



INFORME FINAL

FIP Nº 98 - 07

Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta en las Regiones I y II, 1998

noviembre

1 9 9 9

REQUIRENTE

CONSEJO DE INVESTIGACION PESQUERA - CIP
Presidente del Consejo: JUAN MANUEL CRUZ SANCHEZ

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - IFOP
Director Ejecutivo: PABLO ALVAREZ TUZA



JEFE DE PROYECTO

JORGE CASTILLO PIZARRO

AUTORES

*Evaluación y distribución espacial del
reclutamiento de anchoveta*

**JORGE CASTILLO
MARCOS ESPEJO**

*Análisis georeferenciado de las variables
que afectan el reclutamiento de anchoveta*

**MARIA ANGELA BARBIERI
VICTOR CATASTI**

*Hidrología, fluorescencia, clorofila a
y el reclutamiento de anchoveta*

**JOSÉ L. BLANCO
JORGE OSSES**

Biología Pesquera

PATRICIO BARRÍA

PERSONAL PARTICIPANTE

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

EVALUACIÓN Y GEOREFERENCIACIÓN

Jorge Castillo
José Córdova
Marcos Espejo
M. Angela Barbieri
Víctor Catasti
Manuel Rojas

OCEANOGRAFÍA

José Luis Blanco
Jorge Osses

BIOLOGÍA PESQUERA

Patricio Barría
Miguel Cortés
William Miranda



I. RESUMEN EJECUTIVO

Se presentan los resultados de la evaluación de la biomasa y distribución espacial de la anchoveta y la fracción reclutas mediante técnicas acústicas y las condiciones oceanográficas asociadas a este proceso, durante la primavera de 1998 - verano de 1999.

Se analizan los factores climático-oceanográficos que afectan el reclutamiento mediante dos procedimientos, el primero corresponde a la aplicación de técnicas de análisis de sistemas de información geográfica para determinar las posibles correlaciones en datos georeferenciados que expliquen las densidades de anchoveta y de huevos y larvas de esta especie en los periodos invernales de 1985 a 1995, con datos recolectados en cruceros de evaluación acústica-bioceanográfica realizados por IFOP y en las primavera-verano del periodo 1996-1998. El segundo método de análisis corresponde al ajuste del modelo de Ricker de Stock / Recluta de anchoveta, considerando los factores climático-oceanográficos en el período 1975-1998.

Los datos básicos para la evaluación directa de la biomasa de anchoveta y de la fracción reclutas, se obtuvieron por medio de un crucero de prospección acústica y oceanográfica entre Arica y Antofagasta (Regiones I y II) a bordo del B/I "Abate Molina", entre el 25 de noviembre y el 12 de diciembre de 1998, correspondiente a la época del pico principal de reclutamiento de anchoveta en la zona norte. La información de vientos de estaciones costeras en la zona norte, provienen de la base de datos de propiedad del IFOP.

Se incluye un anexo en que se entregan los descriptores de los datos almacenados en medios magnéticos.



En el crucero, el muestreo acústico se efectuó mediante transectas perpendiculares a la costa y paralelas entre sí de una longitud de 10 mn, sistemáticamente distribuidas con una separación entre transectas de 5 mn, cubriéndose el área con 66 transectas. El muestreo oceanográfico, se realizó cada tres transectas acústicas, en estaciones ubicadas sobre el track de navegación a 1, 5 y 10 mn de la costa, completándose 66 estaciones. Se efectuaron 66 lances de pesca de reconocimiento de ecotrazos y para muestreo biológico utilizando una red de arrastre a media agua de diseño ENGEL con 13 mm de tamaño de malla en el copo, amantillada con portalones Suberkruv.

Se realizaron experiencias para determinar la relación TS-L de anchoveta *in situ*, durante los lances de pesca y en 2 condiciones experimentales.

Se realizaron un total de 67 lances de pesca con red de mediagua, obteniéndose en 31 de ellos capturas de anchoveta (46,2%). Los tamaños de los ejemplares fluctuaron entre los 5,0 y 17,0 cm de longitud total. Del total de ejemplares muestreados (6.020), el porcentaje de reclutas (individuos menores o iguales a 12 cm) fue de 86,6% en número y 65,5%, en peso. Al respecto, el peso promedio del total de las anchovetas fue de 8,6 g y el de los reclutas de 6,5 g.

Las principales conclusiones que se derivan del análisis de los resultados son:

En la época de máximo desove de la anchoveta la zona se caracteriza por:

- índices de surgencia y turbulencia aumentando desde sus valores mínimos, sin alcanzar los máximos
- el número de eventos Lasker va disminuyendo desde su valor máximo.
- temperaturas superficiales del agua de mar más bajas, entre 14 y 17°C, con anomalías entre -1 y 1°C.



En noviembre de 1998 la zona de estudio (período del máximo reclutamiento de la anchoveta), se caracterizó por presentar condiciones normales en una tendencia hacia un período frío.

- predominio de vientos moderados (>5 m/s) con índices bajos de surgencia y turbulencia y un mayor número de eventos Laker.
- temperatura y salinidad superficial dentro de los rangos normales 14,1 – 21,7°C y 34,5 - 35,2 psu, respectivamente.
- isoterma de 15°C normal, entre 19 y 56 m
- predominio de las masas de agua ASAA y AESS, y escasa influencia de AST.

La distribución de frecuencias de longitud fue polimodal, con un grupo principal de reclutas situado entre los 5,0-12,0 cm y un grupo secundario con moda en los 15,0 cm. Se presentaron diferencias significativas en las distribuciones de frecuencia de longitud por zona.

En la zona de Arica se observó una menor presencia de reclutas en las capturas (51,8% en número y 29,0% en peso) y los ejemplares capturados fueron los de mayor tamaño del área de estudio. En su distribución polimodal, el peso promedio total de las anchovetas fue de 17,0 g y la de los reclutas fue de sólo 9,5 g.

En la zona de Iquique hubo una alta presencia de reclutas. El porcentaje de reclutas en número y peso fue de 93,6 y 84,8%, respectivamente. El peso promedio del total de ejemplares de anchoveta fue de 8,0 g y de los reclutas de 7,2 g.

En la zona de Antofagasta la distribución de longitudes también fue polimodal, destacándose también el grupo de ejemplares reclutas. El porcentaje de reclutas fue



de 92,1% en número y de 78,8% en peso y el peso promedio para el total de ejemplares y para los reclutas fue de 5,6 y 4,8 g, respectivamente. En esta zona se detectaron los pesos promedios más bajos del área estudiada.

En el período de estudio y al igual que en la primavera de 1996 (RECLAN 9611), en el crucero RECLAN 9811 se observó una fuerte segregación espacial de la anchoveta por tamaños, registrándose presencia de reclutas y adultos en diferentes proporciones en las tres zonas en que se dividió la zona de estudio. No obstante lo anterior y a diferencia de años anteriores, la segregación espacial del reclutamiento de anchoveta fue inversa, registrándose la menor proporción de reclutas en la zona de Arica.

Los pesos promedio de los ejemplares presentaron diferencias significativas por zonas de pesca, lo cual implicaría la existencia de efectos densodependientes. Adicionalmente, los pesos medios por tamaño del área de estudio, disminuyeron en la zona de Antofagasta, lo cual podría suponer una disminución en la oferta trófica causada por alteraciones del medio ambiente (zona de mayor turbulencia).

El stock desovante presentó predominio de hembras en el área de estudio (60,2%) sobre machos (39,8%), lo que fue significativo a tallas mayores a los 15,5 cm. En los rangos de longitudes inferiores se mantienen valores cercanos a 0,5.

En relación a los estados de madurez el 62,3% de los ejemplares se encontraron en estado 5 (desove) y un bajo porcentaje (27,1%) en estado 2. Latitudinalmente, se observó un desfase en el proceso reproductivo, presentándose de norte a sur una disminución progresiva de los estados 5 (desove) y un incremento gradual de los estados 2 y 3.

El análisis de los factores que inciden en el reclutamiento señala que las variables ambientales utilizadas son significativas como fuente de mortalidad y representan



menos del 15% de la varianza total. Por lo tanto, deben estudiarse con mayor cuidado los procesos y mecanismos del reclutamiento a diferentes escalas espaciales para que sean incorporadas en un modelo de carácter predictivo o explicativo del reclutamiento.

Se ajustaron las siguientes ecuaciones, que relacionan la intensidad de blanco (TS) y la talla (L) según:

$$TS = 18,81 \text{ Log } (L) - 72,61; R^2 = 0,93; N = 18.$$

La ecuación estandarizada al modelo general fue:

$$TS = 20 \text{ Log } (L) - 73,88.$$

La ecuación del $TS_{kg} - L$ fue:

$$TS_{kg} = -11,72 \text{ Log } (L) - 20,97$$

La biomasa de anchoveta estimada con el método geoestadístico alcanzó a 315.521 t con un coeficiente de variación de 0,11 y un error del 18,1%, este valor representa una reducción cercana al 52,1 % y 34,4% respecto al verano de 1998 (RECLAN 9801) (647.760 t) y a la primavera de 1996 (RECLAN 9611) (472.822 t), respectivamente.

La biomasa de reclutas de anchoveta, en peso, estimada según el método geoestadístico alcanzó 206.666 t, con un CV de 0,13, valor que representa un incremento del 38,7% y 65,6% respecto al verano de 1998 (RECLAN 9801) y primavera de 1996 (RECLAN 9611), respectivamente.



La abundancia total de anchoveta expresada en número de ejemplares, fue de 34.295,7608 millones de ejemplares, con un CV de 0,79. La fracción de reclutas en número fue 29.700,1289 millones de ejemplares, con un CV de 0,46.

Las especies que se identificaron con los lances de pesca y que se detectaron en la prospección acústica fueron la anchoveta (*Engraulis ringens*), mote ó bacaladillo (*Normanichthys crockeri*), pez linterna (*Vinciguerria lucetia.*), jurel (*Trachurus murphyi*), sardina española (*Sardinops sagax*) y langostino (*Pleuroncodes monodon*).

La distribución espacial de la anchoveta se caracterizó por su alta presencia en el sentido latitudinal, registrándose en prácticamente toda la zona de estudio, en el sentido longitudinal se distribuyó entre la costa y las 8 mn, llegando ocasionalmente hasta las 9 mn; y un nivel gregario relativamente alto, registrándose importantes concentraciones en áreas relativamente pequeñas.

Es posible diferenciar tres sectores desde el punto de vista de dominio de los reclutas, entre Antofagasta y caleta Patillos (20°40'S); entre caleta Patillos y Pisagua con nivel intermedio de presencia de reclutas, y al sector ubicado en las cercanías de Arica como dominio de adultos.

Batimétricamente, la anchoveta se ubicó entre los 10 y 30 m, registrándose el mayor número de agregaciones en los primeros 20 m. Esta distribución estuvo asociada a las isotermas de 13 a 22°C, presentándose dos modas en la distribución de temperatura, una entre los 15 y 16°C y otra en los 19-20°C y salinidades entre 34,1 y 35,0 psu, con las mayores frecuencias de cardúmenes en 34,6 y 34,8 psu.

Los Indices de Densidad (ID) y Cobertura (IC) indican que la anchoveta ocupó el 25,2% del área prospectada, mientras que el ID alcanzó a 395,3 t/mn².



II. INDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN EJECUTIVO	1
II. INDICE GENERAL	7
III. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS	13
IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO	23
1. Objetivo general	23
2. Objetivos específicos	23
V. ANTECEDENTES	25
VI. METODOLOGIA	31
1. Zona de estudio y plan de muestreo	31
2. Metodología por objetivo	31
2.1 Objetivo 2.1 Cuantificar, mediante métodos hidro- acústicos, el reclutamiento de la anchoveta, en número y biomasa, durante el período de máxima intensidad del proceso 1998-1999, en la zona que comprende la I y II Regiones.	31
2.1.1 Muestreo acústico	32
2.1.2 Calibración del sistema acústico	33
2.1.3 Identificación de especies	39
2.1.4 Procesamiento de la información acústica	42
2.1.5 Estimación de la biomasa	42
2.1.6 Estimación de la varianza	47



2.2	Objetivo 2.2 Determinar la estructura de tallas y los pesos medios de las categorías de talla de la anchoveta en la zona de estudio, especialmente en los núcleos de abundancia del recurso, y estimar índices de densidad relativa juveniles/adultos	53
2.2.1	Muestreo de las capturas obtenidas con lances a mediagua	54
2.2.2	Muestreo biológico	58
2.2.3	Índices de cobertura y abundancia relativa	61
2.3	Objetivo 2.3 Describir y analizar la distribución geográfica del recurso durante el período de máxima intensidad del reclutamiento en la zona de estudio, identificando áreas principales de reclutamiento y caracterizando su asociación con las condiciones bio-oceanográficas predominantes.	62
2.3.1	Distribución de los recursos	62
2.3.2	Condiciones Meteorológicas y Oceanográficas durante el crucero RECLAN 9811	63
2.4	Objetivo 2.4 Realizar un análisis de los factores climáticos, bio-oceanográficos, biológicos y pesqueros que podrían estar incidiendo sobre el proceso de reclutamiento de la anchoveta en la zona de estudio en los años recientes	65
2.4.1	Interrelaciones espaciales de las variables	66
2.4.2	Análisis del modelo stock-recluta de la anchoveta	71
VII	RESULTADOS	77
1.	Condiciones meteorológicas y oceanográficas durante el crucero RECLAN 9811	77
1.1	Viento	77
1.2	Temperatura	77
1.3	Salinidad	79
1.4	Densidad	79



1.5	Oxígeno	80
1.6	Masas de agua	81
1.7	Biomasa fitoplanctónica durante el crucero RECLAN 9811	81
1.7.1	Distribución de clorofila-a y fenopigmentos superficiales e integrados	81
1.7.2	Distribución areal de la biomasa fitoplanctónica	
1.7.3	Asociación entre la clorofila superficial y el ambiente físico	83
1.7.4	Distribución batimétrica de la clorofila en sentido paralelo a la costa	85
1.7.5	Distribución de la biomasa fitoplanctónica en las transectas perpendiculares a la costa	87
2.	Biología pesquera	88
2.1	Resultados de los lances de pesca	88
2.2	Determinación de la estructura de tamaños	89
2.3	Determinación de la proporción sexual	91
2.4	Determinación de los estados de madurez	91
2.5	Determinación de los pesos medios	92
3.	Estimación del reclutamiento en peso y número	93
3.1	Calibración del sistema acústico	93
3.1.1	Calibración electroacústica	93
3.1.2	Relación funcional entre la intensidad de blanco (TS) y la longitud de anchoveta	93
3.2	Estimación de la biomasa	98
3.2.1	Método tradicional	98
3.2.2	Método de las tallas (acústico)	99
3.2.3	Método geoestadístico y descripción de las estructuras	99
3.2.4	Precisión de los estimados de biomasa	100
3.3	Distribución espacial de los recursos	101



3.3.1	Anchoveta	101
3.3.2	Mote	102
3.3.3	Pez linterna (<i>Vinciguerria lucetia</i>)	103
3.3.4	Total de especies	104
3.4	Indices de cobertura y densidad de anchoveta	104
4.	Condiciones climáticas y oceanográficas que afectan el reclutamiento de anchoveta en la zona norte	104
4.1	Condiciones oceanográficas que afectan el reclutamiento de anchoveta en la zona norte. Estaciones costeras. Períodos 1971-1998	104
4.1.1	Viento	104
4.1.2	Temperatura Superficial del Mar	107
4.1.3	Variación temporal de la temperatura con profundidad ,.....	107
4.2	Hidrografía durante los cruceros de invierno del período 1985-97	108
4.2.1	Temperatura	108
4.2.2	Salinidad	108
4.3	Distribución espacial de la anchoveta y las condiciones bio-oceanográficas en invierno	109
4.3.1	Densidad de anchoveta	109
4.3.2	Huevos	110
4.3.3	Larvas	112
4.3.4	Clorofila-a	113
4.3.5	Condiciones bio-oceanográficas y la distribución de anchoveta anchoveta	113
4.4	Distribución espacial de anchoveta y las condiciones bio-oceanográficas en primavera-verano	118



4.4.1	Distribución geográfica de la anchoveta en primavera-verano	118
4.4.2	Condiciones oceanográficas y la distribución de los reclutas de anchoveta	120
4.5	Ajuste al modelo de Ricker	123
VIII	ANALISIS DE RESULTADOS	127
1.	Condiciones oceanográficas	127
1.1	Condiciones oceanográficas asociadas al proceso de reclutamiento de anchoveta, medidos durante el crucero RECLAN 9811	127
1.2	Factores climático-oceanográficos que afectan el reclutamiento de anchoveta	128
1.3	Distribución y abundancia de la biomasa fitoplanctónica	130
2.	Biología pesquera	131
2.1	Modelos no lineales en el ajuste de la relación longitud-peso de la anchoveta	134
3.	Factores que afectan el reclutamiento de anchoveta	138
4.	Estimados de biomasa de la fracción recluta de anchoveta y de la precisión	140
4.1	Estimados de biomasa de la fracción recluta de anchoveta	140
4.2	Precisión de los estimados de biomasa	142
5.	Relación entre los estimados de biomasa y las capturas	144
IX	CONCLUSIONES	145
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	151
FIGURAS		
TABLAS		
ANEXO		





III. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras

- Figura 1. a) Track de navegación acústico; b) ubicación de los lances de pesca de media agua y c) posición geográfica de las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 2. Ubicación de los lances de pesca de arrastre de media-agua. Con captura y Totales.
- Figura 3. Dirección e intensidad del viento medido en las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 4. Distribución superficial de a) temperatura, b) anomalía de temperatura, c) salinidad y d) anomalía de salinidad. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 5. a) Profundidad de la isoterma de 15°C; b) anomalía de la profundidad de la isoterma de 15°C; y distribución superficial de c) densidad (σ_t) y d) oxígeno. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 6. Distribución vertical de temperatura en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 7. Distribución vertical de salinidad en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 8. Distribución vertical de densidad (σ_t) en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 9. Distribución vertical de oxígeno disuelto (ml/l) en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 10. Diagramas t-s de las estaciones en las transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.



- Figura 11. Distribución superficial de clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/L}$). Crucero RECLAN 9811.
- Figura 12. Distribución superficial de clorofila a, feopigmentos y clorofila total integrados (mg/m^2). Crucero RECLAN 9811.
- Figura 13. Diagramas de las asociaciones funcionales entre la clorofila a ($\mu\text{g/L}$) versus la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (psu), clorofila a integrada (mg/m^2) y clorofila total ($\mu\text{g/L}$). RECLAN 9811.
- Figura 14. Distribución vertical de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/L}$), en una transecta paralela a la costa y a 1 mn. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 15. Distribución vertical de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/L}$), en una transecta paralela a la costa y a 5 mn. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 16. Distribución vertical de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/L}$), en una transecta paralela a la costa y a 10 mn. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 17. Distribución vertical de la fluorescencia in vivo (UR) a una, cinco y diez mn de distancia de la costa. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 18. Distribución batimétrica de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 6 (**Lat.** $23^{\circ}40'S$), 12 (**Lat.** $22^{\circ}55'S$), 18 (**Lat.** $22^{\circ}55'S$), 27 (**Lat.** $21^{\circ} 40'S$) y 33 (**Lat.** $21^{\circ} 10'S$). Crucero RECLAN 9811.
- Figura 19. Distribución batimétrica de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 39 (**Lat.** $20^{\circ} 40'S$), 48 (**Lat.** $19^{\circ} 55'S$), 54 (**Lat.** $19^{\circ} 25'S$), 60 (**Lat.** $18^{\circ} 55'S$) y 66 (**Lat.** $18^{\circ} 25'S$). Crucero RECLAN 9811.
- Figura 20. Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lance de pesca en el Crucero RECLAN 9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).



- Figura 21. Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lance de pesca en el Crucero RECLAN 9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).
- Figura 22. Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lance de pesca en el Crucero RECLAN 9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).
- Figura 23. Distribución de frecuencia de longitud de la anchoveta capturada con red de media agua por zona de pesca en el Crucero RECLAN 9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).
- Figura 24. Proporción sexual de la anchoveta capturada con red de media-agua por zona de pesca en el Crucero RECLAN 9811.
- Figura 25. Estados de madurez de la anchoveta capturada con red de mediagua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN 9811.
- Figura 26. Pesos promedios empíricos a la talla de anchoveta obtenidos con red de media-agua por zona de pesca en el Crucero RECLAN 9811.
- Figura 27. Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 1, 2 y 6). Crucero RECLAN 9811.
- Figura 28. Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 10, 12 y 28). Crucero RECLAN 9811.
- Figura 29. Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 37, 54 y 66). Crucero RECLAN 9811.
- Figura 30. Relación funcional de la intensidad de blanco (TS) y la talla (L) de anchoveta ajustadas en los cruceros RECLAN 9611 (Castillo *et al.*, 1998), RECLAN 9801 (Castillo y Espejo, 1998) y en el presente crucero (RECLAN 9811).
- A. Representa los datos originales y sus respectivos ajustes;
 - B. Indica el ajuste al modelo general $TS = 20 \text{ Log } (L) + A$.



- Figura 31. Relación funcional de la intensidad de blanco por kilo (TS kg) y la talla (L) de anchoveta ajustadas en los cruceros RECLAN 9611 (Castillo *et al.*, 1998), RECLAN 9801 (Castillo y Espejo, 1998) y en el presente crucero (RECLAN 9811).
- Figura 32. Lectura acústica (S_a) acumuladas por transecta e intertransecta. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 33. Biomasa en peso (t) y abundancia en número de anchoveta, según el método de las tallas. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 34. Variograma en las direcciones este-oeste, norte-sur y modelo ajustado. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 35. Distribución espacial de anchoveta. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 36. Distribución de la biomasa: a) reclutas b) no reclutas. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 37. Distribución batimétrica de anchoveta en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 38. Distribución espacial de bacaladillo. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 39. Distribución batimétrica de bacaladillo en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 40. Distribución espacial de pez linterna. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 41. Distribución batimétrica de pez linterna en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 42. Distribución espacial del total de especies. Crucero RECLAN 9811.
- Figura 43. Promedio mensual de la componente U (este-oeste) y V (norte-sur); índices de surgencia y turbulencia; y número de eventos Lasker del viento en Arica.



- Figura 44. Promedio mensual de la componente U (este-oeste) y V (norte-sur); índices de surgencia y turbulencia; y número de eventos Lasker del viento en Iquique.
- Figura 45. Promedio mensual de la componente U (este-oeste) y V (norte-sur); índices de surgencia y turbulencia; y número de eventos Lasker del viento en Antofagasta.
- Figura 46. Temperatura superficial del mar, índices de turbulencia y surgencia, y número de eventos Lasker. Promedio mensual del Período 1971 a 1998 (Línea continua) y promedio mensual año 1998 en Arica, Iquique y Antofagasta (Línea segmentada).
- Figura 47. Promedio mensual de temperatura superficial del mar en estaciones costeras de Arica, Iquique y Antofagasta.
- Figura 48. Promedio mensual de anomalía de temperatura superficial del mar en estaciones costeras de Arica, Iquique y Antofagasta.
- Figura 49. Promedio mensual de anomalía temperatura superficial del mar acumulada en estaciones costeras de Arica, Iquique y Antofagasta.
- Figura 50. Distribución temporal de temperatura con profundidad a 5 millas frente a Iquique.
- Figura 51. Temperatura superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Periodo 1984 a 1997.
- Figura 52. Salinidad superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre),. Periodo 1984-1997.
- Figura 53. Mapas de distribución espacial de la densidad acústica de anchoveta en cruceros invernales, periodo 1985-95
- Figura 54. Mapas de distribución espacial de huevos de anchoveta en cruceros invernales, periodo 1985-95.



- Figura 55. Mapas de distribución espacial de larvas de anchoveta en cruceros invernales, periodo 1985-95.
- Figura 56. Mapas de distribución espacial de clo-a en cruceros invernales, periodo 1989-95.
- Figura 57. Cartas de distribución por crucero de densidad acústica de anchoveta.
- Figura 58. Carta de distribución por crucero de la temperatura superficial y temperatura promedio en la superficie y los 50 m de profundidad.
- Figura 59. Número de celdas con presencia de reclutas de anchoveta en relación a la temperatura.
- Figura 60. Densidad de reclutas de anchoveta en relación: a) al gradiente de temperatura superficial y b) gradiente de salinidad superficial.
- Figura 61. Carta de distribución por crucero de la salinidad superficial y salinidad promedio en la superficie y los 50 m de profundidad.
- Figura 62. Número de celdas con presencia de reclutas de anchoveta en relación a la salinidad.
- Figura 63. Carta de distribución por crucero del oxígeno disuelto superficial y oxígeno disuelto promedio en la superficie y los 50 m de profundidad.
- Figura 64. Número de celdas con presencia de reclutas de anchoveta en relación al oxígeno disuelto.
- Figura 65. Centros de gravedad de los reclutas de anchoveta por subzona y zona total.
- Figura 66. Patrón del índice gonadosomático de las hembras de anchoveta de la zona norte de Chile, período 1987-98. Los valores representan el promedio más o menos una desviación estándar.



- Figura 67. A) Relación stock-recluta de anchoveta incorporando variables ambientales.
B) Relación producción anual de huevos-reclutamiento de anchoveta incluyendo variables ambientales
- Figura 68. Comparación de pesos de anchoveta estimados a través del modelo In-lineal y modelo no-lineal.
- Figura 69. Gráfico de residual con respecto a las variables longitud y peso obtenidos en el Crucero RECLAN9811.
A) Modelo In-lineal (residuos en escala logaritmo neperiana)
B) Modelo no lineal (residuos en escala aritmética)
- Figura 70. Relación entre los coeficientes de variación (CV) de las estimaciones acústicas de la biomasa de anchoveta a distintas distancias entre transectas. Cruceros RECLAN 9601, 9611, 9801 y 9811.
- Figura 71. Relación entre las estimaciones acústicas de la biomasa de anchoveta a distintas distancias entre transectas. Cruceros RECLAN 9601, 9611, 9801 y 9811.
- Figura 72. Relación funcional entre la biomasa de anchoveta de primavera-verano y la captura del año siguiente. Los datos (*) corresponden a cruceros de verano realizados a principios del año en que se consideró la captura, se tratan como realizados en la primavera del año anterior. Se descartaron de la relaciones funcionales ajustadas los datos 86/87 y 97/98.
La ecuación ajustada fue:
 $C = - 708,1793 + 755,7115 \text{ Log (BIO)}$; $r^2 = 0,54$; $n = 8$. Siendo C la captura y BIO la biomasa.
- Figura 73. Biomasa (t) (a) y Abundancia (Número) (b) de reclutas de anchoveta de primavera-verano respecto a la captura del año siguiente.



TABLAS

- Tabla 1. Categorías por densidad
- Tabla 2. Resumen de operación por lance de pesca del Crucero RECLAN9801.
- Tabla 3. Pesos promedios (g) de anchoveta obtenidos por zona de pesca en el crucero RECLAN 9811 y comparación con cruceros anteriores. Parámetros a y b estimados de la relación ln – lineal y no lineal.
- Tabla 4. Estimación de parámetros de la relación longitud - peso por zona de pesca y total de la zona de estudio. Crucero RECLAN 9811.
- Tabla 5. Resultados de las calibraciones electroacústicas del sistema EK-500 del B/I Abate Molina para la frecuencia de 38 KHz, por longitudes de pulso (ms). Crucero RECLAN 9811.
- Tabla 6. Resultados de las calibraciones electroacústicas históricas del sistema EK-500 del B/I Abate Molina para la frecuencia de 38 KHz, por longitudes de pulso (ms).
- Tabla 7. Biomasa, Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$ coeficiente de variación (CV) y error (%) de anchoveta y fracción de reclutas (en peso). Crucero RECLAN 9811.
- Tabla 8. Biomasa de la anchoveta y de la fracción recluta en peso y número y Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$, coeficientes de variación (CV) y error (%) por el método geoestadístico y de las tallas (acústico). Crucero RECLAN 9811.
- Tabla 9. Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$, coeficiente de variación (CV) y biomasa de la fracción reclutas de anchoveta. Crucero RECLAN 9811.
- Tabla 10. Índices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (ID) (t/mn²) de anchoveta en toda la zona de estudio y la fracción recluta.



- Tabla 11. Índices de ocupación (en %) por áreas de : a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL).
- Tabla 12. Índices de densidad, por áreas de: a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL).
- Tabla 13. Número de celdas con presencia de: a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL), respecto a la temperatura. Periodos invierno.
- Tabla 14. Índice de Cramer entre densidad de anchoveta, densidad de huevos de anchoveta, densidad de larvas de anchoveta, clorofila a superficial (clo-a), temperatura superficial del mar (TSM) y salinidad promedio (desde la superficie hasta los 50 m).
- Tabla 15. Número de celdas con presencia de a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL), respecto a la salinidad. Periodos de invierno.
- Tabla 16. Número de celdas con presencia de a) a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL), respecto a la clo-a. Periodos de invierno.
- Tabla 17. Superficie (en m^2) ocupada por la anchoveta por cruceros y sub-zona. Periodos Primavera-verano.
- Tabla 18. Temperatura, salinidad y oxígeno superficial promedio por sub-zona y total. Periodo primavera-verano.
- Tabla 19. Índice de cramer de distribución de anchoveta con variables ambientales. Periodo primavera-verano.
- Tabla 20. Matriz de correlación entre las variables: Tem (temperatura del mar), sal (salinidad), Oxi (oxígeno), Den (densidad de reclutas de anchoveta)); en 0prom (superficie) y 50 prom (promedio entre los 0 y 50 m de profundidad) y grd (gradiente).



Tabla 21. Análisis de componentes principales valor propio.

Tabla 22 Análisis de varianza y errores típicos de las variables ajustadas en la regresión : $R = 2,07 \times 10^{19} SSB^{(-5,32 \times 10^{-7} (SSB) - 1,174(S) - 0,00156(IS) + 0,00613(IT))}$

Tabla 23. Análisis de varianza y errores típicos de las variables ajustadas en la regresión: $R = 3,65 \times 10^{14} PH^{(-3,76 \times 10^{-11} (PAH) - 1,142(S) + 0,210(T) + 0,00054(IS) - 0,00282(IT))}$

Tabla 24. Análisis estadístico de la regresión $C = -708,1793 + 755,7115 \text{ Log (BIO)}$.

Tabla 25. Análisis de varianza de la regresión $C = -708,1793 + 755,7115 \text{ Log (/BIO)}$.



IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1. Objetivo General

Caracterizar y evaluar el proceso de reclutamiento del recurso anchoveta en la zona norte del país (Regiones I y II), durante el período correspondiente a 1998-1999.

2. Objetivos específicos

- 2.1 Cuantificar, mediante métodos hidroacústicos, el reclutamiento de la anchoveta, en número y biomasa, durante el período de máxima intensidad del proceso 1998-1999, en la zona que comprende la I y II Regiones.
- 2.2 Determinar la estructura de tallas y los pesos medios de las categorías de talla de la anchoveta en la zona de estudio, especialmente en los núcleos de abundancia del recurso, y estimar índices de densidad relativa juveniles / adultos.
- 2.3 Describir y analizar la distribución geográfica del recurso durante el período de máxima intensidad del reclutamiento en la zona de estudio, identificando áreas principales de reclutamiento y caracterizando su asociación con las condiciones bioceanográficas predominantes.
- 2.4 Realizar un análisis de los factores climáticos, bioceanográficos, biológicos y pesqueros que podrían estar incidiendo sobre el proceso de reclutamiento de la anchoveta en la zona de estudio en los años recientes.





V. ANTECEDENTES

A partir de 1986, la anchoveta en la zona norte ha incrementado su importancia relativa en la pesquería pelágica llegando a constituirse en 1995 en la principal especie con más del 85% de participación en los desembarques con capturas superiores a 1,5 millones de t. Los efectos de la alteración ambiental provocada por El Niño 1997-98, determinaron que durante 1998, las capturas de anchoveta se redujeran cerca del 86% respecto a los niveles registrados en 1995 y 1996.

Desde el punto de vista administrativo, la unidad de pesquería de anchoveta de la zona norte, se encuentra declarada en estado de plena explotación (DS N° 430 de 1991, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción), su administración se basa en la regulación del esfuerzo de pesca a través del control del acceso a la pesquería y al establecimiento de vedas reproductivas y de reclutamiento.

Biológicamente la anchoveta se caracteriza por su corta vida (alrededor de 5 años), con un importante potencial reproductivo, presentando desoves fraccionados durante todo el año, centrado principalmente entre julio y septiembre y en el caso de la zona norte de Chile, reclutándose a la pesquería en las estaciones cálidas, entre noviembre y marzo, existiendo una estratificación temporal y geográfica en el sentido latitudinal del proceso de reclutamiento, iniciándose en Arica, para finalizar hacia fines de febrero en Mejillones. La condición de reclutas se puede definir como aquellos ejemplares con longitud total entre 6 y 12 cm, siendo calificados como prereclutas aquellos individuos con tallas menores a los 6 cm y como reclutados a aquellos con una longitud superior a los 12 cm (Fisher, 1958; Einarson y Rojas de Mendiola, 1963). Otra característica importante de esta especie, lo constituye su alta dependencia de las condiciones oceanográficas que determinan su distribución espacial, niveles de agregación, éxito del desove y consecuentemente los niveles de abundancia.



Estas características determinan que el reclutamiento sea uno de los factores claves en los que se sustenta el nivel de la biomasa del stock explotable, siendo por esta razón, la medición de la fuerza de la clase anual que se recluta a la pesquería, un buen hito para pronosticar el rendimiento de la pesquería en el corto plazo así como para adoptar las medidas necesarias tendientes a la conservación del stock, siendo en consecuencia, un punto vital para la administración pesquera. Por lo tanto, conocer la magnitud de la distribución del proceso de reclutamiento a principios de año permite definir una estrategia de explotación para la temporada siguiente.

La situación actual de la pesquería de la anchoveta, afectada por los efectos combinados de una alteración ambiental extremadamente intensa, provocada por El Niño 1997-98, de la cual se desconocen cabalmente sus alcances sobre la población y por una importante actividad pesquera, agregado a la importancia relativa de esta actividad en la economía regional, determinan la urgente necesidad de conocer la evolución del stock y sus potencialidades.

El reclutamiento es un proceso que se inicia al momento mismo del desove y culmina cuando los peces alcanzan la talla juvenil que los incorpora a la pesquería, razón por la que está íntimamente ligado al éxito del desove y a la viabilidad de sobrevivencia de las larvas, que depende en forma importante de la disponibilidad de alimento y de las condiciones oceanográficas físicas (Sinclair *et al.*, 1985; Sissenwine, 1984), que pueden alterar la estabilidad de las masas de agua. La baja turbulencia, débil transporte de Ekman y características topográficas de la plataforma permiten calificar a la zona norte de Chile como un sector adecuado para el desove de anchoveta y sardina (Parrish *et al.*, 1983; Bernal, 1990).

Aún cuando el reclutamiento a sido motivo de estudio desde largo tiempo, la concurrencia de factores extrínsecos como intrínsecos, muchos de ellos aún desconocidos (Beverton, 1989) y las dificultades técnicas y logísticas para seguir la



evolución cuantitativa desde la etapa de huevo hasta la madurez de los sobrevivientes juveniles y que se incorporan a la pesquería, lo hacen ser aún pobremente comprendido en los principales recursos pesqueros del mundo. (Lazzari *et al.* 1996; Peterman y Bradford, 1987; Peterman *et al.* 1988).

El manejo pesquero actual está basado en predicciones de corto plazo de capturas totales permisibles (CTP), y ha tendido a dejar de lado estos problemas, ya sea midiendo directamente el tamaño del stock a comienzos de año o simplemente tratándolo como una variable estática. En el caso de la anchoveta, el éxito del reclutamiento tiene un efecto casi inmediato en la abundancia y potencialidad del stock y en el corto plazo, también de la pesquería (Bakun, 1989), de allí que el conocimiento de la variabilidad interanual del proceso y los factores que lo regulan permitirían proyectar la actividad pesquera y sensibilizar los modelos de explotación (Bergh y Butterworth, 1987), mejorando de este modo la certeza en las prognosis (Walters, 1981).

Los factores ambientales tienen importante influencia en el éxito o fracaso del reclutamiento, puesto que pueden favorecer o dificultar los resultados del proceso, especialmente en los primeros estadios de desarrollo, hasta que el pez juvenil alcanza el tamaño que lo incorpora a la pesquería (Fogarty, 1993; Myers and Pepin, 1994; Wroblewski *et al.*, 1989).

La estimación absoluta de la clase anual que se incorpora a la pesquería se realiza mediante la aplicación de modelos poblacionales, siendo el método de Análisis Secuencial de Poblaciones (ASP) uno de los más tradicionales (Rosenberg *et al.*, 1992) y una de las tendencias más modernas en este tipo de análisis, es aquella que se realiza mediante modelos poblacionales que incluyen información de la distribución y abundancia obtenida mediante métodos acústicos (Methot, 1992).



Entre las ventajas de las estimaciones mediante el método acústico, además de la independencia de la actividad pesquera realizada por la flota comercial, se puede mencionar la posibilidad de obtener resultados simultáneos con las condiciones ambientales asociados a los recursos, factores que juegan un rol fundamental para explicar el grado de éxito del proceso de reclutamiento. De este modo, las estimaciones con el ASP pueden ser mejoradas incorporando información proveniente de cruceros (Hilborn y Walters, 1992).

El método acústico para realizar la cuantificación del reclutamiento se ha aplicado con éxito en la pesquerías de anchoveta en Sudáfrica y del herring en Noruega, utilizando una red de media agua para la pesca de identificación y para la obtención de las muestras necesarias para determinar la estructura de tallas de la población (Cruickshank, 1990; Cruickshank, Hampton y Armstrong, 1990; Hampton, 1987).

De acuerdo a la tendencia mundial, la estimación de la clase anual de la anchoveta en la zona norte de Chile, ha sido realizada utilizando el método de Análisis Secuencial de Poblaciones (ASP) (Barría, 1991; 1992; GTE, 1992; 1993 y 1994) y a partir de 1994 se han utilizado métodos acústicos para evaluar la biomasa en el período en que la población está compuesta principalmente por peces que han alcanzado la talla adecuada para incorporarse a la pesquería.

Los resultados de las prospecciones acústicas realizadas en la zona norte (Castillo *et al.*, 1993; Braun *et al.*, 1994) indican que la anchoveta, en general, se distribuye principalmente en las cercanías de la costa, llegando ocasionalmente en los inviernos hasta las 60 mn. En los períodos estivales la anchoveta incrementa su presencia y densidad en áreas costeras no superando las 30 mn, situación que se debe a la influencia de las intensas gradientes térmicas y salinas que se producen en zonas cercanas a la costa y que limitan por el oeste la distribución de esta especie (Castillo *et al.*, 1996).



