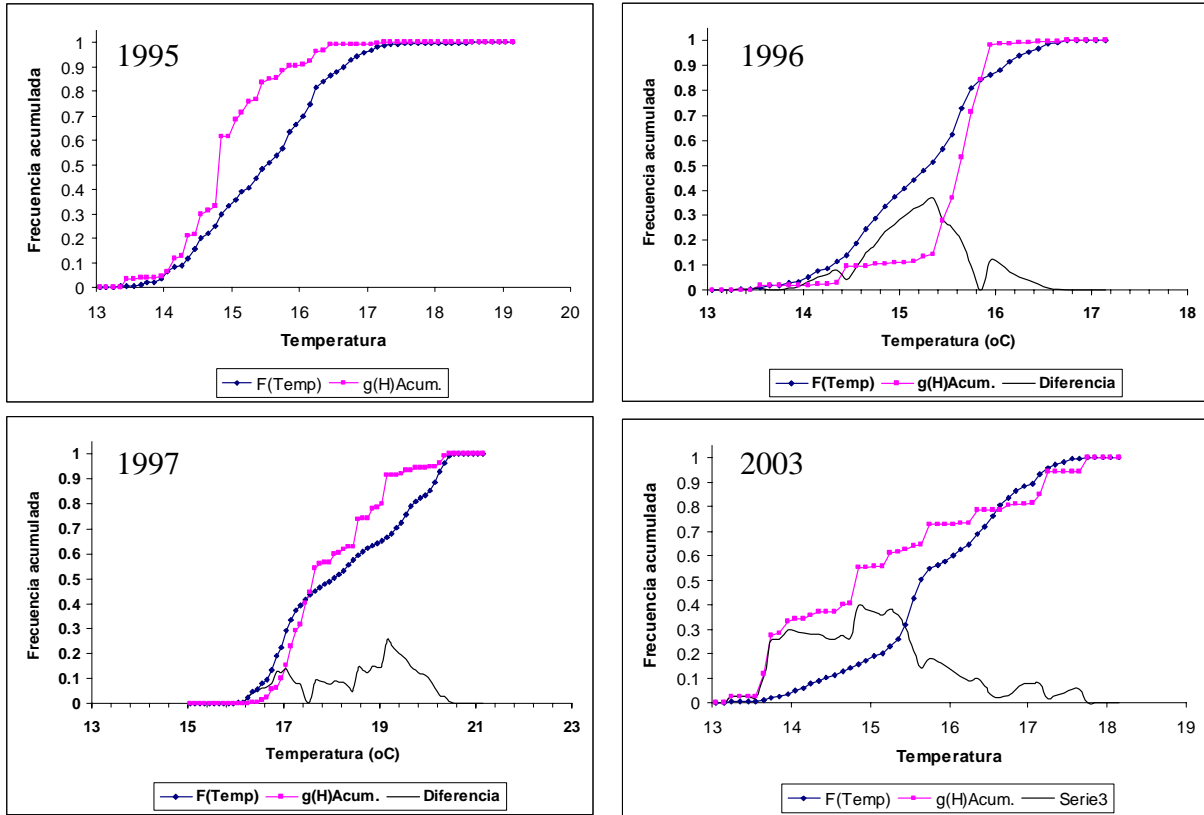


Figura 49. Resultados del análisis de preferencia-rechazo para los años 1995, 1996, 1997 y 2003, que muestran diferencias significativas. En azul (F(Temp)): distribución acumulada de temperaturas; En rojo (g(H)): Distribución acumulada del número de huevos según rangos de temperatura (0,1 °C).

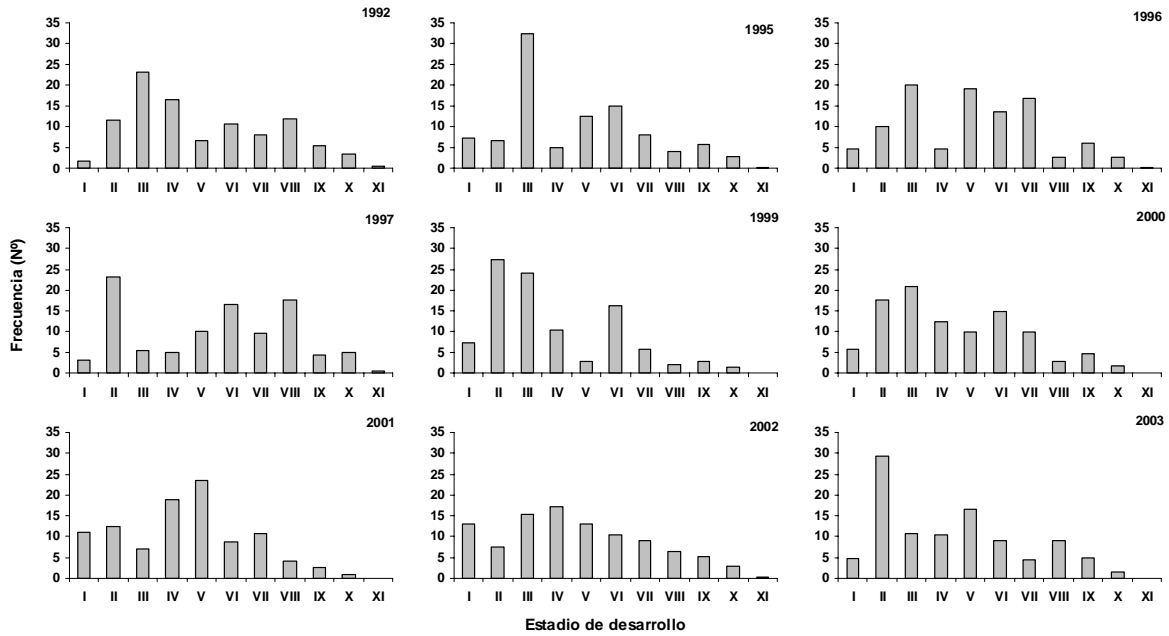


Figura 50. Distribución de estadios de desarrollo de huevos en los años de aplicación del Método de Producción de Huevos en la zona norte.

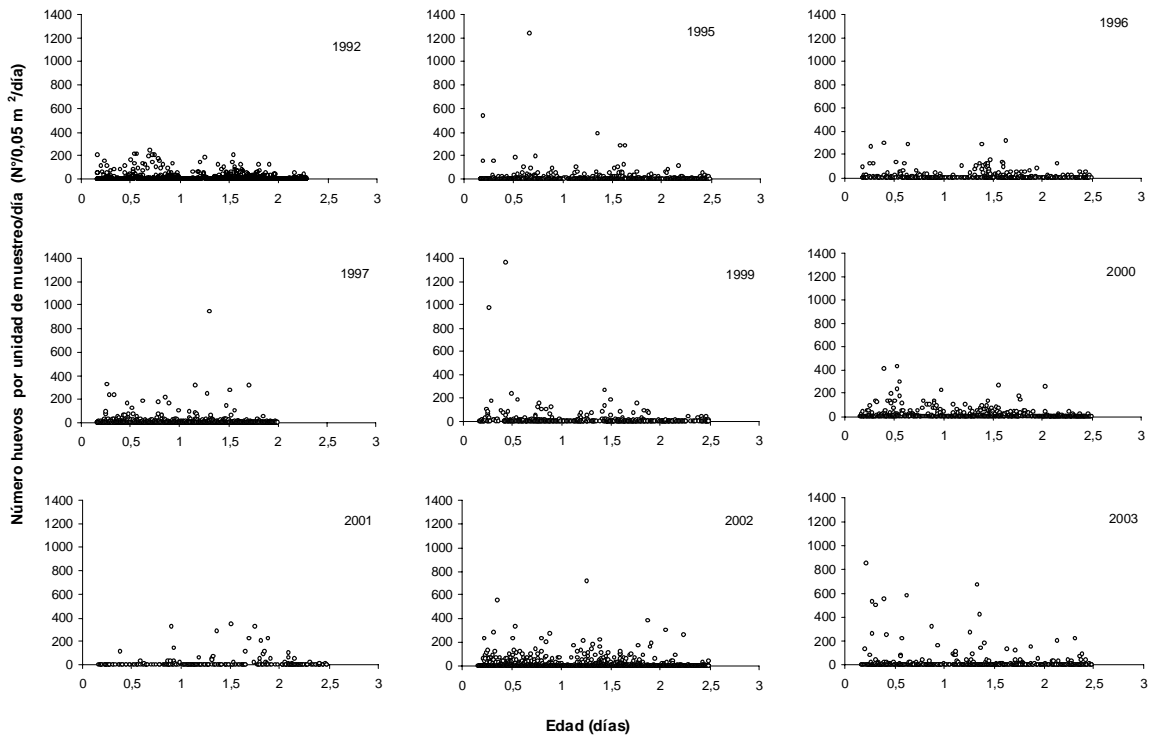


Figura 51. Número de huevos por unidad de muestreo (0,05 m²) según edad (días) para cada uno de los años de aplicación del Método de Producción de Huevos en la zona norte (Área según método de interpolación).

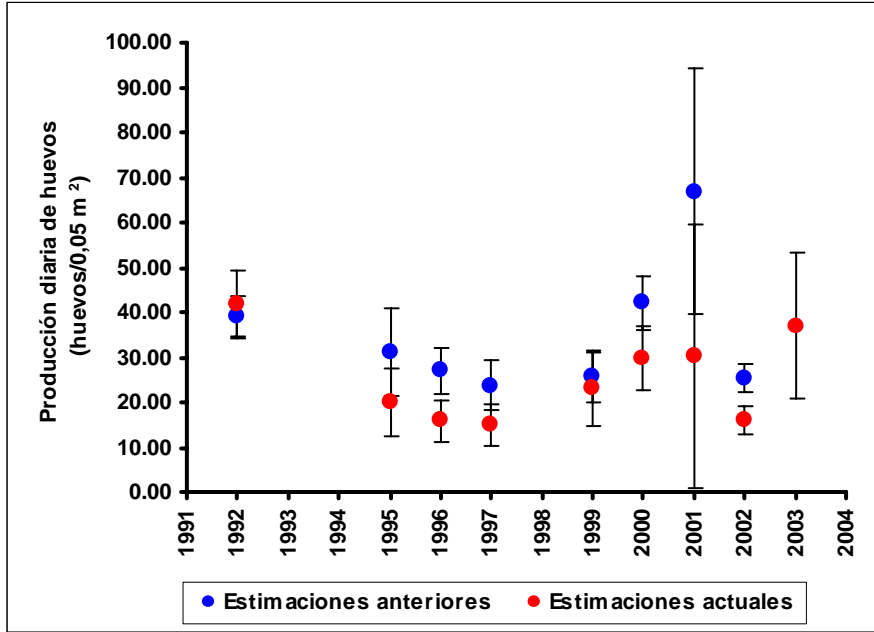


Figura 52. Tendencias en los estimados de Po según la nueva metodología aplicada en este año (Estimaciones actuales) y las informadas en años anteriores (Estimaciones anteriores).