Los antecedentes más recientes, obtenidos mediante evaluaciones acústicas, sobre la distribución y el comportamiento de los reclutas de anchoveta permiten determinar que el límite occidental de la distribución nocturna puede alcanzar hasta un máximo de 20 mn de la costa en sectores con una plataforma continental extensa (Córdova *et al.*, 1995), concentrándose principalmente en una franja costera que llega hasta las 3 mn de la costa y el establecimiento de un patrón migratorio de alta frecuencia de la anchoveta juvenil en el sentido Este-Oeste entre el día y la noche, observándose que diariamente se registra un movimiento hacia el oeste en el crepúsculo, regresando a la costa al amanecer.

De igual modo, se han registrado cambios en los tipos de agregación diurna y nocturna de la anchoveta, prevaleciendo un mayor grado de contagio durante el día con agregaciones tipo cardúmen de alta densidad, dispersándose durante la noche presentando agregaciones tipo estrato. Además, se ha determinado que la luz lunar influye sobre su distribución, induciendo un incremento en la profundidad de la agregaciones.

Por otra parte, entre los resultados relativos a la asociación de los reclutas con las condiciones ambientales, se ha determinado que los reclutas se situaron preferentemente entre la costa y el borde interno de los frentes costeros, asociado a altos rangos de clorofila a y existiendo al igual que en la anchoveta sudafricana, una aparente relación entre la distribución espacial de los reclutas y los sectores de surgencia (Osses, 1996).

En este contexto, el presente proyecto tiende a contribuir al conocimiento del proceso de reclutamiento de la anchoveta en el sentido de una vigilancia sistemática y permanente del proceso y por otra para contribuir a ampliar el conocimiento de los factores que lo afectan y determinan. En este sentido se debe destacar la utilización de datos históricos de la abundancia de huevos, larvas y adultos asociados a



condiciones ambientales, en los cruceros de invierno, período de máxima intensidad de desove de la anchoveta, pertenecientes a IFOP y que se han coleccionado desde 1985, resaltando de este modo la importancia de la existencia de bases de datos sistemáticas e ininterrumpidas durante el mayor tiempo posible.



VI. METODOLOGIA

1. Zona de estudio y plan de muestreo

La zona de estudio se localizó entre Arica (18°22'S) y Antofagasta (23°26'S), desde la menor distancia de la costa posible determinada por las condiciones mínimas de seguridad en la navegación costera, llegando hasta el veril de los 25 m y alcanzando por el occidente hasta las 10 mn, explorándose durante el día hasta las 60 mn a la cuadra de Arica (**Fig. 1**).

El crucero de evaluación se realizó a bordo del B/I "Abate Molina" entre el 25 de noviembre y el 12 de diciembre de 1998 época del pico principal de reclutamiento de anchoveta en la zona norte.

La prospección acústica se realizó durante las noches con luna, entre el cuarto creciente y poco antes de la luna nueva, mientras que el muestreo oceanográfico y los lances de reconocimiento se efectuaron durante el día (**Fig. 2**). Adicionalmente, la prospección acústica se extendió durante el día hasta las 60 mn, a la cuadra de Arica.

2. Metodología por objetivo

2.1 Objetivo 2.1 Cuantificar, mediante métodos hidroacústicos, el reclutamiento de la anchoveta, en número y biomasa, durante el período de máxima intensidad del proceso 1998-1999, en la zona que comprende la I y II Regiones.



2.1.1 Muestreo acústico

De acuerdo a los objetivos planteados y a la característica contagiosa en la distribución de los recursos objeto del presente proyecto, el diseño de muestreo sistemático es el más adecuado, asumiendo aleatoriedad de la distribución de los recursos con respecto a la posición de las transectas (Shotton y Bazigos, 1984; Francis, 1984; Simmonds, 1984 y Simmonds *et al.*, 1991).

La varianza obtenida con este método, es similar a la alcanzada con un muestreo aleatorio cuando no existe tendencia lineal en la dirección del muestreo (Shotton y Bazigos, 1984).

Una ventaja de este diseño de muestreo, lo constituye la disminución de la varianza del estimador cuando la información presenta una gradiente de densidad en el sentido de las transectas. Además, el muestreo sistemático es recomendado para obtener adecuada información sobre la distribución de los recursos (Mac Lennan y Simmonds, 1992).

La distribución batimétrica de las especies pelágicas en la zona norte se caracteriza por un marcado comportamiento migratorio nictimeral (Guzmán *et al.*, 1982; Rodríguez *et al.*, 1983; Lillo *et al.*, 1991 y Castillo *et al.*, 1993), ubicándose durante las horas de luz diurna asociado a la capa de mezcla, migrando hacia la superficie en la noche, comportamiento que se modifica notablemente por influencia de la luz lunar, en que los peces adoptan una distribución vertical adecuada para la detección de los equipos acústicos, motivo por el cual y de acuerdo a los antecedentes expuestos anteriormente, el muestreo acústico se realizó en los períodos de oscuridad solar, con la fase lunar entre cuarto creciente y cuarto menguante.



El muestreo acústico se efectuó mediante 66 transectas nocturnas paralelas entre si y perpendiculares a la costa, sistemáticamente distribuidas con una separación entre ellas de 5 mn (**Fig. 1a**) y con una longitud de 10 mn. El muestreo oceanográfico, se realizó mediante estaciones diurnas ubicadas sobre el track de navegación acústico cada tres transectas (15 mn) a 1, 5 y 10 mn de la costa.

La evaluación acústica se realizó con el sistema de ecointegración SIMRAD EK 500, utilizando la frecuencia de 38 KHz. Este equipo posee 10 canales digitales programables, siendo posible utilizar uno de ellos en forma analógica, entregando información relativa a la densidad de peces detectada y referida a 1 mn².

Entre las principales ventajas de este equipo es posible mencionar su rango dinámico de 160 dB, que permite detectar un amplio espectro de señales provenientes de blancos de tamaño pequeño (plancton) hasta peces de gran tamaño, distribuidos en forma dispersa o en densos cardúmenes sin perder señal o saturarse. La utilización de transductores de haz compartido (split beam), permiten mejorar la recepción de los ecos de aquellos blancos que se encuentran en los bordes del haz, aumentando de este modo el volumen efectivo del muestreo acústico. Las facilidades de comunicación con equipos computacionales externos y otros equipos (GPS, corredera, otros ecosondas), también convierten al SIMRAD EK-500 en un poderoso instrumento científico, siendo factible almacenar la información directamente a una base de datos diseñada para tales efectos.

2.1.2 Calibración del sistema acústico

2.1.2.1 Calibración electroacústica

El procedimiento de calibración electroacústica del sistema de ecointegración SIMRAD EK 500 consiste en un proceso iterativo, en que se mide las señales de la



intensidad de blanco (TS) y eointegración (Sa) provenientes de un blanco de referencia conocido, ubicado en el centro del haz acústico, los que deben converger hacia el valor teórico del blanco de referencia (Foote *et al.*, 1987).

Para este fin se utilizó un blanco estándar de cobre diseñado para la frecuencia de 38 KHz, según las recomendaciones del Grupo de Trabajo de Acústica del ICES y por el fabricante (Foote, 1981; Foote *et al.*, 1987). De acuerdo a este método es posible alcanzar un nivel de precisión de $\pm 0,5$ dB, siendo aceptable con ± 1 dB.

Los controles de los equipos durante la calibración deben ser iguales que los utilizados durante la prospección, por lo tanto ante eventuales cambios en estos controles es necesario realizar las mediciones con las diferentes alternativas o repetir la medición.

Las mediciones se efectuaron en Mejillones antes del inicio de la prospección. El buque se fondeó con dos anclas por la proa y una por la popa (barbas de gato).

Con el objeto de minimizar el movimiento de la esfera en el proceso de calibración, ésta se ubicó en el haz acústico mediante tres líneas de nailon monofilamento, utilizándose carretes de cañas de pescar para variar y controlar la ubicación del blanco en el haz.

El procedimiento de medición del TS consiste en medir las ganancias del transductor, ajustándose según:

$$G_i = G_0 + \frac{TS_m - TS_b}{2}$$



donde:

- G_1 = nueva ganancia del transductor
- G_0 = ganancia antigua
- T_{sm} = intensidad de blanco medida (dB)
- T_{sb} = intensidad de blanco teórico (dB)

Para ajustar los parámetros de las lecturas del econtegrador (S_a) se aplica el siguiente procedimiento:

$$G_1 = G_0 + \frac{10 \log \left(\frac{S_{a(m)}}{S_{a(t)}} \right)}{2}$$

siendo:

$$S_{a(t)} = \frac{4\pi r_0^2 \sigma_{bs} (1852)^2}{\psi r^2}$$

donde:

- S_{bs} = sección dispersante de la esfera (dB).
- r = profundidad de la esfera (m).
- r_0 = profundidad de referencia (1 m).
- ψ = ángulo equivalente del haz acústico (dB).
- $S_{a(t)}$ = salida teórica del econtegrador.
- $S_{a(m)}$ = salida medida del econtegrador.

2.1.2.2 Medición del TS in situ de anchoveta

La recopilación de los datos para determinar el TS *in situ* de la anchoveta se realizó durante los lances de pesca y en sectores en los que se estableció previamente la



existencia de anchoveta mediante los lances de pesca, realizándose experimentos nocturnos a bajas velocidades o con el barco detenido.

Los datos fueron recolectados ping a ping con la frecuencia de 38 Khz en pulsos cortos y medio con una tasa de sondeo automáticamente ajustada a la escala del ecosonda, en este caso se utilizó una escala de 25 m, almacenándose en medios magnéticos. Con el fin de mejorar el filtraje de blancos resueltos del algoritmo de detección del EK-500 se redujo el ángulo del haz, utilizándose la talla promedio de los peces y la profundidad media como elementos de ajuste.

Las estructuras de tallas de los peces insonificados fueron obtenidos de las muestras realizadas en los lances de pesca realizados durante, antes o después del experimento.

El principio general en las mediciones de TS *in situ* es que las modas en los histogramas de TS se parean con las modas en las distribuciones de tallas de los peces muestreados en las pescas.

Considerando que las eco-amplitudes se distribuyen aleatoriamente según Rayleigh, entonces es posible considerar que el área dispersante de sonido del pez tiene una distribución exponencial pudiendo ajustarse a una función de Probabilidades de densidades (PDF) (Foote, 1980; MacLennan and Simmonds, 1992) según:

$$PDF(\sigma) = (1/\bar{\sigma}) \exp(-\sigma/\bar{\sigma})$$

El TS corresponde a la ecuación:

$$TS = 10 \log \left(\frac{\sigma^2}{4\pi} \right)$$



donde:

- TS = intensidad de blanco (dB)
 σ = área dispersante (m²)

Se confeccionaron histogramas de frecuencia de los TS respecto a la frecuencia en número de blancos, de estos histogramas se determinaron los valores centrales de las distribuciones, a partir del área dispersante, derivada según la ecuación antes descrita.

Los TS fueron asociados a las respectivas tallas mediante el procedimiento propuesto por MacLennan y Menz (1996). Este procedimiento consiste en un proceso iterativo que busca una convergencia de los valores de TS y L a partir de las modas más importantes, utilizando la Función de Probabilidades de Densidades (PDF) (Medwin and Clay, 1998). De acuerdo a este método, se eligen dos o tres valores a cada lado de las modas de cada histograma cubriendo de este modo la naturaleza estocástica del TS, seleccionándose los valores que minimizan la suma de cuadrados que comparan las funciones PDF de las áreas de dispersión sónica de los peces calculados (MM_i), con los observados (M_i) usando los residuales normalizados en cada intervalo de TS, el procedimiento se aplica según:

$$\sigma_j = L_j^2 10^{(-b_0/10)}$$

$$S_{1i} = 10^{((TS_i - \Delta TS/2) / 10)}; S_{2i} = 10^{((TS_i + \Delta TS/2) / 10)}$$

$$X_{ij} = N_j [\exp(-S_{2i}/\sigma_j) - \exp(S_{1i}/\sigma_j)]$$



$$M M_i = \sum_j X_{ij}$$

$$S = \sum_i \left(\left(\frac{\sum_n M M_i}{\sum_n M M_n} \right) - \left(\frac{M_i}{\sum_n M_n} \right) \right)^2$$

siendo:

- S_{1i}, S_{2i} = área dispersante promedio en el intervalo i , en el nivel anterior (1) y posterior (2) a la moda.
- M_i = N° de blancos detectados en i -ésimo intervalo, i varía hasta n .
- N_j = N° de peces en el j -ésimo intervalo, centrados en $L_j (M_i, N_j)$.
- X_{ij} = Función PDF de los intervalos cercanos a la moda principal
- Mm_i = acumulado de la función PDF, para el i -ésimo hasta el n intervalo
- L_j = talla modal de los peces
- σ_j = sección dispersante a la moda j .

Los pares de datos (L y TS) determinados de este modo, fueron ajustados a una regresión lineal simple mediante el método de los mínimos cuadrados. Siendo el TS la variable dependiente y la talla, la variable independiente.

Posteriormente se determinó un b_{20} en base al modelo general:

$$TS = b_{20} + 20 \text{ Log } L$$

donde:

- TS = intensidad de blanco (dB)
- L = longitud total (cm)



El TS se refirió a valores de TS_{kg} según:

$$TS_{kg} = TS - 10 \text{ Log } w$$

siendo:

TS_{kg} = intensidad de blanco (dB/kg)

w = peso del pez (kg).

Finalmente, la constante de ecointegración (C) se calculó según:

$$C = \frac{(4\pi \times 10^{\frac{TS_{kg}}{10}})^2}{1000}$$

2.1.3 Identificación de especies

La identificación de especies fue realizada mediante la aplicación de dos procedimientos:

2.1.3.1 Método acústico (Guzmán *et al.*, 1983)

Este método considera el análisis de la forma geométrica de los cardúmenes y su relación con la señal acústica, según la siguiente formulación:

$$S_v = \frac{C I V^2}{L D}$$



donde:

- S_v = coeficiente volumétrico de dispersión de la agregación ó cardumen.
 $C1$ = constante de calibración electrónica del equipo. En el caso del EK 500 está incluida en la salida calibrada del eointegrador.
 L = longitud de la agregación (m)
 D = altura media de la señal remitida por la agregación (m).

2.1.3.2 Pescas de identificación

Con el objeto de validar la identificación efectuada mediante el método acústico, se realizaron lances de pesca con una red de arrastre a media agua de 4 paneles de diseño ENGEL con tamaño de malla en las alas y cielo de 1800 mm, disminuyendo paulatinamente hasta 12 mm en el túnel y copo, con portalones tipo Suberkrub de 4,5 m² de área y 750 kg de peso seco (300 kg peso húmedo), amantillada con 20 flotadores en la relinga que permitió la operación de pesca en superficie. En el caso de lances con profundidad superior a los 10 m , se utilizó un net-sounder FURUNO para la verificación de la profundidad y comportamiento de la red.

No obstante lo anterior, a bordo se dispusieron de otras 2 redes según:

- Red de diseño japonés, denominada Nichiro, con una abertura vertical en la boca de 40 m y un forro interior adecuado para la pesca de peces de pequeño tamaño (> 5 cm) con tamaños de malla en el copo de 1,3 cm ("tipo anchovetera"). Esta red se amantilla con portalones Suberkrub de 4,6 m² de área, que puede ser arrastrada a nivel de superficie del mar a una velocidad de 4,0 nudos y con flotadores especiales para incrementar la flotación en la relinga.



- Red de 4 paneles de diseño escocés modificado con una altura en la boca de 4 a 6 m y que es utilizada con portalones de aluminio tipo Hidrofoil.

De esta forma, en aquellos sectores en que las características de las agregaciones lo permitieron, se realizaron lances de pesca de identificación.

De las capturas obtenidas en el crucero se obtuvieron los aportes porcentuales de cada especie y la estructura de tallas y pesos a la talla de las especies dominantes en las capturas, con especial énfasis en la anchoveta, aplicándose a las lecturas acústicas en las ESDU (según la norma internacional) cercanas a los lugares en que se realizaron las pescas (Simmonds *et al.*, 1992). De igual modo esta información fué comparada con la identificación de las especies realizada mediante el método acústico. De esta forma se determinó la fracción de reclutas de anchoveta presente en cada lance, factor que se aplicó a las lecturas acústicas asignadas a la especie anchoveta.

Con el fin de establecer la posible estratificación en el sentido longitudinal de los reclutas de anchoveta, los lances de pesca de mediagua se realizaron en cuadrículas de 7,5 mn en latitud por 3 mn en longitud. De este modo cada cuadrícula cubrió a lo más dos transectas de prospección acústica, proyectándose un total de 123 cuadrículas en toda la zona de estudio, programándose para el crucero cubrir el 56,9% de las cuadrículas con un total de 70 lances de pesca. Aún cuando la ubicación de estos lances dependió de la presencia de agregaciones susceptibles de ser capturadas, para cumplir con el objetivo de estudiar la posible estratificación de las tallas de los reclutas de anchoveta se siguió un sentido general en zig-zag.



2.1.4 Procesamiento de la información acústica

El procesamiento de los datos fue realizado en gran parte a bordo mediante el software SIMBAD (Espejo y Castillo, 1997). Los datos a ingresar a la base de datos son las lecturas acústicas por cada ESDU, las profundidades máximas y mínimas de la agregación, la posición geográfica de cada ESDU, fecha, número y rumbo de la transecta. Además se ingresó la información sobre temperatura y salinidades para cada estación oceanográfica.

Con tales datos se confeccionaron los mapas de distribución espacial de los recursos detectados, los estimados de biomasa de anchoveta total y de la fracción reclutas y sus respectivas varianzas.

Las áreas prospectadas fueron medidas mediante un planímetro digital.

2.1.5 Estimación de la biomasa

2.1.5.1 Método Tradicional

a) Biomasa total y fracción recluta

Un estimador apropiado para evaluar la biomasa (\hat{B}) está dado por :

$$\hat{B} = A \hat{R} \hat{C}_b$$



donde:

- A = área de estudio en millas náuticas cuadradas
 \hat{R} = estimador de razón de densidad media por número de intervalos básicos de muestreo.
 \hat{C}_b = coeficiente de ecointegración ($t/mn^2/Sa$).

El coeficiente de ecointegración se calcula según:

$$C_b = \frac{(4 \times \pi \times 10^{\frac{75_{St}}{10}})^{-1}}{1000}$$

siendo la razón (\hat{R}) correspondiente a las lecturas acústicas del ecointegrador (Sa) por ESDU, según la norma internacional, calculándose según:

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n Y_i}$$

donde:

- n = número de transectas de la muestra
 x_i = densidad de la transecta i-ésima.
 y_i = número de ESDU (según la norma internacional), en la transecta i-ésima.

La lectura acústica del ecointegrador por ESDU, corresponde a la expresión:

$$S_o = 4\pi \times S_v \times R_o^2 \times (1852m / mn)^2 \times (r_2 - r_1)$$



donde:

- S_a = lecturas promedio del ecointegrador por ESDU, en este caso se señalamo como la razón (\hat{R})
- S_v = coeficiente volúmetrico de dispersión (m^2/m^2).
- R_o = profundidad de referencia del blanco (m).
- r_2, r_1 = límites superior e inferior de la ecointegración ó de los estratos programados (m).
- 1.852 = factor de transformación de m a mn.

b) Fracción recluta

La fracción en peso de los reclutas para la zona de estudio, se calcula según:

$$\hat{B}_{rl} = \hat{B} \hat{P}_{rl}$$

donde:

- \hat{B}_{rl} = biomasa en peso de los reclutas (t)
- \hat{B} = biomasa total de anchoveta (t)
- \hat{P}_{rl} = porcentaje de los reclutas.

Siendo \hat{P}_{rl} igual a:

$$\hat{P}_{rl} = \frac{\sum_{l=1}^{l_0} Y_l (k \leq k_0)}{\sum_{l=1}^{l_0} Y_l}$$



donde:

- $Y_{l(k \leq k_0)}$ = peso de los reclutas en la captura del lance de pesca, donde
 $k_0 = 12$ cm.
 P_l = peso total de la captura en el lance de pesca.
 l_0 = número de lances.

La biomasa en número de los reclutas se calcula según:

$$\hat{B}_N = \frac{\hat{B}}{\bar{w}}$$

donde \hat{B} es la biomasa estimada en peso (t) y \bar{w} es el peso medio estimado de un ejemplar en el área.

2.1.5.2 Método Geoestadístico

Este método considera que la biomasa depende de la geometría del área de distribución del recurso y estima su densidad (Z) sólo en dicha área (V) mediante la expresión (Petitgas, 1993):

$$Z_v = \frac{1}{V} \int Z(x) dx$$

Z_v es un estimador de la media ponderada de las muestras, sin embargo, en aquellos casos donde las muestras provienen de una grilla regular, y donde cada una de ellas tiene igual área de influencia, el estimador de Z_v se estima como la media aritmética de los datos de S_a por intervalo básico de muestreo.



2.1.5.3 Biomasa por talla (método acústico)

Este método calcula la biomasa por talla en base a la información acústica por ESDU, la información de estructura de tallas por cada lance de pesca y la relación TS-L de anchoveta.

De este modo la biomasa (\hat{B}) en número por talla se calcula según:

$$N_k = \sum_{j=1}^{j=m} \frac{S a_j f_k}{4 \pi \sum_{i=1}^T f_i 10^{\frac{(a+b \log L_i)}{10}}}$$

La biomasa en peso a la talla se calcula según:

$$B_{(k)} = N_k a_1 L_k^{b_1}$$

siendo:

- N_k = número de ejemplares en la k-ésima talla
- $S a_j$ = lectura acústica en la j-ésima ibm
- f_k = frecuencia de la talla k determinada desde los lances de reconocimiento (%)
- T = total de tallas
- f_i = frecuencia de la i-ésima talla, determinada desde los lances de reconocimiento (%).
- a y b = parámetros de la relación TS-L
- L_i = longitud de la i-ésima talla (cm).
- $B_{(k)}$ = peso de la k-ésima talla (g)
- a_1 y b_1 = parámetros de relación peso-longitud
- L^k = longitud de la k-ésima talla (cm)



2.1.6 Estimación de la Varianza

2.1.6.1 Varianza de la biomasa total

Para diseños sistemáticos como el aplicado en esta evaluación, donde se considera un único punto de arranque para la muestra, no es posible obtener un estimador de varianza que sea insesgado ni consistente. Sin embargo, hay un amplio conjunto de estimadores aproximados que pueden ser usados con resultados razonablemente buenos, particularmente cuando la población en estudio no presenta periodicidad en relación a la selección de la muestra sistemática. En este contexto, se obtienen al menos tres estimadores alternativos de varianza $\hat{V}(\hat{R})$ estando el estimador para la varianza de la biomasa estimada (\hat{B}), expresado por:

$$\hat{V}(\hat{B}) = A^2 \hat{V}_i(\hat{R})$$

a. Conglomerado de tamaño desiguales (Hansen *et al.*, 1953)

$$\hat{V}_i(\hat{R}) = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{1}{ny} (s_x^2 + \hat{R}^2 s_y^2 - 2\hat{R} s_{xy})$$

donde, N es el número total de transectas en el área, y

$$s_{xy} = \sum_i^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}$$

$$s_x^2 = s_{xx} \quad ; \quad s_y^2 = s_{yy}$$



$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} ; \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}$$

donde, el intervalo de confianza $1-\alpha$ para la biomasa \hat{B} está dado por la expresión:

$$(\hat{B} - t_{1-\frac{\alpha}{2}} A\sqrt{\hat{V}_1(\hat{R})} ; \hat{B} + t_{1-\frac{\alpha}{2}} A\sqrt{\hat{V}_1(\hat{R})})$$

b. Estratos agrupados (Kirk M. Volter, 1985).

$$\hat{V}_2(\hat{R}) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{1}{n} \frac{\hat{R}^2}{(n-1)} (s_x^2 + s_y^2 - 2 s_{xy})$$

donde:

$$s_{xy} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(x_i - x_{i+1})(y_i - y_{i+1})}{\bar{x}\bar{y}}$$

$$s_x^2 = s_{xx} ; \quad s_y^2 = s_{yy}$$

donde, el intervalo de confianza $(1-\alpha)$ para la biomasa \hat{B} está dado por la expresión:

$$(\hat{B} - t_{1-\frac{\alpha}{2}} A\sqrt{\hat{V}_2(\hat{R})} ; \hat{B} + t_{1-\frac{\alpha}{2}} A\sqrt{\hat{V}_2(\hat{R})})$$

c. Método bootstrap (Robotham y Castillo, 1990).

$$\hat{V}_3(\hat{R}) = \frac{1}{(G-1)} \sum_{i=1}^G (\hat{R}_i - \bar{\hat{R}})^2$$



donde:

$$\bar{\hat{R}} = \sum_{i=1}^G \frac{\hat{R}_i}{G}$$

siendo \hat{R} un estimador de razón obtenido de la i -ésima muestra de tamaño n seleccionado con reposición de la muestra original y donde G representa la cantidad total de iteraciones bootstrap.

El intervalo de confianza $(1 - \alpha)$ para la biomasa \hat{B} se encuentra dado por el método Percentil Corregido (BC).

$$(\hat{F}^{-1} \{ \phi(2Z_0) \})$$

donde \hat{F}^{-1} es la función inversa de la distribución acumulada del $\hat{F}(\hat{R})$, definida por:

$$\hat{F}(\hat{R}) = Prob(\hat{R}_x \leq \hat{R})$$

y donde,

$$Z_0 = \phi^{-1}(\hat{F}(\hat{R}))$$

siendo f^{-1} la función inversa de la distribución normal estándar y Z_a es el percentil superior de una normal estándar.

d. Método Geoestadístico

Un cuarto estimador de varianza utilizado correspondió al propuesto por Matheron (1971, *fide* Petitgas y Prampart, 1993) para datos geográficamente correlacionados mediante la ecuación:



$$\sigma^2_k = 2\bar{\gamma}(S,V) - \bar{\gamma}(V,V) - \bar{\gamma}(S,S)$$

donde los términos de la ecuación se pueden representar mediante sus respectivos variogramas $(\gamma(h))$ donde:

$$\gamma(S,S) = \frac{1}{n^2} \sum_{\alpha} \sum_{\beta} \gamma(x_{\alpha} - x_{\beta})$$

$$\bar{\gamma}(S,V) = \frac{1}{n^2} \sum_{\alpha} \int_V \gamma(x_{\alpha} - y) dy$$

$$\bar{\gamma}(V,V) = \frac{1}{V^2} \int_V dx \int_V \gamma(x - y) dy$$

donde V es el área de distribución del recurso, (α, β) los índices de los intervalos básicos de muestreos y n el número de muestras en V .

La varianza σ_k es entonces la diferencia entre la integral doble de la función de estructura $(\bar{\gamma}(S,V))$ y sus dos aproximaciones discretas sobre la grilla de muestreo $(\bar{\gamma}(S,V)$ y $\bar{\gamma}(S,S)$), de los cuales estos últimos no pueden ser calculados sin recurrir a un modelo de variograma.

La varianza σ_k depende de la estructura espacial a través de tres factores geométricos; de la geometría del campo para $\bar{\gamma}(V,V)$; de la disposición entre los intervalos básicos de muestreo para $\bar{\gamma}(S,S)$ y de la posición de la red de muestreo en el campo para $\bar{\gamma}(S,V)$.



La estimación de la varianza se realizó mediante el software EVA (Petitgas y Prampart, 1993).

2.1.6.2 Varianza de la biomasa de la fracción recluta

a. Varianza de la fracción recluta (en peso)

La varianza de la biomasa de reclutas se calculó según:

$$\hat{V}[\hat{B}_{rl}] = \hat{B}^2 \hat{V}[\hat{P}_{rl}] + \hat{P}_{rl}^2 \hat{V}[\hat{B}] - \hat{V}[\hat{P}_{rl}] \hat{V}[\hat{B}]$$

donde:

- \hat{B} = biomasa total estimada de anchoveta (t)
- P_{rl} = porcentaje de los reclutas
- $V(B)$ = varianza de la biomasa total
- $V(P_{rl})$ = varianza de la fracción de reclutas.

$V(P_{rl})$ está dada por:

$$\hat{V}[\hat{P}_{rl}] = \frac{1}{l_0} \frac{1}{y} [\hat{S}_{y(k \leq k_0)}^2 + \hat{P}_{rl}^2 \hat{S}_y^2 - 2 \hat{P}_{rl} \hat{S}_{y(k \leq k_0)}]$$

donde:

La varianza de los pesos de reclutas es:

$$\hat{S}_{y(k \leq k_0)}^2 = \frac{1}{l_0 - 1} \left[\sum_{l=1}^{l_0} Y_{l(k \leq k_0)}^2 - l_0 \bar{Y}_{(k \leq k_0)}^2 \right]$$



La varianza de los pesos por talla es:

$$\hat{S}_y^2 = \frac{1}{l_0 - 1} \left[\sum_{l=1}^{l_0} Y_l^2 - l_0 \bar{Y}^2 \right]$$

La covarianza de los reclutas y peso total es:

$$\hat{S}_{yy(k \leq k_0)} = \frac{1}{l_0 - 1} \left[\sum_{l=1}^{l_0} Y_l Y_{l(k \leq k_0)} - l_0 \bar{Y} \bar{Y}_{(k \leq k_0)} \right]$$

donde:

- l_0 = número de lances
 Y = peso de la anchoveta

b) Varianza de la biomasa de reclutas en número

La varianza de la biomasa en número se calcula según:

$$\hat{V}(\hat{B}_v) = \frac{\hat{B}_v^2}{w} \hat{V}(\bar{w}) + \left(\frac{1}{w}\right)^2 \hat{V}(\hat{B}) - \hat{V}(\hat{B}) \hat{V}\left(\frac{1}{w}\right)$$

donde:

- $\hat{V}(\bar{w})$ = varianza del peso promedio obtenido en los lances de pesca de mediagua.
 $\hat{V}(\hat{B})$ = varianza de la biomasa de la fracción reclutas.



c) Estimación del coeficiente de error (%) y Coeficiente de variación (CV)

Con el objeto de disponer de una medida de la precisión alcanzada en el estimado de biomasa, se utilizará el porcentaje de error y coeficiente de variación.

Porcentaje de error:

$$E(\%) = \frac{t(1 - \frac{\alpha}{2}) \sqrt{\hat{V}(\hat{B})}}{\hat{B}} 100$$

donde:

- $\hat{V}(\hat{B})$ = varianza de la abundancia
- \hat{B} = Abundancia
- t = test de Student
- α = nivel de significación.

Coeficiente de variación:

$$CV = \frac{\sqrt{\hat{V}(\hat{B})}}{\hat{B}}$$

2.2 Objetivo 2.2 Determinar la estructura de tallas y los pesos medios de las categorías de talla de la anchoveta en la zona de estudio, especialmente en los núcleos de abundancia del recurso, y estimar índices de densidad relativa juveniles/adultos.

Para cumplir este objetivo, se aplicó una estrategia de muestreo de las capturas provenientes de los lances de pesca a mediagua realizados por el B/I "Abate Molina".



2.2.1 Muestreo de las capturas obtenidas con lances a mediagua

En cada lance en que se capturó anchoveta, se realizó un muestreo aleatorio simple tendiente a obtener la composición de tallas por clase y su peso medio a la talla. Los datos se trataron como un diseño de muestreo bi-etápico, tomando como unidades de muestreo primaria a los lances y las unidades secundarias a una sub-muestra de ejemplares del lance.

a. Composición por talla

Notación

- h : índice de estrato (1,..... L)
- k : índice de clase de talla (1,..... K)
- l : índice de lance (1, 2,.....)
- t : número de lances en la muestra
- T : número total de lances en la zona de estudio.
- n : muestra de ejemplares en el lance
- X : captura en número de ejemplares en el lance.
- Y : captura en peso de los ejemplares en el lance.

a1. Estimador de la composición en talla por estrato

$$P_{hk} = \sum_{l=1}^{l_h} \frac{X_{hl} P_{hkl}}{\sum_{l=1}^{l_h} X_{hl}}$$

donde:

$$P_{hkl} = \frac{n_{hkl}}{n_{hl}}$$

**a2. Estimador de la varianza de p_{hk}**

$$\hat{V}(p_{hk}) = \left(\frac{1}{t_h} - \frac{1}{T_h}\right) \frac{1}{t_h - 1} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{\bar{X}_h^2} (p_{hlk} - p_{hk})^2 +$$
$$+ \frac{1}{t_h} \frac{1}{T_h} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{\bar{X}_h^2} \left(\frac{1}{n_{hl}} - \frac{1}{N_{hl}}\right) S_{hl}^2$$

donde:

$$\bar{x}_h = \frac{1}{t_h} \sum_{l=1}^{t_h} X_{hl}$$

$$S_{hl}^2 = \frac{1}{n_{hl} - 1} p_{hlk} (1 - p_{hlk})$$

$$X_{hl} = \frac{Y_{hl}}{w_{hl}}$$

b. Pesos medios a la talla

$$\bar{w}_{hl} = \sum_{j=1}^{n_{hl}} \frac{w_{hlj}}{n_{hl}}$$

Notación

La notación es la misma que la presentada en el punto anterior, donde w representa el peso de cada ejemplar.



b1. Estimador del peso medio a la talla por estrato

$$\bar{w}_{hk} = \frac{\sum_{l=1}^{t_h} X_{hl}}{\sum_{l=1}^{t_h} X_{hl}} \bar{w}_{hkl}$$

donde:

$$\bar{w}_{hkl} = \frac{1}{n_{hkl}} \sum_{j=1}^{n_{hkl}} w_{hkjl}$$

b2. Estimador para la Varianza de \bar{w}_{hk}

$$\hat{V}(\bar{w}_{hk}) = \left(\frac{1}{t_h} - \frac{1}{T_h}\right) \frac{1}{t_h - 1} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{x_h} (\bar{w}_{hkl} - \bar{w}_{hl})^2$$

$$+ \frac{1}{t_h T_h} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{x_h} \left(\frac{1}{n_{hl}} - \frac{1}{N_{hl}}\right) S_{hwl}^2$$

donde:

$$S_{hwl}^2 = \frac{1}{n_{hl} - 1} \sum_{j=1}^{n_{hl}} (w_{hjl} - \bar{w}_{hl})^2$$

c. Expansión a la zona de estudio

c1. Composición por talla

c1.1 Estimador de la composición por talla

$$p_k = \sum_{h=1}^L \frac{X_h}{\sum_{h=1}^L X_h} p_{hk}$$



c1.2. Estimador de la varianza p_k

$$\hat{V}(p_k) = \sum_{h=1}^L \left(\frac{X_h}{\sum_{h=1}^L X_h} \right)^2 \hat{V}(p_{hk})$$

donde X_h representa la captura total en número para el estrato h.

c.2. Composición en peso

c.2.1 Estimador del peso medio por talla

$$\bar{w}_k = \sum_{h=1}^L \frac{X_h}{\sum_{h=1}^L X_h} \bar{w}_{hk}$$

c.2.2 Estimador de la varianza w_k

$$\hat{V}(\bar{w}_k) = \sum_{h=1}^L \left(\frac{X_h}{\sum_{h=1}^L X_h} \right)^2 \hat{V}(\bar{w}_{hk})$$

d. Coeficientes de variación e intervalos de confianza

Los coeficientes de variación se calculan siguiendo el procedimiento siguiente:

$$CV(\hat{\theta}) = \frac{\sqrt{\hat{V}(\hat{\theta})}}{\hat{\theta}}$$

donde $\hat{\theta}$, representa cualquiera de los estimadores de talla y peso propuestos en las etapas anteriores.



Los intervalos de confianza se obtienen mediante la expresión:

$$(\hat{\theta} - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{\theta})}; \hat{\theta} + Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{\theta})})$$

donde $Z_{1-\alpha/2}$: representa el coeficiente asociado al nivel de confianza $1-\alpha$ de un modelo de probabilidad normal estándar.

2.2.2 Muestreo biológico

El muestreo de ejemplares de anchoveta se obtuvo de los lances exitosos, recolectando a bordo los datos relativos a la longitud total, peso total, estado de madurez y sexo. Cabe señalar que a la mayor parte de los individuos reclutas sólo se les midió y pesó, pues resulta difícil determinar macroscópicamente su estado de madurez y sexo.

2.2.2.1 Tamaño de la muestra

Considerando el procedimiento establecido anteriormente, se muestreó a bordo del B/I "Abate Molina" la totalidad de los lances de pesca exitosos, determinando la captura total del lance, la composición específica y se realizó un muestreo biológico de las anchovetas.

En relación al tamaño de la muestra, de la captura obtenida en cada lance exitoso se obtuvo un número aproximado $n = 200$ ejemplares cuando ello fue posible, a los cuales se les midió la longitud total, peso total, peso eviscerado, sexo y estado de madurez. Este tamaño de muestra excede el número estándar que se utiliza en el muestreo de peces pelágicos.



Con el fin de obtener indicadores de la estructura de longitudes y pesos medios a la talla, se realizó el análisis de los datos a nivel de los lances por zona de pesca: Arica, Iquique y Antofagasta y se determinó las características de las estructuras de longitudes y pesos medios específicos.

Para estimar la proporción sexual de las anchovetas mayores a los 12,0 cm obtenidos en los lances se utilizó la expresión:

$$\hat{PS} = \frac{Y_i}{Y}$$

donde:

- Y_i = número de anchovetas hembras
 Y = número total de anchovetas machos y hembras.

2.2.2.2 Relación longitud-peso

La relación longitud-peso de la anchoveta se realizó a través del análisis de regresión lineal simple, el cual estima los parámetros por medio del ajuste vía mínimos cuadrados. Para ajustar las curvas se empleó un modelo multiplicativo potencial, dado que el peso se relaciona con la longitud a través de una relación del tipo:

$$y = \beta_0 x^{\beta_1}$$

donde y es el peso de los ejemplares,; x corresponde a la longitud. β_0 y β_1 son los parámetros del modelo, siendo el primero el intercepto o la constante, y el segundo la pendiente o coeficiente de regresión, que en términos biológicos corresponde a la tasa de crecimiento relativo. Posteriormente, se ajustaron los modelos para cada zona de pesca, para la zona de estudio y para datos obtenidos en cruceros anteriores. A



fin de conocer la significancia de las estimaciones, se plantearon las siguientes hipótesis entre zonas de pesca y entre los cruceros de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} H_0 &= \beta_1 \text{ es igual a } \beta_2 \\ H_1 &= \beta_1 \text{ distinto a } \beta_2 \end{aligned}$$

Para verificar si existían diferencias significativas de crecimiento relativo entre zonas y entre años, se realizó un análisis estadístico tendiente a verificar específicamente la existencia de diferencias entre los coeficientes de regresión, utilizando los siguientes estadísticos:

$$t = \frac{b_1 - b_2}{S_{b_1 - b_2}}$$

donde:

$$S_{b_1 - b_2} = \sqrt{\frac{(S_{xy}^2)_p}{(\sum x^2)_1} + \frac{(S_{xy}^2)_p}{(\sum x^2)_2}}$$

y:

$$(S_{yx}^2)_p = \frac{RSS_1 + RSS_2}{RDF_1 + RDF_2}$$

donde RSS_1 y RSS_2 corresponden a la suma de cuadrados residuales de la regresión 1 y 2 respectivamente; RDF_1 y RDF_2 corresponden a los grados de libertad residuales de la regresión 1 y 2, respectivamente. La ecuación tiene una distribución t de Student con $n_1 + n_2 - 4$ grados de libertad (Zar, 1974).