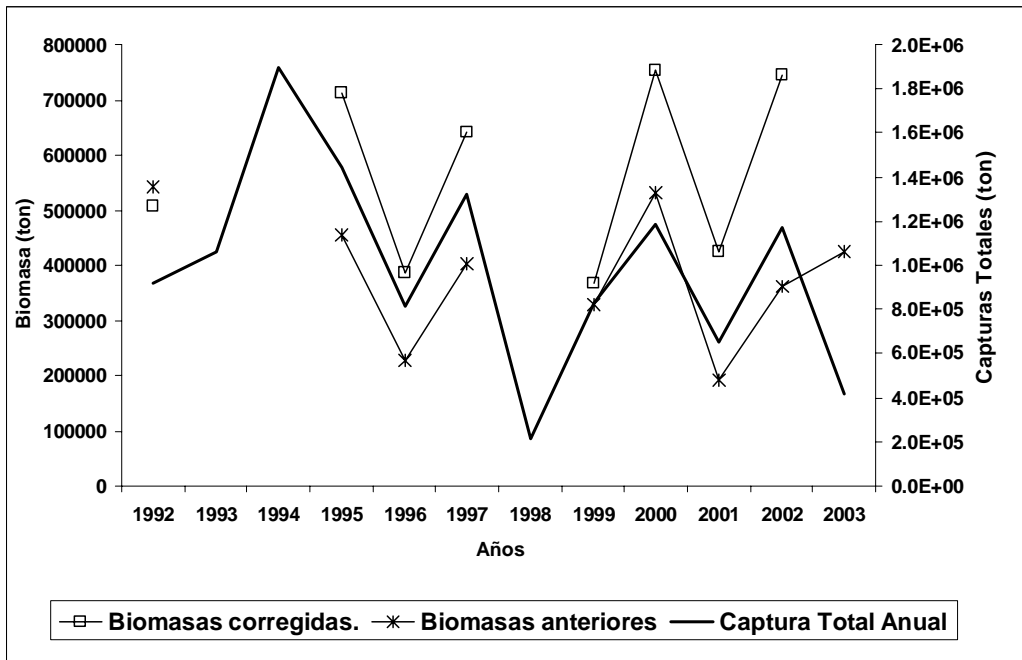


Figura 53. Biomasa corregidas según los nuevos estimados de Po (Biomasa corregidas), comparadas con las Biomasa reportadas en años anteriores y las Capturas Totales del año.

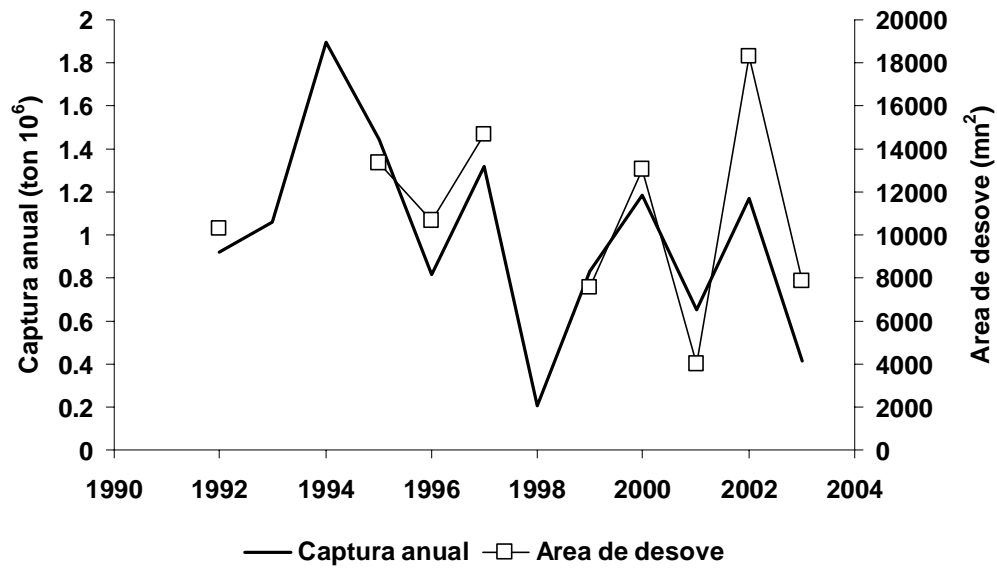


Figura 54. Captura total anual (ton) y áreas de desove según criterio de interpolación.

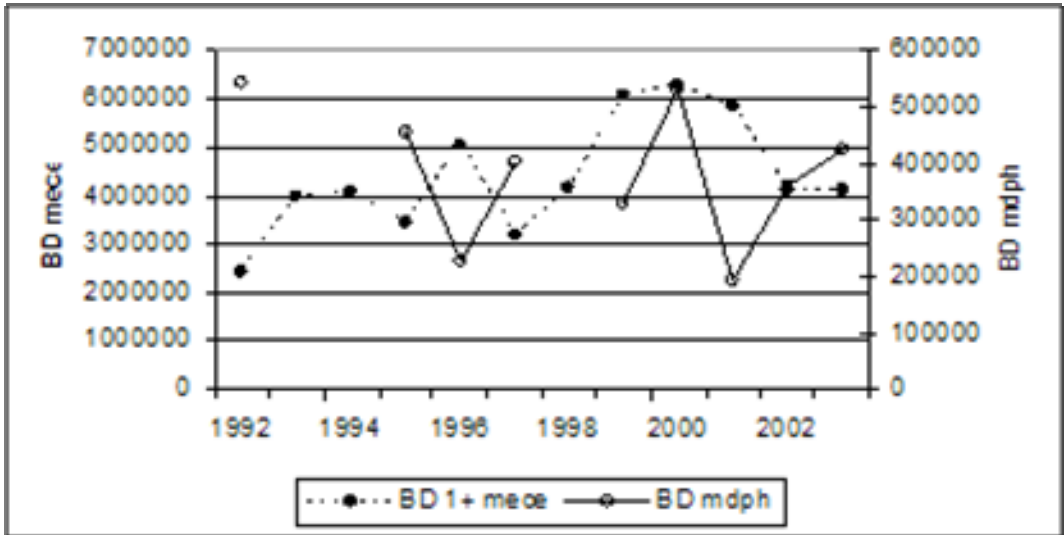


Figura 55. Tendencias de las biomasa desovante de anchoveta estimadas por MDPH y MECE.

T A B L A S

Tabla 1
 Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos
 (Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985)

ESTADIO OVARICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVARICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y central, con prominentes nucléolos esféricos y periféricos. Citoplasma escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos debuta la presencia de pequeñas vesículas periféricas.
Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, el cual no abarca más de las 3/4 partes del citoplasma. Destaca la presencia de vesículas periféricas. Vesícula germinativa grande y central, con múltiples nucléolos periféricos y rodeada por pequeñas gotas de lípidos que inician su fusión. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
Estadio IV: Vitelado	Predominio de ovocitos cargados de glóbulos de vitelo distribuido desde la periferia hasta la región perinuclear. La vesícula germinativa mantiene su posición central, permaneciendo los nucléolos en la periferia. Zona radiata bien desarrollada. Células foliculares cúbicas bajas con núcleo esférico, central y el citoplasma finamente granular, ligeramente basófilo.
Estadio V: En maduración	Citoplasma con grandes glóbulos de vitelo (término de la depositación de vitelo) y vesículas lipídicas que coalescen (2 a 3), ubicándose al lado opuesto de la dirección de migración de la vesícula germinativa, la que es excéntrica, migrante hacia el polo animal. Alto número de pequeños nucléolos periféricos. Células foliculares cúbicas con núcleo desplazado a la base. Citoplasma claro, de aspecto espumoso, areolar, ligeramente basófilo.
Estadio VI: Hidratado (hialino)	Con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración. Por incorporación de fluidos el ovocito incrementa considerablemente su tamaño. El vitelo se presenta en forma de placas por ingreso de líquido al citoplasma, dándole un aspecto hialino. La granulosa y zona radiata pierden espesor.
Estadio VII: En desove	Co-existencia de ovocitos hidratados y folículos postovulatorios nuevos, entre ovocitos en depositación temprana de vitelo.
Estadio VIII: Desovado	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia abundante atresia folicular, tanto alfa como beta. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos postovulatorios viejos.

Tabla 2

Caracterización histológica de los folículos postovulatorios (FPO) (Hunter y Goldberg (1980), ajustados para *E. ringens*, FIP N° 95-01)

EDAD	APARIENCIA HISTOLOGICA DEL FPO
NUEVOS (< 24 h)	<p>Folículos postovulatorios presentes en hembras en desove al momento de la colecta. Aspecto irregular formado por un epitelio columnar bien organizado, con numerosas involuciones y corrugaciones. Lumen amplio e irregular, con abundante material granular eosinófilo. Epitelio constituido por células cúbicas o cilíndricas bien delimitadas entre sí. Núcleo esférico y basal, con cromatina regularmente condensada. Citoplasma finamente granular, ligeramente eosinófilo. Escasa presencia de espacios vacíos tipo célula secretora intraepitelial, siendo estas alcian blue débilmente positivo. Adyacente a la granulosa se ubican las células tecales aplanadas e imbricadas.</p>
EDAD DIA 1 (> de 24 - < 48 h)	<p>Los presentan las hembras que desovaron la noche anterior a la captura. Son más pequeños que los FPO nuevos, de aspecto glandular con ligera infiltración linfocitaria, lumen estrecho e irregular. Granulosa columnar, corrugada, con disposición lineal de las células foliculares, algunas de las cuales presentan signos de degeneración. Núcleo picnótico, micropicnosis, de forma irregular, citoplasma vacuolado, pero mantienen la individualidad entre ellos. Se aprecian abundantes espacios intraepiteliales vacíos que se tiñen intensamente con alcian blue.</p>
EDAD DIA 2 (> 48 h)	<p>Estructura de aspecto glomerular con marcada degeneración celular. Epitelio desorganizado, perdiendo la disposición lineal de sus células. Lámina tecal hipertrofiada, capilares sanguíneos desarrollados. Lumen ocluido o ausente, células sin individualidad aparente y en avanzado estado degenerativo. Forma irregular núcleos picnóticos, micropicnosis, citoplasma vacuolado, representando la fase terminal de degeneración del epitelio columnar. Abundantes espacios con material granular alcian blue fuertemente positivo. Notoria infiltración linfocitaria.</p>

Tabla 3

Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984)

ESTADIO	
I	Huevos recientemente desovados, no segmentados, con acumulación conspicua de citoplasma en el polo animal conformado el blastodisco.
II	Desarrollo de la capa blastodérmica con inicio de la división celular, hasta la agregación de células que toman la apariencia de mórula.
III	Desde la formación de la cavidad hasta el establecimiento definitivo de la cubierta embrionaria. El blastodermo comienza a desplazarse sobre el vitelo, extendiéndose hasta un tercio de la longitud del vitelo.
IV	El blastodermo se desplaza hasta los dos tercios de la masa vitelina estructurándose la zona de desarrollo del embrión, sin destacar alguna estructura embrionaria distintiva.
V	El blastodermo ha cubierto la totalidad de la masa vitelina, culminando con el cierre del blastoporo. Se inicia la formación de los miómeros a lo largo del cuerpo. El desarrollo de los ojos ocurre al final de este estadio.
VI	Se define desde el cierre del blastoporo hasta el inicio de la separación de la cola desde el vitelo. Excepto en la región caudal, los miómeros se presentan en la totalidad del cuerpo.
VII	La cola empieza a separarse del vitelo, desde el crecimiento inicial de ésta, hasta que la porción libre sea equivalente a la mitad de la longitud de la cabeza.
VIII	La cola en desarrollo comienza a doblarse, separándose del eje del cuerpo con crecimiento hacia la cabeza. Al final del estadio, la porción libre de la cola equivale a un quinto de la longitud del vitelo y a la longitud total de la cabeza del embrión
IX	La separación de la cola fluctúa entre un cuarto y un medio de la longitud del vitelo. La torsión de la cola se produce fuera del plano del embrión.
X	El extremo de la cola se aproxima a la cabeza por encima del tronco, siendo dos veces la longitud de la cabeza y de medio hasta tres cuartos de la longitud del saco vitelino.
XI	La longitud de la cabeza es aproximadamente igual a un cuarto de la longitud del vitelo.

Tabla 4

Evolución semanal de la actividad reproductiva microscópica de la anchoveta en la I y II Regiones, 2003

Semana	PERIODO	IAD	IAO
1	30/12 – 05/01	6,5	2,6
2	06/01 – 12/01	13,0	0,9
3	13/01 – 19/01	9,1	1,0
4	20/01 – 26/01	14,1	1,0
5	27/01 – 02/02	15,4	3,8
6	03/02 – 09/02	11,0	4,0
7	10/02 – 16/02	10,1	2,5
8	17/02 – 23/02	9,8	2,2
9	24/02 – 02/03	17,5	0,0
10	03/03 – 09/03	29,7	2,1
11	10/03 – 16/03	13,0	2,1
12	17/03 – 23/03	32,1	0,0
13	24/03 – 30/03	10,3	2,0
14	31/03 – 06/04	6,1	29,2
15	07/04 – 13/04	0,0	24,1
16	14/04 – 20/04	6,7	23,7
17	21/04 – 27/04	14,3	18,2
18	28/04 – 04/05	5,9	10,5
19	05/05 – 11/05	11,4	10,3
20	12/05 – 18/05	15,4	20,8
21	19/05 – 25/05	0,0	12,5
22	26/05 – 01/06	38,0	2,0
23	02/06 – 08/06	9,6	0,0
24	09/06 – 15/06	17,0	0,0
25	16/06 – 22/06	17,2	0,0
26	23/06 – 29/06	23,7	0,7
27	30/06 – 06/07	23,8	0,9
28	07/07 – 13/07	22,0	0,8
29	14/07 – 20/07	32,2	0,0
30	21/07 – 27/07	28,1	0,0
31	28/07 – 03/08	34,1	0,0
32	04/08 – 10/08	39,2	0,0
33	11/08 – 17/08	49,2	0,0
34	18/08 – 24/08	36,1	0,0
35	25/08 – 31/08	24,5	0,0
36	01/09 – 07/09	39,8	0,0
37	08/09 – 14/09	30,1	0,7
38	15/09 – 21/09	41,3	0,0
39	22/09 – 28/09	18,8	2,1
40	29/09 – 05/10	19,0	2,1
41	06/10 – 12/10	15,0	0,0
42	13/10 – 19/10	27,0	1,5
43	20/10 – 26/10	19,0	0,8
44	27/10 – 02/11	12,8	0,0

IAD: Índice de actividad de desove
IAO: Índice de atresia ovárica

Tabla 5

Densidad promedio, constancia y rangos de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, en invierno de los años. Años 1992, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003

	1992	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003
N° Total Estaciones	542	578	752	800	598	502	514	588	537
N° Estaciones positivas	212	208	176	209	132	212	60	309	129
Abundancia (H/0,05m ²)	10974	7555	6718	8054	7582	10473	7586	18231	9264
Mínimo Est (+)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo Est (+)	331	1536	611	947	1649	518	1987	1607	1386
Std.Dev Est (+)	73,61	126,38	79,83	96,54	175,98	86,11	354,36	128,42	211,76
Media Est. Positivas	52	36	38	39	57	49	126	59	72
Media Est. Totales	20	13	9	10	13	21	15	31	17
Constancia	39,11	35,99	23,40	26,13	22,07	42,23	11,67	52,55	24,02
CV (%)	1,42	3,51	2,10	2,48	3,09	1,76	2,81	2,18	2,94

Tabla 6

Posición geográfica de los lances efectuados durante el cruce de adultos en la I y II Regiones.
Agosto – septiembre 2003

LANCE	FECHA	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA	LANCES ANCHOVETA
1	18-Ago	21°23` S	70°10` W	5 t	X
2	18-Ago	19°33` S	70°32` W	s/p	
3	18-Ago	19°25` S	70°33` W	s/p	
4	18-Ago	19°25` S	70°34` W	s/p	
5	19-Ago	21°27` S	70°12` W	3 t	X
6	19-Ago	21°29` S	70°10` W	10 t	X
7	19-Ago	23°53` S	70°33` W	2 t	X
8	19-Ago	21°34` S	70°10` W	20 t	X
9	19-Ago	22°15` S	70°16` W	10 t Jurel	
10	19-Ago	22°06` S	70°26` W	10 t Jurel	
11	19-Ago	22°51` S	70°27` W	s/p	
12	19-Ago	22°17` S	70°25` W	s/p	
13	19-Ago	19°56` S	70°12` W	0,05 t Jurel	
14	20-Ago	20°50` S	71°27` W	40 t Jurel/Caballa	
15	20-Ago	21°06` S	71°11` W	100 t Jurel/Caballa	
16	21-Ago	21°28` S	70°10` W	0,1 t	X
17	21-Ago	21°29` S	70°09` W	5 t	X
18	21-Ago	20°31` S	70°15` W	3 t	X
19	21-Ago	20°58` S	71°11` W	20 t Jurel/Caballa	
20	21-Ago	20°53` S	71°13` W	90 t Jurel/Caballa	
21	21-Ago	21°04` S	71°10` W	s/p	
22	21-Ago	20°54` S	71°12` W	120 t Jurel/Caballa	
23	21-Ago	20°54` S	71°25` W	20 t Jurel	
24	22-Ago	19°39` S	71°07` W	10 t	X
25	22-Ago	19°40` S	71°10` W	80 t Jurel/Caballa	
26	22-Ago	19°39` S	71°08` W	40 t Jurel/Caballa	
27	22-Ago	19°37` S	71°10` W	30 t Caballa	
28	22-Ago	19°39` S	71°09` W	140 t Jurel/Caballa	
29	22-Ago	20°56` S	70°24` W	240 t Jurel	
30	22-Ago	20°55` S	71°24` W	s/p	
31	25-Ago	18°26` S	70°20` W	30 t	X
32	25-Ago	19°16` S	71°10` W	10 t Caballa	
33	25-Ago	20°39` S	71°08` W	5 t Jurel/Caballa	
34	25-Ago	20°24` S	71°10` W	25 t Jurel/Caballa	
35	25-Ago	19°26` S	70°55` W	5 t Jurel	
36	26-Ago	19°20` S	71°04` W	10 t	X
37	26-Ago	19°16` S	71°04` W	30 t Caballa	
38	26-Ago	19°20` S	71°03` W	30 t Caballa	
39	26-Ago	18°22` S	70°29` W	s/p	
40	26-Ago	19°40` S	71°03` W	20 t Jurel/Caballa	
41	26-Ago	19°39` S	71°00` W	100 t Jurel/Caballa	
42	26-Ago	19°41` S	71°04` W	20 t Jurel/Caballa	
43	26-Ago	19°37` S	71°00` W	50 t Jurel/Caballa	
44	27-Ago	18°23` S	70°26` W	15 t	X