2.2.3 Índices de cobertura y abundancia relativa

Con el fin de establecer indicadores del grado de agregación relativo de los reclutas de anchoveta, se utilizan los índices de Densidad y Cobertura (Castillo *et al.* 1986). El índice de cobertura indica el porcentaje del área ocupada efectivamente por la especie, dando una idea acerca del grado de agregación presentado por la especie en el momento de la prospección. Su cálculo se realiza según:

$$IC = \frac{k}{z} \times 100$$

La abundancia relativa de los recursos se determina con el índice de densidad (ID), que indica el grado de concentración de los recursos en aquellas observaciones acústicas que detectaron la presencia de recurso. El procedimiento de cálculo es:

$$ID = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Sa_{ij} \times \hat{C}_b$$

donde:

- k = número de observaciones acústicas con presencia de recurso
- z = número total de observaciones acústicas en el crucero.
- Sa_{ij} = lecturas acústicas en la i-ésima ESDU, según la norma internacional, de la j-ésima transecta
- C_b = factor de eointegración.
- IC = índice de cobertura (%)
- ID = índice de densidad en t/mn².



2.3 Objetivo 2.3. Describir y analizar la distribución geográfica del recurso durante el período de máxima intensidad del reclutamiento en la zona de estudio, identificando áreas principales de reclutamiento y caracterizando su asociación con las condiciones bio-oceanográficas predominantes.

2.3.1 Distribución de los recursos

La información proveniente del crucero de prospección, procesada según los procedimientos descritos anteriormente se presenta en mapas y en gráficos para indicar la distribución batimétrica, utilizando una escala de densidad (t/mn^2), determinada por la expresión (**Tabla 1**):

$$I = 75 (2^{(n-1)})$$

donde:

I = intervalo de densidad.

n = representa el nivel de la categoría, siendo $0 < n \leq 4$.

Los mapas de distribución espacial se confeccionarán realizando una interpolación según el método de la distancia inversa al cuadrado entre las ESDU's y transectas cercanas, trazando líneas de isodensidad según las categorías señaladas anteriormente.



2.3.2 Condiciones Meteorológicas y Oceanográficas durante el crucero RECLAN 9811

2.3.2.1 Estaciones y datos oceanográficos

Se efectuaron un total de 66 estaciones de muestreo oceanográfico, distribuidas en 22 transectas perpendiculares a la costa, quedando separadas por 15 mn. En cada transecta se realizaron tres estaciones oceanográficas ubicadas a 1, 5 y 10 mn de distancia de la costa.

En cada estación se obtuvieron registros verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto hasta una profundidad máxima de 300 m. La temperatura y salinidad se registró con un CTD SEA BIRD modelo 19.

En cada estación se obtuvieron muestras discretas para el análisis de oxígeno disuelto, salinidad y clorofila a las profundidades estándares de 2, 5, 10, 25, 50, 75 y 100 m o hasta 10 m del fondo si la profundidad fue menor de 100 m.

Los registros de temperatura fueron comparados con datos discretos obtenidos con termómetros de inversión y la salinidad fue analizada con el método de inducción (UNESCO, 1981a). Para este crucero no se observaron desviaciones de importancia en ningún sensor continuo, por lo que no fue necesario aplicar un factor de corrección.

El cálculo de densidad, como sigma-t, se realizó con la ecuación internacional de estado de agua de mar (UNESCO, 1981; Millero y Poisson, 1981).

La concentración de oxígeno disuelto se cuantificó con la metodología descrita por Carpenter (1965).



2.3.2.2 Datos meteorológicos

En cada estación se registró la dirección y magnitud del viento, la temperatura del aire con termómetros seco y húmedo, la presión atmosférica, el tipo y cantidad de nubes, la altura y dirección de las olas, utilizando para esto efectos las normas del NODC (1991).

Con los datos de viento se calcularon los índices de turbulencia y de surgencia (Bakun y Parrish, 1982, Smith, 1968). El primero corresponde al cubo de la velocidad del viento (W^3) y el segundo se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$IS = \frac{M_x}{\rho_w} \cdot 1000 \quad [m^3/s/1000 m]$$

donde ρ_w es la densidad del agua de mar (1025 [kg/m³]) y M_x es el transporte de Ekman o transporte fuera de la costa:

$$M_x = \frac{\tau_y}{f}$$

τ_y es la coacción del viento sobre la superficie en la dirección norte-sur y f es el parámetro de Coriolis, entonces el M_x es igual a

$$M_x = \frac{C_d \rho_a \bar{W} \bar{W}}{2\Omega \text{sen}(\theta)}$$

En esta expresión C_d es el coeficiente de arrastre, ρ_a es la densidad del aire (1,225 [Kg/m³]), \bar{W} es el vector de velocidad del viento (dirección y magnitud), Ω es la velocidad angular de la Tierra ($7,29 \times 10^{-5}$ [s⁻¹]) y θ es la latitud del punto de observación del viento.



El coeficiente de arrastre (C_d) se calcula en función de la magnitud del viento (\bar{W}) según la expresión:

$$1000 \cdot C_d = \begin{cases} 0 & , \text{ si } \bar{W} = 0 \\ 0,62 + 1,56 \cdot \bar{W} & , \text{ si } 0 < \bar{W} \leq 3 \\ 1,14 & , \text{ si } 3 < \bar{W} \leq 10 \\ 0,49 + 0,065 \cdot \bar{W} & , \text{ si } \bar{W} > 10 \end{cases}$$

2.3.2.3 Asociación entre las variables oceanográficas físicas y los reclutas

Se realiza un análisis descriptivo entre las variables oceanográficas medidas a la profundidad media de las agregaciones de reclutas de anchoveta detectadas.

Se presentan histogramas con la frecuencia de los cardúmenes (%) respecto a las variables temperatura, salinidad y oxígeno.

2.4 Objetivo 2.4 Realizar un análisis de los factores climáticos, bio-oceanográficos, biológicos y pesqueros que podrían estar incidiendo sobre el proceso de reclutamiento de la anchoveta en la zona de estudio en los años recientes.

Para abordar este objetivo se aplican dos metodologías. La primera considera un análisis de las interrelaciones espaciales utilizando sistemas de análisis geográficos (SIG), entre las variables biológicas de los recursos (huevos, larvas y distribución de los adultos) en los períodos invernales correspondiente con el pico del desove de la anchoveta y en las primavera-verano en que se registra el máximo período del reclutamiento, respecto a las variables oceanográficas físicas (T y S).



El segundo procedimiento analiza la influencia de las variables oceanográficas y meteorológicas en un modelo Stock/Recluta de Ricker para la anchoveta, para lo cual se analizan los eventos Lasker, Turbulencia, Surgencia, y Transporte Ekman respecto a variables biológicas como el tamaño del Stock y de la fracción reclutas proveniente de estimaciones con el método APV. Los datos meteorológicos y oceanográficos provienen de estaciones de marea y de los aeropuertos de Arica, Iquique y Antofagasta.

2.4.1 Interrelaciones espaciales de las variables

El procedimiento utilizado corresponde a un análisis espacial entre las interrelaciones de la abundancia y distribución de adultos de anchoveta determinado mediante métodos hidroacústicos respecto a las variables oceanográficas físicas (T, S), índices biológicos (clo-a) y de huevos y larvas en los períodos invernales de la serie 1985-95 y en los cruceros de evaluación hidroacústica del reclutamiento de la anchoveta efectuados en el B/I "Abate Molina", a fines de primavera o inicios del verano.

Los datos analizados para los inviernos, corresponden a los obtenidos en once cruceros de evaluación directa de recursos pelágicos realizados en la estación invernal del período comprendido entre los años 1985 -1995. La zona de estudio está comprendida entre las latitudes 18°23'S y 23°30'S y en longitud desde la costa hasta 100 mn al oeste. Mientras que los datos correspondientes a la primavera-verano corresponde a los cruceros de evaluación hidroacústica del reclutamiento de la anchoveta efectuados en el B/I "Abate Molina", en temporada de fines de primavera o inicios del verano, desde 1995 a la fecha, en la zona norte de Chile, entre la latitud 18°22'S y 23°26'S.

Los cruceros de invierno se efectuaron a bordo de tres buques de investigación: el B/I "Carlos Porter" (27 m de eslora y 500 hp), B/I "Itzumi" (40,6 m de eslora y 800 hp) y



B/I "Abate Molina" (43,2 m de eslora y de 1400 hp), mientras que los cruceros de primavera –verano se han realizado exclusivamente en el B/I "Abate Molina".

La información de la distribución espacial de los adultos de anchoveta, fue recolectada con métodos hidroacústicos simultáneamente a las variables bio-oceanográficas.

2.4.1.1 Información acústica

En los cruceros realizados en el período 1985 a 1991 la información acústica se obtuvo con la utilización de un ecosonda SIMRAD EK-38 y un ecointegrador analógico SIMRAD QM-MK2, mientras que el período 1992 a 1995 se empleó el sistema acústico digital SIMRAD EK-500. Los equipos acústicos operaban con una frecuencia de 38 kHz y una longitud de pulso de 0,6 ms y 1 ms.

La prospección en invierno se realizó con un modelo sistemático con transectas perpendiculares a la costa y paralelas entre sí, equidistantes por 25 mn. En primavera-verano el muestreo hidroacústico se efectuó mediante transectas de 10 mn de longitud, paralelas entre sí, sistemáticamente distribuidas con una separación entre ellas de 5 mn. La ecointegración se efectuó desde la superficie hasta los 250 m de profundidad.

El reconocimiento de las especies se efectuó empleando el método del coeficiente volumétrico de dispersión (Sv) (Guzmán *et al.*, 1983), utilizándose como método de apoyo la realización de lances de pesca. Cuando se operaba con el B/I "Carlos Porter" se trabajaba en coordinación con una embarcación de cerco que efectuaba lances pesca, mientras que los B/I "Itzumi" y B/I "Abate Molina" realizaban pesca de arrastre de mediagua.



Con el fin de estandarizar la información acústica entre los distintos años y cruceros, los mapas se realizaron referidos a los niveles de densidad en t/mn^2 multiplicando las lecturas acústicas asignadas a la anchoveta, por ESDU, por el correspondiente coeficiente de ecointegración (C_b).

2.4.1.2 Información oceanográfica

La información oceanográfica fue recolectada en estaciones discretas situadas en las transectas acústicas a distancia de 1, 5, 10, 20, 40, 70 y 100 mn de la costa, en invierno y cada tres transectas acústicas, en estaciones ubicadas a 1, 5 y 10 mn de la costa, en primavera-verano. En cada estación se registraba la posición geográfica y se tomaba información de temperatura, salinidad y oxígeno.

Para la obtención de las muestras de huevos y larvas se empleó una red WP-2 de 300 micras que fue arrastrada verticalmente desde una profundidad máxima de 100 metros hasta la superficie.

Las densidades de huevos y larvas se expresan en N° de huevos individuos/10m².

La cuantificación de la clorofila-a (mg/m^3) se obtiene a partir de muestras discretas, obtenidas con un fluorómetro Turner Designs, modelo 10-AU.

Además, con las observaciones de las estaciones oceanográficas ubicadas entre 0 y 10 mn frente a Iquique se analiza la variación temporal de los primeros 500 m de la columna de agua entre enero de 1980 a marzo de 1998.



2.4.1.3 Proceso de la información

Se crearon los archivos de la base de datos de las variables hidroacústicas y bio-oceanográficas correspondientes a los cruceros estudiados en los períodos invernales entre los años 1985-95, generándose para cada año y variable, los archivos vectoriales compatibles con el SIG TNTmips. Estos archivos contemplaron la georreferenciación de la data de las diferentes variables.

Para estudiar la distribución espacio-temporal de la anchoveta y de las variables bio-oceanográficas se configuraron imágenes para cada crucero. Lo anterior, implicó la creación de archivos vectoriales con la información de las variables a cartografiar y posteriormente realizar el mapeo de éstas, interpolando los datos mediante el método Kriging (Davis, 1975).

Con el objeto de favorecer el estudio visual de las imágenes creadas, éstas fueron reclasificadas en clases de valores asociados a diferentes colores. Para ello se utilizaron dos módulos del software: a) módulo HISTOGRAM, para determinar la distribución de frecuencia de los valores de las variables, y b) módulo RECLASS, para reclasificar los valores de las celdas de una imagen.

Para determinar la asociación entre la distribución de la anchoveta y las variables bio-oceanográficas se estimó el coeficiente V de Cramer (Larson y Mendenhall, 1983), donde el rango varía entre 0 (indica la no existencia de asociación) y 1 (indica asociación perfecta).

En el proceso de los datos, se requirió seleccionar una zona común que contenga un muestreo de todas las variables en todos los cruceros considerados; además, las imágenes fueron llevadas a una misma escala espacial a través del módulo RESAMPLE del SIG.



Posteriormente y con el objeto de determinar rangos de distribución, se generaron gráficos con la frecuencia del número de celdas de 2×2 mn o área (mn^2) con presencia de anchoveta como de huevos y larvas de esta especie, con respecto a las variables oceanográficas temperatura superficial, salinidad promedio (entre superficie y 50 m) y clorofila-a.

Se analizó el efecto de las variables bio-oceanográficas sobre la densidad de adultos de anchoveta considerando la hipótesis que la abundancia de anchoveta del año $t+1$, depende de las condiciones bio-oceanográficas (T, S, densidad de huevos y larvas) presentes en el año t , las que pueden interactuar de modo simultáneo. La prueba de hipótesis se realizó mediante un modelo de regresión múltiple para estimar la densidad de anchoveta (t/mn^2) del año $t+1$, a partir de las variables independientes: índice de densidad de huevos ($\text{ind}/10\text{m}^2$), índice de densidad de larvas ($\text{ind}/10\text{m}^2$), salinidad y temperatura superficial para el año t .

Un análisis visual de los mapas de los inviernos, sugirió la existencia de diferencias en las distribuciones espaciales de las variables consideradas, razón por la cual, la zona de estudio se dividió en cuatro cuadrantes, pivoteando en el paralelo 21° S y el meridiano 71° W.

Para estudiar la distribución espacial de los reclutas de anchoveta en primavera-verano, se analizó la distribución horizontal de cada crucero, se efectuó un overlay de las cartografías y se dividió la zona en 5 sub-zonas, denominadas genéricamente Arica (1), Pisagua (2), Iquique (3), Tocopilla (4) y Mejillones (5). Se estimó la superficie de las subzonas y se comparó a través de un análisis de varianza a dos factores con un valor por casilla, además se estimó la posición del centro de gravedad (CG) de la biomasa de reclutas.



El modelo ajustado en invierno, fue:

$$IDA_{(t+1)} = f(IDH_{(t)}, IDL_{(t)}, S_{(t)}, T_{(t)})$$

donde:

$IDA_{(t+1)}$:	densidad de anchoveta del año t+1
$IDH_{(t)}$:	índice de densidad de huevos del año t
$IDL_{(t)}$:	índice de larvas de huevos del año t
$S_{(t)}$:	salinidad del año t
$T_{(t)}$:	temperatura del año t

2.4.2 Análisis del modelo stock-recluta de la anchoveta

El presente análisis utiliza el modelo de stock-reclutamiento planteado por Ricker (1954) en que el reclutamiento es dependiente de la abundancia de la población, según:

$$R = R1 * E * \exp(-R2 * E)$$

R1 y R2 son parámetros constantes, el número de reclutas disminuye a partir del nivel máximo (cuando $E=1/R2$) hacia cero, a medida que la producción anual de huevos aumenta.

El supuesto básico de este modelo es que la tasa de mortalidad de los pre-reclutas es una función lineal de la abundancia del stock desovante o la producción inicial de huevos.



En el estudio de la relación stock desovante-reclutas, la expresión $\ln(R/S)$, representa la mortalidad total y puede ser descompuesta para cada uno de los estadios de desarrollo. Es decir, el número de huevos liberado en el desove esta relacionado con el reclutamiento mediante una tasa de mortalidad total.

$$\ln(R/E) = -M_{total}$$

Si se conoce la fecundidad común (f) del stock desovante(S), tenemos que:

$$E = f * S$$

Al combinar ambas ecuaciones se obtiene:

$$\ln(R/S) = \ln f - M_{total}$$

Esta expresión es una herramienta útil para estudiar los efectos del stock desovante con las variaciones ambientales y su incidencia en el reclutamiento. En particular el reclutamiento puede ser analizado por el número inicial de huevos que fue liberado por unidad del stock (lo cual a su vez puede ser función de otras variables) y la tasa de sobrevivencia hasta el reclutamiento.

La mortalidad de la cohorte durante sus diversos estadios puede obtenerse:

$$\ln(R/S) = \ln f - (M_1 + M_2 + M_3 + \dots)$$

Donde $M_{total} = M_1 + M_2 + M_3$..y cada una de las mortalidades tiene en el largo plazo un promedio y su varianza correspondiente (i.e distribución de probabilidades), la cual es condicional de tales factores del stock adulto (e.g canibalismo), densidad larval



(competencia), densidad de alimento, depredación, temperatura, transporte Ekman, etc.

Un cambio en cualquier M_i tiene un efecto sobre el reclutamiento, independiente del estado de desarrollo, el número actual de larvas puede ser totalmente diferente en las diversas etapas. La distribución de probabilidades de $\ln(R/S)$ puede ser extremadamente complicada, pudiendo presentarse fuertes covarianzas entre los valores secuenciales de M_i .

En el caso de no disponer de información sobre la producción anual de huevos se puede aplicar el modelo de Ricker utilizando el stock desovante de manera proporcional a la producción de huevos. En este caso la expresión que se utiliza es la siguiente:

$$\ln(R/S) = \ln a + a_1 S + a_2 X_1 + a_3 X_2 + \dots + a_n X_{n-1}$$

Esta expresión se estima mediante una regresión múltiple cuya limitación de variables independientes está acotada por la serie de observaciones.

El método de determinación la Producción Anual de Huevos (PAH) es:

$$PAH = \sum_{i=0}^4 N_i \exp(-F + M) (7/12) m_i fec$$

siendo:

N_i = Abundancia en número por grupo de edad

m_i = ojiva de madurez por grupo de edad

fec = fecundidad potencial anual por grupo de edad



2.4.2.1 Descripción de las variables

A) Indices del stock

A1) Reclutamiento

Corresponde a la estimación de la abundancia anual del reclutamiento en peso y número según el Método APV (Gulland, 1965) del período 1984-1996.

A2) Biomasa del stock

Corresponde a la estimación de la abundancia total y del stock desovante, obtenido según el método APV. (Gulland, 1965) del período 1984-1995.

B) Indices de éxito reproductivo

B1) Índice de abundancia de huevos y larvas

Es la estimación de la precisión y actividad del desove (Smith y Richardson, 1979). Considera estimaciones de índices de abundancia de huevos y larvas de cruceros de invierno para el período (1985-1995)

C) Indices hidrográficos y meteorológicos

C1. Vientos

De las estaciones meteorológicas de Arica, Iquique y Antofagasta se analizó la serie de tiempo de las mediciones de dirección y magnitud del viento de las 15 y 21 horas del período 1970 a 1998 (datos facilitados por la Dirección Meteorológica de Chile).



Las mediciones de viento se descompusieron en sus componentes norte-sur y este-oeste, para el análisis del viento predominante. También se calcularon los índices de surgencia y turbulencia, así como el número de eventos Lasker por mes, utilizando el criterio dado por Peterman y Bradford (1987), considerando como un período de calma aquel en el que durante 4 días sucesivos hubo velocidades menores o iguales a 5 m/s, de acuerdo con los resultados de Cury y Roy (1989).

C2) Índices de turbulencia

La Turbulencia es el índice de mezcla inducida por el viento, se calcula elevando al cubo la velocidad del viento, se define a la turbulencia como la tasa a la cual el viento entrega energía mecánica al océano, produciendo mezcla turbulenta en la columna de agua superior y que es aproximadamente proporcional a la tercera fuerza o cubo de la velocidad del viento.

Índice de turbulencia = (W^3) = cubo de la velocidad del viento

C3) Transporte Ekman

El Transporte Ekman (M_x) se define como la masa de agua transportada perpendicular al viento, inducido por la fuerza horizontal que ejerce el viento sobre la superficie del océano (Bakun y Parrish, 1980, 1982), a través de una franja de cierta amplitud que va desde la superficie al fondo de la capa de Ekman, siendo ésta la capa superficial directamente afectada por el viento de decenas de metros (Barber y Smith, 1981).

Este índice se basa en lo señalado por Ekman, en que el transporte de masa por unidad de ancho de la superficie del océano es dirigido 90° a la izquierda (Hemisferio Sur), de la dirección perpendicular a la cual el viento está soplando y está relacionado con la magnitud de la coacción o stress del viento.



$$M_x = t_y / f$$

donde:

- t_y = Coacción del viento sobre la superficie en la dirección norte sur
- $t_y = r_a C_d v |W|$
- r_a = densidad del aire (0.00125 gr/cm³)
- C_d = coeficiente de arrastre (0,0013)
- v = componente norte sur de la velocidad del viento
- $|W|$ = Magnitud de la velocidad del viento
- f = Parámetro de coriolis = $2 \Omega \text{ Sen } \Phi$
- Ω = Velocidad angular de la tierra ($7,29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)
- Φ = Latitud del lugar

C4) Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Con los datos diarios de TSM de las estaciones de marea de Arica, Iquique y Antofagasta, se calcularon los promedios mensuales, la señal anual y la anomalía estandarizada y la anomalía acumulada del período enero de 1971 a abril de 1999. Los datos fueron facilitados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

C5) Variación temporal de la temperatura con profundidad

Con las observaciones de las estaciones oceanográficas ubicadas entre 0 y 10 mn frente a Iquique se analiza la variación temporal de la temperatura de los primeros 300 m de la columna de agua entre enero de 1995 a febrero de 1999.



VII. RESULTADOS

1. Condiciones meteorológicas y oceanográficas durante el crucero RECLAN 9811

1.1 Viento

Los vientos medidos en las estaciones durante el desarrollo del crucero correspondieron principalmente a vientos del 2º y 3º cuadrante con una intensidad media de 4,97 m/s (9,6 nudos) y una máxima de 9,26 m/s (18 nudos) (**Fig. 3a**). El comportamiento del viento muy homogéneo en casi toda el área de estudio, con vientos débiles la cuadra de Iquique y del río Loa. La magnitud del viento presenta un rango similar al observado durante el crucero de reclutamiento realizado en enero de 1998 (Castillo *et. al.*, 1998)

El índice de turbulencia (**Fig. 3b**) presentó una intensidad media de 17 m³/s³ y un valor máximo de 794 m³/s³ que se midió en la estación 10, al norte de la península de Mejillones, observándose un 67% de las estaciones con valores menores de 158 m³/s³ y sólo un 10% de las estaciones con valores mayores de 400 m³/s³.

El índice de surgencia (**Fig. 3c**) registró un valor medio de 288 m³/s x 1000 m de costa y un máximo de 840 m³/s x 1000 m de costa, también en la estación 10. El 38% de las estaciones tiene valores menores de 200 y el 32% mayores de 400 m³/s x 1000 m de costa.

1.2 Temperatura

La temperatura superficial (**Fig. 4a**) presentó valores entre 14,1 y 21,7°C, con un promedio de 18°C, las aguas más frías se encuentran en el área costera y



aumentan valores hacia el área oceánica. Las zonas con más bajas temperaturas se observaron al norte de Tocopilla, frente al río Loa ($<16^{\circ}\text{C}$), donde se han alcanzado anomalías inferiores de -3°C (**Fig. 4 b**), respecto de los promedios históricos de Blanco (1996), en tanto que las más altas temperaturas se encontraron entre las 5 y 10 millas entre Arica e Iquique ($>20^{\circ}\text{C}$), donde la anomalía es positiva y superior a 2°C . Al sur de Tocopilla también se aprecia un área con anomalías positivas. Las áreas con anomalías positivas se corresponden con aquellas donde el viento observado es muy débil, por lo que el índice de surgencia es mínimo. En promedio la anomalía de temperatura observada durante el crucero fue de $0,15^{\circ}\text{C}$.

La isoterma de 15°C (**Fig. 5a**), característica de la base de la termoclina en períodos normales, muestra una condición normal con menores profundidades en la zona costera aumentando ésta hacia el área oceánica. En la zona costera se encontró entre 5 y 10 m de la superficie y hacia las 10 millas entre 20 y 57 m con dos núcleos con profundidades de más de 40 m, uno entre Arica y Pisagua y el segundo a la cuadra de Tocopilla. Estos núcleos de mayor profundidad están asociados a las áreas de mayor temperatura y salinidad, las que generan un hundimiento de las isolinneas y presentan una anomalía de más de 30 m por sobre los promedios históricos (**Fig. 5 b**). En el área entre punta Lobos y Tocopilla la anomalía es negativa y sería generada por la intensa surgencia que se encuentra en esa zona.

En la columna de agua (**Fig. 6**), la capa de mezcla es inexistente, la termoclina esta bien desarrollada, aumentando su profundidad hacia el área oceánica y alcanza hasta 50 m de profundidad, como promedio, a 10 millas de la costa, con un gradiente vertical entre 1 y $3^{\circ}\text{C}/10$ m.



1.3 Salinidad

La salinidad superficial (**Fig. 4 c**) fluctuó entre 34,67 y 35,19 psu, con los menores valores frente a punta Lobos y a la península de Mejillones y los mayores entre Pisagua e Iquique entre las 5 y 10 millas. Como tendencia general se observa un aumento de la salinidad desde la costa hacia el área oceánica. Al sur de Iquique la variación es muy pequeña, fluctuando los valores en torno a los 34,6 psu.

La anomalía de la salinidad respecto de los promedios históricos (Blanco, 1996) (**Fig. 4 d**) muestra para casi toda el área valores negativos, menores de $-0,2$ psu. En el área entre Pisagua e Iquique, asociado a los máximos valores de salinidad, la anomalía es positiva y alcanza hasta 0,27 psu.

En la columna de agua (**Fig. 7**) se aprecia en la zona costera (1 milla) que los valores aumentan con la profundidad. A 5 y 10 millas aparece más claramente la estructura típica de la zona, donde el mínimo de salinidad de origen Subantártico se encuentra bajo el máximo superficial, su profundidad aumenta hacia el sector oceánico y está centrado entre 25 y 50 m. El máximo superficial correspondiente a mezcla de aguas Subantárticas con Subtropicales es más evidente a 10 millas de la costa. Bajo el mínimo de salinidad (entre 50 y 100 m de profundidad) y centrado en 150 m se encuentra un máximo relativo de salinidad correspondiente al agua Ecuatorial Subsuperficial. Bajo los 250 m los valores disminuyen levemente, encontrándose sólo parte del límite superior del agua Intermedia Antártica

1.4 Densidad

La densidad (**Fig. 5c**) está fuertemente influenciada por los cambios en temperatura y disminuye desde la costa hacia el área oceánica, teniendo valores entre 24,3 y 25,8. Las mayores densidades (> 25) se midieron frente a la península de



Mejillones, el río Loa e Iquique y las menores hacia las 10 millas (<25) especialmente entre Pisagua e Iquique.

En la columna de agua (**Fig. 8**) los valores aumentan con la profundidad y se distribuyen de forma similar que las isotermas. La pycnoclina aumenta la profundidad del límite inferior de costa hacia el océano, encontrándose a 25, 50 y 100 m de profundidad en las diferentes transectas. En la transecta paralela a la costa a 10 millas son más evidentes los hundimientos de las isopícnas producto de la presencia de aguas más salinas y cálidas, las que probablemente estarían asociadas a giros anticiclónicos.

El ascenso de las isolinéas y los mayores valores en el sector costero confirman la surgencia de agua en los sectores entre Arica y Pisagua, y entre punta Lobos y Tocopilla.

1.5 Oxígeno

La concentración de oxígeno disuelto en superficie (**Fig. 5 d**) presenta valores entre 4,8 y 6,5 ml/l con un promedio de 5,5 ml/l. Los máximos valores (>6 ml/l) se encuentran en el sector de punta Lobos y los menores (<5 ml/l) en la estación 52, al norte de Pisagua.

En la columna de agua, la concentración de oxígeno (**Fig. 9**) muestra una capa de aproximadamente 100 m de profundidad con valores superiores a 4 ml/l, bajo los 100 m la concentración disminuye rápidamente hasta alcanzar valores menores de 1 ml/l a los 200 m. Los bajos valores están asociados al máximo salino subsuperficial correspondiente al agua Ecuatorial Subsuperficial.



1.6 Masas de Agua

En la columna se identificaron 4 masas de agua (**Fig. 10**). Estas son: Agua Subtropical (AST), Subantártica (ASAA), Ecuatorial Subsuperficial (AESS) e Intermedia Antártica (AIAA) (Blanco y Kelly, 1986, 1987; Blanco y Reyes, 1992; Sievers y Silva, 1975, 1982; Silva y Konow, 1975).

El agua presente en la capa superficial presenta un máximo salino y térmico y está compuesta por una mezcla de ASAA y una participación muy pequeña de AST en el área costera y en el sur, la que aumenta levemente hacia el sector oceánico y hacia el norte. Bajo este máximo se encuentra el mínimo salino correspondiente al ASAA y que disminuye su participación hacia el norte, se presenta con valores de salinidad entre 34,4 y 34,7 psu y de temperatura de 13 a 16°C. Centrado en los 150 m se ubica el AESS que corresponde al máximo salino subsuperficial y presenta valores entre 34,8 y 34,9 psu y 11 a 13°C. Bajo el AESS se observa parte del límite superior del AIAA, la que a 300 m presentó valores menores de 34,7 psu en salinidad y de 11°C en temperatura.

1.7 Biomasa fitoplanctónica durante el crucero RECLAN 9811

1.7.1 Distribución de clorofila-a y feopigmentos superficiales e integrados

Los valores más altos de clorofila a (cloa), feopigmentos (feop) y clorofila total (clot), se midieron entre las transectas 24 (Lat. 21° 55'S) y la 45 (Lat. 20° 10'S) (**Fig.11**), con concentraciones superiores a los 3 µg/L, valor que alcanzó prácticamente las 10 mn de distancia de la costa. Con agregaciones máximas que llegaron hasta los 8 µg/L de cloa en la zona comprendida desde el norte de Tocopilla hasta Iquique, es decir, desde las transectas 27 (lat 21° 40'S) a la 39 (Lat. 20° 40'S). Observándose una discontinuidad en la distribución de la biomasa fitoplanctónica al sur de punta



Lobos, que corresponde a la transecta 33 (Lat. 21° 10'S), con valores inferiores a 0,5 µg/L.

En los sectores comprendidos entre las transectas 3 (Lat. 23° 40'S) a 21 (Lat 22° 10'S) y 48 (Lat. 19°55'S) a 66 (Lat 18° 25'S), las agregaciones de biomasa fitoplanctónica superficial estuvieron en el rango de 0,5 a 1 µg/L, en prácticamente toda la zona, con la sola excepción de las transectas 6 (Lat. 23° 25'S) y 54 (Lat. 19° 25'S) en las que se midió valores de cloa, que llegaron a ser de 4 y 3 µg/L, respectivamente. Estas últimas transectas ubicadas en zonas en las que siempre es posible encontrar niveles más altos que el resto del área (Osses, 1998).

Al igual que en los cruceros de reclutamiento anteriores (Osses, 1996 y 1997) la clorofila presentó zonas de discontinuidad en la distribución de la biomasa fitoplanctónica, como en las transectas 33, ya mencionada con anterioridad, la 21 (Lat. 22° 10'S), la 48 (Lat 19° 55'S) y la 51 (Lat. 19° 40'S) las que, como se verá más adelante, están bajo un régimen de masas de agua más cálidas y salinas.

Respecto de los feopigmentos (**Fig. 11**) es posible observar que éstos se distribuyeron de manera semejante a la cloa pero las magnitudes de éstos, no mayores de 2 µg/L en las zonas de mayor agregación de biomasa (transecta 27, Lat 21° 40'S), indican que en términos globales toda el área esta bajo un régimen de crecimiento vigoroso del fitoplancton. Esto significa que, al menos desde el punto de vista de la cloa, la oferta ambiental de alimento para pastoreadores es óptima.

La clorofila total (**Fig.11**) se distribuyó cuali y cuantitativamente igual que la cloa, sin presentar las desviaciones observadas en los cruceros de monitoreo realizados durante 1997 y 98 (Osses, 1998).



1.7.2 Distribución areal de la biomasa fitoplanctónica

El rango total en que se distribuyó la cloa integrada fue de 4,74 a 271 mg/m², indicando que en la estrecha área investigada se pueden encontrar sistemas oligotróficos, mesotróficos y eutróficos. La distribución de la biomasa vegetal integrada en la columna (**Fig. 12**) fue semejante a la cloa superficial, esto significa que, en términos globales, la biomasa se situó entre la superficie y los límites de la zona fótica en forma homogénea, presentando un gradiente continuo en profundidad.

En algunos casos se pudo deducir la presencia de estratificaciones en la columna que permitieron que la biomasa se acumulara en forma subsuperficial como en la estación 24 (Transecta 27, Lat 21° 40'S), 34 y 35 (Transecta 36, Lat. 20° 55'S), en las que se midió valores bajos de cloa en la superficie, pero que presentan valores de cloa integrada de 143, 166 y 120 mg/m², respectivamente. Además, también pudo ser observado que altas concentraciones de cloa en la superficie tenían asociados bajos valores de cloa integrada, esto se debió a que las mayores agregaciones de fitoplancton se situaron solamente entre la superficie y los 5 m, como en las estaciones 6 (Lat 23° 25'S), 30 (Lat. 21° 25'S) y 54 (Lat. 19° 25'S), en las que valores de cloa superficial mayores de 4 hasta 6 µg/L, estuvieron asociados a valores de cloa integrada de 61, 96 y 65 mg/m², respectivamente, los que pueden ser considerados como típicos de sistemas oligotróficos. No obstante en la columna se pueden encontrar valores típicos de sistemas eutróficos.

1.7.3 Asociación entre la clorofila superficial y el ambiente físico

Respecto de la asociación entre la biomasa fitoplanctónica superficial y el ambiente físico, es posible determinar que la cloa presentó una asociación significativa, con un 95% de confianza, solamente con la temperatura (**Fig. 12**), sin mostrar ninguna



asociación con la salinidad (**Fig. 12**). Como ya ha sido demostrado con anterioridad, la biomasa fitoplanctónica tiende a asociarse solamente con la temperatura y no con la salinidad (Osses, 1998 y 1999a), debido a que los frentes costeros de la zona que permiten que la biomasa se acumule, son función de la temperatura y no de la salinidad, situación que es corroborada por la semejanza que puede ser observada en la caracterización física del ambiente, entre la distribución superficial de la temperatura y la densidad (como sigma-t) (**Fig. 4**).

Después de un periodo prolongado de influencia del fenómeno de El Niño en la zona, con efectos significativos sobre la distribución y cantidad de la cloa presenta, la que en algunos casos llegó a ser casi en un 80% oligotrófica, vale decir cloa inferior a 0,5 $\mu\text{g/L}$ (Osses, 1998), se observó que el sistema durante este crucero se enfrió, (*i.e.* anomalías térmicas cercanas o inferiores a 0°C) permitiendo que en aquellos lugares en los que siempre es posible observar afloramientos retornaran a la normalidad, es así, como es posible observar que la cloa se asoció con la temperatura en la forma esperada para un sistema normal (**Fig. 13**), con los valores más fríos asociados a las concentraciones más altas de cloa (*i.e.* mayores de 2 $\mu\text{g/L}$), y los oligotróficos asociados en general a las temperaturas más altas. La asociación observada de que a bajas temperaturas (*i.e.* 16 a 17 °C) se pueden encontrar bajos valores de cloa (*e.g.* 0,2 a 0,5 $\mu\text{g/L}$), se ha sugerido que esto responde al periodo de acomodación del cuerpo de agua para comenzar con el crecimiento exponencial asociado a los florecimientos fitoplanctónicos, que por las características técnicas de este proyecto no pueden ser respondidas, pero un antecedente para determinar el grado de "frescura" de una población vegetal son bajos niveles de feopigmentos respecto de la cloa (Gremare, A. Universidad de París **coms. pers.**), lo cual es efectivo para los valores analizados durante este crucero.



Respecto de la representatividad de la distribución de la cloa superficial para describir la estructura biológica del ecosistema, y que fue analizada al comienzo de este capítulo, puede ser reforzada estableciendo el grado de funcionalidad entre la cloa y la cloa integrada en la columna (**Fig. 13**), los resultados indican que la cloa se asoció linealmente con la cloa integrada, ésto confirma que, en general, la cloa se distribuyó en forma homogénea en la columna sin formar máximos subsuperficiales, con algunas excepciones que serán mejor descritas y analizadas cuando se analice la información correspondiente a la distribución vertical de la cloa.

Durante El Niño la cloa presentó desviaciones numéricamente significativas respecto de los valores típicos de sistemas oligotróficos descritos para la zona (Osses, 1998), los que en general no eran inferiores a los $0,2 \mu\text{g/L}$, encontrándose que durante el apogeo de este fenómeno los valores de cloa podrían llegar a ser hasta **ca.** $0,02 \mu\text{g/L}$ de cloa, prácticamente un orden de magnitud de los valores considerados normales. Debido a lo anterior se utilizó un algoritmo alternativo de cálculo que permite cuantificar toda la biomasa fitoplanctónica en la muestra, evitando la interferencia por pigmentos diferentes a los que puede detectar y medir la técnica fluorimétrica, lo cual permitió describir de manera más adecuada la conformación de la distribución de la biomasa fitoplanctónica en la zona. En esta ocasión es posible observar que la clorofila total respecto de la cloa están en la proporción 1:0,91 (**Fig. 13**), lo que cuantitativamente refleja que la zona volvió a la normalidad.

1.7.4 Distribución batimétrica de la clorofila en sentido paralelo a la costa

La información de clorofila en sentido paralelo a la costa ha demostrado ser una buena manera de representar la distribución batimétrica de la biomasa en la zona y permite obviar, de alguna manera, el análisis detallado transecta por transecta del sistema (Osses, 1998).