Continuación Tabla 6

LANCE	FECHA	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA	LANCES ANCHOVETA
45	27-Ago	19°25` S	71°03` W	80 t Jurel/Caballa	
46	27-Ago	19°26` S	71°05` W	30 t Jurel/Caballa	
47	27-Ago	19°25` S	71°06` W	70 t Jurel/Caballa	
48	27-Ago	19°24` S	70°59` W	30 t Jurel/Caballa	
49	27-Ago	19°17` S	71°10` W	20 t Jurel/Caballa	
50	27-Ago	18°25` S	70°25` W	s/p	
51	28-Ago	18°22` S	70°27` W	30 t	X
52	28-Ago	19°54` S	71°27` W	80 t Jurel/Caballa	
53	28-Ago	19°52` S	71°30` W	11 t Jurel/Caballa	
54	28-Ago	19°56` S	71°34` W	10 t Jurel/Caballa	
55	28-Ago	19°55` S	71°35` W	10 t Jurel/Caballa	
56	28-Ago	20°51` S	71°03` W	10 t Jurel/Caballa	
57	28-Ago	21°04` S	70°56` W	130 t Jurel/Caballa	
58	28-Ago	19°53` S	71°39` W	60 t Jurel/Caballa	
59	28-Ago	20°51` S	71°02` W	15 t Jurel/Caballa	
60	28-Ago	20°48` S	71°02` W	20 t Jurel/Caballa	
61	28-Ago	20°00` S	71°28` W	20 t Jurel/Caballa	
62	28-Ago	19°50` S	71°37` W	45 t Jurel/Caballa	
63	29-Ago	18°21` S	70°29` W	4 t	X
64	29-Ago	19°54` S	71°41` W	140 t Jurel/Caballa	
65	29-Ago	19°56` S	71°43` W	70 t Jurel/Caballa	
66	29-Ago	19°25` S	71°25` W	50 t Jurel/Caballa	
67	30-Ago	19°37` S	71°36` W	60 t Jurel/Caballa	
68	01-Sep	21°18` S	70°11` W	20 t	X
69	01-Sep	21°19` S	70°10` W	10 t	X
70	01-Sep	21°02` S	70°13` W	15 t	X
71	02-Sep	18°21` S	70°25` W	4 t	X
72	02-Sep	18°21` S	70°24` W	20 t	X
73	02-Sep	21°27` S	70°11` W	20 t	X
74	02-Sep	18°22` S	70°21` W	15 t	X
75	02-Sep	21°26` S	70°12` W	30 t	X
76	02-Sep	21°29` S	70°10` W	20 t	X
77	02-Sep	21°31` S	70°10` W	20 t	X
78	02-Sep	21°31` S	70°12` W	10 t	X
79	03-Sep	21°15` S	70°14` W	15 t	X
80	03-Sep	21°14` S	70°11` W	40 t	X
81	03-Sep	18°22` S	70°26` W	s/p	
82	03-Sep	18°20` S	70°26` W	s/p	
83	03-Sep	24°23` S	70°38` W	s/p	
84	03-Sep	25°00` S	70°35` W	s/p	
85	03-Sep	25°22` S	70°40` W	s/p	
86	03-Sep	25°58` S	70°50` W	s/p	
87	04-Sep	18°24` S	70°20` W	10 t	X
88	04-Sep	23°37` S	70°30` W	0,1 t	X
89	05-Sep	21°14` S	70°09` W	10 t	X
90	05-Sep	21°12` S	70°11` W	25 t	X

Continuación Tabla 6

LANCE	FECHA	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA	LANCES ANCHOVETA
91	06-Sep	18°21` S	70°26` W	3 t	X
92	06-Sep	18°22` S	70°29` W	5 t	X
93	06-Sep	18°21` S	70°24` W	3 t	X
94	06-Sep	18°24` S	70°21` W	2 t	X
95	08-Sep	18°22` S	70°23` W	7 t	X
96	08-Sep	18°21` S	70°22` W	10 t	X
97	08-Sep	18°22` S	70°21` W	17 t	X
98	09-Sep	21°13` S	70°12` W	30 t	X
99	09-Sep	21°12` S	70°12` W	30 t	X
100	10-Sep	18°22` S	71°24` W	15 t	X
101	10-Sep	21°14` S	70°10` W	35 t	X
102	10-Sep	21°17` S	70°09` W	25 t	X
103	10-Sep	21°16` S	70°10` W	25 t	X
104	10-Sep	21°15` S	70°11` W	25 t	X
105	10-Sep	21°21` S	70°11` W	60 t	X
106	10-Sep	21°19` S	70°09` W	s/p	
107	11-Sep	18°26` S	70°21` W	20 t	X
108	11-Sep	21°26` S	70°08` W	20 t	X
109	11-Sep	21°29` S	70°11` W	20 t	X
110	11-Sep	18°22` S	70°21` W	30 t	X
111	11-Sep	21°24` S	70°09` W	10 t	X
112	11-Sep	21°34` S	70°12` W	10 t	X
113	11-Sep	21°42` S	70°12` W	10 t	X
114	12-Sep	18°21` S	70°25` W	8 t	X
115	12-Sep	18°29` S	70°25` W	5 t	X
116	12-Sep	21°44` S	70°12` W	5 t	X
117	12-Sep	21°50` S	70°11` W	10 t	X
118	12-Sep	21°41` S	70°13` W	15 t	X
119	13-Sep	21°26` S	70°07` W	20 t	X
120	15-Sep	21°16` S	70°16` W	10 t	X

Tabla 7

Datos para el ajuste no lineal ponderado del modelo exponencial y estimación de la Producción diaria de huevos para el área de desove según interpolación

Categoría	Nº Promedio	D.S.	n
0,5	40,2	138,444	84
1	16,4	70,857	101
1,5	22,8	82,785	110
2	7,0	23,695	103
2,5	9,3	32,666	94
TOTAL	18,6	78,944	492

Nº Estaciones Negativas 84

Tabla 8

Datos para el ajuste no lineal ponderado del modelo exponencial y estimación de la Producción diaria de huevos para el área de desove según límite inferior

Categoría	Nº Promedio	D.S.	n
0,5	45,0	145,869	75
1	21,3	80,099	78
1,5	24,3	85,356	103
2	9,0	26,581	80
2,5	9,0	32,193	97
TOTAL	21,1	83,843	433

Nº Estaciones Negativas 54

Tabla 9

Resultados del análisis de regresión para los modelos ajustados entre fecundidad parcial con peso corporal y longitud total

Modelos	Lineal	Potencial
Estadígrafo	PESO CORPORAL	
a	-1237,67	457,41
Sa	1388,040	132,800
b	615,838	1,015
Sb	27,519	0,102
r²	0,542	0,544
r	0,736	0,738
n	99	99
MSE	5061422	9411162
Estadígrafo	LONGITUD TOTAL	
a	-22272,38	10,27
Sa	4181,700	7,640
b	2337,654	2,624
Sb	273,340	0,314
r²	0,430	0,446
r	0,656	0,668
n	99	99
MSE	6295829	6313758

Tabla 10

Resumen de los datos de los lances. Promedios de las 30 primeras hembras maduras de: longitud total (LT), peso total (PT; Corregido), peso corporal (PC), peso gónada (PG), fecundidad parcial estimada (FPE), hembras maduras (HM), hembras hidratadas (HH), folículos postovulatorios de edad 0, 1 y 2 días. Peso total de hembras corregidas (PTHCOR), hembras (H), Peso total de machos corregidos (PTMCOR) machos (M) del muestreo de proporción sexual