La distribución de la cloa, feop y clot paralela y a una milla de distancia de la costa (**Fig. 14**), indica que las zonas de mayor concentración estuvieron situadas en la misma zona descrita para la distribución superficial, pero en esta gráfica es posible observar que la zona entre las transectas 21 (Lat. 22° 10'S) hasta la 48 (Lat. 19° 55'S) los valores de cloa son mayores de 1 µg/L hasta los 40 m, con núcleos de 7 (transectas 24, Lat. 21° 55'S), 6 (transecta 30, Lat. 21° 25'S) y 9 µg/L (transectas 39, Lat. 20° 40'S y 42 Lat. 20° 25'S). Esta distribución configura una zona de alta concentración de cloa cuya extensión latitudinal ha sido pocas veces reportada para el ecosistema de la zona norte. Lo más destacable de la distribución de estos pigmentos, es la baja concentración de productos de degradación o feopigmentos, los que nunca fueron superiores a los 2 µg/L, confirmando que al igual que lo descrito para la distribución horizontal, la población de fitoplancton está bajo un estado óptimo de condición fisiológica.

A cinco millas de la costa (**Fig. 15**) la cloa tiende a disminuir en intensidad tanto en concentración como en su distribución espacial, aunque en la transecta 24 (Lat. 21° 55'S), la concentración de cloa aumentó a 9 µg/L y mantuvo su distribución batimétrica. En las transectas 27 a la 45, aunque la distribución batimétrica no cambio en forma significativa, si disminuyó la biomasa manteniéndose sus valores en el rango comprendido entre 1 y 4 µg/L, por lo que persisten las características típicas de sistemas eutróficos, aunque de menor intensidad. Desde la transecta 48 (Lat. 19° 55'S) hasta la 66 (Lat. 18° 25'S) el sistema se torna menos productivo llegando a ser oligotrófico (i.e. < 0,5 µg/L) prácticamente en toda el área con la sola excepción de la transecta 63 (Lat. 18° 40'S) y 66, en las que se destaca un núcleo de 2 a 3 µg/L de cloa, cuya influencia llegó hasta los 25 m de profundidad, aproximadamente. Los feopigmentos presentan la misma distribución y disminución de la concentración de biomasa, manteniendo la misma situación reportada para la distancia de una mn.



Como era de esperarse a 10 mn de distancia de la costa (**Fig. 16**) la cloa disminuyó considerablemente, desapareciendo la mayoría de los núcleos importantes, manteniéndose solamente el descrito para la transecta 25 como el más importante, con valores de 4 $\mu\text{g/L}$, batimétricamente su área de influencia no sobrepasó los 10 m de profundidad. En la zona correspondiente a Arica (transecta 66, Lat. 18° 25'S) el núcleo se mantuvo, aunque se distribuyó en forma más subsuperficial, llegando en el centro del núcleo a valores de 4 $\mu\text{g/L}$, restringiéndose batimétricamente entre la superficie y los 10 m.

La fluorescencia in vivo (fliv) presentada en forma paralela a la costa (**Fig. 17**) se distribuyó de manera semejante a los mayores niveles de biomasa, con sus más altos registros, vale decir entre 50 a 100 unidades relativas (UR) asociadas a los máximos de cloa. Estos niveles de altos registros de fliv son alcanzados aún en las transectas en las que la cloa es menor o cercana a 1 $\mu\text{g/L}$, como en las transectas 12 (Lat. 22° 55'S), 15 (Lat. 22° 40'S) y 18 (Lat. 22° 25'S). Esto refuerza la aseveración de que la biomasa fitoplanctónica de la zona estaba en un estado óptimo de condición fisiológica. En las transectas realizadas no se observan máximos subsuperficiales, pero en la medida que la columna de agua tiene más influencia de masa de agua de origen oceánico se comienzan a formar máximos subsuperficiales, especialmente en las transectas 12 (Lat. 22° 55'S) y 42 (Lat. 20° 25'S), ésto se debe a que la influencia de masas de agua más cálidas y más salinas, inducen a que la mayor actividad fotosintética se lleve a cabo en las cercanías de la picnoclina.

1.7.5 Distribución de la biomasa fitoplanctónica en las transectas perpendiculares a la costa

La cloa en términos globales se presentó en núcleos pegados a la costa, cuya área de influencia en sentido longitudinal no llegó más allá de las 5 mn (**Fig. 18 y 19**)



como fue el caso de las transectas 6, 12, 18, 33, 39, 48, 54 y 60. Al mismo tiempo en estas transectas la concentración de cloa sobrepasó en escasas ocasiones los $2\mu\text{g/L}$, tendiendo a ser de $1\mu\text{g/L}$ en casi todas ellas.

Solamente en las transectas 27 y 66 los niveles de clo entre 2 y $12\mu\text{g/L}$ se distribuyeron entre la costa y las 10 mn, ésto permite observar una distribución continua de biomasa en toda la transecta. No obstante, en ambos casos la forma en que se distribuyó la cloa fue diferente; en la transecta 27 el núcleo de alta cloa se situó a 5 mn con $12\mu\text{g/L}$ como valor más alto, formando un fuerte gradiente que probablemente influye más allá de las 10 mn. En la transecta 66, se formaron dos núcleos de ca. $3\mu\text{g/L}$, a 1 y 10 mn de distancia de la costa, en todo caso ésto permitió la formación de un continuo de concentración de $2\mu\text{g/L}$ en toda la transecta.

Respecto de los otros analitos feop y clot, éstos se distribuyeron en forma cualitativamente semejante a la cloa, notándose la baja significativa en los niveles de feop que ya ha sido discutida anteriormente.

2. Biología Pesquera

2.1 Resultados de los lances de pesca

La distribución geográfica de los lances de pesca realizados durante el crucero de investigación se muestran en la **Fig. 2**. En el área de estudio (Arica-Antofagasta) se efectuaron un total de 67 lances de pesca, obteniéndose en 31 de ellos (46,2%) capturas de anchoveta.

Las pescas de identificación se realizaron con una red de arrastre de mediagua, con un tamaño de malla en el copo de 13 mm (tipo anchovetera). El muestreo biológico de cada lance, permitió determinar las especies presentes, estimar los niveles de captura



y los aportes porcentuales de cada especie, con especial énfasis en anchoveta. Respecto de este recurso, se determinó la estructura de tallas a 6.020 ejemplares. Además, se efectuaron muestreos biológicos a los ejemplares donde se obtuvo información de pesos totales, sexo y estado de madurez. Posteriormente, se determinó la fracción de reclutas de anchoveta por lance de pesca, asociándolas a las lecturas obtenidas en el monitoreo acústico.

El resumen de operación por lance de pesca de crucero se entrega en la Tabla 2. Al respecto, la captura total alcanzó los 70.514 kg. de los cuales 25.522 kg. (36,2%) correspondieron a anchoveta y el resto a otros recursos. La captura por lance de anchoveta por lance presentó una alta variación, fluctuando entre los 4,3 - 8.030 kg/lance.

Los lances de pesca tuvieron una duración promedio de 48 minutos y se efectuaron en su mayoría entre la superficie y los 280 metros de profundidad (Tabla 2). El esfuerzo total desplegado fue de 51,1 horas y la velocidad de arrastre fluctuó con mayor frecuencia entre los 3,0-3,4 nudos, recorriéndose una distancia promedio de 2,6 millas/lance.

2.2 Determinación de la estructura de tamaños

En la zona de Arica se realizaron 16 lances de los cuales 8 fueron exitosos (50%), entendiéndose como tal a aquellos lances en que se obtuvo capturas de anchoveta para muestreo, no importando su cantidad. Por otra parte, la distribución de longitudes por lance indicó una presencia mayoritaria de reclutas en las capturas (51,8% en número y 29% en peso), aunque también hubieron lances con predominancia de individuos adultos (lances N°57, 62, 63, 64 y 67) (**Fig. 20 a 23**). En esta zona se presentó una distribución total polimodal, con ejemplares entre los 8-17,0 cm y grupos principales centrados entre los 10,5 cm; los 13,0 cm y los 15,5 cm (**Fig. 23**). La mayor



parte de los lances se efectuaron entre los 5-8 m profundidad (referida a la posición de relinga superior de la red); el peso promedio para el total de individuos fue de 17,0 g y para la fracción recluta fue de sólo 9,5 g.

En la zona de Iquique se efectuaron 28 lances de pesca entre los 5-15 m de profundidad, 14 de los cuales fueron exitosos (50%) (**Tabla 2**). Los tamaños fluctuaron entre los 6,5-16,5 cm, presentándose un grupo principal con moda en los 9,5 cm, aunque también hubo presencia de ejemplares mayores (lances N° 36, 40, 43) (**Fig. 21 y 22**). El porcentaje de reclutas en número y peso fue de 93,6 y 84,8%, respectivamente; el peso promedio del total de ejemplares fue de 8,0 g y el de los reclutas de 7,2 g.

En la zona de Antofagasta se realizaron 23 lances de pesca entre los 3-13 m de profundidad, de los cuales 9 fueron exitosos (39,1%) (**Tabla 2**). Los tamaños presentaron una amplitud entre los 5,0-15,0 cm y también una distribución polimodal, destacándose nuevamente el grupo de reclutas con modas en los 7,5 y 9,0 cm y grupo de adultos con moda a los 14,0 cm (**Fig. 20 y 22**). El porcentaje de reclutas en número fue de un 92,1% y de un 78,8% en peso y el peso promedio para el total de ejemplares y para los reclutas fue de 5,6 y 4,8 g respectivamente.

En términos generales, en el área de estudio (Arica-Antofagasta) se realizaron 67 lances de pesca, capturándose anchoveta en 31 de ellos, cuyos tamaños fluctuaron entre los 5,0-17,0 cm (**Fig. 23**). La distribución de frecuencia de longitud fue polimodal, con un grupo principal de reclutas situado entre los 5,0-12,0 cm y un grupo secundario con moda en los 5,0 cm. El porcentaje de reclutas fue de 86,6% en número y 65,4% en peso. El peso promedio de los reclutas fue de 6,5 g, y del total de ejemplares de 8,6 g.



2.3 Determinación de la proporción sexual

En la zona de Arica en la totalidad de los lances de pesca, se registró una proporción sexual de 63,3% de hembras, con una presencia mayoritaria en los ejemplares mayores a los 14,0 cm y minoritaria en los ejemplares menores (**Fig. 24**).

En los lances efectuados en la zona de Iquique, se presentó un 54,1% de machos, predominando las hembras en los ejemplares de 12,0 cm y 6,0 cm, (**Fig. 24**).

En los lances de pesca realizados en la zona de Antofagasta, predominaron las hembras 70,4% con una presencia mayoritaria en las longitudes mayores a los 13,0 cm. La tendencia de la proporción sexual por tamaños, fue bastante similar a la observada en la zona de Arica (**Fig. 24**).

En términos globales, la proporción sexual de la totalidad de los lances de pesca realizados en el Crucero fue de un 60,2%, con una leve predominancia de hembras sobre machos las que dominaron en los adultos mayores a los 13,5 cm, bajo esa longitud dominaron los machos.

2.4 Determinación de los estados de madurez

En la zona de Arica, el 85,1% de las hembras adultas se encontró en estado 5 (desove) y el 4,6% en estado 3, en tanto que en los machos, el 33,6% y el 59,7% estaban en estados 5 y 3, respectivamente. Para machos y hembras en conjunto, se determinó el 64,2% en estado 5 (desove) y el 27% en estado 3 (**Fig. 25**).

En la zona de Iquique, la mayor parte de las hembras se encontraron en estado 5 (27,4%) y estado 2 (63,2%) y, en machos, se observó un bajo porcentaje de ejemplares en estado 5 (10%), pero un alto porcentaje en estados 2 y 3 (53,1 y



36,9%, respectivamente). En conjunto, predominaron los estados 2 (57,6%) y 3 (23,7%) (**Fig. 25**).

En la zona de Antofagasta, las hembras se encontraron mayoritariamente en estados 2 (100%) y los machos en estado 2 y 3 (16,7 y 83,3%, respectivamente). En conjunto, predominaron los estados 2 (37,5%) y 3 (62,5%) (**Fig. 25**).

En el área de estudio el 27,1% de las hembras se encontraban en estado 2 y el 62,3% en estado 5 (desove) al igual que los machos (30,3 y 20,3%, respectivamente). En conjunto, el 42,2% de los ejemplares se encontraron en desove y en estado 2 (28,6%) (**Fig. 25**). Cabe señalar que se observó un desfase del proceso reproductivo en el sentido latitudinal, presentándose de norte a sur una disminución progresiva de los estados 5 (desove) y un aumento gradual de los estados 2 y 3.

2.5 Determinación de los pesos medios

En la **Fig. 26** se presenta la evolución de los pesos medios empíricos por longitud y zonas de pesca obtenidos en este estudio; en la **Tabla 3** se entrega la misma información comparada con la de estudios anteriores y en la **Tabla 4** los parámetros estadísticos de regresión.

Al respecto, se puede constatar un alto grado de ajuste en todos los modelos determinados para la relación longitud-peso de anchoveta (R^2 sobre el 99%). Por otra parte, al comparar las pendientes de regresión por zonas de pesca, se observan diferencias significativas en las tasas de crecimiento relativo, disminuyendo éstas de norte a sur. Esta situación también se presentó en los cruceros anteriores.

Cabe destacar que en este crucero, a igual longitud, los ejemplares presentaron un peso promedio mayor a los observados en 1995, 1996 y 1998, lo cual es más notorio



a tamaños mayores. Dicha situación podría asociarse con cambios en el medio ambiente que hayan afectado la oferta alimentaria y esté favoreciendo el crecimiento somático de los peces (**Tabla 3**).

3. Estimación del reclutamiento en peso y número

3.1 Calibración del sistema acústico

3.1.1 Calibración electroacústica

La calibración hidroacústica del ecosonda científico Simrad EK-500 se realizó en Valparaíso el 21 de noviembre de 1998, bajo buenas condiciones atmosféricas y oceanográficas. Para la calibración se utilizaron esferas de cobre de 60 y 21 mm de diámetro diseñadas para las frecuencias de 38 y 120 KHz, respectivamente.

Los resultados de la calibración en la frecuencia de 38 khz, se entregan en la **Tabla 5**, los valores alcanzados en la frecuencia de 120 khz, son considerados referenciales para el análisis histórico de la operación del sistema y son omitidos en el presente informe. Al comparar los resultados en la **Tabla 5** con el promedio histórico, presentados en la **Tabla 6**, se observa que las variaciones entre ellos son inferiores a ± 0.4 dB lo que indica un buen funcionamiento y estabilidad del sistema acústico utilizado.

3.1.2 Relación funcional entre la intensidad de blanco (TS) y la longitud de anchoveta.

En los lances de pesca se recolectó información de la intensidad de blanco (TS) de anchoveta en la frecuencia de 38 khz, utilizándose los pulsos medio (1,0 ms) y corto (0,3 ms), realizándose dos experimentos con el buque parado en la zona de



los lances 13 y 24. Los intervalos de clase considerados en los histogramas de los TS y las tallas de anchoveta fueron 0,5 dB y 0,5 cm, respectivamente.

Del total de lances en que se recolectó la información del TS, se seleccionaron 18, considerando principalmente que las capturas estuviesen compuestas en forma mayoritaria (sobre el 80%) por anchoveta y que los TS recolectados se presentaran en rangos esperados para la especie, teniendo presente las ecuaciones TS/L disponibles, también se rechazaron aquellos TS que evidentemente provinieran de ecos múltiples.

Los TS modales seleccionados según el método del PDF, variaron entre -58,5 y -49,5 dB, mientras que las longitudes totales de anchoveta, pareadas con dichos TS y consideradas en los experimentos fluctuaron entre 6,5 y 16,5 cm.

En las Fig. 27 a 29 se presentan los histogramas de los TS y de las respectivas tallas de las anchovetas utilizadas en el ajuste final de la ecuación de regresión.

Con los datos de TS obtenidos con el pulso medio (1,0 ms) y filtrados según el método del PDF, pareados con las respectivas tallas de anchoveta, se ajustó la ecuación de regresión mediante el método de los mínimos cuadrados (Fig. 30).

La ecuación obtenida mediante este procedimiento fue:

$$\begin{aligned} \text{TS} &= 18,81 \text{ Log} (L) - 72,61 \\ R^2 &= 0,93 \\ N &= 18 \end{aligned}$$

El análisis de varianza y el test t de Student aplicado a la regresión ajustada, permitió determinar que la ecuación explicó significativamente a los datos utilizados.



La ecuación estandarizada al modelo general fue:

$$TS = 20 \text{ Log } (L) - 73,88$$

Las ecuaciones del $TS_{kg} - L$ ajustadas en el presente crucero y en los cruceros RECLAN 9801 y 9611, fueron (**Fig. 31**):

$$TS_{kg} = -11,72 \text{ Log } (L) - 20,97$$

$$TS_{kg} = -11,59 \text{ Log } (L) - 20,35$$

$$TS_{kg} = -9,62 \text{ Log } (L) - 22,45$$

Esta relación TS/L es 0,33 dB inferior que la obtenida por Castillo y Espejo 1998 ($TS = 20 \text{ Log } (L) - 73,55$) y 0,41dB respecto a la alcanzada por Castillo *et al.*, 1997 ($TS = 20 \text{ Log } (L) - 73,47$) (**Fig. 30**).

Aún cuando las diferencias entre las relaciones ajustadas pueden ser consideradas dentro de rangos aceptables, un factor que se debe tener presente para explicarlas son las variaciones en el rango de tallas de las anchovetas que se muestrearon en los distintos experimentos.

Es así como las tallas de la anchoveta medidas en el presente experimento (RECLAN 9811) variaron entre 6,5 y 16,5 cm, siendo comparable al rango medido en RECLAN 9611, que fluctuó entre 7 y 17,5 cm (Castillo *et al.*, 1997), siendo más amplio que en RECLAN 9801 (Castillo y Espejo, 1998) que varió entre 10 y 16,5 cm. Es probable que el menor intercepto de la relación $TS-L$ obtenida en el presente caso sea producida por la influencia de la mayor cantidad de datos en tallas menores que en los dos casos anteriores. Esta situación se manifiesta más claramente al analizar los datos que se consideraron en el mismo rango de tallas del



crucero RECLAN 9801, apreciándose que la diferencia con la nueva ecuación aumentó a 0,75 dB ($TS = 20 \text{ Log } (L) - 74,30$).

Otro elemento que también podría ayudar a explicar las diferencias entre las ecuaciones ajustadas, puesto que podrían influir en las respuestas sónicas de los peces, corresponde a los factores de condición registrados en los distintos cruceros.

Es así como el factor de condición de la anchoveta en los distintos casos considerados, medido por medio de los interceptos de las relaciones longitud-peso, muestra notables diferencias entre el presente crucero ($\text{PESO} = 0,00684828 L^{3,05293858}$), respecto a RECLAN 9801 ($\text{PESO} = 0,00851079 L^{2,887327}$) y 9611 ($\text{PESO} = 0,007625 L^{2,975728}$), observándose que a una misma talla, los peces muestreados en el presente crucero tuvieron un mayor peso que en los dos casos anteriores y que los valores menores se presentaron en el verano de 1998 (RECLAN 9801), periodo en que estuvo presente el evento El Niño 1997-98.

Otro hecho importante de destacar es que las diferencias en los pesos se acentuaron con el incremento de las tallas. El hecho que los pescados muestreados en la primavera de 1998 (RECLAN 9811) tuvieran un mayor peso respecto a los otros dos cruceros comparados, podría deberse a la mayor incidencia de peces en estado de madurez 2 (29%) y 3 (28%), calificadas como inicio de maduración y maduración avanzada, con una menor presencia de peces en estado 5 (40%), calificados como desovados, situación que se hizo aún más evidente en las zonas Iquique y Antofagasta (**Fig. 25**). Al comparar esta condición con lo registrado en la primavera de 1996 (RECLAN 9611) se aprecia una tendencia inversa puesto que los peces en estado 5 y superior fué sobre el 61% y en los estados 2 y 3 fueron 15% y 21%, respectivamente (Barría, 1997).



El mayor volumen de las gónadas registrados en los estados de madurez 2 y 3, reducen el espacio abdominal provocando presión sobre la vejiga gaseosa, disminuyendo su volumen y por esta razón afectando la respuesta acústica del pez. Al respecto se debe tener presente que la vejiga gaseosa refleja el 90% de la energía acústica (MacLennan and Simmonds, 1992) por lo que una reducción en su volumen afecta de manera importante al eco de los peces, lo que podría explicar el menor TS obtenido en RECLAN 9811. Resultados similares han sido encontrados en estudios de variación del TS del arenque del mar del norte realizados por Ona y otros investigadores Noruegos, constituyéndose en una línea de investigación que pueden aportar mayores elementos para explicar las variaciones en los TS de los peces (Ona, comunicación personal). En todo caso esta situación en ningún caso invalida los resultados obtenidos con métodos acústicos, puesto que la calibración debe incluir las distintas características biológicas de los peces (talla, estado de madurez, profundidad de distribución, características y tamaño de la vejiga gaseosa – fisóstomo o fisosclito) debiendo cuidarse que en la aplicación del método de calibración se tenga presente y se cuantifique el posible efecto de cada factor sobre la respuesta acústica de los peces.

Al comparar la ecuación estandarizada alcanzada en el presente experimento con los resultados disponibles de otros autores, se observa que son alrededor de 1,98 dB menor respecto a la ecuación para fisóstomos o clupeidos $TS = 20 \text{ LOG } L - 71,9$ ajustada por Foote (1986).

Barange (1994) informa para la anchoveta del Cabo (*Engraulis capensis*) un TS de -57,84 y -57,73 dB para peces de tallas 7,5 y 7,34 cm, respectivamente, valores que son alrededor de 1,4 a 1,2 dB inferiores a los obtenidos con la ecuación determinada en el presente trabajo para las mismas tallas. Barange *et al.* (1996) informa para la misma especie un $b_{20} = -76,1$ valor que es alrededor de 2,2 dB menor al alcanzado en el presente estudio.



Por otra parte, al contrastar los TS_{kg} de la anchoveta obtenidos en el presente estudio con los informados por Barange *et al.* (1996) ($TS_{kg} = 12,15 \text{ LOG (L)} - 21,12$), se aprecia que a la misma talla el TS_{kg} estimado con la ecuación obtenida en el presente trabajo es superior entre 0,4 y 0,6 dB, diferencia que es menor si se considera las ecuaciones ajustadas en los cruceros RECLAN 9611 y 9801, puesto que variaron que la ajustada por que los valores difieren en alrededor de 1,3 dB, reduciéndose las diferencias de 2,5 dB observado al comparar las relaciones TS-L.

El análisis de las ecuaciones TS-L ajustadas para la anchoveta en Chile, incluida la alcanzada en el presente estudio, indica que se encuentran entre las ecuaciones obtenidas para el arenque en el mar del norte y la anchoveta del Cabo en sudáfrica, con algunas diferencias que se explican debido a las distintas características biológicas entre las especies.

3.2 Estimación de la biomasa

De acuerdo a los resultados antes expuestos y discutidos, la biomasa de anchoveta fue estimada mediante la ecuación $TS = 20 \text{ LOG L} - 73,88$.

Se determinó un TS de $-54,00$ dB, correspondiente a la talla media general ponderada por la frecuencia de todos los lances de 9,9 cm. De acuerdo a la relación peso-longitud determinada para la anchoveta en el presente crucero, el peso correspondiente a la talla fué, 7,41 g, resultando finalmente un $TS_{kg} = -32,70$ dB/kg y una constante de eointegración de 0,1482 t/mn²/Sa.

3.2.1 Método tradicional

La biomasa de anchoveta alcanzó a 310.108 t (Tabla 7), con una densidad promedio de 99,7 t/mn².



Las mayores concentraciones de biomasa de anchoveta se presentaron entre las transectas 25 a 30, 35 a 40 y 60 a 65, intertransectas costeras 124 a 128 y; 134 a 138 (**Fig. 32**), en estos sectores se concentró el 46,4% de las lecturas acústicas totales del crucero.

La fracción reclutas de anchoveta, en peso, determinada según el aporte de los ejemplares menores a 12 cm en los lances de pesca, alcanzó al 65,5%, estimándose en consecuencia una biomasa de reclutas de 203.120 t.

El peso promedio del total de ejemplares fue 7,4 g, mientras que el peso promedio de los ejemplares inferiores a 12 cm, calificados como reclutas fue 6,39 g. De este modo, la abundancia total expresada en número de ejemplares, fue de 33.707,4 millones de ejemplares. La fracción de reclutas en número fue de 86,6%, determinándose en consecuencia una abundancia de reclutas en número de 29.190,6 millones de ejemplares (**Tabla 7**).

3.2.2 Método de las tallas (acústico)

La biomasa total de anchoveta por talla, calculada según el método acústico, fue de 310.043 t, con una densidad total de 99,7 t/mn² (**Tabla 8**) la biomasa correspondiente a los ejemplares con tallas inferiores a los 12 cm (reclutas) alcanzó a 226.758 t (**Fig. 33**).

3.2.3 Método geoestadístico y descripción de las estructuras

El área prospectada. presentó un 80,11% de los valores con ESDU cero. El polígono de distribución de la anchoveta consideró el 51,9% de las ESDU's totales del crucero. El área de distribución considerada alcanzó a 1613 mn².



El variograma isotrópico se ajustó un modelo esférico que presenta un 22,5% de efecto pepita. El variograma indica que se presenta una macroestructura a las 2 mn (Fig. 34).

La biomasa total de anchoveta estimada con el método intrínseco de covarianza centrada de la teoría de las variables regionalizada, restringido al polígono de distribución del recurso fue de 315.521 t (Tabla 8), valor que de acuerdo a la talla promedio total (9,86 cm) y peso al peso medio deducido de la relación L-Peso (7,41g), representó 34.295,7608 millones de individuos.

La biomasa en peso y número de la fracción de reclutas se estimó en 206.666 t y 29.700,13 millones de individuos, respectivamente.

3.2.4 Precisión de los estimados de biomasa

Los coeficientes de variación (CV) de los estimados de la biomasa total de anchoveta variaron entre 0,11 y 0,22 según el método de estimación utilizado, (Tabla 9), registrándose la mayor precisión con el método de Estratos Agrupados, lo que se expresó en un error del 17,7 a 37,3 % , siendo de similar nivel para el método de los conglomerados y bootstrap.

La fracción reclutas presentó coeficientes de variación (CV) similares a los anteriormente señalados con valores entre 0,11 y 0,22, siendo menor para el método de los estratos agrupados, en la Tabla 9 se presentan los estimados de la varianza por cada método utilizado.

La varianza, coeficientes de variación (CV) e indicadores de error, obtenidos mediante el método geoestadístico, se presenta en la Tabla 9. En este caso el CV fue 0,11,



entregando los estimados con mayor precisión, puesto que se obtuvieron los menores CV de los procedimientos utilizados, valor que se expresó en un error de 18,1%.

3.3 Distribución espacial de los recursos

Las especies que se identificaron con los lances de pesca y que se detectaron en la prospección acústica fueron la anchoveta (*Engraulis ringens*), mote ó bacaladillo (*Normanichthys crockeri*), pez linterna (*Vinciguerria lucetia*), jurel (*Trachurus murphyi*), sardina española (*Sardinops sagax*) y langostino (*Pleuroncodes monodon*). Dados los altos niveles de concentración se presentan la distribución espacial de las tres primeras especies y del total, en donde se incluyen las otras especies.

3.3.1 Anchoveta

La distribución espacial de la anchoveta se caracterizó por su alta presencia en el sentido latitudinal, registrándose en prácticamente toda la zona de estudio, estando ausente en el sector comprendido entre punta Argolla (18° 50'S) y norte de Pisagua (19° 30'S) y entre punta Angamos (23° 00'S) y punta Tetas (23°30'S); en el sentido longitudinal se distribuyó entre la costa y las 8 mn, llegando ocasionalmente hasta las 9 mn; y un nivel gregario relativamente alto, registrándose importantes concentraciones en áreas relativamente pequeñas (Fig. 35). En este sentido es posible destacar los sectores ubicados entre la costa y las 10 mn entre Arica y norte de punta Argolla (18°50'S); en el sector costero cercano a Pisagua; entre la costa y las 7 mn desde caleta Patillos (20°40'S) hasta punta Blanca (22°10'S); entre la costa y las 10 mn desde punta Grande (22°28'S) hasta Mejillones y a la cuadra de Antofagasta. Las mayores concentraciones de anchoveta se presentaron en el sector ubicado entre caleta Patillos a Tocopilla y al sur de Arica.



Considerando los resultados alcanzados en los lances de pesca y la distribución espacial de la anchoveta, es posible diferenciar tres sectores desde el punto de vista de dominio de los reclutas (**Fig. 36**), es así como se puede calificar como de dominio de reclutas, a los sectores ubicados entre Antofagasta y caleta Patillos ($20^{\circ}40'S$) en que los lances de pesca presentaron mas del 80 % de reclutas ; al sector entre caleta Patillos y Pisagua con nivel intermedio de presencia de reclutas, y al sector ubicado en las cercanías de Arica como dominio de adultos, puesto que los lances de pesca presentaron menos del 10% de reclutas, con la excepción de lo registrado hacia el sur de esta área en que se observó un incremento en la presencia de reclutas.

Las mayores lecturas acústicas de anchoveta alcanzaron hasta las 31.484 Sa, registrándose un total para toda la zona de estudio de 1.113.310 Sa.

Batimétricamente, la anchoveta se ubicó entre los 10 y 30 m (**Fig. 37**), registrándose el mayor número de agregaciones en los primeros 20 m. Esta distribución estuvo asociada a las isotermas de 13 a $22^{\circ}C$, presentándose dos modas en la distribución de temperatura, una entre los 15y 16 C y otra en los 19-20 C y salinidades entre 34,1 y 35,0, con las mayores frecuencias de cardúmenes en 34,6 y 34,8 psu.

3.3.2 Mote

Esta especie se presentó fuertemente asociado a las áreas costeras (**Fig. 38**), registrando altos niveles gregarios en 4 sectores ubicado entre la costa y las 2 mn desde punta Patache ($20^{\circ}50'S$) a bahía Chomache ($21^{\circ}05'S$); en las cercanías de punta Arenas ($21^{\circ} 40'S$) ; desde punta Grande ($22^{\circ} 28'S$) hasta punta Tames ($22^{\circ} 40'S$) y en las cercanías de Mejillones. En el sector ubicado entre punta Pichalo ($19^{\circ} 35'S$) y caleta Buena ($19^{\circ} 55'S$) se registraron concentraciones menores.



Es importante destacar los altos niveles gregarios de esta especie registrándose agregaciones que superaron en hasta 3,5 veces los valores obtenidos para la anchoveta, con lecturas acústicas que llegaron hasta 109.110 Sa. La abundancia de esta especie en términos de lecturas acústicas alcanzó las 449.434 Sa, representando el 40,4 % de las lecturas acústicas asignadas a la anchoveta y el 25% del total.

Batimétricamente esta especie se localizó entre los 20 y 70 m, preferentemente en los 20 m, con temperaturas entre 13 y 19 C, y modas en los 14 y 16 C y salinidades entre 34,5 y 34,9 psu (**Fig. 39**).

3.3.3 Pez linterna (*Vinciguerria lucetia*)

Esta especie fue detectada hacia el norte de la zona de estudio, localizándose en áreas más oceánicas que las otras dos especies, alcanzando hasta las 50 mn entre Arica y punta Baquedano (18°40'S) y hasta las 10 mn a la cuadra de caleta Camarones (**Fig. 40**).

Los máximos niveles de agregación presentaron lecturas acústicas de 51.210 Sa, con una abundancia total de 213.640 Sa.

Su distribución vertical varió entre los 20 y 200 m, asociado a las isotermas entre 13 a 21 C, detectándose la mayor frecuencia de cardúmenes en los 13 C. Las isohalinas que limitaron esta distribución variaron entre 34,6 y 35,1 psu, centrado en los 34,9 psu (**Fig. 41**).



3.3.4 Total de especies

El total de especies corresponde a la distribución espacial de todas las especies detectadas, representado en consecuencia la distribución sumada de ellas, se incluye la presencia de langostino detectado entre punta Pichalo y caleta Buena (Fig. 42).

3.4 Indices de cobertura y densidad de anchoveta

Los Indices de Densidad (ID) y Cobertura (IC), calculados en base a las ESDU's de 0,5 mn, considerando las intertransectas costeras, indican que la anchoveta ocupó el 25,2% del área prospectada, registrándose en 399 ESDU's (Tabla 10), mientras que el ID alcanzó a 395,3 t/mn².

4. Condiciones climáticas y oceanográficas que afectan el reclutamiento de anchoveta en la zona norte.

4.1 Condiciones oceanográficas que afectan al reclutamiento de anchoveta en la zona norte. Estaciones costeras. Periodo 1971-1998.

4.1.1 Viento

La serie de tiempo de promedios mensuales de la intensidad del viento en Arica (Fig. 43) muestra un predominio de la componente V (norte-sur) en el período de 1971 a 1998, con la excepción de los años 72-73 y 77-78 en los cuales la componente U (este-oeste) fue más intensa. Entre 1971 y 1998 la intensidad fluctuó entre 1,5 y 8 m/s. En ambas componentes se aprecia el ciclo anual, es decir máximas intensidades en verano y menores en invierno, siendo de menor magnitud en la componente U.



Tanto el índice de surgencia como el de turbulencia siguen el comportamiento de la componente V, es decir tienen fluctuaciones de acuerdo al ciclo anual, máximos índices en verano y menores en invierno (**Fig. 46**). Respecto al número de eventos Lasker se ve un aumento en el tiempo, hasta tener el máximo de eventos posibles por mes (**Fig. 43**).

En Iquique la serie de tiempo (1982-1998) muestra que las intensidades de la componente V y U, presentan un ciclo anual. La componente V tiene las máximas intensidades en verano y las menores en invierno, en tanto que la componente U presenta sus máximas intensidades un par de meses antes que la componente V. La componente V fluctuó entre 1 y 6,5 m/s, a diferencia de la componente U que lo hace entre 0 y 4 m/s (**Fig. 44**). El ciclo anual se vio modificado en los años 82-83 en forma notoria.

Los índices de surgencia y turbulencia al igual que en Arica siguen el comportamiento de la componente V, presentando también un ciclo anual (**Fig. 46**). Respecto al número de eventos Lasker se aprecian meses en que no se observa ninguno hasta meses con el máximo de eventos posibles (31). El número de eventos Lasker tuvo un comportamiento semejante a la componente V, pero inverso, es decir cuando la componente es máxima el número de eventos es mínimo, esto se aprecia claramente en los años 82-83, en que la intensidad de la componente V disminuye a su valor mínimo y se alcanzan por más meses el máximo posible de eventos Lasker (**Fig. 44**).

En Antofagasta (**Fig. 45**) la componente V es notoriamente más intensa que la componente U y ambas presentan un ciclo anual. Al igual que en Iquique en verano la componente V presenta sus máximas intensidades y la componente U lo hace con un par de meses de anticipación. La componente V en los inviernos de 79 y 87 presentó disminuciones más fuertes en su intensidad, además entre 1992 y 1996 se



aprecia un ciclo anual de mayor magnitud. La componente U tuvo mayores intensidades en el verano 73-74 y el invierno del 76, entre 1992 y 1996 las intensidades han aumentado alcanzando en verano valores cercanos a 4 m/s. Los índices de surgencia y turbulencia siguen el comportamiento de la componente V, al igual que el número de eventos Lasker, pero en forma inversa (**Fig. 45**). A partir de 1996 se aprecia una disminución del índice de turbulencia y un aumento de los eventos Lasker.

El ciclo anual de los índices de surgencia y turbulencia (**Fig. 46**) muestra que los promedios mensuales de la estación de Antofagasta son más altos que los de Iquique y Arica durante el período mayo a diciembre, de enero a mayo son mayores los de Iquique. Los mínimos valores se observan en Arica. El ciclo anual de eventos Lasker en Arica es mayor que en Iquique y Antofagasta, sin mostrar un ciclo, mientras que en Iquique entre abril y octubre presenta el mayor número y en Antofagasta de marzo a agosto.

Comparando los valores medidos el año 1998 respecto de los promedios de largo plazo (1971-1998) (**Fig. 46**) se aprecia en Arica que los índices de turbulencia y surgencia fueron superiores al promedio durante los 3 a 4 primeros meses y posteriormente estos fueron menores que el promedio, el número de eventos Lasker se presenta en forma inversa. En Iquique el índice de turbulencia fue menor durante todo el año, el índice de surgencia se presentó por debajo del promedio de enero a mayo y posteriormente fue superior y el número de eventos Lasker fue superior durante casi todo el año, con la excepción de los meses de febrero y agosto. En Antofagasta los índices de surgencia y turbulencia fueron menores que el promedio y los eventos Lasker superior que el promedio.



4.1.2 Temperatura Superficial del Mar

Los promedios mensuales de temperatura superficial del mar muestran una gran variabilidad anual e interanual en Arica, Iquique y Antofagasta (**Fig. 47**), con un claro ciclo anual. Las mayores anomalías positivas se presentaron durante los años 72-73, 82-83, 92 y 97-98 todos los cuales corresponden a años Niño (**Fig. 48**). Desde 1971 a fines de 1976 de acuerdo con las anomalías acumuladas se presentó un período frío, el cual dio paso a un fuerte calentamiento a partir de 1977 hasta fines de 1983 en que el calentamiento empieza a ser más suave. A mediados de 1988 se inicia un período frío que dura hasta comienzos de 1997 en que se inició de nuevo el calentamiento producto del fenómeno de El Niño (**Fig. 49**).

El ciclo anual (**Fig. 46**) muestra que la TSM de Arica es normalmente más alta que la de Iquique, en tanto que la TSM de Antofagasta entre los meses de noviembre y marzo es más alta que la de Arica e Iquique y entre los meses de mayo a agosto es más baja. Al comparar los datos de TSM del año 1998 respecto de los valores promedio se aprecia claramente que durante los primeros meses la TSM era de varios grados por sobre el promedio. En Arica la anomalía disminuye a partir de mayo pero se mantiene ligeramente positiva durante el resto de los meses, con excepción de septiembre y octubre. En Iquique la anomalía es negativa a partir de julio. En Antofagasta en tanto los valores son ligeramente positivos a partir de mayo.

4.1.3 Variación temporal de la temperatura con profundidad

La distribución temporal en la columna de agua (**Fig. 50**) a 5 millas náuticas de la costa muestra la variabilidad anual e interanual de las isotermas en los primeros 300 m de profundidad. Se aprecia una gran variabilidad en los primeros 50 m de la columna de agua con ascensos de agua más fría y calentamientos importantes del agua superficial.



Las isothermas se profundizan notoriamente durante los eventos de El Niño lo que está asociado al paso de una onda Kelvin, la que tiene su mayor amplitud en el sector costero, es así como en marzo de 1997 se observó una primera onda que profundizó las isothermas, luego en junio una de gran magnitud y luego en diciembre una mayor aún, generando una anomalía en casi toda la columna de agua de más de 2°C. A partir de mayo de 1998 las condiciones tienden a la normalidad.

4.2 Hidrografía durante los cruceros de invierno del período 1985-97

4.2.1 Temperatura

Las imágenes de temperatura superficial generadas a partir de la información de los cruceros realizados en los períodos de invierno entre 1984 y 1997 muestran que normalmente la temperatura superficial del agua de mar está entre 14 y 17 °C, con gradientes costa–océano y que en la zona costera presenta las menores temperaturas. En algunos años la temperatura alcanzó valores cercanos a 19°C (1987, 92 y 93), en tanto que durante el invierno de 1997 la temperatura estuvo entre los 18 y 20°C, siendo el invierno más cálido del período (**Fig. 51**).

4.2.2 Salinidad

Las imágenes de salinidad superficial generadas a partir de los cruceros de invierno, muestran que el mínimo es de 34,5 y el máximo de 35,2 psu, con un predominio de valores entre 34,8 y 35,0 psu (**Fig. 52**). Las anomalías están en el rango de -0,5 a 0,5 psu, con predominio de anomalías entre -0,1 y 0,1 psu.



4.3 Distribución espacial de la anchoveta y las condiciones bio-oceanograficas, en invierno.

4.3.1 Densidad de anchoveta

Los mapas de distribución de la anchoveta están basados en 9.900 celdas (app. 36.000 mn²) . Los resultados indican que en general el recurso estuvo altamente agregado, ocupando pequeños sectores que se relacionan con zonas de alta densidad. La distribución de la biomasa de anchoveta presentó una alta variación interanual y zonal, con diferencias significativas entre zonas y años ($F_{\text{zona}}= 14,00$, $p<0,05$; $F_{\text{años}}=10,27$, $p<0,05$) (**Fig. 53**).

El área de distribución promedio de la anchoveta en el período de estudio fue de 8.135 mn² con una desviación estándar de 5.566 mn². En los dos primeros años del estudio, el área de distribución de la anchoveta alcanzó las 13.360 mn² en 1985 y las 17.891 mn² en 1986, para disminuir en el período 1987-1993 a valores que fluctuaron entre 3.081 y 5.561 mn², e incrementarse nuevamente en 1994 alcanzando las 16.979 mn².

El índice de ocupación ($IO = n^{\circ}$ de celdas positivas/ n° de celdas totales) promedio del período de estudio es de 23, este valor es más alto al inicio y al final del período de estudio alcanzando su máximo en 1986, manteniéndose estable en el período 1987-93 en un valor entorno a 12,4 (**Tabla 11**).

En términos de importancia, el mayor aporte es realizado por el sector llamado costero, donde el área costera-norte contribuye en promedio con el 8,33%, el área 2 costera-sur aporta en promedio con el 7,57%, mientras que el área 3 (oceánica-norte) realiza una contribución en promedio con el 4,87% y el área oceánica-sur contribuye en promedio con 2,24% de los IO.



En el área 1 (costera-norte) el IO es más alto que en las otras áreas mostrando una mayor área de concentración del recurso, con la excepción de los años 1994 y 1995 donde los mayores valores de este índice se desplazan hacia el sur (área 2, costera-sur), indicando un desplazamiento de la biomasa de anchoveta hacia el sur.

Los más bajos IO se encuentran en el área oceánica-sur y durante las prospecciones de los años 1987, 1989, 1991 a 1993 el recurso anchoveta no fue detectado en esta área, confirmando lo propuesto por Castillo *et al.* (1997), en cuanto a que el recurso anchoveta presenta una área de distribución similar a una cuña invertida con base frente Arica y vértice cercano a Tocopilla.

La densidad de la biomasa promedio de anchoveta (IDA) presenta sus mayores valores en el período 1986 a 1988 y 1994 a 1995 (**Tabla 12**). Los mayores valores de IDA se estimaron para los años 1986 con 64,65 t/mn² y 1994 con 34,42 t/mn². En ambos años las cartas de distribución muestran que el recurso se concentró preferentemente en el sector central del área de estudio (Iquique-Tocopilla), con una distribución más costera en 1986 y ligeramente más oceánica en 1994. En el período 1989 a 1993 la anchoveta presentó en general una baja densidad, con un valor promedio de IDA que fluctuó entre 1,31 t/mn² en 1989 a 4,08 t/mn² en 1993, con una tendencia del recurso a distribuirse de manera costera a lo largo del área de estudio y en posición oceánica sólo en las cercanías del límite norte del área de estudio.

4.3.2 Huevos

Los mapas de distribución de huevos indican una tendencia a la agregación (**Fig. 54**). Las prueba de análisis de varianza indican que el área de distribución presentó una variación interanual ($F_{\text{años}} = 3,274, p < 0,05$) y una menor variación entre zonas ($F_{\text{zonas}} = 2,489, p < 0,10$).



El área de distribución promedio de los huevos de anchoveta en el período de estudio fue de 19.345 mn² con una desviación estándar de 4.718 mn². En los dos primeros años del estudio alcanzó niveles de 25.756 mn² en 1985 y las 26.368 mn² en 1986, sin embargo, en el período 1987 a 1992 el área de distribución de los huevos presentó una drástica disminución fluctuando en un rango de 10.588 a 20.672 mn². A fines del período de estudio (1993 – 1995), nuevamente se aprecia una expansión del área de estudio que alcanza su máximo valor en 1993 con 32.280 mn².

El índice de ocupación promedio del período de estudio es de 64, este valor es más alto al inicio y al final del período de estudio alcanzando su máximo en 1993. El área oceánica-norte aporta con el 25%, el área costera-sur contribuye con el 28%, el área oceánica-norte aporta con el 27% y el área oceánica-sur contribuye con tan sólo el 20% de los IO. Los más bajos lo presentan en los años 1987 y 1991. Las áreas costera-sur y oceánica-norte presentan los IO más altos.. Al respecto, se debe tener presente que en el sector oceánico la intensidad de muestreo es menor que en el sector costero, hecho que se puede reflejar en una sobrestimación de las áreas de ocupación en estas zonas y una aparente contradicción con los niveles de abundancia, que usualmente son mayores en las áreas costeras.

El índice de densidad promedio de los huevos (IDH) tiene la misma evolución que el índice de densidad de la anchoveta, presentando los valores más altos en el año 1986 con un IDH de 11.152,35 ind/10 m² y en 1995 con 5.058,59 ind/10 m². En el período 1988 a 1994 presenta valores bajos que fluctúan entre 361,96 ind/10 m² en 1988 a 2.436,46 ind/10 m² en 1994.

El análisis de las cartas de distribución de los huevos de anchoveta permite afirmar que el patrón de los huevos es análogo al de la distribución de la biomasa del recurso, mostrando una expansión del área de 2,2 veces el área de los huevos respecto a la de la biomasa.



4.3.3 Larvas

Los mapas de abundancia de larvas de anchoveta indican una distribución agregada (Fig. 55), con variaciones interanuales ($F_{\text{años}} = 3,14$, $p < 0,05$) y entre zonas ($F_{\text{zonas}} = 6,55$, $p < 0,05$).

El área de distribución promedio anual es de 27.999 mn² con una desviación estándar de 4.234 mn², la máxima área de distribución se presenta en 1993 con una cobertura de 34.280 mn² y la mínima en 1987 con 28.488 mn².

El índice de ocupación promedio del período de estudio es de 88,9%, con niveles de aporte entre las distintas áreas relativamente similares que fluctúan entre 23 y 26%. Los IO más bajos se presentan en los años 1986 y 1987. Las áreas oceánica-norte y oceánica -sur presentan los IO más altos. En este caso también se debe considerar lo indicado para la fase huevos, respecto a la menor cobertura del muestreo en el área oceánica.

El índice de densidad promedio de las larvas (IDL) presenta los valores más altos en el año 1985 con un IDH de 4.844,14 ind/10m², en 1986 con 4.762,61 ind/10m² y en 1995 con 3.745,02 ind/10m². En el período 1987-1994 se presentan valores bajos que fluctúan entre 188,15 ind/10m² y 2.128,34 en ind/10m².

En el período de estudio, el área de cobertura de las larvas de anchoveta se expanden en promedio 3,06 veces respecto al área de cobertura de la anchoveta, mientras que el área de cobertura de las larvas se expande 1,39 veces respecto a la de los huevos.



4.3.4 Clorofila-a

Se dispone de información de cloa-a superficial sólo de los años 1989, 1990, 1994 y 1995. La cloa-a promedio es de $1,116 \text{ mg/m}^3$ con una desviación estándar de $1,481 \text{ mg/m}^3$.

Las cartas de distribución de cloa-a indica que los valores más altos se obtuvieron en el período 1989 y 1990 con niveles de $2,36$ y $1,681 \text{ mg/m}^3$, respectivamente, mientras que en los años 1994 y 1995 los valores son significativamente más bajos con sólo $0,876$ y $1,007 \text{ mg/m}^3$, respectivamente. Las condiciones eutróficas se presentan preferentemente en la zona costera (**Fig. 56**).

En efecto, en la zona norte-costera en el año 1989 la cloa-a promedio alcanza los $4,948 \text{ mg/m}^3$ y la zona sur-oceánica los $3,56 \text{ mg/m}^3$. Los valores más bajos de cloa a se presentan en la zona sur oceánica con el valor mínimo y además se presenta en un alto número de celdas en 1990.

4.3.5 Condiciones bio-oceanográficas y la distribución de anchoveta

4.3.5.1 Distribución de anchoveta y variables bio-oceanográficas

A. En relación con la temperatura

La anchoveta se encuentra distribuida en un rango de temperatura que abarca desde los 13°C a los 19°C , con la mayor abundancia asociada a las TSM de 16 y 17°C (**Tabla 13**).

La distribución presenta una variabilidad interanual, en efecto, en el inicio del período de estudio la anchoveta se presenta preferentemente en la moda de 16°C ,



con presencia en el período 1985 a 1988 en temperatura de 14°C, situación que también se observa en 1993 y 1995, donde además se presenta la anchoveta en aguas de 13°C, asociada a la zona costera (**Tabla 13**).

Por otra parte, en los años cálidos 1987, 1992, 1993 y 1994 la anchoveta se presenta también en aguas de 18°C, además en 1993 se presenta en 19°C aunque con una escasa presencia, cabe señalar que ante la presencia de temperatura más elevadas, el recurso se distribuye cercano al borde de estas aguas más cercano a la costa, como en el año 1987 (**Fig. 51 y 53**).

Los índices de asociación de Cr, entre la temperatura y la distribución del recurso en general son bajos, alcanzando los valores más elevados en los años cálidos (**Tabla 14**), confirmando lo encontrado por Barbieri *et al.*, 1995.

B. En relación con la salinidad

En relación a la salinidad la anchoveta se encuentra distribuida en un rango comprendido entre los 34,4 psu a los 35,1 psu, con las mayores abundancias asociadas a valores de 34,7 y 34,8 psu (**Tabla 15**).

En los períodos 1987 a 1988, 1990 y 1994 a 1995 la anchoveta se presenta preferentemente en la moda de 34,7 psu. Mientras que en los años 1986, 1989, 1991 y 1992 se encuentra en la moda de 34,8. La distribución en aguas más salinas se observó el año 1993, que fue el más salino del período.

Los índices de asociación de Cr entre la salinidad y la distribución del recursos son bajos (**Tabla 14**).



C. En relación con la clorofila-a

La anchoveta muestra una clara preferencia por las aguas mesotróficas, sólo en el año 1990 (**Tabla 16**), existe una fuerte presencia de anchoveta en las aguas oligotróficas, cuando el recurso presenta fuerte agregaciones hacia la zona sur del área de estudio. Los índices de Cr muestran una asociación moderada entre la distribución de la anchoveta y la clorofila-a en los años 1989 y 1994 alcanzando valores de 0,394 y 0,28, respectivamente.

D. En relación con los huevos de anchoveta

Los índices de Cr muestran una baja asociación entre las áreas de distribución de la anchoveta y los huevos, estos valores tienden a elevarse en los años 1985, 1989, 1990 y 1994.

E. En relación con las larvas de anchoveta

Los índices de Cr muestran una baja asociación entre las áreas de distribución de la anchoveta y las larvas, estos valores tienden a elevarse en los años 1985, 1989, 1990 y 1994, presentando un patrón de comportamiento similar a los huevos.

4.3.5.2 Presencia de los huevos de anchoveta y variables bio-oceanográficas

A. En relación con la temperatura

Los huevos de anchoveta se encuentran distribuidos en un rango de TSM de 13° a 19°C, con una clara preferencia por la TSM de 16°, 17° y 18°C, aunque con variaciones interanuales (**Tabla 11, 12 y 13**).



Al inicio del período de estudio, (1985, 1986, 1988, 1989 y 1990) existe presencia de huevos de anchoveta en aguas de 13°C, aunque su participación es mínima, alcanzando sólo al 0,3% de las celdas de las cartas. Por otro lado, en los años 1992-4 se presentan huevos de anchoveta en aguas de temperatura de 19°C, sin embargo su presencia es muy baja, que también alcanza al 0,3% de las celdas. Durante los años cálidos (1992, 1993) y en 1986 existe una presencia importante de huevos en aguas de 18°C.

Los índices de Cr muestran una moderada asociación entre las áreas de distribución de los huevos de anchoveta y la TSM, alcanzando en el año 1993 un índice Cr de 0,45. Los índices de Cr son más altos al inicio del período, disminuyen en los años 1988, 1989 y 1990 para después elevarse hacia el final del período (**Tabla 14**).

B. En relación con la salinidad

Los huevos de anchoveta se encuentran distribuidos en un rango de salinidad de 34,3 psu a 35,2 psu, con una clara preferencia por la salinidad de 34,7 y 34,8 psu.

La presencia de huevos en la salinidad más baja se presenta en el año 1991, pero con una participación que sólo alcanza el 1,11% de las celdas, mientras que la salinidad más alta se presenta en el año 1993, en ese año toda la frecuencia de distribución se encuentra desplazada hacia aguas más salinas (**Tabla 11, 12 y 15**), en efecto este es el año más salino del período de estudio.

Los índices de Cr muestran una moderada asociación significativa, entre las áreas de distribución de los huevos de anchoveta y la salinidad, al inicio y al final del período de estudio, alcanzando los índices mas altos en los años 1993 y 1994 con índices Cr de 0,35 y 0,36 respectivamente (**Tabla 14**).



C. En relación con la clorofila-a

Aunque los huevos de la anchoveta se encuentran en los tres tipos de aguas, más del 50% de las celdas con huevos se coinciden con celdas de aguas mesotróficas (1989 y 1995) y cerca del 30% de las celdas con aguas eutróficas, mientras que en los años 1990 y 1994 existe una mayor distribución de huevos en celdas de condiciones oligotróficas (**Tabla 16**).

Los índice de Cr indican una asociación moderada entre la distribución de los huevos de anchoveta y la clorofila a, alcanzando valores de 0,34 a 0,36, la excepción la presentó el año 1990, donde el índice es bajo (**Tabla 14**).

4.3.5.3 Presencia de las larvas de anchoveta y variables bio-oceanográficas

A. En relación con la temperatura

Las larvas de anchoveta se encuentran distribuidas en un rango de de TSM de 13° a 19°C, con una clara preferencia por la TSM de 16° y 17°C, con una clara variabilidad interanual (**Tabla 13**).

El patrón de comportamiento respecto a la TSM se presenta similar a los huevos, con tendencia a desplazar su distribución hacia aguas más cálidas en los años 1987, 1992 y 1993, cuando la zona se encuentra afectada por el fenómeno de El Niño.

Los índice de Cr indican una asociación moderada significativa, entre la distribución de las larvas de anchoveta y la TSM en todo el período, con índice que fluctúan entre 0,3 y 0,46, la excepción la presentó el año 1989, donde el índice alcanzó sólo 0,23 (**Tabla 14**).



B. En relación con la salinidad

Las larvas de anchoveta se encuentran distribuidas en un rango de salinidad de 34,3 psu a 35,2 psu, con una clara preferencia por la salinidad 34,7 y 34,8 psu. La distribución de las larvas de anchoveta presenta una variabilidad interanual, con un desplazamiento hacia aguas más salinas en el período cálido 1992 a 1994, hecho particularmente notorio en el año 1993 (**Tabla 15**).

Los índices de Cr indican una asociación moderada entre la distribución de las larvas de anchoveta en casi todo el período de estudio, los índices tienden a ser más elevados al inicio del período de estudio hasta 1987 y a partir de 1991, el índice más alto se presenta en el año 1994 con I Cr de 0,45 (**Tabla 14**).

C. En relación con la clorofila-a

Las larvas de anchoveta se encuentran distribuidas en aguas de los tres tipos, pero con una clara preferencia por las aguas oligotróficas, mientras que su presencia es escasa en las aguas eutróficas con la excepción del año 1989 (**Tabla 16**).

Los índices de Cr muestran una asociación moderada entre la distribución de las larvas y la clorofila **a** alcanzando valores que fluctúan entre 0,363 y 0,47 (**Tabla 14**).

4.4 Distribución espacial de la anchoveta y las condiciones bio-oceanográficas, en primavera-verano.

4.4.1 Distribución geográfica de la anchoveta en primavera-verano

Los mapas de distribución de los reclutas de anchoveta están basados en 3.060 celdas (**Fig. 57**) Las subáreas están separadas entre ellas por lugares donde no se



encuentran presencia de recurso en los cuatro cruceros analizados. La superficie ocupada por la anchoveta es mayor en el crucero de enero de 1996 (9601) alcanzado las 2.246 mn² y menor en el de noviembre de 1998 (9811) alcanzado sólo 1.672 mn², mientras que en noviembre el de 1996 alcanza las 1.690 mn² y en noviembre de 1998 llega a las 2.089 mn² (**Tabla 17**). En general se puede observar que en los cruceros realizados en noviembre y diciembre el recurso tiende a concentrarse en una superficie menor a la de los que se realizan en el mes de enero. Sin embargo, el análisis estadístico indican que estas diferencias no son significativas entre años, mientras que lo son entre sub-zonas ($F_{\text{años}}=1,025$, $p>0,05$; $F_{\text{zona}}=145,023$, $p<0,05$).

El análisis por subzonas permite determinar que la mayor superficie ocupada por la anchoveta se registró en la subzona 4 (Tocopilla), seguida por la 5 y las sub-zonas 1 y 2. Interanualmente se aprecia que en los cruceros iniciados en los meses de noviembre de 1996 y 1998 se incrementa la superficie ocupada por la anchoveta al sur de la zona de estudio (sub-zona 5) y esta es menor en el área norte. La sub-zona 4 es la que presenta la menor fluctuación interanual (**Tabla 17**).

Los resultados indican que en general el recurso está altamente agregado ocupando pequeños sectores que presentan un desplazamiento interanual.

La densidad de la biomasa promedio de anchoveta (IDA) presenta el valor más bajo en el crucero 9601 con 32,86 t/mn² y el más alto en el crucero 9611 con 267,86 t/mn², durante el crucero 9801 la densidad de reclutas alcanzó 251,36 t/mn² y durante el 9811 esta alcanzó sólo 175,08 t/mn².



4.4.2 Condiciones oceanográficas y la distribución de los reclutas de anchoveta

4.4.2.1 En relación con la temperatura

En las cartas de distribución de la TSM de los cruceros 9601, 9611 y 9811 se observa la presencia de aguas más frías en el sector costero y hacia el sur del área de estudio, mientras que las aguas más cálidas se presentan desde la dirección oeste (**Fig. 58a**). En los cruceros 9601, 9611 y 9811 las TSM promedio eran de 17,19°C, 17,89°C y 17,81 °C, respectivamente. En tanto que en el crucero 9801 la zona se observa una alta temperatura que alcanza en promedio los 23,47° En efecto en ese período el área estaba afectada por el fenómeno de El Niño (**Tabla 18**).

Las cartas de distribución de la temperatura ponderada entre la superficie y los 50 m (**Fig. 58b**) muestra que la temperatura promedio es más baja en los cruceros 9601 y 9611.

La anchoveta en el crucero 9601 se encuentran distribuidos en un rango de temperatura entre los 14°C y los 21°C, la mayor abundancia se encuentra en una TSM de 17°C, seguido por la TSM de 16°C. Mientras que en los cruceros de 9611 y 9811 los reclutas de anchoveta se encuentran distribuidos en un rango de temperatura ligeramente superior (de 1°C) de los 15°C a los 22°C, la mayor abundancia se encuentra en una TSM de 19°C, seguido por la TSM de 18°C. En tanto que en el cruceros de 98001 los reclutas de anchoveta se encuentran distribuidos en un rango de temperatura alta de los 20°C a los 25°C, con una clara asimetría en la curva de distribución, en efecto la mayor abundancia se encuentra en la TSM de 24°C, seguido por la TSM de 25°C, mientras que la presencia de anchoveta en TSM inferiores a 22°C en muy baja (**Fig. 59**).



Los índices de asociación de Cr, entre la temperatura y la distribución del recurso presenta una asociación moderada (entre 0,29 y 0,36) alcanzando el valor más alto en el crucero de 9601 (**Tabla 19**). Estos valores son más altos a los encontrados para los adultos de anchoveta en temporada de invierno (Castillo *et al.*, 1999).

Los reclutas se presentan en un rango gradiente térmico de 0,8 a 4,0 °C, el gradiente de temperatura y la presencia de los reclutas de están relacionados con $R^2 = 0,36$ (**Fig. 60a**).

4.4.2.2 En relación con la salinidad

En las cartas de distribución de la salinidad superficial promedio de los cruceros 9601, 9611 y 9811 es 34,66, 34,65 y 34,64 psu, respectivamente; se observa la presencia de aguas más salinas en el sector norte del área de estudio (**Fig. 3a**). Mientras que en el crucero 9801 la zona se observa una alta salinidad en toda el área, con un valor promedio de 35,29 psu, en efecto en ese período el área estaba afectada por el fenómeno de El Niño. La salinidad promedio de la superficie a los 50 m se presenta en la **Fig. 61b**.

En los cruceros 9601, 9611 y 9811 la anchoveta se encontró mayoritariamente distribuida en el rango de los 34,3 psu a los 35,1 psu, presentando una ligera variación entre cruceros; en el 9601 la mayor abundancia se presenta en 34,6 psu seguido por 34,8 psu, en tanto que en el crucero 9611 la mayor abundancia se presenta en 34,8 psu seguido por los 34,7 psu, en ambos cruceros la presencia de anchoveta en salinidad de 34,9 psu es incipiente. En tanto que en el crucero 9811 mayor abundancia se presenta en 34,6 psu seguido por los 34,5 psu, pero se encuentra recurso hasta las 35,1 psu. La distribución de anchoveta en el crucero 9801 es en un rango de salinidad más alta de 35,2 a 35,6 psu, con la moda en 35,3 psu (**Fig. 62**) (**Tabla 18**).



Al comparar los rangos de preferencia de salinidad los adultos (Castillo *et al.*, 1999) y de los reclutas de anchoveta se observan que en ambos casos la mayor abundancia se encuentra en una salinidad de 34,7 psu, sin considerar los años en que la zona es afectada por el fenómeno de El Niño.

Los índices de asociación de Cr, entre la salinidad y la distribución del recursos se presentan entre 0,30 a 0,27 (**Tabla 19**).

Las anchovetas se presentan en un rango de gradiente salino de 0,3 a 3,9 psu, el gradiente de salinidad y la presencia de los reclutas de están relacionados con $R^2 = 0,27$ (**Fig. 60b**).

4.4.2.3 En relación con el oxígeno disuelto

La cartografía de la distribución de oxígeno superficial se presenta en la **Fig. 63a**, en los cruceros 9601 y 9611 el oxígeno disuelto promedio es más bajo de 3,63 y 4,43 ml/l, en tanto que en los cruceros 9801 y 9811 el valor promedio es alto alcanzando 5,55 ml/l.

Los reclutas de anchoveta están distribuidos en un amplio rango que abarca desde 1,5 a 6 ml/l, pero con un importante variabilidad interanual. En los cruceros 9601 y 9611 el recurso se encuentra distribuido en un rango amplio con una mayor abundancia en los 3,5 y 4,5 ml/l, respectivamente. Mientras que en los cruceros 9801 y 9811 los reclutas se encuentran distribuidos en agua bien oxigenadas de 4,5 a 6 ml/l con una preferencia por los 5,5 ml/l en 9801 y 5,0 ml/l en 9811 (**Fig. 64**).

Los índices de asociación de Cr, entre y oxígeno disuelto y la distribución del recursos se presenta entre 0,32 a 0,22 (**Tabla 19**).



En la **Fig. 65** se observa que la posición de los centros de gravedad (CG) por cruceros por subzonas y por el total presentan una fuerte variabilidad y debido a lo corto la serie (sólo 4 años) no es posible inferir un modelo de ocupación del espacio, a pesar de que se encontraron asociaciones moderadas entre el recurso y las variables ambientales.

Los reclutas se presentan en un rango de gradiente oxígeno de 0,3 a 1,8 ml/l, pero los análisis no indican que exista funcionalidad entre estas variables, el R^2 es de sólo 0,02. Se utilizó un análisis de componentes principales para determinar las variables oceanográficas que determinaron la densidad de anchoveta. En la aplicación de este procedimiento, en primer lugar se estimó la matriz de correlación (**Tabla 20**) esta muestra que existen variables altamente correlacionadas.

El primer componente explica el 51,285% de la varianza y el segundo componente explica el 18,184% de la varianza, los valores propios son 5,128 y 1,918 respectivamente (**Tabla 21**). En la componente 1 las variables que presentan comunalidades significativas son temperatura y salinidad en la superficie y promedio (desde la superficie a 50 m). En la componente 2 las variables que presentan comunalidades significativas son temperatura y salinidad en promedio (desde la superficie a 50 m), gradiente de oxígeno, temperatura y salinidad promedio (desde la superficie a 50 m).

4.5 Ajuste al modelo de Ricker

Para analizar los factores que inciden en el reclutamiento de la anchoveta, se seleccionaron las variables climático – oceanográficas: salinidad, temperatura, índice de surgencia e índice de turbulencia.



Los datos utilizados en éste análisis corresponde a la zona de Iquique; área donde se concentra el desove de la anchoveta y en el mes de agosto, puesto que es el periodo en que ocurre la mayor proporción de la producción anual de huevos.

El índice gonadosomático de la anchoveta presenta un patrón histórico para el periodo 1987- 1998, en el cual se constata el valor máximo durante el mes de agosto (**Fig. 66**). En la Zona Norte, la anchoveta presenta un proceso de desove continuo desde agosto hasta noviembre. Tiene un periodo de reposo sexual entre marzo y mayo y se inicia la vitelogénesis donde se incrementa el índice entre mayo a julio. La anchoveta presenta variaciones del índice gonadosomático durante su periodo reproductivo, debido a cambios en la estructura del stock desovante y a la dinámica de los grupos de edad que la conforman. Por otra parte existen variaciones de la fecundidad, frecuencia de desove, procesos que tienen relación con los factores ambientales que gatillan la reproducción. Por ejemplo, durante 1998 se observa un adelantamiento de la época reproductiva en éste recurso (**Fig. 66**).

Respecto a los cambios interanuales de las variables ambientales involucradas en el análisis; la temperatura del mar en el mes de agosto presenta el nivel más alto en 1998, registrando un nivel superior a los 18°C. Durante agosto de 1986 se registró la temperatura mas baja del período con 13,5°C.

La salinidad indica que durante agosto de 1998 se registró un máximo de 35,06‰, mientras que su valor mínimo se detectó en 1988.

El índice de turbulencia presenta variaciones interanuales con máximos superior a los 200 m³/s³ en el período de 1992-94 y registros mínimos inferiores a 155 m³/s³ en el período 1987-88. El índice de surgencia presentó un incremento importante en el período 1991-1993 y un descenso significativo para el mes de agosto de 1996.



El ajuste de la relación stock-reclutamiento dio como resultado la siguiente ecuación (Fig. 67 A):

$$R = 2,07 \times 10^{19} \text{ SSB } e^{(-5,32 \times 10^{-7} (\text{SSB}) - 1,1741 (S) + 0,1902 (T) - 0,00156 (IS) + 0,00613 (IT))}$$

$$r^2 = 0,63$$

$$n = 14$$

Donde:

- R : reclutamiento de anchoveta expresado en número
- SSB : stock desovante (t)
- S : Salinidad promedio entre las 0 y 20 m de profundidad (‰).
- T : temperatura promedio entre las 0 y 20 m de profundidad (°C)
- IS : índice de surgencia ($\text{m}^3 / \text{s}^3 * 1000\text{m}$ de costa)
- IT : índice de turbulencia (m^3 / s^3)

El ajuste de la relación entre la producción anual de huevos y el reclutamiento en el stock de anchoveta dio como resultado la siguiente ecuación (Fig. 67 B):

$$R = 3,65 \times 10^{14} \text{ PAH } e^{(-3,76 \times 10^{-11} (\text{PAH}) - 1,142 (S) + 0,2110 (T) + 0,00054 (IS) + 0,00282 (IT))}$$

$$r^2 = 0,74$$

$$n = 14$$

Donde:

- R : reclutamiento de anchoveta expresado en número
- PAH : Producción anual de huevos (número)
- S : Salinidad promedio entre las 0 y 20 m de profundidad (‰)



- T : temperatura promedio entre las 0 y 20 m de profundidad (°C)
IS : índice de surgencia ($m^3 / s^3 * 1000m$ de costa)
IT : índice de turbulencia (m^3/s^3)

En las tablas 22 y 23 se entregan los análisis de varianza de las regresiones y los errores típicos de las variable ajustada en cada caso.



VIII. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Condiciones oceanográficas

1.1 Condiciones oceanográficas asociadas al proceso de reclutamiento de anchoveta, medidos durante el crucero RECLAN 9811.

De acuerdo con el criterio de que vientos menores a 5 m/s no causan una mezcla turbulenta en la capa superior de la columna de agua (Simpson y Dickey, 1981), el crucero se caracterizó por tener la mayor parte del tiempo una condición de vientos moderados, ya que el 65,2% de los vientos fueron mayores o iguales a 5 m/s, y por lo tanto se observan algunas zonas de surgencia costera en los perfiles verticales de temperatura y en la distribución superficial de la temperatura.

Durante la ejecución de casi todo el crucero el sistema anticiclónico de presiones se encontraba en su ubicación tradicional con una dirección del viento del S-SW, lo que generó una importante surgencia en la zona de Arica a Pisagua y punta Lobos a Tocopilla.

Al comparar las observaciones de viento del crucero con la información histórica de las estaciones meteorológicas (Fig. 43 a 46), no se observa el esquema de que en Antofagasta se presentan mayores intensidades que en Iquique y Arica, siendo muy similares en las tres estaciones. En noviembre, el transporte y la turbulencia en Arica e Iquique muestra valores normales, en Antofagasta en cambio se presenta una anomalía negativa de significativa importancia. En cuanto al número de eventos Lasker se observa un incremento durante los últimos meses del año, especialmente en Antofagasta, donde, de un promedio de 10 eventos presenta hacia fines de 1998 casi el máximo posible de eventos (30), lo que estaría de acuerdo con la disminución de la turbulencia en el mismo período.



Basados en los boletines climáticos e información de Internet se tiene que en noviembre el Pacífico ecuatorial, al igual que en meses anteriores, continua presentando anomalías negativas en la Temperatura Superficial del Mar (TSM), manteniendo las condiciones propias de un episodio frío (La Niña); el área con anomalías negativas de la TSM se ubica en el Pacífico central, entre 120°W y 170°W con valores de -1 a -2°C. Por otra parte la corriente de Humboldt y los afloramientos costeros del Perú se comportaron dentro el rango normal esperado para la época.

Lo anterior, complementado con la información obtenida durante el Crucero, nos permite confirmar que la situación frente a nuestra costa norte, se encuentra en un fase de normalización y de cambio hacia condiciones frías, proceso que se viene observando desde meses anteriores en la zona ecuatorial, y que además los modelos acoplados y estadísticos continúan sugiriendo el desarrollo de la fase fría del evento ENSO para el primer trimestre de 1999, por lo que se espera que durante los próximos meses las condiciones de La Niña, proyecten sus anomalías hacia la costa sudamericana.

1.2 Factores climático-oceanográficos que afectan el reclutamiento de anchoveta.

Las serie de tiempo de viento de los promedios mensuales de la intensidad del viento de Arica, Iquique y Antofagasta muestran que la componente V (norte-sur) es la predominante durante la mayor parte del periodo de estudio con un claro ciclo anual con máximos en verano y mínimos en invierno y que los índices de surgencia y turbulencia responden principalmente a las variaciones de esta componente del viento. La componente U (este-oeste) normalmente es menos intensa que la componente V que también presenta un ciclo anual claro (**Fig. 43 a 45**)



Las principales modificaciones al patrón anual son producto de los años en que ha habido eventos cálidos, en los cuales las intensidades de la componente V durante el verano disminuyen, incluso llegando a ser menos intensas que las del invierno anterior (72-73, 77-78 y 82-83), produciendo los respectivos cambios en los índices de surgencia y turbulencia.

El número de eventos Lasker, tanto en Iquique como en Antofagasta, tiene un comportamiento inverso respecto a la componente V del viento, es decir en verano el menor número de eventos y el mayor en invierno. Esto no ocurre en Arica, en donde la tendencia es que en cada mes el número de eventos se aproxima al máximo posible de eventos.

En la señal promedio se aprecia claramente la disminución tanto del índice de surgencia como de la turbulencia en los meses de junio a agosto, siendo máximos entre noviembre y marzo. Se observa además que Antofagasta tiene los mayores valores de turbulencia y Arica los menores, que el índice de surgencia o transporte fuera de la costa es mayor en Iquique entre enero y abril; en Antofagasta de mayo a diciembre, y que los valores de la estación meteorológica de Arica son más bajos que los de Iquique y Antofagasta (**Fig. 46**). En lo referente a la señal anual de los eventos Lasker, éstos alcanzan su máximo en mayo y junio en Iquique y Antofagasta, y sus valores menores en septiembre en Antofagasta y entre febrero y marzo en Iquique.

Lo encontrado respecto a una máxima intensidad en verano y una mínima en invierno tanto para el índice de surgencia como para el índice de turbulencia es concordante con los trabajos previos de la zona (Fuenzalida, 1989, Carvajal, 1994, Cubillos y Fuenzalida, 1994), y para las localidades de Callao y Chimbote en Perú (Mendo *et al.*, 1987) y para bajas latitudes a lo largo de la costa oeste de Norte América (Bakun y Parrish, 1982). Por su parte lo encontrado en este trabajo para el



número de eventos Lasker es coincidente con lo encontrado por Cubillos y Fuenzalida (1994).

Los promedios mensuales de temperatura superficial del mar muestran una gran variabilidad anual e interanual en Arica, Iquique y Antofagasta, con las mayores anomalías positivas durante los años 72-73, 82-83, 92 y 97-98 todos los cuales corresponden a años Niño (**Fig. 47 y 48**). Los ciclos anuales que la TSM de Arica son normalmente más altos que los de Iquique, en tanto que la TSM de Antofagasta entre los meses de noviembre a marzo es más alta que la de Arica e Iquique y entre mayo y agosto más baja (**Fig. 46**).

De la comparación del año 1998 respecto del promedio de largo plazo se desprende que la anomalía positiva en la TSM producto de el evento de El Niño se observó hasta abril, disminuyendo notoriamente en mayo. De mayo a diciembre los valores de TSM son muy cercanos a los promedios con anomalías ligeramente positivas o negativas, al igual que el viento en Iquique y Arica.

1.3 Distribución y abundancia de la biomasa fitoplanctónica

La distribución y magnitud de la biomasa fitoplanctónica permiten indicar que este es un año normal, con concentraciones muy superiores a las encontradas en el crucero de Reclutamiento realizado en enero 1998 (RECLAN 9801) (Osses, 1998), notándose especialmente que las proporciones entre la biomasa total y la cloa se mantuvo en una proporción cercana a 1, lo que indica que al menos a nivel de pigmentos fotosintéticos la biomasa retorno a su estado normal.

Los niveles de productos de degradación respecto de la cloa, indican además que la población de fitoplancton estuvo en óptimas condiciones fisiológicas, por lo que la



oferta ambiental de alimentación para consumidores secundarios y terciarios fue óptima.

Es notable la asociación entre las masas de agua fría y las mayores concentraciones de cloa, las que pueden ser confirmadas al comparar los mapas de distribución de temperatura superficial y las mayores agregaciones de cloa. Esto indica que con la relajación del impacto de El Niño sobre el ecosistema éste volvió a un régimen de normalidad, con abundancia de sectores con sistemas frontales que permitieron la agregación de la biomasa y el aumento sustantivo de la producción biológica del área.

2. Biología Pesquera

La anchoveta es un recurso pesquero que presenta fuertes variaciones en su abundancia, estas variaciones se explican principalmente por fuertes cambios en el reclutamiento, debido a que es una especie de vida corta y el reclutamiento constituye el 51% de la biomasa del stock (Barría, 1995). La explotación pesquera ha acentuado los cambios interanuales de abundancia debido a que merma el stock adulto y disminuye el efecto amortiguador de las variaciones del reclutamiento. Actualmente, el stock de anchoveta se encuentra en sobre-explotación y se evidenció un descenso importante del reclutamiento (Barría, 1996 y 1997). Estos antecedentes se han confirmado durante 1996 por una reducción significativa de un 50% de las capturas de anchoveta en la Zona norte de Chile.

El problema del reclutamiento y en particular la fortaleza de la clase anual es un tema que se ha estudiado en la anchoveta de la corriente de California (Blaxter y Hunter, 1980). En dicho stock se ha analizado la fecundidad de la anchoveta y en particular el número de tandas que se producen durante la época reproductiva (Hunter y Golberg, 1982), lo cual es un dato importante en la estimación de la producción anual de huevos.



En todas las especies de clupeidos se produce una alta mortalidad de huevos y larvas durante el primer año de vida (Blaxter y Hunter, 1980; Pitcher y Hart, 1982; Smith, 1985); la cual se atribuye a procesos biológicos tales como canibalismo (Hunter y Kimbell, 1980) y físicos (Alheit y Bernal, 1993; Bakun y Parrish, 1980; Duncombe *et al.*, 1992; Parrish y Mac Call, 1978; Roy *et al.*, 1992). La intensidad de la mortalidad natural determina la fuerza del reclutamiento. Al respecto existen actualmente varias teorías siendo la hipótesis de Lasker (1978) la más difundida y apropiada a la anchoveta, situación que define la producción biológica del stock (Lasker, 1985).