DATOS LANCES				PROMEDIOS HEMBRAS MADURAS										PROPORCIÓN SEXUAL				
Lance	Fecha	Colecta	Posición	LT	PT	PC	PG	FPE	HM	HH	EDAD	F.P.O.	PTHCOR	H	PTMCOR	M		
(n)	(d-m)	(h)	(S) (W)	(cm)	(g)	(g)	(g)	(n)	(n)	(n)	0	1	2	(g)	(n)	(g)	(n)	
1	18-8	1:15	21°23'	70°10'	15,8	26,0	25,1	1,1	14091	30	0	21	4	0	24,7	36	25,1	80
5	19-8	6:00	21°27'	70°12'	15,6	24,6	23,6	1,3	13144	30	0	5	17	1	25,1	67	24,7	60
6	19-8	9:05	21°29'	70°10'	15,4	25,4	24,1	1,5	13450	30	0	0	6	5	23,3	37	24,5	85
7	19-8	11:10	23°53'	70°33'	14,3	19,6	18,8	1,0	10254	30	0	0	9	5	18,3	59	18,8	61
8	19-8	13:30	21°34'	70°10'	15,5	24,9	23,9	1,6	13163	30	13	1	1	6	24,5	45	24,7	75
16	21-8	2:15	21°28'	70°10'	15,7	25,6	24,6	1,2	13790	30	0	4	10	4	23,3	59	23,4	61
17	21-8	2:45	21°29'	70°09'	15,8	26,7	25,6	1,3	14414	30	0	7	5	3	24,4	37	24,7	48
18	21-8	10:50	20°31'	70°15'	16,0	27,7	26,3	1,6	14823	30	0	0	3	6	24,1	72	24,1	48
24	22-8	7:20	19°39'	71°07'	14,6	21,9	20,9	1,1	11554	30	0	3	18	1	21,4	59	21,4	61
31	25-8	7:23	18°26'	70°20'	15,1	24,7	23,5	1,4	13110	30	0	0	6	2	23,4	49	22,4	71
36	26-8	6:26	19°20'	71°04'	14,8	22,1	21,0	1,2	11611	30	0	0	5	4	21,3	72	21,3	48
44	27-8	10:57	18°23'	70°26'	14,7	25,3	23,8	1,7	13291	30	0	0	2	4	20,8	59	19,3	58
51	28-8	8:57	18°22'	70°27'	14,7	24,2	22,9	1,5	12744	30	0	0	2	1	20,0	88	19,3	32
63	29-8	7:07	18°21'	70°29'	14,5	22,1	20,9	1,4	11527	30	1	0	6	1	21,4	75	20,6	45
68	1-9	16:55	21°18'	70°11'	15,9	28,2	26,7	1,7	15071	30	2	0	1	2	27,1	85	26,3	35
69	1-9	17:35	21°19'	70°10'	15,7	27,3	25,8	1,7	14501	30	1	0	0	4	26,0	88	26,3	31
70	1-9	16:50	21°02'	70°13'	16,6	28,3	26,9	2,5	14605	30	19	0	1	7	29,5	31	27,3	57
71	2-9	3:52	18°21'	70°25'	14,4	21,8	20,8	1,2	11475	30	0	17	2	0	21,0	47	20,3	73
72	2-9	5:10	18°21'	70°24'	14,6	22,7	21,6	1,2	11978	30	0	2	8	3	21,1	53	20,1	67
73	2-9	6:50	21°27'	70°11'	15,5	25,4	24,1	1,5	13484	30	0	0	14	0	26,7	58	25,0	62
74	2-9	6:55	18°22'	70°21'	14,1	20,9	20,0	1,1	10988	30	0	3	8	2	20,4	43	20,6	69
75	2-9	7:00	21°26'	70°12'	16,0	27,1	25,9	1,4	14585	30	0	0	19	2	24,7	69	25,3	50
76	2-9	7:40	21°29'	70°10'	15,4	25,1	23,7	1,5	13260	30	0	1	12	1	24,2	59	23,8	61
77	2-9	9:45	21°31'	70°10'	15,3	24,5	23,3	1,4	12986	30	0	1	6	2	23,8	73	24,3	47
78	2-9	9:45	21°31'	70°12'	15,4	24,4	23,1	1,5	12863	30	0	0	3	7	23,8	71	24,1	50
79	3-9	8:35	21°15'	70°14'	16,0	28,3	26,8	1,8	15124	30	0	0	7	4	27,3	71	25,8	49
80	3-9	10:40	21°14'	70°11'	15,9	27,5	25,9	1,8	14598	30	0	1	7	2	23,8	51	23,8	69
87	4-9	7:10	18°24'	70°20'	14,7	23,4	22,3	1,3	12388	30	0	3	9	0	21,0	25	18,6	75
88	4-9	9:00	23°37'	70°30'	14,2	19,9	18,8	1,2	10257	30	0	0	0	1	19,6	60	20,5	60
89	5-9	5:40	21°14'	70°09'	15,4	25,3	24,0	1,5	13420	30	0	0	5	1	22,7	54	24,2	66
90	5-9	7:40	21°12'	70°11'	15,8	26,2	25,0	1,4	14031	30	0	1	2	1	24,6	50	25,0	70
91	6-9	3:25	18°21'	70°26'	14,5	23,4	22,2	1,4	12341	30	0	1	4	0	21,7	48	20,6	72
92	6-9	4:45	18°22'	70°29'	14,7	25,4	24,1	1,4	13496	30	0	6	3	0	22,4	66	21,0	54
93	6-9	5:37	18°21'	70°24'	14,7	23,5	22,2	1,5	12318	30	0	3	4	0	22,3	59	19,8	61
94	6-9	7:10	18°24'	70°21'	14,4	24,2	22,9	1,4	12756	30	0	2	3	0	22,8	40	21,0	76
95	8-9	3:40	18°22'	70°23'	14,5	23,4	22,4	1,2	12416	30	0	10	2	0	21,6	27	19,2	73
96	8-9	4:40	18°21'	70°22'	14,7	23,9	22,9	1,2	12769	30	0	10	5	1	21,5	51	20,0	49
97	8-9	6:50	18°22'	70°21'	14,7	23,5	22,4	1,4	12428	30	0	7	7	0	21,3	33	19,9	68
98	9-9	5:40	21°13'	70°12'	15,8	28,7	26,8	2,1	15154	30	0	2	2	0	25,9	53	25,6	67
99	9-9	7:15	21°12'	70°12'	15,7	28,2	26,2	2,2	14755	30	0	3	0	2	27,6	47	26,5	74
100	10-9	4:30	18°22'	71°24'	14,9	23,7	23,0	1,0	12784	30	0	15	13	0	22,3	91	21,4	37
101	10-9	5:40	21°14'	70°10'	15,8	27,6	26,0	1,8	14665	30	0	3	2	2	26,1	76	25,1	44
102	10-9	7:40	21°17'	70°09'	15,5	25,6	24,2	1,6	13525	30	0	0	10	1	23,8	64	24,2	56
103	10-9	9:40	21°16'	70°10'	15,8	27,1	25,6	1,7	14360	30	1	2	8	1	24,2	60	23,9	60
104	10-9	11:10	21°15'	70°11'	15,5	26,4	24,6	2,1	13783	30	0	0	3	0	25,3	55	24,3	65
105	10-9	12:30	21°21'	70°11'	15,5	27,4	25,7	1,9	14481	30	1	3	4	2	25,9	57	23,8	66
107	11-9	2:15	18°26'	70°21'	14,5	22,6	21,6	1,2	11927	30	0	11	3	2	21,0	70	20,6	62
108	11-9	4:40	21°26'	70°08'	16,1	28,7	27,1	1,9	15286	30	0	3	5	1	27,2	100	25,5	21
109	11-9	7:40	21°29'	70°11'	15,8	27,3	25,8	1,8	14475	30	14	1	3	1	26,3	79	25,7	40
110	11-9	8:10	18°22'	70°21'	14,6	23,1	22,1	1,2	12278	30	0	13	3	1	21,5	67	20,3	67
111	11-9	11:40	21°24'	70°09'	15,8	26,9	25,3	2,0	14135	30	9	0	3	4	24,8	50	23,9	69
112	11-9	14:03	21°34'	70°12'	15,9	28,3	26,8	1,7	15120	30	0	0	11	1	24,4	35	24,8	86
113	11-9	17:00	21°42'	70°12'	15,9	27,1	26,0	1,4	14611	30	1	4	10	2	25,2	40	25,5	76
114	12-9	3:01	18°21'	70°25'	14,5	24,3	23,1	1,4	12840	30	0	10	2	0	19,5	64	18,9	68
115	12-9	6:52	18°29'	70°25'	14,5	22,1	21,3	1,0	11756	30	0	22	4	1	22,7	31	20,9	99
116	12-9	9:40	21°44'	70°12'	15,6	26,2	24,6	1,8	13806	30	4	1	3	5	23,8	43	24,2	77
117	12-9	10:16	21°50'	70°11'	16,0	28,0	26,5	1,8	14906	30	2	2	4	2	25,5	54	25,3	66
118	12-9	13:50	21°41'	70°13'	15,5	25,4	23,8	1,8	13294	30	2	0	6	3	22,5	28	22,6	92
119	13-9	4:40	21°26'	70°07'	15,4	24,8	23,5	1,4	13128	30	0	4	0	3	24,6	58	23,5	62
120	15-9	16:30	21°16'	70°16'	15,1	25,3	24,1	1,5	13437	30	1	0	0	17	26,6	71	27,3	49

Tabla 11

Resumen de resultados de la estimación de la biomasa desovante de anchoveta, según la nueva metodología de cálculo de Producción Diaria de Huevos (P_0), 1992-2003. Re-estimaciones de Biomosas y P_0 solo para el criterio de Interpolación para la delimitación del área de desove

Año	Área Crucero (mn²)	Área de desove (mn²)	P_0 (nº huevos/0,05 m² día)	Biomasa (t)
1992	17055	10332	41,8	543465
1995	18137	13315	20,0	454166
1996	18353	10698	15,8	226403
1997	19627	14660	14,9	403607
1999	27374	7525	23,0	328861
2000	19539	13059	29,7	530421
2001	25921	4026	30,2	192367
2002	30264	18309	15,9	361790
2003	26986	7852	37,1	424417

Tabla 12

Estadísticas descriptivas de las principales variables monitoreadas en los cruceros de ictioplancton. Cruceros proyectos MPH anchoveta, 1992 a 2003

		Año 1992							
		Total estaciones	542						
		Estac. positivas	212						
		Estac. negativas	330						
		Total huevos	10974						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	14,3	34,7	18,3	70,1	13,6	34,7	0,0	
Promedio	20	16,5	34,9	20,8	70,8	16,3	34,9	10,9	
Mediana	0	16,6	34,9	20,7	70,7	16,5	34,9	10,8	
Máximo	331	18,7	35,3	23,8	71,8	17,8	35,3	24,0	
Obs. no disp.	0	0	466	0	0	2	465	0	
Desv. Std.	52,5	0,9	0,1	1,7	0,4	1,0	0,1	7,3	

		Año 1995							
		Total estaciones	578						
		Estac. positivas	208						
		Estac. negativas	370						
		Total huevos	7555						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	12,8	34,1	18,4	70,1	13,5	NA	0,1	
Promedio	13	15,6	34,7	21,6	70,7	15,3	NA	11,6	
Mediana	0	15,6	34,7	21,7	70,7	15,2	NA	12,3	
Máximo	1539	19,4	35,1	25,0	71,7	17,3	NA	24,0	
Obs. No disp.	0	1	1	0	0	369	578	369	
Desv. Std.	77,7	1,1	0,1	2,0	0,3	0,8	NA	6,8	

		Año 1996							
		Total estaciones	752						
		Estac. positivas	176						
		Estac. negativas	576						
		Total huevos	6718						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	13,2	34,3	18,5	70,1	13,3	NA	0,2	
Promedio	9	15,3	34,7	22,2	70,7	15,3	NA	12,7	
Mediana	0	15,3	34,7	22,2	70,6	15,4	NA	13,4	
Máximo	611	17,0	34,9	26,0	71,8	16,8	NA	23,6	
Obs. No disp.	0	1	2	0	0	7	752	577	
Desv. Std.	41,8	0,5	0,1	2,1	0,3	0,7	NA	7,0	

		Año 1997							
		Total estaciones	800						
		Estac. positivas	209						
		Estac. negativas	591						
		Total huevos	8054						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	16,0	34,5	18,4	70,1	15,8	34,5	0,1	
Promedio	10	18,4	35,0	22,2	70,8	18,3	35,0	11,9	
Mediana	0	18,2	35,0	22,2	70,8	18,0	35,0	11,8	
Máximo	947	21,0	35,3	26,1	71,9	20,6	35,3	24,0	
Obs. No disp.	0	9	9	0	0	9	9	1	
Desv. Std.	52,1	1,4	0,2	2,3	0,4	1,4	0,2	6,9	

Continuación Tabla 12

		Año 1999							
		Total estaciones	598						
		Estac. positivas	132						
		Estac. negativas	466						
		Total huevos	7582						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	13,1	34,4	18,4	70,1	13,1	34,4	0,0	
Promedio	13	16,0	34,8	22,2	70,8	15,8	34,8	11,9	
Mediana	0	15,7	34,8	22,2	70,8	15,6	34,7	12,2	
Máximo	1649	17,8	35,2	26,1	71,8	17,7	35,2	23,8	
Obs. No disp.	0	0	19	0	0	0	29	1	
Desv. Std.	86,0	1,0	0,2	2,2	0,4	1,0	0,2	7,1	

		Año 2000							
		Total estaciones	502						
		Estac. positivas	212						
		Estac. negativas	290						
		Total huevos	10473						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	14,0	34,5	18,4	70,1	13,4	34,4	0,1	
Promedio	21	15,9	34,8	22,1	70,7	15,7	34,8	11,8	
Mediana	0	15,9	34,8	22,0	70,6	15,8	34,8	11,8	
Máximo	518	17,3	35,0	26,0	71,6	17,1	35,0	24,0	
Obs. No disp.	0	0	3	0	0	0	2	0	
Desv. Std.	61,0	0,7	0,1	2,0	0,3	0,8	0,1	7,0	

		Año 2001							
		Total estaciones	514						
		Estac. positivas	60						
		Estac. negativas	454						
		Total huevos	7465						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	13,7	34,4	18,6	70,1	13,1	34,4	0,1	
Promedio	15	15,7	34,7	22,1	70,8	15,6	34,7	12,2	
Mediana	0	15,8	34,7	21,7	70,8	15,6	34,7	12,3	
Máximo	1977	17,1	35,1	26,1	71,8	16,9	35,1	24,0	
Obs. No disp.	0	1	1	0	0	3	3	1	
Desv. Std.	123,0	0,8	0,2	2,3	0,4	0,8	0,2	6,8	

		Año 2002							
		Total estaciones	588						
		Estac. positivas	309						
		Estac. negativas	279						
		Total huevos	18231						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	13,7	34,4	18,4	70,1	13,1	34,4	0,0	
Promedio	31	16,1	34,8	22,3	70,9	15,9	34,8	12,1	
Mediana	1	16,2	34,8	22,2	70,9	15,9	34,8	12,5	
Máximo	1607	18,1	35,1	26,0	71,9	17,9	35,1	24,0	
Obs. No disp.	0	1	1	0	0	4	4	0	
Desv. Std.	97,6	1,2	0,2	2,2	0,4	1,2	0,2	7,0	

		Año 2003							
		Total estaciones	537						
		Estac. positivas	129						
		Estac. negativas	408						
		Total huevos	9264						
	Número de huevos/estación	Temperatura superficial ° C	Salinidad superficial (psu)	Latitud	Longitud	Temperatura a 10 m ° C	Salinidad a 10 m (psu)	Hora estación	
Mínimo	0	13,3	34,5	18,4	70,1	13,2	34,5	0,0	
Promedio	17	16,0	34,8	21,8	70,8	15,8	34,8	12,1	
Mediana	0	15,8	34,8	21,8	70,8	15,7	34,8	12,5	
Máximo	1386	18,3	35,2	26,0	71,7	17,8	35,1	24,0	
Obs. No disp.	0	1	1	0	0	1	1	0	
Desv. Std.	107,9	0,9	0,1	2,1	0,4	0,9	0,1	7,0	

Tabla 13

Resumen ajuste GAM Poisson con sobre-dispersión para la variable conteo de huevos. Grados de libertad y test F para los efectos no-paramétricos

	Df Npar	Df Npar	F	P(F)
Intercepto		1		
Año		8		
s(Lat)		1	3	12,77125
s(Lon)		1	3	18,44006
s(T0)		1	3	0,84321
s(S0)		1	3	3,2008
				0,4702541
				0,0228548

Devianza nula: 391923 sobre 4896 grados de libertad Devianza residual: 310335 sobre 4872 grados de libertad Pseudo R ² : 0,208 Parámetro de dispersión: 260

Tabla 14

Resumen ajuste GAM Binomial para la variable presencia/ausencia de huevos. Grados de libertad y test Chi-cuadrado para los efectos no-paramétricos.

	Df Npar	Df Npar	Chisq	P(Chi)
Intercepto		1		
Año		8		
s(Lat)		1	3	183,629
s(Lon)		1	3	37,8925
s(T0)		1	3	36,0138
s(S0)		1	3	13,6009
				0,0000000
				0,0000000
				0,0000001
				0,0033922

Devianza nula: 5955 sobre 489 grados de libertad Devianza residual: 5198 sobre 4871 grados de libertad Pseudo R ² : 0,127
--

Tabla 15

Resultados de la prueba de diferencias significativas en el análisis de preferencia-rechazo mediante bootstrap (2000 remuestreos). Diferencia máxima indica la mayor diferencia entre las frecuencias acumuladas de temperatura y número de huevos. Número > Real, indica el número de veces que en el remuestreo (2000) esta diferencia fue superada. Probabilidad indica la proporción de veces que la diferencia máxima fue superada en los remuestreos. Para que sea significativa la diferencia (preferencia o rechazo) la probabilidad debe ser menor a 0,05

Año	Diferencia máxima	Número > Real	Probabilidad
1992	0,0835	907	0,453
1995	0,355	5	0,002
1996	0,369	0	0
1997	0,252	34	0,017
1999	0,236	482	0,241
2000	0,137	226	0,113
2001	0,396	198	0,099
2002	0,161	106	0,053
2003	0,396	22	0,011

Tabla 16

Estimaciones de P_0 según nueva metodología (Estimaciones actuales), comparadas con los estimados anteriores (Estimaciones anteriores). P_0 en huevos/0,05 m²/día. Error estándar de P_0 y n: número de puntos utilizados en la regresión. Biomasa en toneladas

Año	Estimaciones anteriores				Estimaciones actuales			
	Po	Error Est.	n	Biomasa	Po	Error Est.	n	Biomasa
1992	39.01	4.48	718	506783	41.8	7.71	659	543465
1995	31.31	9.79	535	712020	20.0	7.63	748	454166
1996	26.90	5.15	443	385278	15.8	4.68	574	226403
1997	23.75	5.68	411	642394	14.9	4.74	738	403607
1999	25.71	5.93	296	363393	23.0	8.18	410	328861
2000	42.17	5.98	606	754040	29.7	7.06	698	530421
2001	66.85	27.37	167	425890	30.2	29.37	239	192367
2002	25.30	3.23	1144	746444	15.9	3.04	2048	361790
2003					37.1	16.03	492	424417

Tabla 17

Parámetros calculados a través de la aplicación del MPH para la anchoveta en la I y II Regiones. Incluye biomasa recalculadas en base al nuevo P_0

AÑOS	PESO (g)	FECUNDIDAD PARCIAL (Nº ovocitos)	FRACCION DESOVANTE (%)	PROPORCION HEMBRAS (%)	PRODUCCION DE HUEVOS P_0 (nº huevos / 0,05 m ² día)	BIOMASA STOCK DESOVANTE	
						Limite inferior o estructural (t)	Interpolación o funcional (t)
1992	21	14.917	0,16	0,48	41,8		543465
1995	29	15.405	0,18	0,42	20,0		454166
1996	30	19.658	0,17	0,46	15,8		226403
1997	22	12.102	0,13	0,52	14,9		403607
1999	23	10.600	0,17	0,46	23,0		328861
2000	31	16.279	0,19	0,50	29,7		530421
2001	32	15.911	0,19	0,47	30,2		192367
2002	21	16.521	0,14	0,51	15,9		361790
2003	25	13327	0,18	0,49	37,1	522314	424417

Tabla 18

Estimaciones históricas de la tasa de mortalidad diaria de huevos en la aplicación del MPH para la anchoveta en la I y II Regiones

Año	Estimaciones anteriores						Estimaciones actuales			
	P_0	S_{P_0}	Z	S_Z	n	Biomasa	P_0	Error Est.	Z	S_Z
1992	39,01	4,48	0,82	0,124	718	506783	41,8	7,71	1,15	0,138
1995	31,31	9,79	0,59	0,268	535	712020	20,0	7,63	0,63	0,221
1996	26,90	5,15	0,38	0,152	443	385278	15,8	4,68	0,48	0,204
1997	23,75	5,68	0,27	0,239	411	642394	14,9	4,74	0,44	0,365
1999	25,71	5,93	0,66	0,244	296	363393	23,0	8,18	0,78	0,236
2000	42,17	5,98	1,05	0,169	606	754040	29,7	7,06	0,77	0,169
2001	66,85	27,37	0,44	0,300	167	425890	30,2	29,37	0,80	0,520
2002	25,30	3,23	0,49	0,113	1144	746444	15,9	3,04	0,62	0,152
2003							37,1	16,03	0,83	0,299

ANEXOS

A N E X O 1

**Crterios para la delimitación del
área de desove en la aplicación
del MPDH para la estimación de la
biomasa desovante de anchoveta
en la zona norte de Chile**



CRITERIOS PARA LA DELIMITACI3N DEL 1REA DE DESOVE EN LA APLICACI3N DEL MPDH PARA LA ESTIMACI3N DE LA BIOMASA DESOVANTE DE ANCHOVETA EN LA ZONA NORTE DE CHILE

1. Dise1o de muestreo de plancton y cobertura espacial

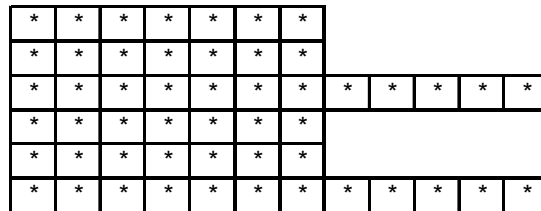
El dise1o de muestreo a utilizar deber ser un muestreo aleatorio sistem1tico, el cual debe cubrir toda el 1rea de desove en el per1odo de m1xima actividad reproductiva de la especie. De acuerdo a la experiencia previa, se plantea una cobertura latitudinal desde el l1mite norte del pa1s hasta los 26° de latitud sur, cubriendo longitudinalmente al menos 60 mn desde la costa.

La distancia entre estaciones que se recomienda debe ser de 3 a 5 millas n1uticas. El n1mero de estaciones de muestreo depender1 b1sicamente del nivel de precisi3n deseado, de la varianza de la variable de inter1s y del error que se est1 dispuesto a asumir. Para tal decisi3n, se puede utilizar como variable indicadora la densidad media de huevos por unidad de muestreo. Seg1n los estudios realizados por IFOP y la UNAP-Univ. de Antofagasta, efectuando entre 500 y 750 estaciones (app), se logran niveles aceptables de precisi3n en los estimados de biomasa.

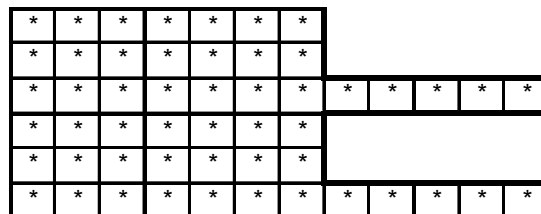
2. Delimitaci3n del 1rea de estudio

El 1rea de estudio o 1rea de crucero (que para este efecto son sin3nimos), debe ser delimitada a trav1s de los contornos de las estaciones muestreadas, sin realizar interpolaciones inter-transectas, lo que se puede traducir en la suma aritm1tica de las 1reas que representa cada estaci3n de muestreo. Por ejemplo, si el dise1o de muestreo establece transectas cada 10 mn, con estaciones cada 5 mn dentro de la transecta, se deber1 realizar la sumatoria del 1rea de cobertura de

las estaciones muestreadas, en este caso de 50 mn². Por ejemplo, si la disposici3n de las estaciones de muestreo en seis transectas, se diagrama a trav3s de la siguiente figura:



El c3lculo del 3rea de cruceo debiera corresponder a la sumatoria de las 3reas representadas por cada estaci3n de muestreo, sin realizar interpolaciones entre las transectas m3s largas, de forma tal, que el 3rea delimitada se pueda diagramar de la siguiente manera:



De este modo las transectas largas (en general fuera de las 30 mn) conservan el 3rea de las transectas costeras.

El principio fundamental para la delimitaci3n del 3rea de estudio esta basado en el dise1o de muestreo propuesto, el cual considera estaciones equidistantes dentro de una transecta, las cuales son representativas del 3rea adyacente. Es decir, estaciones cada 5 mn, representan un 3rea de 25 mn² cuando la distancia entre transectas es de 5 mn, mientras que cuando la separaci3n entre 3stas es de 10 mn, la estaci3n representa un 3rea de 50 mn².