Las estimaciones de reclutamiento de anchoveta se realizan mediante el ASP "Análisis Secuencial de Poblaciones" (Barría, 1989, 1990, 1995, 1996; GTE 1992, 1993, 1994). Las estimaciones del ASP, pueden ser mejorados con información auxiliar sobre el reclutamiento obtenido a través de estos cruceros de investigación y pueden ser utilizados para realizar la prognosis del recurso (Walters, 1982, Hilborn y Walters, 1991).

Actualmente existen modelos para evaluar la anchoveta de California, que no requieren de tanta información biológico-pesquera, pero necesitan información auxiliar a la pesquería (Jacobson *et al.*, 1994). En Administración Pesquera, también existen desarrollos metodológicos importantes para evaluar el riesgo de la información científica en la toma de decisiones a partir de estimaciones de cruceros (Hilborn *et al.*, 1994).

Los resultados de este crucero permiten constatar una recuperación de la fortaleza de la clase anual de anchoveta en la zona prospectada, particularmente en lo que se refiere a la biomasa en peso. Otros antecedentes indican que el proceso de reclutamiento comienza a gestarse en el norte y a medida que avanza el verano se intensifica en el sur. (Barría, 1990). Durante el presente crucero este proceso fue



inverso al detectado en años anteriores, observándose una mayor presencia de reclutas en la zona de Antofagasta seguido de Iquique y finalmente Arica.

Durante el crucero RECLAN9611 se observó la presencia de una segregación espacial por tamaños, los reclutas se encontraron principalmente en la zona de Arica e Iquique y los ejemplares adultos en la península de Mejillones. Al igual que el crucero RECLAN9501, los reclutas se encontraron en zonas en las cuales se observaron frentes costeros bien delimitados e intensos.

Respecto a la comparación de los resultados de las distribuciones de tamaño de las anchovetas por zona de pesca del presente crucero (RECLAN 9811) con el RECLAN 9801, se observa que en Arica disminuyó significativamente la proporción de reclutas en número en el RECLAN 9811 con una distribución polimodal diferente del RECLAN 9501.

Para la zona de Iquique no existen diferencias significativas en la proporción de reclutas capturados en ambos cruceros, apreciándose un leve incremento del número de reclutas en RECLAN 9811 de un 91,5% a un 93,6% y con rangos de longitudes de las anchovetas capturadas entre 6,5 a 16,5 cm de longitud total.

Durante la época del crucero, las anchovetas adultas se encontraban en estados 2 y 5 (pre-desove y desovadas), a diferencia del crucero RECLAN9801 en que el 90 % de las hembras se encontraron en estado 2. Sin embargo, el grado de desarrollo de los ovarios de las anchovetas indica que el proceso reproductivo estuvo sincronizado para desovar de acuerdo al patrón histórico, no obstante durante todo 1998, se observaron altos índices gonadosomáticos (**Fig. 66**).



Respecto a la proporción sexual de las anchovetas se observó un marcado predominio de las hembras a longitudes mayores a los 13,5 cm, de manera similar al RECLAN 9611 y 9801, lo que estaría asociado a una menor evasión a la red de arrastre por su estado de gravidez, esta situación es equivalente a lo observado en la pesquería de cerco por Aranís (1986).

Las diferencias de los pesos medios por zona de pesca permiten deducir la existencia de diferencias significativas en la tasa de crecimiento relativo (**Tabla 4**) entre las distintas zonas consideradas sugiriendo la existencia de distintas ofertas de alimento en estos hábitat o una importante incidencia del peso de las gónadas sobre el peso total de los individuos. La comparación de las pendientes de las regresiones longitud-peso permiten determinar diferencias significativas entre las zonas de pesca. Estas diferencias en los pesos promedios por clase de longitud son más evidentes en anchovetas mayores a los 13,0 cm, hecho que puede estar motivado por la incidencia del peso de las gónadas sobre el peso total dado su mayor estado de madurez, por otra parte se puede inferir que la menor abundancia de anchoveta (Barría, 1999) deja en el medio una mayor cantidad de alimento **per cápita**, lo cual está sugiriendo que en el stock de anchoveta existen efectos densodependientes del crecimiento somático, hecho que se plantea como una hipótesis que debe ser probada a futuro con muestreos ad hoc.

2.1 Modelos no lineales en el ajuste de la relación Longitud-peso de la anchoveta

En general, en biología pesquera desde largo tiempo se ha aceptado que el crecimiento en peso de los peces es explicado adecuadamente por una relación potencial:

$$W = aL^b$$



Donde:

- W = Peso total (g)
L = Longitud total (cm)
a y b = Parámetros de la relación alométrica.

La determinación de los parámetros de esta relación longitud-peso, tradicionalmente se ha realizado mediante la linearización del modelo, aplicando una transformación logarítmica neperiana y ajustándose mediante el método de los mínimos cuadrados. Este procedimiento realiza una aproximación analítica de los parámetros y en algunos casos sus desviaciones estándar resultan irreales (Gayaniolos y Pauly, 1997).

De allí que algunos autores recomiendan utilizar en forma alternativa otros procedimientos, como el método de las estimaciones de mínimos cuadrados no lineal. Este procedimiento consiste en minimizar los residuales en un espacio paramétrico mediante una rutina iterativa.

Teniendo presente estas consideraciones y la necesidad de aplicar los procedimientos mas adecuados en la estimación de los parámetros biológicos, en el presente trabajo se analizan en forma comparativa los ajustes al modelo de relación longitud-peso, mediante la transformación logarítmica, denominado método lineal y por intermedio del proceso iterativo que asegura la minimización de los residuales, llamado método no-lineal.

En la **Fig. 68** se presentan en forma comparativa los dos ajustes.

La comparación de la bondad de los dos ajustes debe tener presente las diferencias en la estructura de los modelos, puesto que en el caso de la transformación



logarítmica, el error se aplica en forma multiplicativa, mientras que en el caso del modelo no-lineal, este error se aplica de modo aditivo., Según:

Ajuste Lineal:

$$W_i = b_1 L_i^{a_1} \varepsilon_i$$

Ajuste no-lineal

$$W_i = b_2 L_i^{a_2} + \varepsilon_i$$

Los tests que prueban la bondad de ajuste de los modelos aplicados requieren que el tamaño de la muestra asegure que se reduzca la variabilidad de ellos, en este caso se dispone de una muestra suficientemente grande para que la variabilidad de los pesos de la anchoveta no sea sesgada. El problema que se presenta para comparar la bondad de los ajustes con los modelos lineales y no-lineales, lo constituye la estructura de la varianza, puesto que en el método no-lineal la varianza es sesgada.

Mas aún, la suma de cuadrados de los residuales para los ajustes lineales y no-lineales mediante el procedimiento de minimización no pueden ser comparados porque cada uno de ellos entregan estimados mínimos pertenecientes a espacios muestrales distintos.

Los criterios entonces para determinar el modelo que evalúe el mejor ajuste a los datos es que por una parte se cumpla que la esperanza del error residual es igual a cero y que la varianza permanezca constante con los cambios en la variable dependiente (PESO) o independiente (L) (Skillman y Yong, 1994) y finalmente comparar la proporción de la variación en torno a la media por medio del coeficiente de determinación (R^2).



Es así como se plotearon los residuales respecto a las variables dependientes (PESO) e independiente (L) para analizar el comportamiento de la varianza.

El gráfico de los residuos fue analizado para ambos modelos (**Fig. 69**) observándose que en el modelo In-lineal (**Fig. 69 A**) la varianza en tallas y pesos bajos es relativamente alta, tendiendo a homogenizarse en pesos superiores a 6 g, situación bastante similar en el caso de las tallas. Este hecho probablemente sea producto de errores de tipo instrumental de la balanza utilizada, asociado a las dificultades y variabilidad de las tallas y pesos menores. Al respecto, se debe tener presente que en este tipo de mediciones, la talla ha sido considerada como una variable sin error, mientras que el peso es la variable aleatoria dependiente medida con error.

En el caso del ajuste no-lineal (**Fig. 69B**), se observa claramente el efecto de heterocedasticidad en las varianzas de los residuales, con un incremento sostenido hacia los valores mayores, particularmente en el caso de las tallas. Cabe mencionar que en el ajuste In-lineal la escala de los residuales es logarítmica, mientras que en el modelo no-lineal, la escala es aritmética.

Respecto al coeficiente de determinación, el modelo In-lineal presenta un ajuste levemente superior con un $R^2 = 0,96$, mientras que el modelo no-lineal tuvo un $R^2 = 0,94$ (**Tabla 4**).

Una situación similar obtuvo Skillman y Yong (1994) en su análisis de las relaciones de longitud-peso de seis especies de atunes en el oceano Pacífico Central, estos autores determinaron que el ajuste linearizado representaba de mejor manera los datos obtenidos.

Finalmente, al comparar los parámetros de los dos ajustes (**Tabla 4**), se aprecian leves diferencias entre los interceptos y las pendientes, que al ser evaluadas y



comparados los pesos estimados según ambas ecuaciones, es posible señalar que en tallas entre los 5 y 10 cm, el ajuste lineal es entre 0,11 a 0,09 g mayor que el ajuste no-lineal, en tallas mayores el ajuste no-lineal sobrestima los pesos en hasta 2,33 g a 16,5 cm (**Fig. 68**).

Dada la situación anterior, en el presente Crucero se prefirió mantener el método lineal para la estimación de la ecuación PESO-L utilizado tradicionalmente, sin dejar de considerar y tener presente las posibles correcciones que surgan de los análisis no-lineales y que deben ser incluídas en futuros trabajos.

3. Factores que afectan el reclutamiento de anchoveta

En la relación de Producción Anual de Huevos (PAH)-Reclutamiento, con las variables ambientales se observa que el coeficiente de determinación del modelo de regresión múltiple es $R^2=0,55$. También es posible determinar que los mayores reclutamientos se produjeron en 1992 y 1993 con niveles intermedios de producción anual de huevos.

En este sentido es necesario analizar esta relación cuidadosamente, debido a que el logaritmo de la tasa de reclutamiento se describe como una sumatoria de mortalidades independientes. Esta condición implica que pueden ocurrir eventos de mortalidad en forma simultánea en el mar, así mismo también efectos combinados al constituirse en una fuente de mortalidad densoindependiente.

Para una interpretación adecuada de los coeficientes de la regresión lineal se debe tener presente el signo y su magnitud, el primero indica el sentido en que afecta al modelo y el segundo señala el ponderador de la variable independiente. En este caso particular, las variables Producción Anual de Huevos (PAH) y Salinidad (S) presentan signo negativo indicando que su efecto es negativo sobre el modelo ajustado, el



significado biológico de la magnitud de la primera variable es que existen efectos densodependientes que regulan la magnitud del reclutamiento. Es decir con producciones anuales de huevos altas el efecto densodependiente es más fuerte y se generan bajos reclutamientos. Particularmente en esta especie se puede generar esta relación por competencia intraespecífica por el alimento, bajo el supuesto que el alimento es el factor limitante. También se han descrito en la literatura una mortalidad de huevos de anchoveta a altas densidades por filtración pasiva de los ejemplares adultos, sin embargo no es significativa. Respecto a la salinidad indica que incrementos de esta variable generan una mortalidad de los huevos de anchoveta y por ende su reclutamiento. En este sentido se puede señalar que variaciones de salinidad en el norte de Chile se deben a la intrusión hacia la costa de masa de agua de altas salinidades en la zona costera hábitat de los reclutas de anchoveta. Las variables temperatura, índice de surgencia y turbulencia tienen efectos positivos sobre el proceso, indicando que los incrementos favorecen el reclutamiento de esta especie.

Las magnitudes del coeficiente indican el peso relativo de cada una de las variables, en este sentido la variable salinidad es la que tiene mayor peso (Tabla 22).

El análisis de varianza del modelo de regresión múltiple ajustado indica que la regresión lineal es significativa a un nivel de confianza de un 80% (Tabla 22).

Cabe mencionar que estos análisis tienen restricciones debido a que el número de variables ambientales no puede ser mayor a la cantidad de observaciones (14 años) y por otra parte puede existir colinealidad entre las variables. Sin embargo, una alta correlación entre variables ambientales implica que su incorporación en el modelo reduce muy poco la varianza total. En este caso seguramente se está produciendo una colinealidad entre las variables IT e IS, puesto que ambas son dependientes de la intensidad del viento, que es fenómeno que las provoca.



Esta situación puede ayudar a explicar el bajo nivel de significancia en que se acepta la existencia del modelo.

El modelo de Ricker que se ajustó a la relación stock desovante (SSB)-recluta tuvo un coeficiente de determinación $R^2=0,39$ (Fig. 67A). Este modelo también se calcula mediante una regresión lineal múltiple, en que la variable dependiente es el $\ln(R/SSB)$ y las demás variables independientes son el stock desovante del stock (SSB), la salinidad (S), la temperatura (T), el índice de surgencia (IS) y el índice de turbulencia (IT). El análisis de varianza del modelo de regresión múltiple indica que la regresión lineal es poco significativa a un nivel de confianza de un 55% (Tabla 23), existiendo un 61% de la varianza total que no es explicado por el modelo.. El comportamiento de las variables independientes tanto en magnitud como en el sentido de influencia es similar al caso anterior.

4. Estimados de biomasa de la fracción recluta de anchoveta y de la precisión

4.1 Estimados de biomasa de la fracción recluta de anchoveta

Los tres estimados de biomasa de anchoveta obtenidos en el presente Crucero son bastante similares con divergencias entre ellos inferiores a 1,7%, siendo el método tradicional el valor más conservador con 310.108 t, diferenciando en un 1,7% respecto al estimado con el método geoestadístico (315.521t), que fue el más alto y sólo 0,02% respecto al de las tallas (310.043 t).,Entre el geoestadístico y el de las tallas se aprecia una diferencia cercana al 1,7%.

Dado lo anterior, se considera que la biomasa de anchoveta estimada con el método geoestadístico fue el más confiable.



El análisis comparativo de la biomasa de anchoveta obtenida en este Crucero con el método tradicional, respecto a los alcanzados en las temporadas primavera-verano de los años 1995, 1996 y 1998 (RECLAN 9501, 9601, 9611 y 9801) indican que en el presente crucero se registró una reducción cercana al 52,1 % y 34,4% respecto al verano de 1998 (RECLAN 9801) (647.760 t) y a la primavera de 1996 (RECLAN 9611) (472.822 t), respectivamente. En relación al verano de 1996 (RECLAN 9601), en que se registraron 102.010 t, el actual estimado representa un incremento superior al 203,9%.

La fracción de reclutas de anchoveta (en peso) en los tres cruceros considerados ha sido 53,4% para el verano de 1995 (RECLAN 9501); 7,6% para el verano de 1996 (RECLAN 9601); 25,56% en la primavera de 1996 (RECLAN 9611) ; 22,6% en el verano de 1998 (RECLAN 9801) y 65,5% en la primavera de 1998 (RECLAN 9811), observándose un importante incremento en el estimado del presente crucero del 38,7% y 65,6% respecto al verano de 1998 (RECLAN 9801) y primavera de 1996 (RECLAN 9611), respectivamente.

En los casos en que se ha aplicado el método de estimación por tallas, se observa que la fracción reclutas ha sido levemente superior que el resultado estimado con el método tradicional, registrándose diferencias de 6,6 y 10,8% en los cruceros RECLAN 9601, 9611 y 9801, siendo comparable, al valor estimado mediante el método geoestadístico, para el RECLAN 9611, en el presente caso, las diferencias se encuentran dentro del orden señalado, no superando el 10,4% entre los estimados con el método tradicional y el de las tallas.

Las diferencias se explican en las características de las distribuciones de tallas, siendo notable en aquellos casos en que son polimodales, como es el caso del crucero 9611 respecto al 9601 y en 9801 y que también podría influir en el presente crucero, dado que en el caso del método tradicional se utiliza el aporte de los reclutas promedio sobre



la pesca, no se pondera adecuadamente las contribuciones de las colas de las distribuciones si es que éstas son distintas a la normal o son multimodales como usualmente acontece. También se debe considerar para explicar las diferencias entre los distintos estimados de biomasa, respecto al de las tallas, el hecho que en este último método las lecturas acústicas se asignan en base a la estructura de tallas obtenida en cada lance por lo puede ocurrir que una importante lectura acústica sea asignada a una estructura de tallas determinada, situación que no se manifiesta al considerar la razón de las lecturas acústicas o la media de las tallas para determinar el TS a aplicar.

4.2 Precisión de los estimados de biomasa

La eficiencia de cada uno de los métodos utilizados en este estudio, para medir la precisión de los estimados de la biomasa, depende del tipo de distribución de los recursos, es así como en general los métodos de los Estratos Agrupados y Bootstrap entregan mejores indicadores en distribuciones de mayor variabilidad, mientras que los indicadores de la precisión (Coeficientes de error y de Variación) obtenidos con el método de los Conglomerados son menores cuando presentan una menor variabilidad dentro de las transectas. Esto se debe a que el método de Conglomerados (Hansen *et al.*, 1954) es el único de los propuestos que considera la variabilidad dentro de las transectas, mientras que en los otros dos casos se considera a la transecta como un solo dato, midiendo solamente la variabilidad que se registra entre ellas y que es atribuible a la distancia entre las transectas.

En el presente caso se alcanzaron Coeficientes de Variación entre 0,11 y 0,22, dependiendo del método) con errores del 17,7 y 37,3%, estimaciones que son inferiores a los obtenidos en cruceros como el 9801 (CV entre 0,17 y 0,21) ó al RECLAN 9611 en que se obtuvo un CV de 0,25 y Error de 41,9%, alcanzándose resultados similares con el método Bootstrap y Estratos agrupados, que reduce la variabilidad al formar estratos entre las transectas vecinas.



Al comparar con el método geoestadístico, también se aprecian los mejores estimadores de la precisión de la serie con errores de 18,1% y CV de 0,11, situación que se debe a la eliminación de gran parte de los ceros, midiéndose casi exclusivamente la variabilidad propia de los datos. Esta mayor precisión en los estimados de biomasa, junto con la validación del valor central, señalado anteriormente respaldan el resultado alcanzado con el método geoestadístico, en desmedro de los otros.

Con el fin de analizar el efecto de la separación entre transectas sobre los estimados de la precisión y de biomasa, en los cruceros RECLAN 9601, 9611, 9801 y 9811, se estudiaron los cambios en el CV frente a distintas separaciones de las transectas, mediante el método de los Conglomerados (Hansen *et al.*, 1953), es así como se consideraron los datos a 5, 10, 15, 20, 25 y 30 mn. Estos análisis también contemplaron los posibles efectos de periodicidad en la distribución espacial de la anchoveta, por este motivo el procedimiento consideró a las transectas pares e impares por separado y renumerando las transectas, descartando a la primera. A cada grupo de datos se le ajustó una ecuación de regresión.

De este modo, se aprecia que al aumentar la distancia entre las transectas el CV aumenta de forma potencial, no lográndose en ninguno de los casos considerados la asíntota, la pendiente mayor en el CV se presentó al cambiar desde 5 a 10 mn, variando alrededor de 10 puntos, este cambio se moderó al cambiar desde 10 a 20 mn, reduciéndose después de las 20 mn. Las ecuaciones de regresión ajustadas a los datos indican que los cruceros de veranos de 1996 (9601) y 1998 (9801) son comparables a los obtenidos en el presente caso (RECLAN 9811) pero con una reducción en el intercepto, mientras que en el crucero de primavera de 1996 (9611) se presentó una pendiente levemente menor y un incremento en el intercepto, indicando cambios menores en los CV frente a un aumento de la distancia entre transectas (**Fig. 70**). También es notoria la menor variabilidad de los CV al aumentar



la distancia entre transectas, situación que seguramente se debe a una distribución relativamente mas homogénea del recurso, respecto a los otros casos.

Los estimados de biomasa no presentaron cambios importantes al variar la distancia entre transectas, presentándose un importante aumento en la variabilidad de los datos al considerar las transectas pares o impares (**Fig. 71**), sugiriendo algun grado de periodicidad en la distribución, en todo caso los resultados alcanzados en el RECLAN 9811, son, al igual que en el caso de los CV, menos variables que en los otros casos.

5. Relación entre los estimados de biomasa y las capturas

Se analizó la relación entre los estimados de biomasa de anchoveta de primavera-verano, respecto a las capturas obtenidas el año siguiente. Para estos efectos se consideró la serie de datos disponible en el periodo 1985 –1991 correspondiente a los cruceros denominados PELANOR y 1995-1998 correspondiente a la serie RECLAN. Los cruceros realizados en el verano (a principios de año) fueron considerados como provenientes de la primavera anterior (a fines del año anterior). Las capturas de 1999 corresponden a los valores acumulados hasta el 30 de octubre (**Fig. 72**).

Se descartaron los pares de datos 86/87, 97/98 y 98/99 por encontrarse evidentemente fuera de la tendencia, situación que en los dos primeros fue provocada por la influencia de El Niño que en ambos casos produjo importantes caídas en las capturas, no obstante los altos niveles de biomasa que se registraron en el verano de 1998 (RECLAN 9801), que para efectos del presente análisis se consideró como primavera de 1997. En el caso del par 98/99, se debe tener presente que las capturas consideradas corresponden a los valores acumulados hasta fines de octubre, no obstante lo anterior, se aprecia el efecto de las bajas



capturas durante el primer semestre de 1999 que han sido el resultado de la normalización del sistema pelágico después de El Niño 1997-98.

Los resultados del análisis indican la existencia de una relación funcional entre la biomasa de anchoveta estimada en la primavera-verano, considerada a principios de la temporada de pesca y la captura del año siguiente. Esta relación fue del tipo logarítmica según:

$$C = -708,1793 + 755,7115 \text{ Log (BIO)}$$

$$R^2 = 0,54$$

$$N = 8$$

Siendo:

C = Captura 1 año más

BIO = Biomasa de anchoveta de primavera – verano.

Se probó el ajuste de la regresión mediante el test $t_{(0,95; 6)}$ y el análisis de varianza con el test $F_{(1,6,0,95)}$. La hipótesis de prueba fue $H_0: \beta = 0$, la que es rechazada con las pruebas mediante el test t y el test F, aceptándose la hipótesis alternativa que indica que los datos se ajustan significativamente a la regresión (Tabla 24 y 25).

La corta serie de datos correspondiente a los estimados de reclutas, en biomasa (t) y abundancia (número), respecto de las capturas del año siguiente impiden visualizar una tendencia clara (Fig. 73), agregándose además el hecho que se han incorporado los efectos de El Niño que afectó intensamente a la zona norte durante 1997-98 y que provocó fuertes caídas en las capturas de 1998, al respecto es importante mencionar que durante gran parte de 1998 y especialmente en el periodo



de verano y otoño, la anchoveta se localizó en sectores profundos, asociada incluso al fondo del mar, lo que la hizo inaccesible a las redes de cerco.

Por otra parte, la aparente contradicción entre el estimado de biomasa del verano de 1996 (RECLAN 9601), considerado como realizado en la primavera de 1995, respecto a la captura de 1996 puede ser explicado por un desfase entre la fecha de realización del crucero (enero de 1996) y el pico del reclutamiento que probablemente se presentó en noviembre- diciembre de 1995.

Respecto al impacto del reclutamiento de la primavera de 1998 (RECLAN 9811) sobre las capturas de 1999 y aún cuando en el segundo semestre se ha registrado un incremento en éstas, se debe tener presente que en el primer semestre de 1999 el sistema pelágico del norte de Chile aún se encontraba en proceso de recuperación después de El Niño lo que se ha manifestado negativamente sobre las capturas, por lo tanto es aún prematuro concluir acerca de esta relación particular.

Castillo **et al** (1996), trabajando en base a una serie de datos provenientes de cruceros hidroacústicos realizados en invierno entre 1985 y 1995, obtuvieron una relación funcional entre los Indices de Densidad de anchoveta respecto a las capturas del año siguiente, según:

$$C = 322,25 + 10,14 ID$$

$$R^2 = 0,55$$

$$N = 10$$

Siendo:

C = Capturas 1 año más (t)

ID = Índice de Densidad del invierno (t/mn^2).



IX. CONCLUSIONES

Los resultados analizados permiten concluir que:

1. De la información histórica se concluye que la época de máximo desove de la anchoveta se caracteriza por:
 - índices de surgencia y turbulencia aumentando desde sus valores mínimos, sin alcanzar los máximos
 - el número de eventos Lasker va disminuyendo desde su valor máximo.
 - temperaturas superficiales del agua de mar más bajas, entre 14 y 17°C, con anomalías entre -1 y 1°C

2. En noviembre la zona de estudio (período del máximo reclutamiento de la anchoveta) se caracterizó por presentar condiciones normales en una tendencia hacia un período frío, destacándose:
 - predominio de vientos moderados (>5 m/s) con índices bajos de surgencia y turbulencia y un mayor número de eventos Lasker.
 - temperatura y salinidad superficial dentro de los rangos normales 14,1 – 21,7°C y 34,5 - 35,2 psu respectivamente.
 - isoterma de 15°C normal, entre 19 y 56 m.
 - predominio de las masas de agua ASAA y AESS y escasa influencia de AST.

3. La distribución de frecuencias de longitud fue polimodal, con un grupo principal de reclutas situado entre los 5,0-12,0 cm y un grupo secundario con moda en los 15,0 cm. Se aprecian diferencias significativas en las distribuciones de frecuencia de longitud por zona.



4. En la zona de Arica se observó una menor presencia de reclutas en las capturas (51,8% en número y 29,0% en peso) y los ejemplares capturados fueron los de mayor tamaño del área de estudio. En su distribución polimodal, el peso promedio total de las anchovetas fue de 17,0 g y la de los reclutas fue de sólo 9,5 g.
5. En la zona de Iquique hubo una alta presencia de reclutas. El porcentaje de reclutas en número y peso fue de 93,6 y 84,8%, respectivamente. El peso promedio del total de ejemplares de anchoveta fue de 8,0 g y de los reclutas de 7,2 g.
6. En la zona de Antofagasta la distribución de longitudes también fue polimodal, destacándose también el grupo de ejemplares reclutas. El porcentaje de reclutas fue de 92,1% en número y de 78,8% en peso y el peso promedio para el total de ejemplares y para los reclutas fue de 5,6 y 4,8 g, respectivamente. En esta zona se detectaron los pesos promedios más bajos del área estudiada.
7. En el período de estudio y al igual que en la primavera de 1996 (RECLAN 9611), en el crucero RECLAN 9811 se observó una fuerte segregación espacial de la anchoveta por tamaños, registrándose presencia de reclutas y adultos en diferentes proporciones en las tres zonas en que se dividió la zona de estudio. No obstante lo anterior y a diferencia de años anteriores, la segregación espacial del reclutamiento de anchoveta fue inversa, registrándose la menor proporción de reclutas en la zona de Arica.
8. Los pesos promedio de los ejemplares presentaron diferencias significativas por zonas de pesca, lo cual implicaría la existencia de efectos densodependientes. Adicionalmente, los pesos medios por tamaño del área de estudio, disminuyeron en la zona de Antofagasta, lo cual podría suponer una disminución en la oferta



trófica causada por alteraciones del medio ambiente (zona de mayor turbulencia).

9. El stock desovante presentó predominio de hembras en el área de estudio (60,2%) sobre machos (39,8%), lo que fue significativo a tallas mayores a los 15,5 cm. En los rangos de longitudes inferiores se mantienen valores cercanos a 0,5.
10. En relación a los estados de madurez el 62,3% de los ejemplares se encontraron en estado 5 (desove) y un bajo porcentaje (27,1%) en estado 2. Latitudinalmente, se observó un desfase en el proceso reproductivo, presentándose de norte a sur una disminución progresiva de los estados 5 (desove) y un incremento gradual de los estados 2 y 3.
11. El análisis de los factores que inciden en el reclutamiento señala que las variables ambientales utilizadas son significativas como fuente de mortalidad y representan menos del 15% de la varianza total. Por lo tanto, deben estudiarse con mayor cuidado los procesos y mecanismos del reclutamiento a diferentes escalas espaciales para que sean incorporadas en un modelo de carácter predictivo o explicativo del reclutamiento.
12. Se ajustaron las siguientes ecuaciones, que relacionan la intensidad de blanco (TS) y la talla (L) según:

$$TS = 18,81 \text{ Log } (L) - 72,61; R^2 = 0,93; N = 18.$$

La ecuación estandarizada al modelo general fue:

$$TS = 20 \text{ Log } (L) - 73, 88.$$



La ecuación del $TS_{kg} - L$ fue:

$$TS_{kg} = -11,72 \text{ Log } (L) - 20,97$$

13. La biomasa de anchoveta estimada con el método geoestadístico alcanzó a 315.521 t con un coeficiente de variación de 0,11 y un error del 18,1%, este valor representa una reducción cercana al 52,1 % y 34,4% respecto al verano de 1998 (RECLAN 9801) (647.760 t) y a la primavera de 1996 (RECLAN 9611) (472.822 t), respectivamente.
14. La biomasa de reclutas de anchoveta, en peso, estimada según el método geoestadístico alcanzó 206.666 t, con un CV de 0,13, valor que representa un incremento del 38,7% y 65,6% respecto al verano de 1998 (RECLAN 9801) y primavera de 1996 (RECLAN 9611), respectivamente.
15. La abundancia total de anchoveta expresada en número de ejemplares, fue de 34.295,8 millones de ejemplares, con un CV de 0,79. La fracción de reclutas en número fue 29.700,13 millones de ejemplares, con un CV de 0,46.
16. Las especies que se identificaron con los lances de pesca y que se detectaron en la prospección acústica fueron la anchoveta (*Engraulis ringens*), mote ó bacaladillo (*Normanichthys crockeri*), pez linterna (*Vinciguerria lucetia*), jurel (*Trachurus murphyi*), sardina española (*Sardinops sagax*) y langostino (*Pleuroncodes monodon*).
17. La distribución espacial de la anchoveta se caracterizó por su alta presencia en el sentido latitudinal, registrándose en prácticamente toda la zona de estudio, en el sentido longitudinal se distribuyó entre la costa y las 8 mn, llegando



ocasionalmente hasta las 9 mn; y un nivel gregario relativamente alto, registrándose importantes concentraciones en áreas relativamente pequeñas.

18. Es posible diferenciar tres sectores desde el punto de vista de dominio de los reclutas, entre Antofagasta y caleta Patillos ($20^{\circ}40'S$); entre caleta Patillos y Pisagua con nivel intermedio de presencia de reclutas, y al sector ubicado en las cercanías de Arica como dominio de adultos.
19. Batimétricamente, la anchoveta se ubicó entre los 10 y 30 m, registrándose el mayor número de agregaciones en los primeros 20 m. Esta distribución estuvo asociada a las isotermas de 13 a $22^{\circ}C$, presentándose dos modas en la distribución de temperatura, una entre los 15y 16 C y otra en los 19-20 C y salinidades entre 34,1 y 35,0, con las mayores frecuencias de cardúmenes en 34,6 y 34,8 psu.
20. Los Indices de Densidad (ID) y Cobertura (IC) indican que la anchoveta ocupó el 25,2% del área prospectada, mientras que el ID alcanzó a $395,3 t/mn^2$.





X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aglen A. 1983. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied. *FAO Fish. Rep.* 300, 293-298.
- Alheit, J. y P. Bernal. 1993 . Effects of physical and biological changes on the biomass yield of the Humboldt Current ecosystem. **En:** Large marine Ecosystems. Stress mitigation and sustainability. K. Sherman, L. M. Alexander y B.D. Gold (**Eds.**). AAAS Press. Washington USA. pp 53-68.
- Arcos, D. y N. Navarro. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37°S). *Invest. Pesq.* (Chile) 33:91-8.
- Arcos, D.F. & M. Salamanca. (1984). Distribución de clorofila y condiciones oceanográficas superficiales frente a Chile Central (Latitudes 32°S-38°S, febrero 1982). *Biol. Pesq.* 13:5-14.
- BAC. 1998. Comisión Permanente del Pacífico Sur. CPPS. Boletín de Alerta Climático BAC N° 98. noviembre 1998.
- Bakun, A and R.H. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current systems. *CaCOFI Rep.* 23: 99-112.
- Bakun, A. and R. Parrish. 1980. Environmental input to fishery populations models for eastern boundary current regions. *IOC Wokshops Reports* 28:67-104.
- Barange, M. Hampton, I. Pillar, S.C. and Soule, M.A. 1994 Determination of composition and vertical structure of fish communities using *in situ*



measurements of acoustic target strength Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 51:99-109.

Barange, M., I. Hamton and M. Soule. 1996. Empirical determination of in situ target strengths of three loosely aggregated pelagic fish species. ICES journal of Marine Science, 53:225-232, 1996.

Barber, T. And L. Smith. 1981. Coastal Upwelling Ecosystem. In Analysis of Marine Ecosystem. De. A.R. Longhurst. Academic Press 31-67.

Barría, P. 1989. Seguimiento de la veda de reclutamiento de anchoveta (1988-1989) y veda reproductiva de sardina 1989. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. 53 pp.

Barría, P. 1990. Situación nacional de los principales recursos pelágicos. In. "Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile". M. A. Barbieri (Ed.) Escuela de Ciencias del Mar. UCV, Valparaíso. 66-71.

Barría, P. 1991. Evaluación del stock de anchoveta 1990. Informe Técnico. Instituto de Fomento Pesquero. Santiago, Chile. 19 pp.

Barría, P. 1995. Investigación Evaluación del stock de anchoveta 1994, I y II región. Informe de Avance. Convenio Instituto de Fomento Pesquero - Subsecretaría de Pesca. Valparaíso, Chile. 14 pp. 14 Anexos.

Barría, P. 1996. Investigación Evaluación del stock de anchoveta 1995, I y II región. Informe Final. Convenio Instituto de Fomento Pesquero - Subsecretaría de Pesca. Valparaíso, Chile. 29 pp. 22 Anexos.



- Barría, P. 1997. Investigación Evaluación del stock de anchoveta 1996, en la I y II región. Informe de Avance. Convenio Instituto de Fomento Pesquero - Subsecretaría de Pesca. Valparaíso, Chile. 25 pp. 15 Anexos.
- Barría, P. J.R. Cañon y A. Zuleta. 1988. Diagnóstico de la pesquería de la anchoveta en la Zona Norte de Chile y proposiciones de manejo para 1988. Comité Técnico Asesor de recursos pelágicos. subsecretaría de Pesca. Informe Técnico Interno. 10 p.
- Barría, P. y R. Serra. 1991. Diagnóstico de las Principales Pesquerías Nacionales. Zona Norte. Evaluación de Stock. SGI-IFOP 92/1. 51 p.
- Bergh, M.O. and D.S. Butterworth 1987. Toward rational harvesting of the south african anchovy considering survey imprecision and recruitment variability. The Benguela and Comparable Ecosystem Payne, A.I.L., Gulland, J. A. and K.H. Brink (Eds). S. Afr. J. mar. Sci. 5: 937 - 951.
- Beverton, R.J.H.and S.J.Holt 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery Invest.Lond Ser.2(199, 533 pp.
- Blanco, J. L. y H. Reyes. 1992. Condiciones Oceanográficas durante Diciembre de 1992. En: Monitoreo Mensual de la Distribución y Abundancia de Recursos Pelágicos y de las Condiciones Bio-Oceanográficas, Zona Norte. Diciembre 1992. Informe a Empresas Pesqueras. Inst. Fom. Pesq. Stgo., Chile.
- Blanco, J. L. y R. Kelly. 1986. Análisis de las condiciones oceanográficas en primavera de 1986. En: Programa investigaciones pesqueras de recursos pelágicos - zona norte. IFOP.



- Blanco, J. L. y R. Kelly. 1987. Análisis de las características oceanográficas en la zona norte de Chile en primavera de 1987. En: Cuantificación de la biomasa de recursos pelágicos y vigilancia bio-oceanográfica zona norte Febrero 1987. Programa de Investigaciones pesqueras de recursos pelágicos - zona norte. IFOP.
- Blanco, J. L.; H. Reyes y A. Vega. 1992. Condiciones oceanográficas en la zona norte de Chile durante Noviembre - Diciembre de 1991. En: Evaluación directa de recursos pelágicos y vigilancia bio-oceanográfica zona norte Noviembre - Diciembre 1991. Programa de Investigaciones pesqueras de recursos pelágicos - zona norte. IFOP.
- Blaxter, J.H.S. y J.R. Hunter. 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Advances in marine Biology*. 20:1-223.
- Brandhorst, W. 1971. Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*. 14(3): 45-84.
- Brandhorst, W. y O. Rojas 1967. Distribución geográfica de la pesca de anchoveta en el norte de Chile y su composición del tamaño, de marzo de 1961 a julio de 1963. Instituto de Fomento pesquero. Publicación N° 24. 69 pp.
- Braun M. 1995. Evaluación hidroacústica de los stocks sardina española, anchoveta y jurel en la Zona Norte, I a IV regiones.
- Braun M., J. Castillo; J.L. Blanco; S. Lillo y H. Reyes. 1994. Monitoreo hidroacústico y oceanográfico de los recursos pelágicos de la I y II Regiones. Cuarto informe de avance. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 104 pp + 72 anexos.



- Braun, M., J. Blanco, J. Castillo y H. Miles. 1998. Monitoreo mensual de las condiciones bioceanográficas en la I y II Regiones. Tercer informe parcial de avance FIP 96-07. Instituto de Fomento Pesquero.
- Carpenter, J. H. 1965. The chasepeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanogr.*, 10: 141-143.
- Carvajal, B. 1994. Transporte y turbulencia y su incidencia en el reclutamiento de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile (20°S). Tesis para optar al título de Biólogo Pesquero. Universidad Arturo Prat. Departamento de Ciencias del Mar. Iquique, Chile 56 p.
- Castillo, J., M. Espejo, S. Lillo y J. Cordova. 1997. Evaluación y distribución espacial del reclutamiento de anchoveta. En: Estimación del reclutamiento de anchoveta en las regiones I y II. Informe Final de proyecto FIP 96-02. Inst., Fom., Pesq., (Valparaíso-Chile). 126 p + anexos.
- Castillo, J., J. Córdova, M.A. Barbieri y S. Lillo. 1996. Evaluación hidroacústica y distribución espacial de los recursos anchoveta y sardina común. En: Evaluación hidroacústica de los recursos anchoveta y sardina común en la zona centro-sur. Informe Final proyecto FIP 95-08. Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 103 p + anexos.
- Castillo, J., M. A. Barbieri, J. Cordova, S. Lillo y U. Parker. 1996. Evaluación hidroacústica de los recursos anchoveta, jurel y sardina española de las regiones I a IV. Informe final Proyecto FIP 95-03. Inst. Fom., Pesq., Valparaíso, Chile. 165 p+anexos.



- Castillo, J., M. Braun, J. Blanco. 1993. Cuantificación Estacional de la biomasa de los recursos pelágicos y vigilancia bio-oceanográfica, zona norte. Informe Final de Proyecto. Inst. Fom. Pesq. (Valparaíso-Chile). 58 p + anexos.
- Castillo, J.. 1998. Evaluación Acústica. En: Evaluación del stock desovante de anchoveta I y II Región. Informe Final proyecto FIP 97-01. Inst., Fom., Pesq., (Valparaíso-Chile), 125 p + anexos.
- Cordova, J., J. Castillo, A. Paillaman y S. Lillo. 1995. Evaluacion Hidroacustica y distribucion del recurso. En: Estimacion del reclutamiento de anchoveta de la zona norte (I y II Regiones). Informe Final de Proyecto FIP 035-94-01. 122 p+71 figs.
- Cruickshank, R.A., 1990. Anchovy distribution off Namibia deduced from acoustic survey with an interpretation of migration by adults and recruits. S. Afr.J. mar. Sci. 9 : 53 - 67.
- Cruickshank, R.A., I. Hampton and M.J. Armstrong. 1990. The origen and movements of juvenile anchovy in the orange river region as deduced from acoustic surveys. S. Afr.J. mar. Sci. 9: 101 - 114.
- Cubillos, L. y R. Fuenzalida. 1994. Indices de surgencia, turbulencia y ocurrencia de "eventos Lasker" en Iquique y Antofagasta (Chile) y su incidencia sobre los aspectos reproductivos de *Sardinops sagax* y *Engraulis ringens*. *Cienc. Tec. Mar., CONA*. 17: 3-13.
- Cury, F. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recrumment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46:670-80.



- Dengol, P., H. Lasen and K.J. Staeth. 1985. In situ determination of target strength of Herring and sprat at 38 khz and 120 khz. *Dana*. 5:45-54.
- Einarsson, H. y B.Rojas de Mendiola.1963. Descripción de Huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* J.) *Bol.Inst.Rec.Mar*, Callao, 1(1):1-23.
- Espejo, M. y J. Castillo. 1997. SIMBAD un nuevo enfoque de procesamiento de datos acústicos. En Resúmenes XVII. Congreso de Ciencias del Mar. pp 186-187.
- Fischer, W. 1958. Huevos, crías y primeras prelarvas de la "anchoveta" (*Engraulis ringens*) *Jenyns. Rev. Biol.* 8 (1,2 y 3):111-124.
- Foote, K. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *J. Acoust. Soc. Am.* 82 (3) September. 981-987.
- Foote, K., H. Knudsen, G. Vestnes, D. Mac Lennan and J. Simmonds. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: A practical guide. ICES Cooperative Research Report 144, Palaegade 2, 1261 Copenhagen K, Denmark.
- Foote,K. 1983. *Journal of the Acoustical Society of America*, Maintaining precision calibrations with optimal cooper spheres.
- Forbes, T. 1985. Progress in dual - beam target strength measurement on herring and blue whiting, *Conf. meet Int. Coun Explor. Sea* 1985/B:41, Copenhagen, Denmark.



- Fotte, K., A, Aglen, and O. Nakken. 1986 Measurements of fish target strength with a split beam echosounder. J. Acoust. Soc. Am. 80 (2), August 1986. 612-621.
- Freon, P. y E. Yañez. 1995. Influencia del medio ambiente en evaluación de stock: Una aproximación con modelos globales de producción. Invest. Mar., Valparaíso 23:25-47.
- Fuenzalida, R. 1989. Variabilidad temporal de un índice de surgencia para la zona de Iquique (Lat. 20° S). Invest. Cient. y Tec., Serie: Ciencias del Mar 1:37-47.
- Fuenzalida, R. 1990. Proceso de surgencia en la región norte de Chile, Latitudes 20°30'S-21°45S. Invest. Cient. y Tec., Serie: Ciencias del Mar 2:79-104.
- GTE, 1992. Informe técnico de evaluación conjunta de los stocks de sardina y anchoveta del sur del Perú y norte de Chile. Grupo de trabajo IFOP - IMARPE, sobre las pesquerías de pequeños pelágicos. Primer Taller, Lima, 2 - 16 marzo de 1992.
- GTE, 1993. Informe técnico de evaluación conjunta de los stocks de sardina y anchoveta del sur del Perú y norte de Chile. Grupo de trabajo IFOP - IMARPE, sobre las pesquerías de pequeños pelágicos. Segundo Taller, Valparaíso, 18 - 25 octubre de 1993.
- GTE, 1994. Informe técnico de evaluación conjunta de los stocks de sardina y anchoveta del sur del Perú y norte de Chile. Grupo de trabajo IFOP - IMARPE, sobre las pesquerías de pequeños pelágicos. Tercer Taller, Callao, 9 - 20 mayo de 1994.



- Gunther, E. R. 1936. A report on oceanographical investigations in Peru Coastal Current. *Discovery Rep.*, 13: 107-276.
- Guzmán, O., J. Castillo; S. Lillo; P. Pineda; L. Rodríguez e I. Giakoni. 1983. Estudio de recursos pelágicos. Programa Monitoreo de los Recursos Pelágicos I. Prospección zona Arica-Coquimbo (18°30'- 30°00'S). Corporación de Fomento de la Producción (AP 83-82) Inst. Fom. Pesq., Santiago, Chile.
- Halldorsson, O. and P. Reyneisson. 1983. Target Strength measurements of herring and capelin in situ at Iceland. In: O. Norkken and S.C. Venema (Eds), Symposium on fisheries acoustics. Bergen, Norway, 21-24 June 1982. *FAO fish. Rep.*, (300): 78-84.
- Hampton, I. 1987. Acoustic study on the abundance and distribution of anchovy spawners and recruits in south african waters. The Benguela and Comparable Ecosystem Payne, A.I.L., Gulland, J. A. and K.H. Brink (Eds). *S. Afr. J. mar Sci.* 5: 901 - 917.
- Hansen, R., W. Madow y W. Huwitz. 1953. Sample survey methods and theory. Volume I and II. Methods and applications: John Wiley and Sons, INC.
- Hilborn, R. and Walters, c. J. 1992. A quantitative fisheries stock assessment and management: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, New York, 570 pp.
- Hilborn, R., E.K. Pikitch, M. K. McAllister 1994. A Bayesian estimation and decision analysis for a age-structured model using biomass survey data. *Fisheries research* 19: 17-30.



- Hunter, J.R. and C.A. Kimbell 1980. Egg cannibalism in the northern anchovy *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin U.S. 78:811-816.
- Huyer A., R.L. Smith & T. Paluszkievicz (1987). Coascal upwelling off Peru during normal and el Niño Times, 1981-1984. Journal of Geophysical Research 92: 14297-14307.
- Jacobson L. y N.C.H. Lo y J.T. Barnes. 1994. A biomass-based assessment model for northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin 92:711-724.
- K. M. Volter. 1985. Introduction to Variance Estimation xii, 428 page, 1985.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relationship between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fish. Bull.U.S. 73:453-462.
- Lasker, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California current: identifications of factor contributing to recruitment failure. Rapp. P-V Reún Cons. Inst. Explor. Mer 173:212-230.
- Lasker, R. 1985. What limits clupeoid production? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42 (Suppl 1):31-38.
- Lillo, S. y M. Espejo. 1991. Distribución y abundancia de sardina, jurel, anchoveta y caballa en primavera de 1991. En: Evaluación directa de recursos pelágicos y Vigilancia Bio-oceanográfica. Zona Norte. Informe de Proyecto. Inst. Fom. Pesq. Santiago, Chile. (pp 57-81).



- Lluch-Belda, D., D. Lluch-Cota, S. Hernandez, C. Salinas y R. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. 1991. CalCOFI Rep. 32:105-11.
- Mac Lennan, D. and J. Simmonds. 1992. Fisheries Acoustics. Published by Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK. 325 p.
- Maclerman, D.N, and A. Menz. 1996. Interpretation of *in situ* target-strength data. ICES. Journal of Marine Science, 53:233-236. 1996.
- Medwin H., and C. S. Clay. 1998. Fundamentals of Acoustical Oceanography. Academic Press, 712 p.
- Mendelson, R. 1989. Reanalysis of Recruitment Estimates of the Peru Anchoveta in Relationship to other population Parameters and the Surrounding Environment. ICLARM Conf. Proc. 18:364-85.
- Mendo, J., L. Pizarro and S. Castillo. 1987. Monthly turbulence and Ekman transport indexes 1953 to 1985, based on local wind record from Trujillo and Callao, Peru. P. 75 – 88: *in*: D. Pauly and I. Tsukayama (Eds.). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem. Three decades of change. ICLARM Studies and Review 15. 351 p. Instituto del Mar del Peru. (IMARPE).
- Methot, R. 1990. Synthesis Model: An Adaptable Framework for Analysis of Diverse Stock Assessment Data. International North Pac. Fish. Comm. Bull N° 50: 259-277.



- Millero, F. and A. Poisson. 1981. International one atmosphere equation of state of seawater. *Deep Sea Res.*, 28A, 625-629.
- NODC. 1991. Users Guide. National Oceanographic Data Center . N° 14. NOAA.
- Osses, J. 1996. Condiciones oceanográficas asociadas al reclutamiento de anchoveta. **En:** Estimación del reclutamiento de anchoveta en la zona norte de Chile (I y II regiones). Informe Final, Proyecto Fondo de Investigaciones Pesqueras. Inst., Fom Pesq. Valparaíso, Chile.
- Osses, J. 1998. Distribución de la biomasa fitoplanctónica. **En:** Evaluación del reclutamiento de la anchoveta en la zona norte. Proyecto FIP 97.
- Osses, J. 1999b. Análisis de pigmentos vegetales. **En:** Monitoreo acústico estacional de las condiciones bio-oceanográficas en las regiones I y II (Etapa I). Proyecto FIP 98-08.
- Osses. 1998. Distribución de la clorofila a y los feopigmentos. **En:** Monitoreo mensual de las condiciones bioceanográficas en la I y II regiones. Proyecto FIP 96-07.
- Osses. 1999a. Distribución de la clorofila a y los feopigmentos. **En:** Monitoreo oceanográfico estacional de los recursos pelágicos en la I y II regiones. Proyecto FIP 97-02.
- Parrish. R.H. y A.D. Mac Call. 1978. Climatic variations and explotation in the pacific mackerel fishery. *Calif. Dep. Fish. Game. Fish. Bull.* 167:109 p.



- Parsons, T.R., Y. Maita y C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press 173 pp.
- Peterman, R.M. and M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). *Science*. 235: 354-356.
- Peterman, R.M., M.J. Bradford, N.C.Lo and R.D. Methot. 1988. Contribution of early life stages to interannual variability in recruitment of northern anchovy (*Engraulis mordax*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*45:8-16.
- Petitgas, P. 1993. Geostatistics for fish stock assessments: a review and on acoustic application. *ICES J. mar. Sci.*, 50: 285-298.
- Pitcher, T. y P.J.B. Hart. 1982. Fisheries Ecology. The Avi. Publishing Company. I.N.C. Westport; Connecticut. 414 p.
- Reid, J. L. (1965). Intermediate waters of the Pacific Ocean. The Johns Hopkins Oceanographic Studies, No. 2: 85 pp.
- Reid, J. L. (1973a). Transpacific Hydrographic sections at Lats. 43°S and 28°S., the SCORPIO Expedition III. Upper water and a note on southward flow at mid depth. *Deep Sea Res.*, 20 (1): 39-49.
- Reid, J. L. (1973b). The shallow salinity minima of the Pacific Ocean. *Deep Sea Res.*, 20 (1): 51-68.
- Robotham, H and J. Castillo. 1990. The bootstrap method: an alternative for estimating confidence intervals of resources surveyed by hydroacoustic techniques. *Rapp. P.-v. Reún. Cons. int. Explor.Mer*, 189: 421 - 424.



- Rojas de Mendiola B. (1980). Summary of the studies about food and feeding habits of the anchovy (*Engraulis ringens* J.). IOC workshop Report N°28: 221-231.
- Roy, C., P. Cury and S. Kifani. 1992. Pelagic fish recruitment success and reproductive strategy in upwelling areas: environmental compromises. The Benguela and Comparable Ecosystem Payne, A.I.L., Gulland, J. A. and K.H. Brink (Eds). S. Afr. J. mar. Sci. 12: 135 - 146.
- Ryther, J.H., D.W. Menzel, E.M. Hulburt, C.J. Lorenzen & N. Corwin. (1971). Production and utilization of organic matter in Perú coastal current. Investigación Pesquera. 35: 43-59.
- Sharp, G. 1980. report of the Workshop on effects of enviromental variation on survival of larval pelagic fishes. In: IOC Workshop report N° 28:15-59.
- Shelton, P., L. Hutchings. 1990. Ocean Stability and Anchovy Spawning in Southern Benguela Current Region. Fishry Bulletin, U. S. 88:323-38.
- Shotton R. y Bazigos G.P. 1984. Techniques and considerations in the design of acoustic survey. Rapp.P.V. Reun. Cns. Int. Explor. Mer. 184: 34 -57.
- Shotton, R. 1979. Acoustic survey design. In: Meeting on Hydroacoustical methods for the estimation of marine fish population. Cambridge, MA, USA. 25- 29 june 1979.
- Sievers H. y N. Silva. 1982. Masas de agua y circulación frente a la costa de Chile entre las latitudes 18°S - 33°S (Operación Oceanográfica "MARCHILE VIII") Cienc. y Tec. del Mar. Contrib. CONA (6): 11-99.



- Sievers, H. y N. Silva. 1975. Masas de agua y circulación en el Océano Pacífico Sudoriental. Latitudes 18°S - 33°S. Operación MARCHILE VII. *Cien. Y Tec. Del Mar. Contrib. CONA*. 1: 7-67.
- Sievers, H. y N. Silva. 1982. Masas de agua y circulación frente a la costa de Chile entre las latitudes 18°S - 33°S (Operación Oceanográfica "MARCHILE VIII"). *Cienc- y Tec. Del Mar. Contrib. CONA*. 6: 11-99.
- Silva, N. y D. Konow H. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Crucero 3-4, julio - agosto 1974. *Rev. Com. Per. Pacífico sur*, (3):63-75.
- Silva, N. y H. Sievers, (1981). Masas de agua y circulación en la región de la Rama Costera de la Corriente de Humboldt. Latitudes 18°S - 33°S. (Operación Oceanográfica MARCHILE X - ERFEN I). *Cienc. y Tec. del Mar. CONA N°5*: 5-50.
- Simmonds E. John, N. Williamson, F. Gerlotto and A. Aglen. 1991. Survey design and analysis procedures: a comprehensive review of good practice. ICES C.M. 1991, 113 p. (Figures).
- Simpson, J.J. and T.D. Dickey. 1981. The relationship between downward irradiance and upper ocean structure. *J. Phys. Oceanogr.* 11:309.
- Skillman, R. A., & m. Y. Y. Yong. 1974. Length-weight relationships for six species of billfishes in the central Pacific Ocean. In R.S. Shomura and F. Williams (editor). *Proceeding of the international Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972. Part 2. Review and contributed papers*, p. 126-137. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-675.



- Smith , R. 1968. Upwelling. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 6:11-46.
- Smith, P.E. 1985. Year- class strenght and survival of 0-group clupeoids. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 42 (Suppl 1): 69-82.
- Smith, P.E. y S. Richardson. 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO. Documentos Técnicos de Pesca N° 175.
- Sobarzo, M & D. Figueroa. (1998). Rise of waters in the Bio-Bio river submarine Canyon (Chile) as a response to surface winds. *Cont. Shelf Res.* (en prensa).
- Strickland, J.D.H y T.R. Parsons. 1968. A practical handbook for seawater analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 167:311 pp.
- UNESCO. 1981 a. The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. *Unesco Tech. Papers in Mar., Sci.* N°36.
- UNESCO. 1981 b. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. *Unesco Tech. Papers in Mar. Sci.* N°38.
- Walters, C. J. 1981. Optimum escapements in the face of alternative recruitment hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 678- 689.
- Zar, Jerrold H. (1974). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Clifs, N. J.



FIGURAS

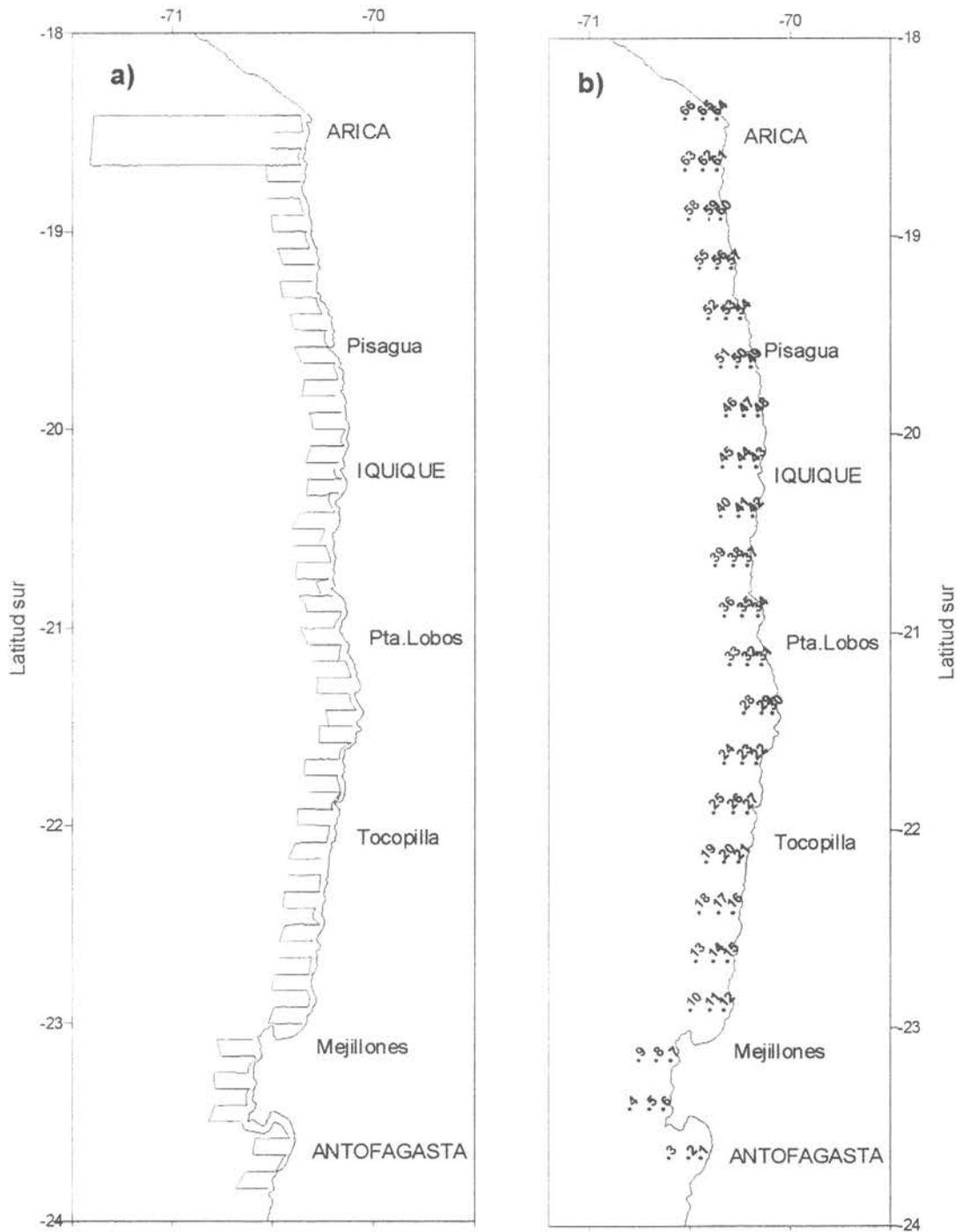


Figura 1. a) Track de navegación acústico y b) posición geográfica de las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9811.

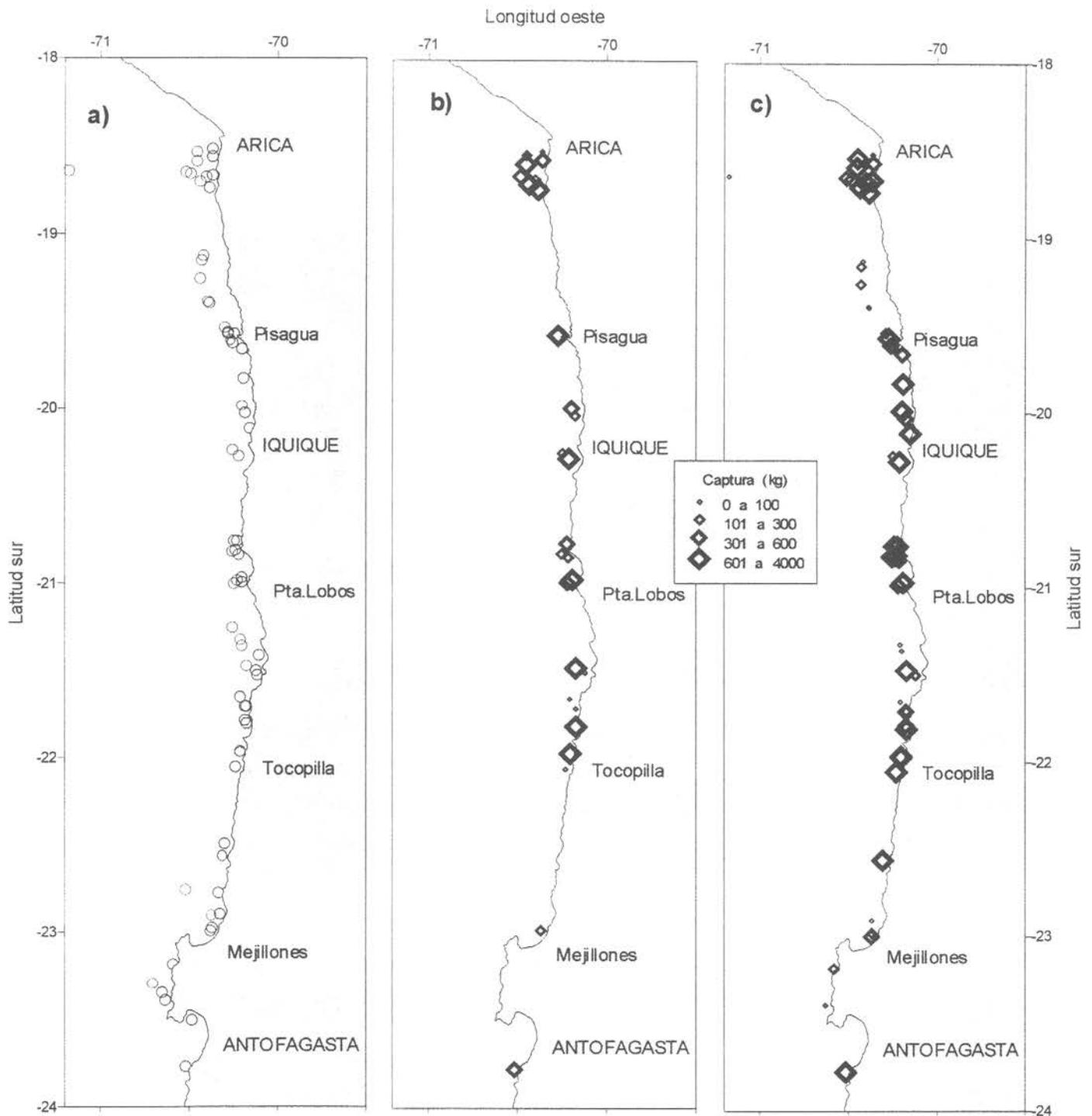


Figura 2. a) Ubicación de los lances de pesca de media agua; b) captura de anchoveta y c) captura de otras especies. Crucero RECLAN 9811.

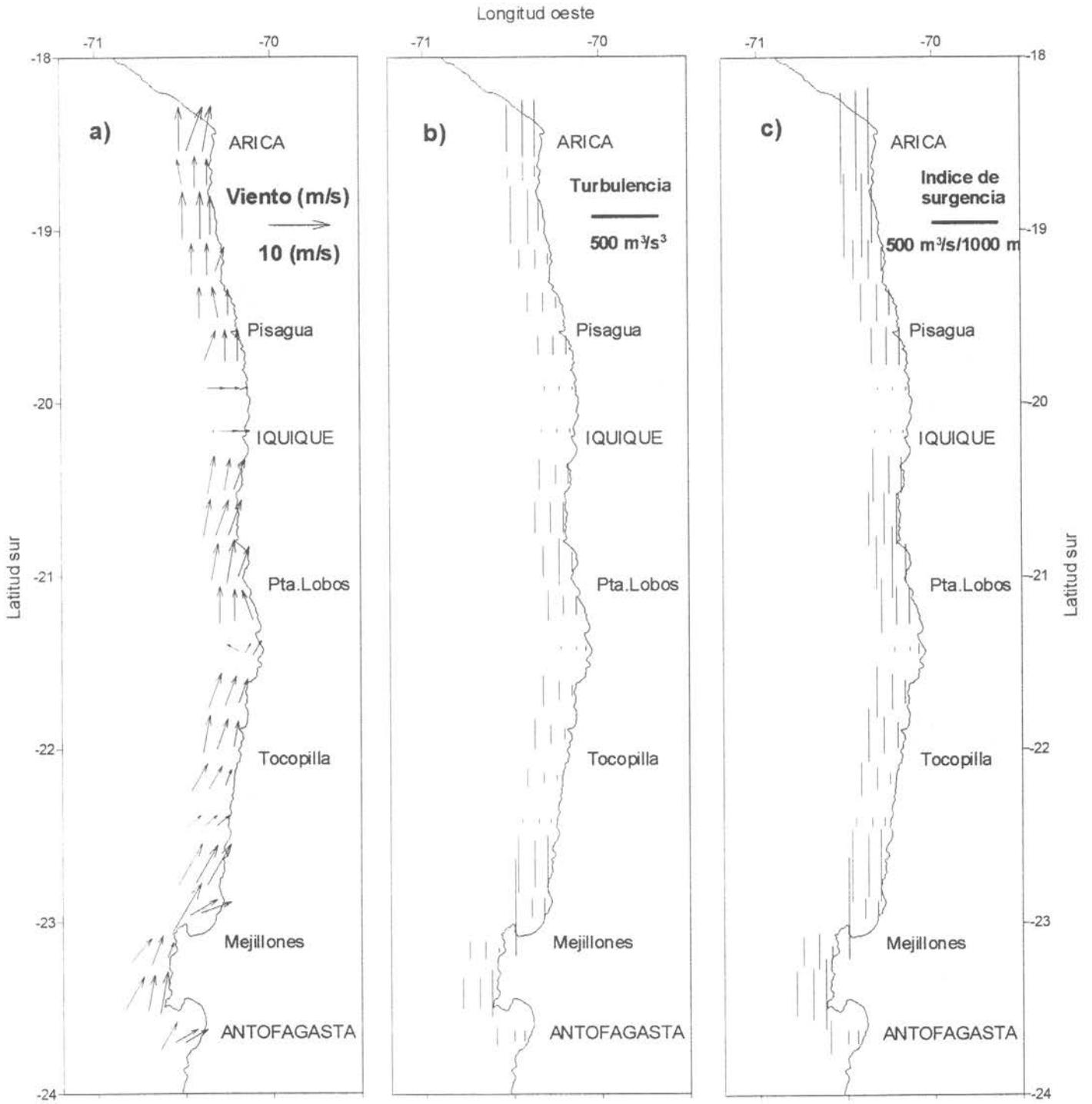


Figura 3. Dirección e intensidad del viento medido en las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9811.

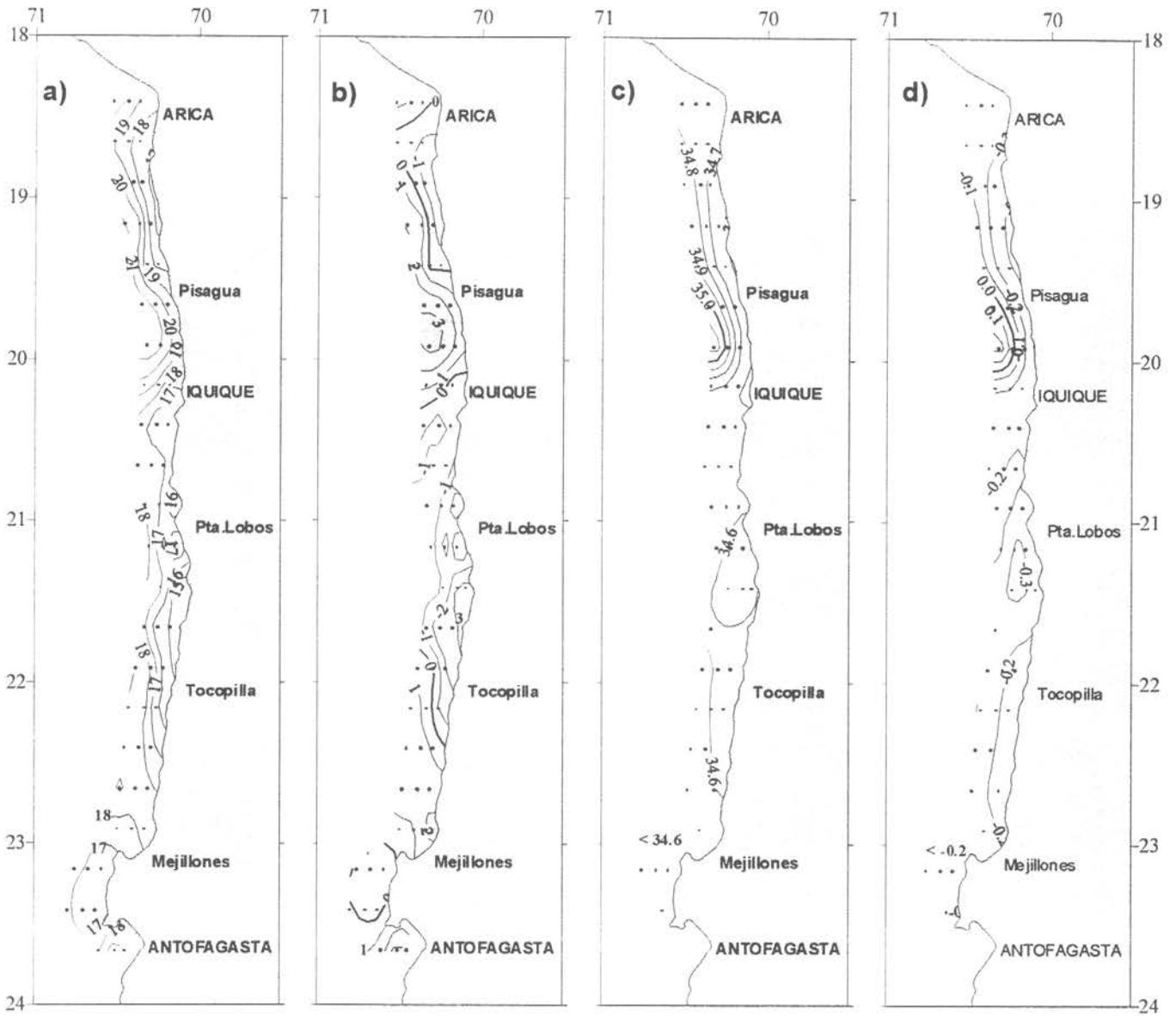


Figura 4. Distribución superficial de a) temperatura, b) anomalía de temperatura, c) salinidad y d) anomalía de salinidad. Crucero RECLAN 9811.

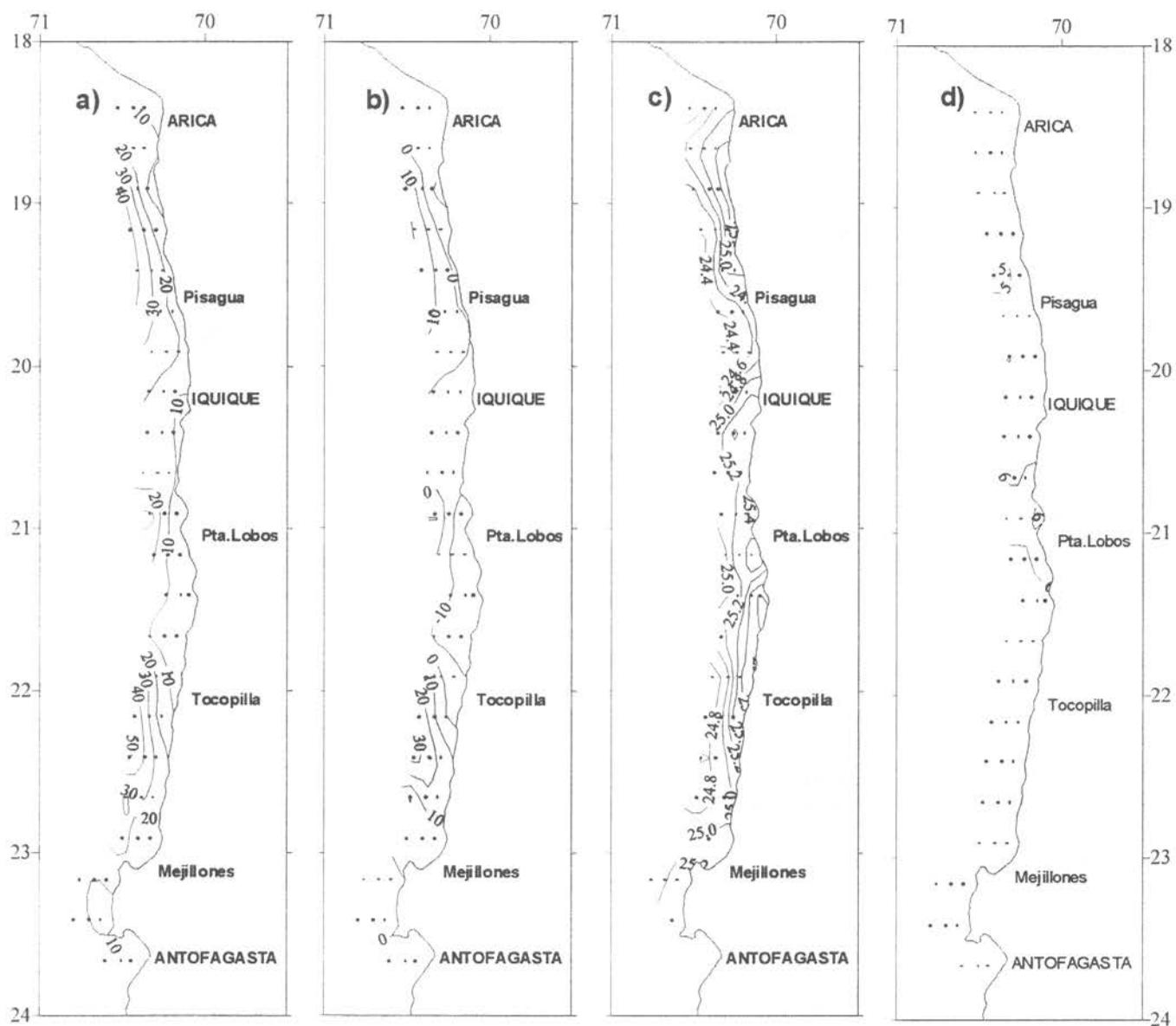


Figura 5. a) Profundidad de la isoterma de 15°C; b) anomalía de la profundidad de la isoterma de 15°C; y distribución superficial de c) densidad (σ_t) y d) oxígeno. Crucero RECLAN 9811.

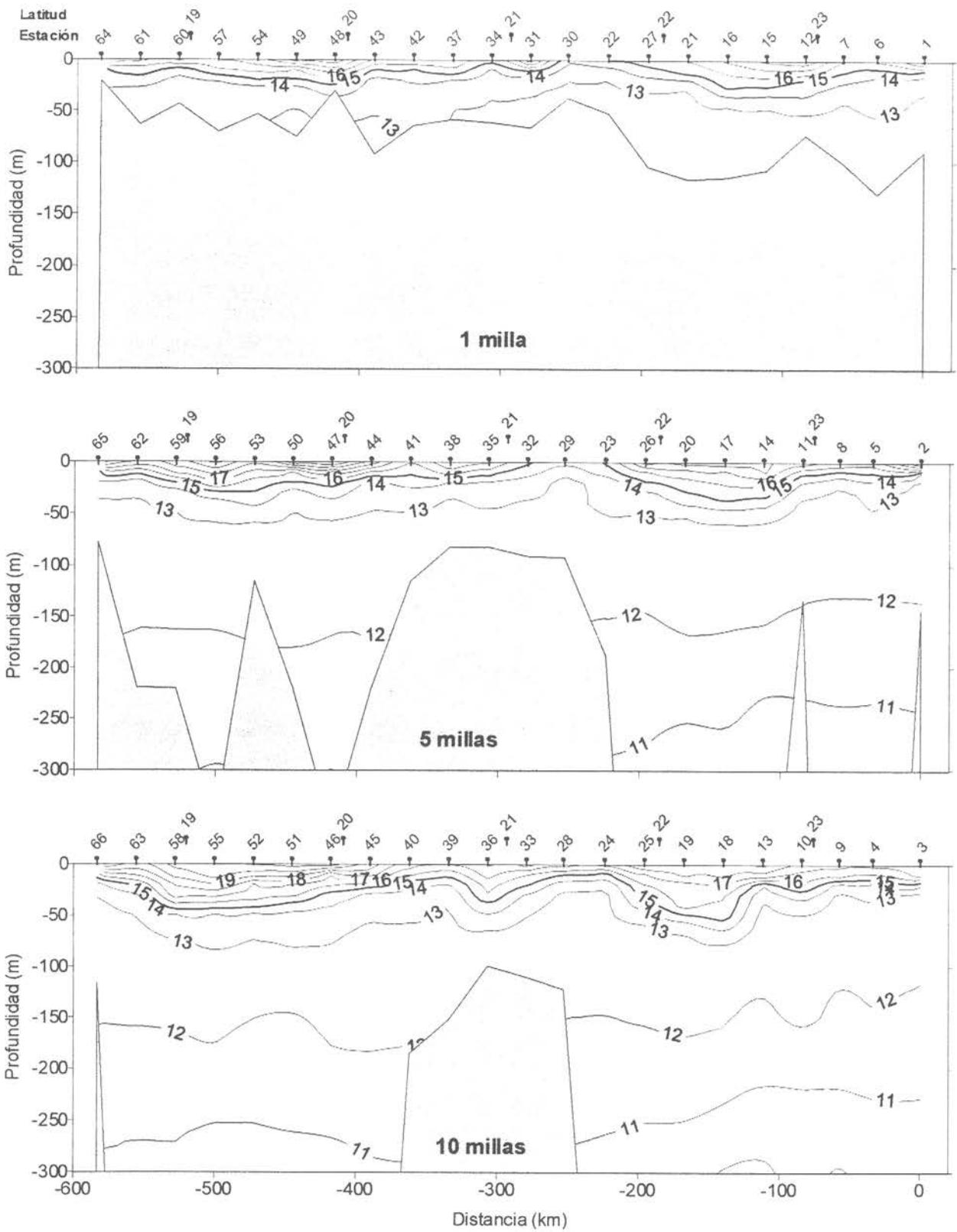


Figura 6. Distribución vertical de temperatura en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.