3. Delimitación del área de desove

En los distintos estudios se han utilizado diversos criterios para la delimitación del área de desove, los que en general han expandido el área de desove a sectores no cubiertos por el muestreo (por ejemplo interpolaciones entre las transectas de 60 mn), cuyas consecuencias redundan en que las comparaciones de las estimaciones de biomاسas entre un año y otro tengan ciertas restricciones.

Existen diversos criterios que se podrían utilizar para la delimitación del área de desove del recurso en estudio:

- a) Considerar el área que cumple con las condiciones oceanográficas requeridas para el desarrollo del proceso de desove, como la temperatura y la oferta trófica del área, entre otras.
- b) Plantear que el proceso de muestreo de ictioplancton debe delimitar el área de desove, en función de la presencia o ausencia de huevos de la especie objetivo del estudio.

Basándose en la alternativa b), se propone que los cálculos del área de desove se ciñan a los siguientes principios, los cuales dan lugar al criterio que se le llamará estructural o de límite inferior.



CRITERIO ESTRUCTURAL O DE L3MITE INFERIOR

- Al interior de una transecta, los l3mites estar3n establecidos por las estaciones positivas, es decir, aquellas estaciones con presencia de huevos de la especie en estudio. Si al interior de una transecta existen estaciones negativas entre positivas, se considerar3 un m3ximo de tres estaciones negativas. De este modo, si se tienen dos transectas como las mostradas a continuaci3n, donde aquellas con signo (+) representan una estaci3n positiva:

+					+	+						
+	+	+				+	+	+				

el 3rea de desove queda delimitada de la siguiente forma:

+					+	+						
+	+	+				+	+	+				

Este criterio se basa en los resultados obtenidos del an3lisis geoestad3stico de la densidad de huevos encontrada durante el a3o 2000, el cual, seg3n los modelos ajustados al variograma experimental, entrega una regi3n de influencia (rango) de 23,4 mn (Taller interno, Proyecto FIP 2000-06). Esto quiere decir que en promedio, las observaciones m3s distanciadas de este valor no presentan correlaci3n. As3, se puede establecer que si entre dos estaciones positivas existe un m3ximo de tres estaciones negativas, 3stas se encontrar3n en la regi3n de influencia de las estaciones adyacentes.

Si bien pueden existir diferencias en la regi3n de influencia entre un a3o y otro, se sugiere mantener el criterio de un m3ximo de 3 estaciones negativas entre dos positivas para hacer comparables las estimaciones entre un a3o y otro.



No se realizar3n interpolaciones entre transectas cuando exista un 3rea no muestreada entre ellas. Esto se debe a que el tiempo entre estaciones de distintas transectas puede llegar a superar las 24 horas, lo que para la duraci3n del estadio de huevo de la anchoveta (de no m3s de 72 horas) es una fracci3n importante.

CRITERIO FUNCIONAL O DE INTERPOLACION

- Unir los puntos positivos oce3nicos y costeros entre transectas.
- Interpolarse entre las estaciones positivas terminales (costa y oce3no) de las transectas de 60 mn consecutivas. En la subarea (Loa – Mejillones) donde todas las transectas alcanzan hasta 30 mn de la costa debe interpolarse una distancia m3xima de 30 mn entre las transectas.

Nota: La tesis de J. Toloza (1999) muestra por an3lisis geoestadístico que existe alg3n grado de correlaci3n hasta 30 mn. A distancias mayores no hay correlaci3n entre las estaciones.

- Las estaciones positivas aisladas deber3n examinarse por an3lisis visual y densidad m3nima (categ3ria 6-50 huevos) si constituyen observaciones atípicas. Estos puntos no ser3n considerados para la delimitaci3n del polígono del 3rea a integrar.
- Dos transectas consecutivas sin estaciones positivas no ser3n incluidas en el c3lculo del 3rea de desove.

Una implementaci3n de este criterio en Matlab permite obtener polígonos con las 3reas estimadas, como el presentado en la **Figura 1**.

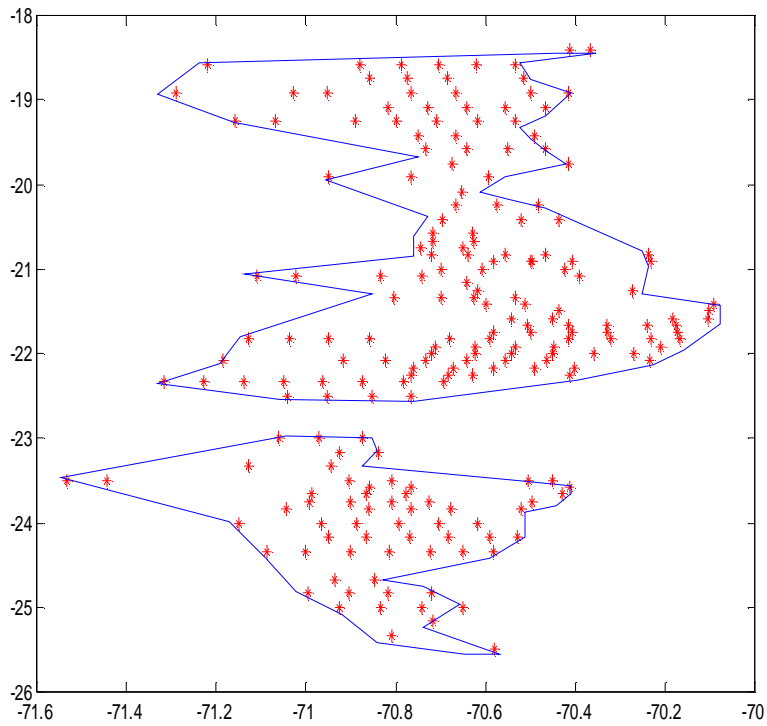


Figura 1. Polígono delimitando el área de desove de anchoveta en la zona norte de Chile, 2000.

4. Delimitaci3n del área cero (rea sin producci3n de huevos)

El rea cero o área sin puesta de huevos, será estimada a través de la diferencia entre el área de crucero y el área de desove delimitada según los criterios antes señalados.

A N E X O 2

**Personal participante por
actividad (HH)**



PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

Hernán Reyes R.	Ocean3grafo Oceanografía, Participaci3n Crucero, toma de datos, procesamiento muestras de salinidad, análisis de informaci3n hist3rica, preparaci3n de informes.
Gabriel Claramunt Q.	Bi3logo Marino, Ms. En Pesquerías. UNAP Coordinador general UNAP – Reproducci3n y Evaluaci3n, preparaci3n de Informe.
Victor Catasti B.	Ingeniero Pesquero Participaci3n crucero, procesamiento y análisis de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar, semanales y mensuales y su asociaci3n con huevos y larvas de peces, preparaci3n de informe.
Mauricio Braun A.	Bi3logo Jefe de Proyecto, Jefe de Crucero, Colecta de muestras, procesamiento y análisis de datos ictioplancton, análisis de informaci3n hist3rica, coordinaci3n general y preparaci3n de informes.
Gustavo Herrera U.	Bi3logo – Ms. En reproducci3n Aspectos reproductivos, procesamiento y análisis.
Carlos Montenegro S.	Tecn3logo Marino – Post título en Estadística. Análisis estadístico y Modelamiento estadístico de la densidad de huevos de anchoveta asociado a variables ambientales.
Jessica Pizarro E.	Bi3logo Marino Ictioplancton
Pedro Pizarro F.	Bi3logo Pesquero Aspectos reproductivos, procesamiento y análisis.
Victor Baros P.	Bi3logo Pesquero Aspectos reproductivos, procesamiento y análisis.
Eduardo DÍaz D.	Bi3logo Marino Aspectos reproductivos, procesamiento y análisis.
Guillermo Galindo P.	Técnico Participaci3n Crucero, colecta de muestras de ictioplancton.

**HORAS/HOMBRE POR ACTIVIDAD PRINCIPAL****A. PERSONAL INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO (IFOP)****Monitoreo reproductivo**

PERSONAL	MUESTREO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
Víctor Baros			40	20	60
Eduardo Díaz		60			60
Alberto Campos		60			60
Luis García	60				60
Juan Ballet	60				60
Pablo Sanhueza	60				60
Juan Almazábal	60				60
Paolo Pastén	60				60

Objetivo específico 2.1

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
Víctor Baros				20	20
Hernán Reyes	100	20	20	20	160
Mauricio Braun	100		40	20	160
Hernán Miles	120				120
Carlos Montenegro			30	20	50
Víctor Catasti	100				100
Guillermo Galindo	100				100

Objetivo específico 2.2

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
Mauricio Braun A.	20	30	50	20	120
Eduardo Díaz	60	60	40	20	180
Víctor Baros	120	50			170
Ricardo Vicencio	80	120			200
Marcial Carrasco	80	120			200
Adolfo Vargas	40	20			60
Román Robles	80	120			200



Objetivo específico 2.3

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Mauricio Braun A.	30	30	30	10	100
Eduardo Díaz		30			30
Victor Baros		40	20		60
Carlos Gaspar	80	40			120
Adolfo Vargas	40	20			60
Marcial Carrasco	80	120			200
Ricardo Vicencio	80	120			200
Román Robles	80	120			200

Objetivo específico 2.4

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Victor Baros		30	20		50
Mauricio Braun A.	10		10	10	30
Adolfo Vargas	20	10	30	20	80

Objetivo específico 2.5

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Mauricio Braun			50	30	80
Victor Baros		20			20
Carlos Montenegro			20	20	40
Rodolfo Serra		20	20		40
Carlos Martínez		20	20		40

Objetivo específico 2.6

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Mauricio Braun			20	10	30
Hernán Reyes		20	20	20	60
Carlos Montenegro			30	20	50
Victor Catasti		50	50	20	120

**B. PERSONAL UNIVERSIDAD "ARTURO PRAT" (UNAP)****Objetivo específico 2.1**

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Jessica Pizarro		160	40	10	210
Gabriel Claramunt			40	40	80
Marcelo Oliva			40	40	80
Samuel Soto		200	10	10	220
Paola Moreno		200	10	10	220

Objetivo específico 2.2

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Gabriel Claramunt			20	40	60
Gustavo Herrera			160	50	210
Pedro Pizarro			50	50	100
Técnico Laboratorio 1		320			320
Técnico Laboratorio 2		320			320

Objetivo específico 2.3

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Gabriel Claramunt			40	50	90
Gustavo Herrera			20	10	30
Yasna Muñoz		200	20	10	230

Objetivo específico 2.4

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Pedro Pizarro			40	50	90
Técnico laboratorio 3		120			120

Objetivo específico 2.5

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
Gabriel Claramunt			100	50	150
Gustavo Herrera			40	50	90
Marcelo Oliva			50	50	100
Pedro Pizarro			40	50	90
Jessica Pizarro			20	20	40
Yasna Muñoz			10	10	20
Samuel Soto			10	10	20
Paola Moreno			10	10	20

A N E X O 3

**Taller de análisis y discusión
de resultados**



TALLER DE PRESENTACI3N DE RESULTADOS Y DISCUSI3N METODOL3GICA FIP 2003-07

El Taller se realiz3 el mi3rcoles 12 de mayo de 2004 en el Auditorio del Instituto de Fomento Pesquero, entre las 10:30 y 13:30 hrs.

El Taller obedece a una actividad identificada en las Bases Especiales y Administrativas del Proyecto y cumple con el objetivo de presentar los resultados obtenidos y discutir sobre aspectos cr3ticos del proyecto.

Al Taller asistieron los Investigadores detallados en el siguiente cuadro:

Nombre	Instituci3n
J. R. Ca3n3n	Corpesca S.A.
S. Hern3ndez	Subpesca
R. Pinochet	FIP
G. Claramunt	UNAP
M. Braun	IFOP
M. Canales	IFOP
H. Reyes	IFOP
V. Catasti	IFOP
V. Baros	IFOP
E. D3az	IFOP
V. Valenzuela	IFOP
J. Far3as	IFOP
C. Canales	IFOP
P. Barr3a	IFOP
R. Serra	IFOP



Otros investigadores invitados de la Universidad y Centros de Investigaciones de Concepci3n y Valparaíso no asistieron.

El Taller se desarrolló considerando nueve presentaciones, las que fueron realizadas de acuerdo con la Agenda, la que se entrega adjunto.

Presentaciones

Las presentaciones sobre “Introducci3n al método de producci3n de huevos para estimar biomasa desovante” y “Estrategias de muestreo de cada crucero” fueron realizadas por G. Claramunt. La primera esencialmente consistió en presentar y discutir el método diario de producci3n de huevos (MDPH) y la segunda el diseño de los cruceros realizados en el período 1992 – 2003.

La tercera presentaci3n fue hecha por Hernán Reyes y describió las condiciones oceanográficas de cada uno de los cruceros realizados, en base a la informaci3n de temperatura y salinidad, identificándose aquellos que fueron realizados en años “normales” y años en que ocurri3 un fenómeno El Niño y La Niña.

La cuarta presentaci3n consistió en presentar los resultados sobre los análisis de la asociaci3n de las variables ambientales con la distribuci3n de los huevos. Para este efecto se consideraron tres aproximaciones metodológicas. La primera fue presentada por G. Claramunt y consideró el método del cociente y el de Perry y Smith (1994). Este análisis fue mostrado en el Taller de SPACC “Small pelagic fish spawning hábitat and the Egg Daily Production Method” realizado en enero en Concepci3n. La segunda fue presentaci3n estuvo a cargo de Victor Catasti y consideró un enfoque sobre la base de GIS, realizando un análisis cartográfico entre la distribuci3n de los huevos y la TSM y un análisis de tendencia para determinar rangos de preferencia de la distribuci3n de los huevos respecto a las



gradientes t3rmicas. El tercer an3lisis fue comentado por R. Serra y corresponde al an3lisis realizado por C. Montenegro con una aproximaci3n con GAM. Los tres trabajos concluyen lo mismo y que es que no existe una preferencia sobre un rango de temperaturas y salinidad para el desove de la anchoveta. Se discuti3 sobre la necesidad de considerar otras variables a las empleadas como por ejemplo las condiciones de viento inmediatamente antes y durante el crucero, puesto que por ejemplos temporales podr3an contribuir a una mayor dispersi3n de los huevos enmascarando las preferencias para el desove; necesidad de realizar un muestreo oceanogr3fico hasta los 500 m de profundidad para realizar an3lisis de circulaci3n y su impacto en la distribuci3n del desove.

El quinto tema "Estadios de huevos, asignaci3n de edades y c3lculo de P_0 " fue presentado por G. Claramunt. Aqu3 se explic3 la modificaci3n introducida para el c3lculo del P_0 , que consiste en la agrupaci3n por cohortes diarias, la inclusi3n de las estaciones "cero" dentro del 3rea de desove y en casos en que se esperan cohortes, pero 3stas no son muestreadas y finalmente por el ajuste a trav3s de una regresi3n no lineal ponderada por el inverso del error est3ndar. Esto est3 descrito en el 2do Informe de Avance del proyecto.

El sexto tema "Par3metros de adultos: Fecundidad, peso promedio hembras, proporci3n sexual y fracci3n desovante" fue presentado por Victor Baros. Aqu3 tambi3n se explic3 el monitoreo del proceso de maduraci3n sexual de la anchoveta para determinar el inicio del proceso masivo de desove y consecuentemente el momento para iniciar el crucero para muestreo de los huevos y de los adultos. La presentaci3n incluye una tabla comparativa de los resultados obtenidos en los cruceros realizados entre 1992 y 2003.



Relacionado con el tema de los parámetros de los adultos se realizó una séptima presentación, que estuvo a cargo de G. Claramunt y que muestra la relación entre la fracción diaria de hembras desovantes y las tallas de las hembras. Este resultado también fue mostrado en el Taller de SPACC “Small pelagic fish spawning habitat and the Egg Daily Production Method” realizado en enero en Concepción. Los resultados muestran una relación asintótica de la frecuencia de desove desde los 13 cm y que disminuye en tallas menores. Esto implica que en un stock de anchoveta muy juvenalizado la producción de huevos de la población disminuye por este efecto.

La octava presentación estuvo a cargo de G. Claramunt y mostró la biomasa desovante estimada de la anchoveta del norte. También mostró la serie de los años 1992 a 2002 recalculada debido a la modificación del procedimiento de cálculo. Esto se hizo en un taller interno desarrollado en enero en IFOP Valparaíso.

La última presentación “Identificación de aspectos críticos y proposiciones de mejoras” a cargo de R. Serra. En ella se identificaron y discutieron las principales fuentes de error y se propusieron mejoras para su solución. Se explicó que las variables a ser estimadas para estimar la biomasa desovante tienen un efecto multiplicativo, es decir, subestimaciones o sobreestimaciones van a incidir en sub o sobreestimaciones de la biomasa desovante.



Recomendaciones

a) 3rea de crucero

El examen de las 3reas de desove para los a3os 1992 – 2003 revela fuertes variaciones entre a3os. Se observan variaciones de tama3o y de desplazamientos en sentido latitudinal y longitudinal. En varios a3os se observa que el 3rea de desove sobrepasa en sentido oce3nico el 3rea cubierta por el crucero; en otros a3os se observa que el desove se extiende de manera m3s importante hacia el sur del Per3. Las causas de estas variaciones espaciales no son entendidas e impredecibles. Este factor se constituye entonces en una importante fuente de error en la estimaci3n de la biomasa desovante.

Por consiguiente, a fin de asegurar una mejor cobertura del 3rea de desove **es necesario extender la cobertura del crucero hasta 90 o 100 mn de la costa.**

Un aspecto relativo al 3rea de desove es la interrogante sobre el desove que ocurre en el sur del Per3. Hasta la fecha se hab3a supuesto que su ocurrencia en el sur del Per3 no era importante y que este se produc3a principalmente en el norte de Chile. Esto debe ser revisado y para ello en el 9º Taller de Evaluaci3n Conjunta de los stocks de anchoveta y sardina del sur del Per3 y norte de Chile, desarrollado por IFOP e IMARPE, se recomend3 realizar mapeos tem3ticos que sinteticen la distribuci3n de los huevos y larvas de anchoveta, con la informaci3n disponible desde 1990. Tamb3n se propuso hacer lo mismo con informaci3n biol3gico pesquera para analizar la distribuci3n espacio- temporal de las capturas, tallas y madurez sexual. Estos resultados permitir3an evaluar la magnitud del desove en el sur del Per3.



Tambi3n se discuti3 la necesidad de mejorar la estimaci3n del 3rea de desove. A la fecha se utiliza un m3todo “ad-hoc” siendo necesario contar con un procedimiento formal. Para ello se sugiri3 explorar por la l3nea de los m3todos geoestad3sticos.

b) Distribuci3n de los huevos y su asociaci3n con las condiciones ambientales

Si bien no es el objetivo del estudio, tambi3n se plante3 la conveniencia de continuar avanzando en la identificaci3n de los factores ambientales que inciden en la din3mica espacial del desove.

Sobre este respecto se mencion3 informaci3n satelital para estudios de procesos de transporte (altura mar, vientos) y de producci3n (clorofila). Tambi3n considerar los datos de viento tomados a bordo del barco de investigaci3n y de zooplancton con redes bongo.

c) Muestreo de adultos

Otra fuente potencial de error es el muestreo de adultos. El muestreo de los adultos debe ser representativo del stock a fin de minimizar errores en la estimaci3n de la biomasa desovante. Asimismo el muestreo de los adultos debe cubrir toda el 3rea de desove. Por ello se recomienda realizar el mayor esfuerzo para reforzar el muestreo de adultos. Un problema es la dificultad de obtener muestras en las sub-3reas con poca presencia de biomasa y otra es el costo del procesamiento de un mayor n3mero de muestras.



Una mejor distribuci3n del muestreo permite adem3s un post-estratificaci3n del 3rea de desove, lo que redundo en una mejor estimaci3n de la biomasa desovante.



AGENDA

TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN METODOLÓGICA

Proyecto FIP 2003 – 07 “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2003”

Fecha: 12 de mayo de 2004. Inicio 10:30 hrs.

Lugar: Auditorio Instituto de Fomento Pesquero
Blanco 839
Valparaíso

1. Introducción al método de producción de huevos para estimar biomasa desovante.
2. Estrategias de muestreo de cada crucero.
3. Condiciones oceanográficas durante los Cruceros.
4. Distribución de huevos y asociación con variables ambientales.
5. Estadios de huevos, asignación de edades y cálculo de P0.
6. Parámetros de adultos: Fecundidad, peso promedio hembras, proporción sexual.
7. Relación entre la fracción diaria de hembras desovantes y tallas de las hembras.
8. Biomasa: Tendencias.
9. Identificación de aspectos críticos y proposiciones de mejoras.



**Sección Documentación,
Difusión y Bibliotecas**

**IFOP
Valparaíso
Chile**