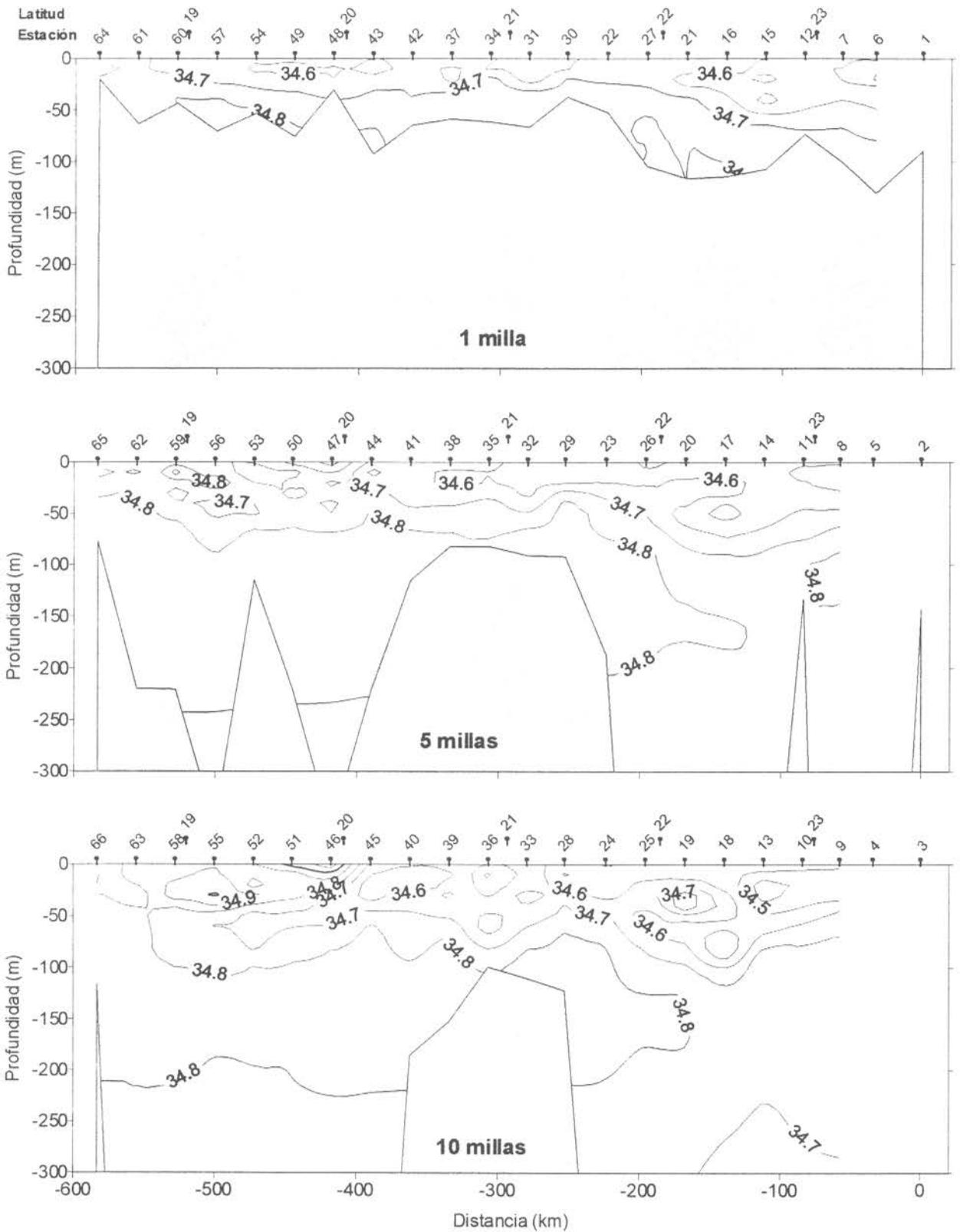


Figura 7. Distribución vertical de salinidad en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.

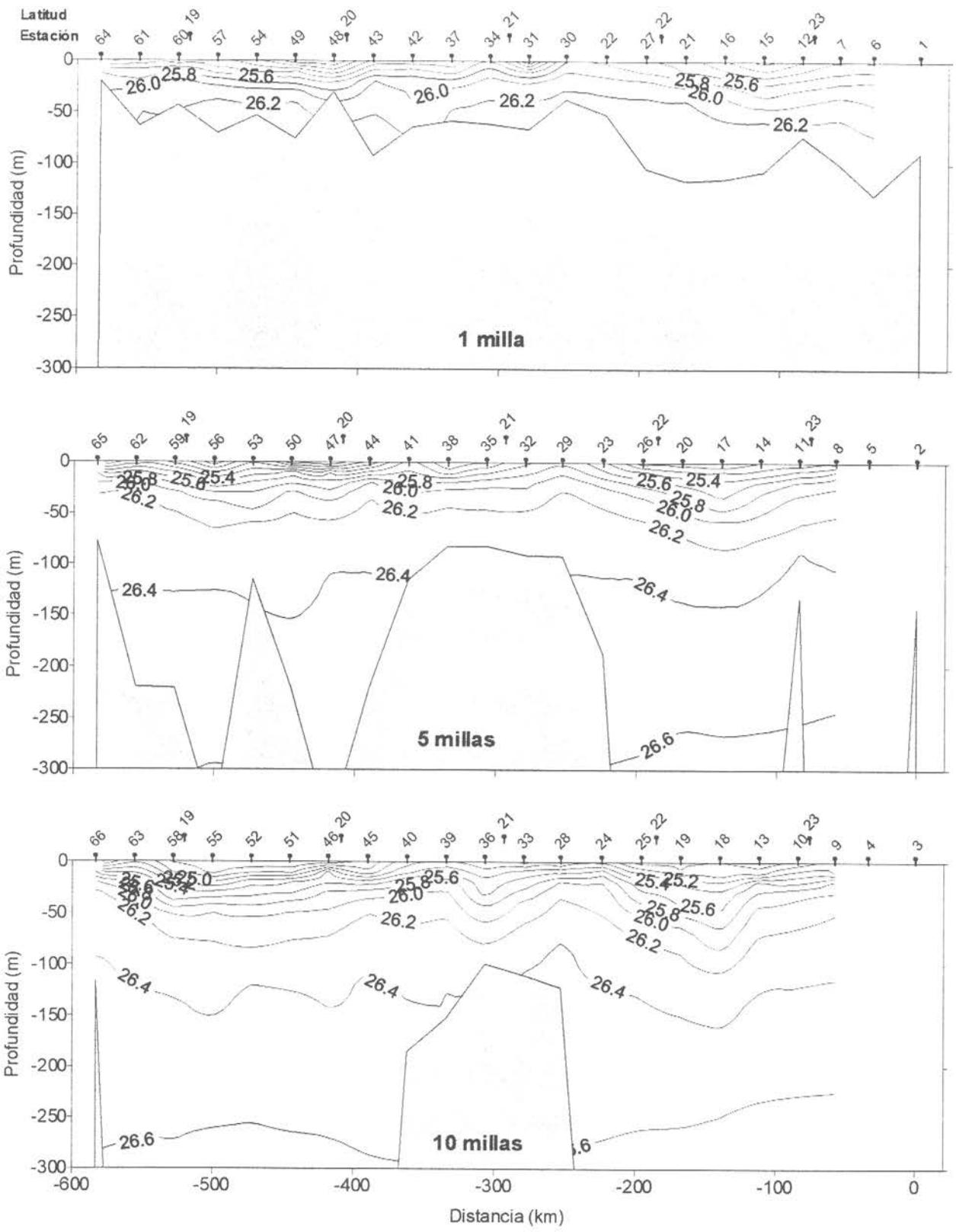


Figura 8. Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$) en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.

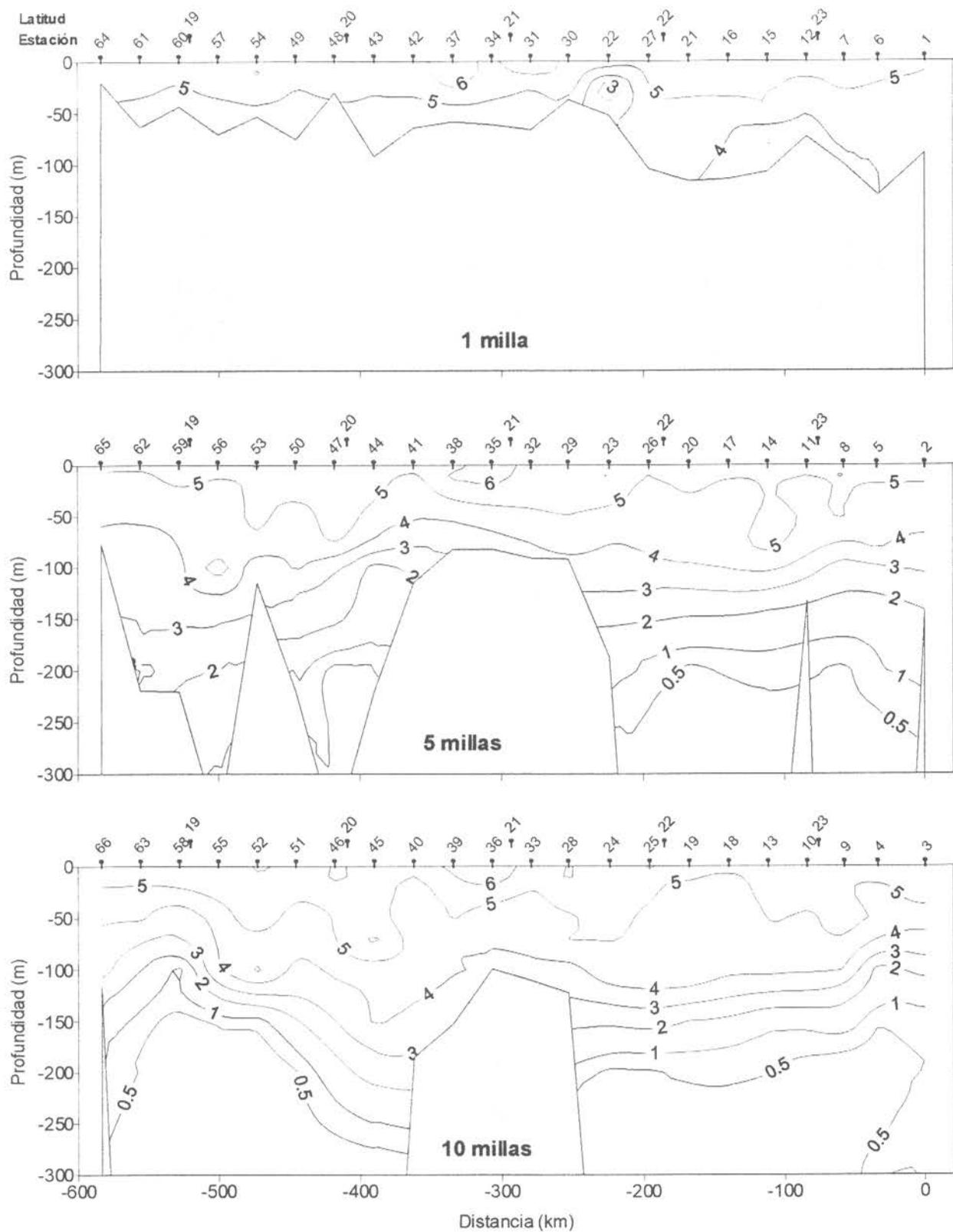


Figura 9. Distribución vertical de oxígeno disuelto (ml/l) en transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.

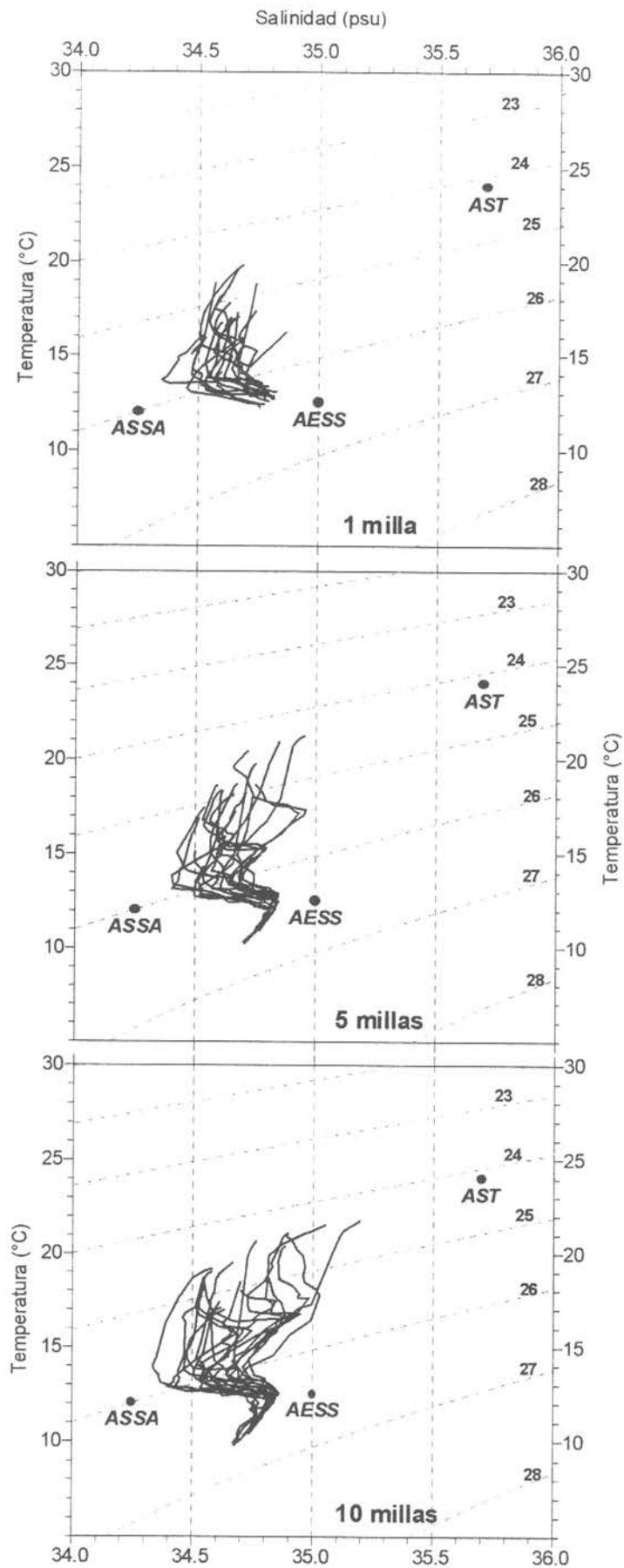


Figura 10. Diagramas t-s de las estaciones en las transectas paralelas a la costa a 1, 5 y 10 mn. Crucero RECLAN 9811.

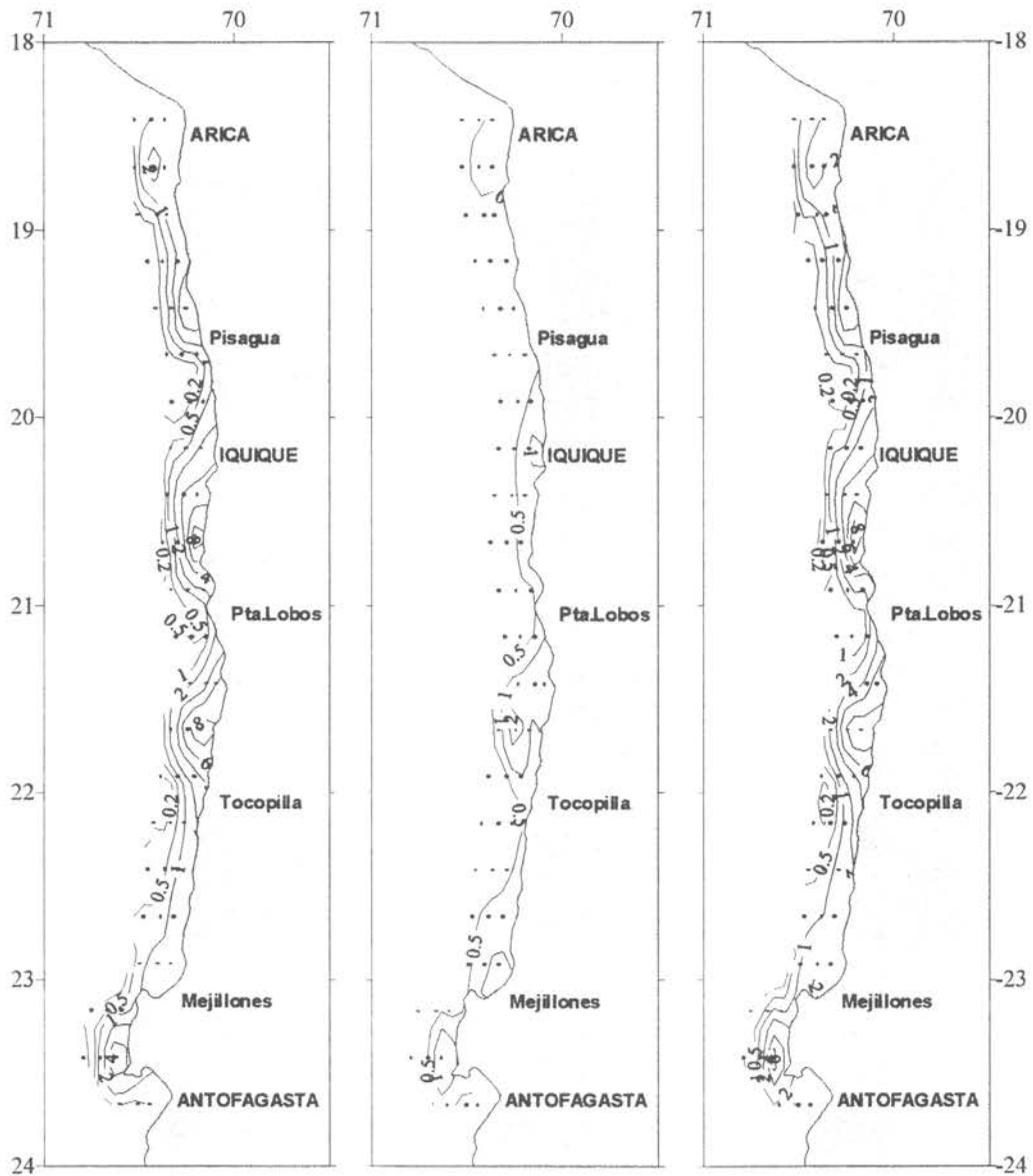


Figura 11. Distribución superficial de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/l}$).
Crucero RECLAN 9811.

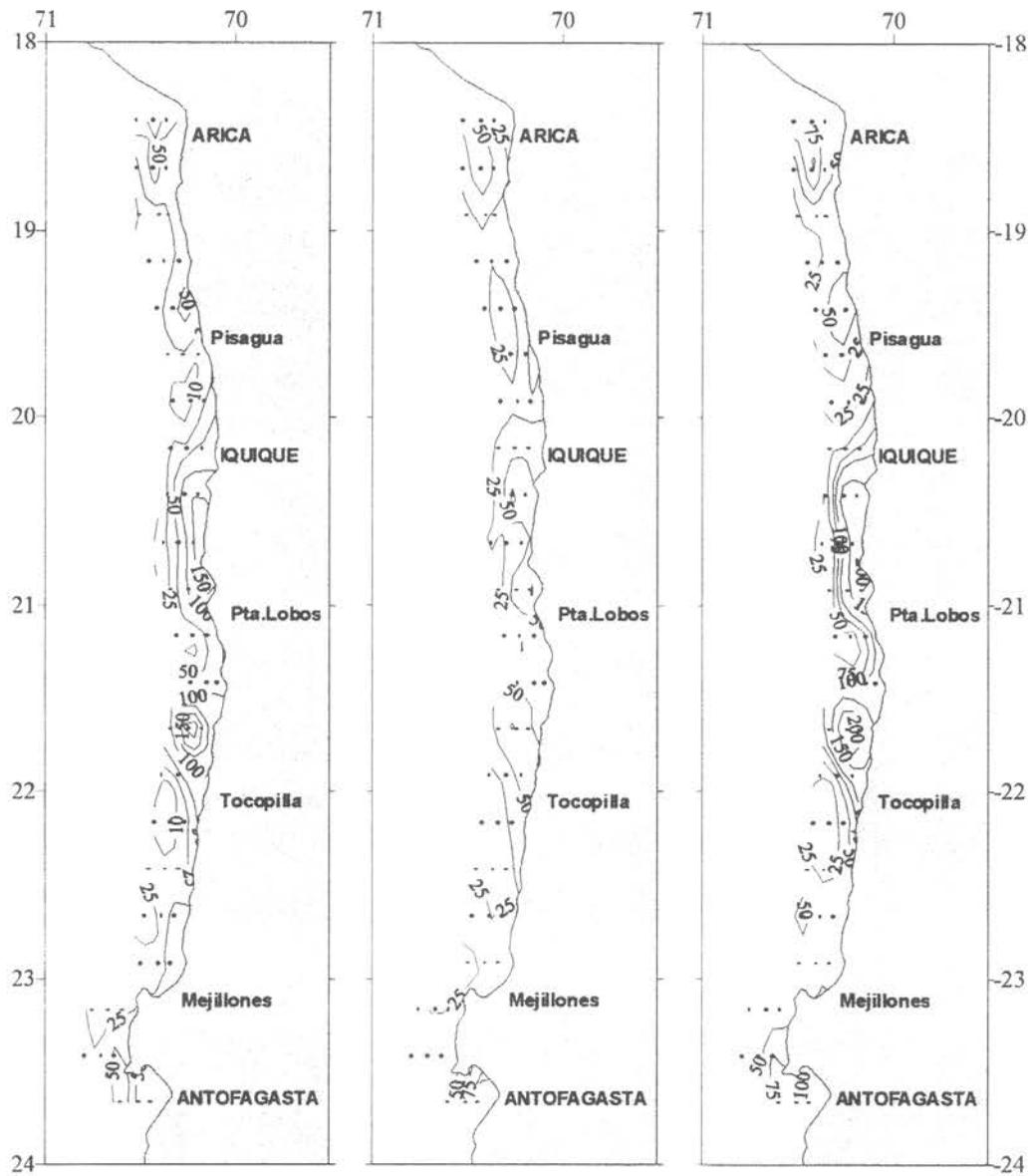


Figura 12. Distribución superficial de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total integrados (mg/m^3). Crucero RECLAN 9811.

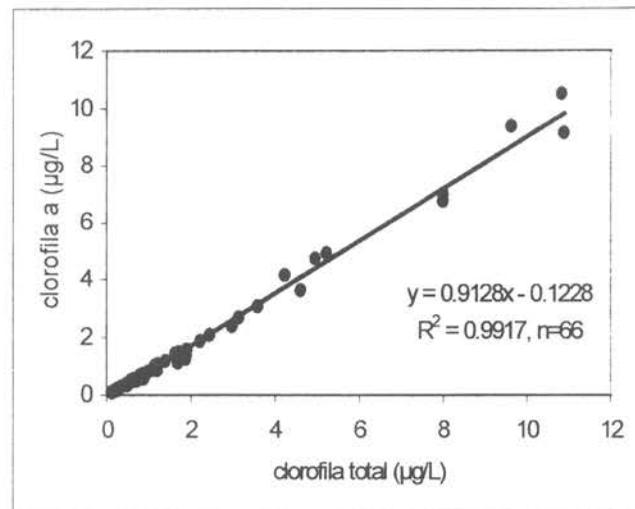
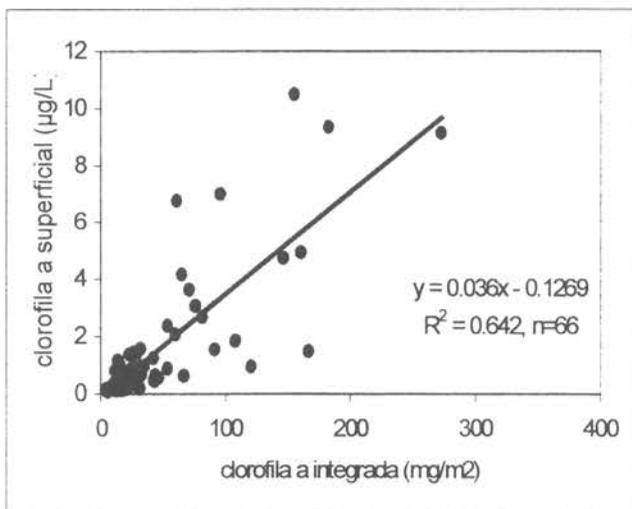
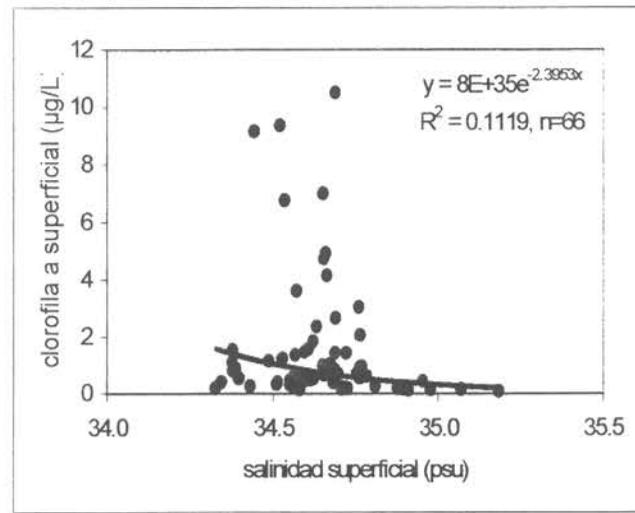
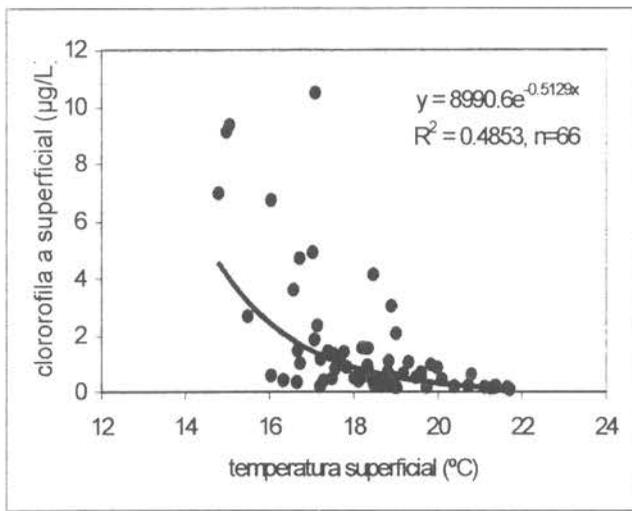


Figura 13. Diagramas de las asociaciones funcionales entre la clorofila ($\mu\text{g/l}$) versus la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (psu), clorofila integrada (mg/m^3) y clorofila total ($\mu\text{g/l}$).

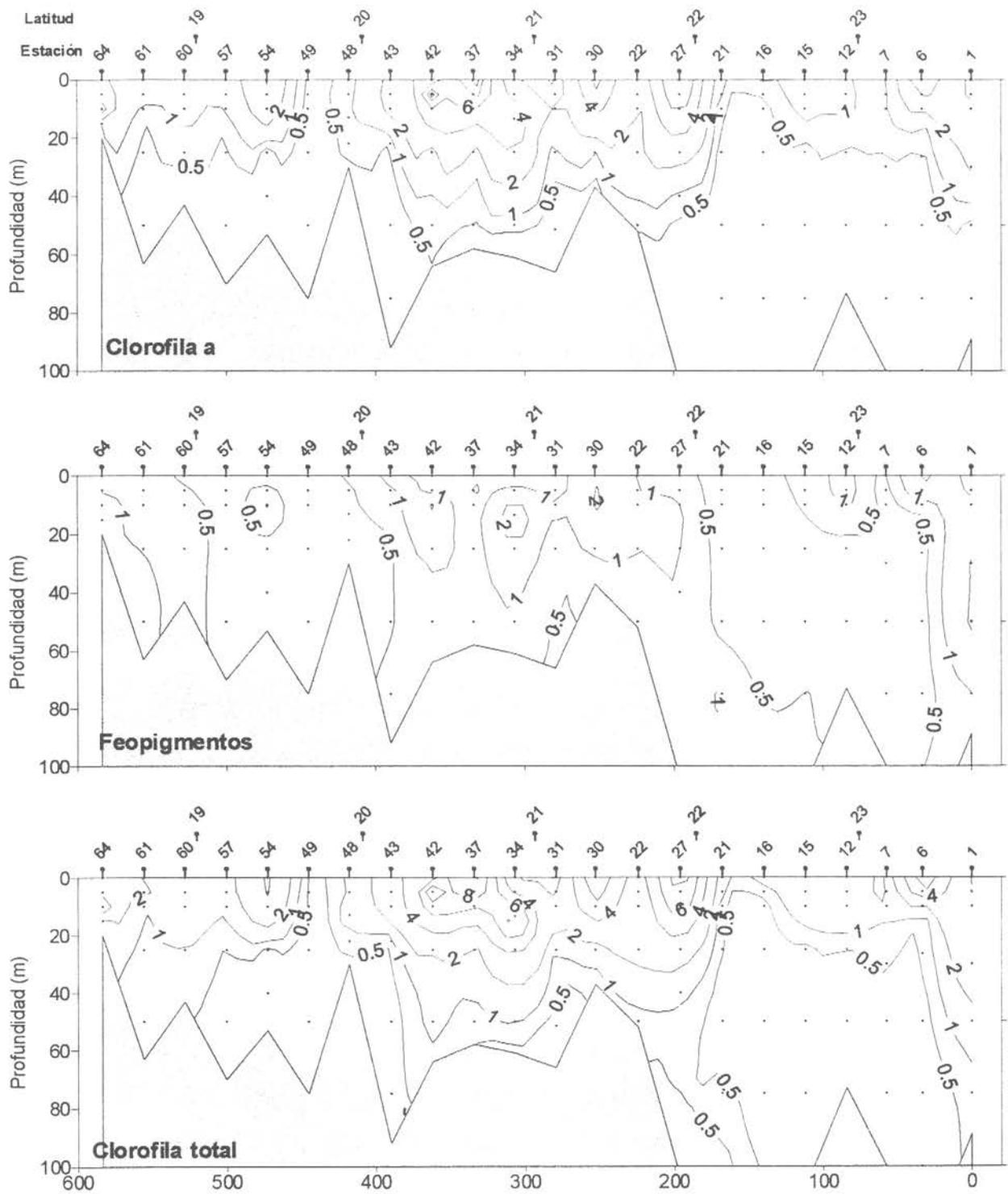


Figura 14. Distribución vertical de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/l}$), en una transecta paralela a la costa y a 1 mn. Crucero RECLAN 9811.

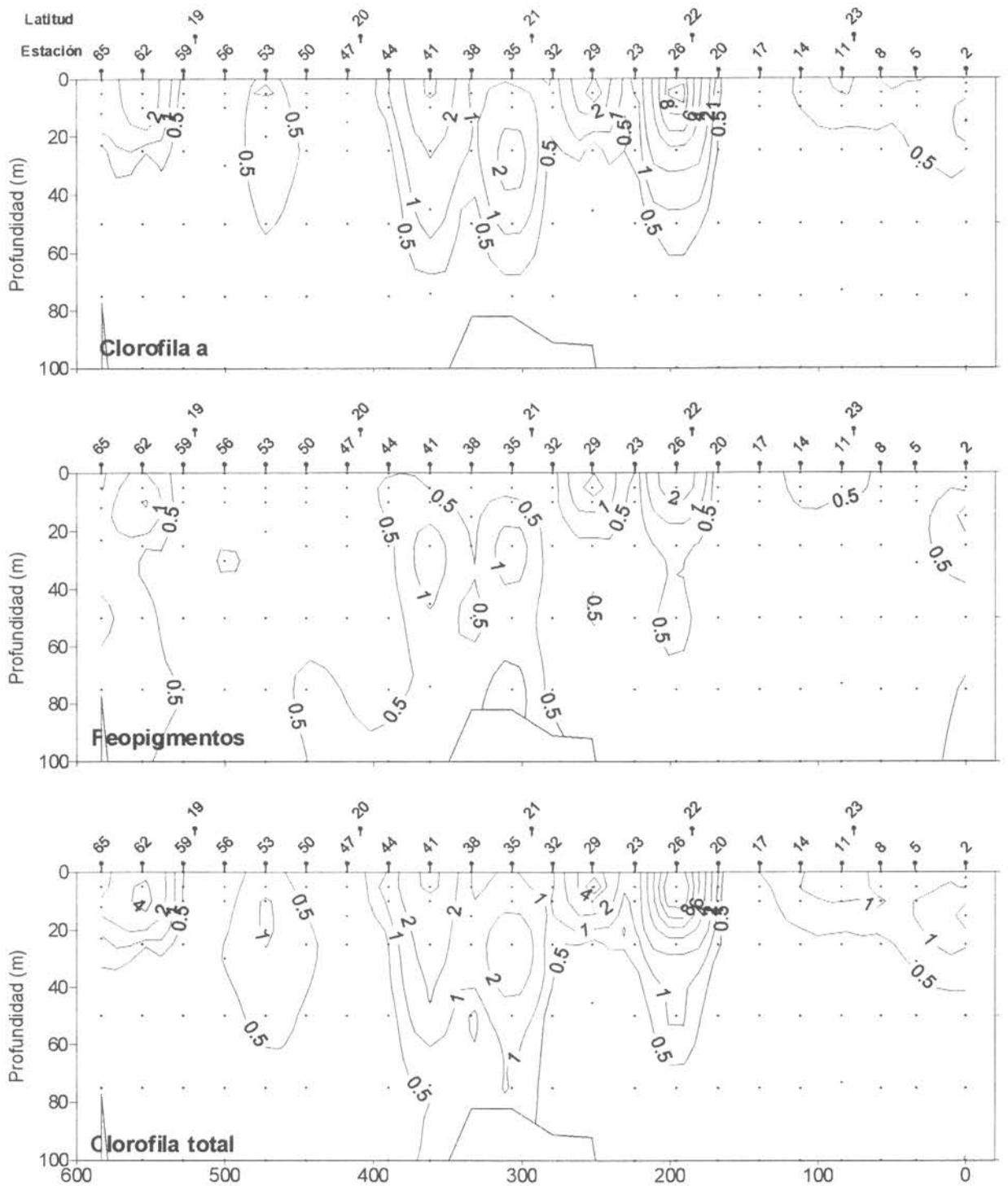


Figura 15. Distribución vertical de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/l}$), en una transecta paralela a la costa y a 5 mn. Crucero RECLAN 9811.

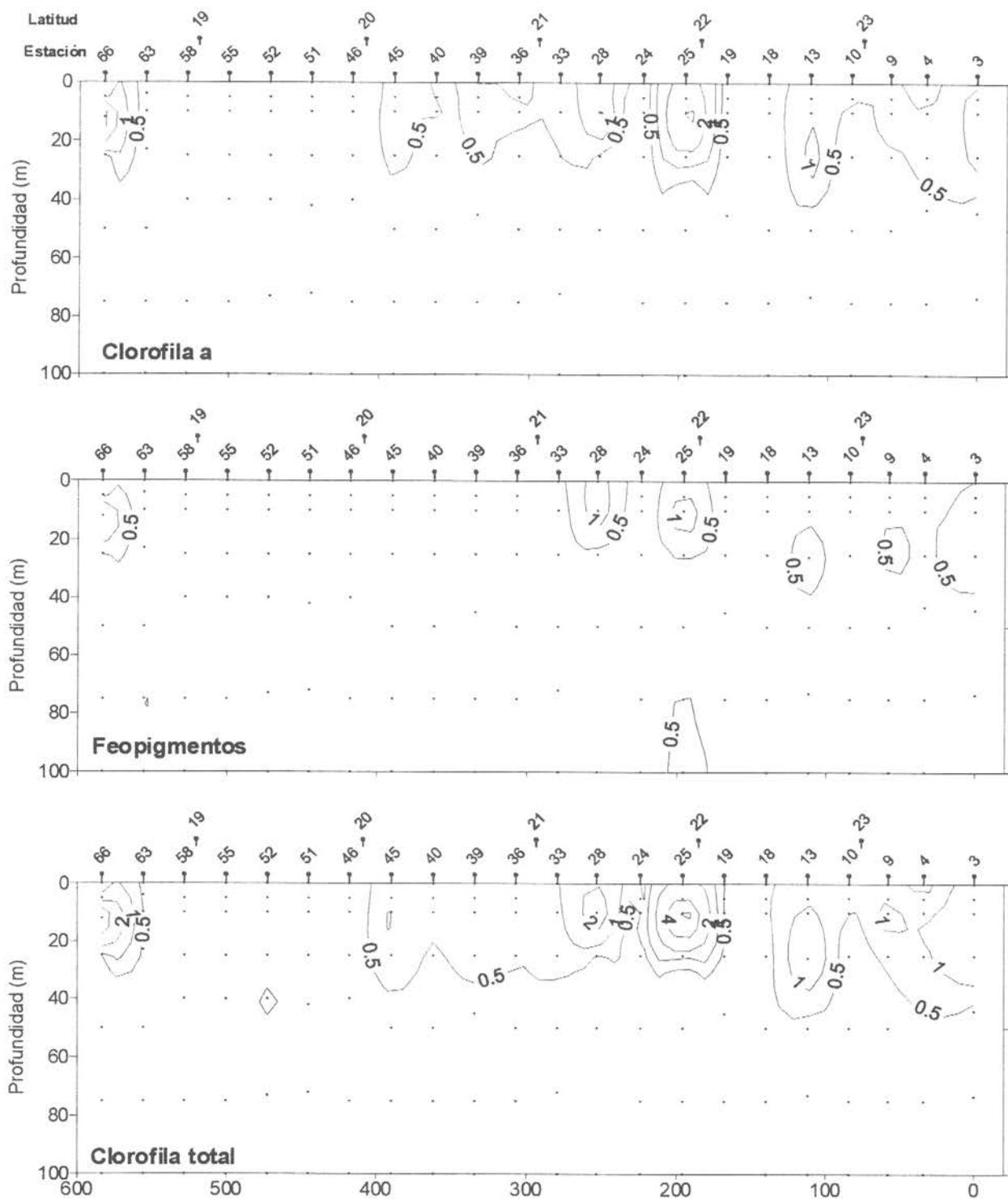


Figura 16. Distribución vertical de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/l}$), en una transecta paralela a la costa y a 10 mn. Crucero RECLAN 9811.

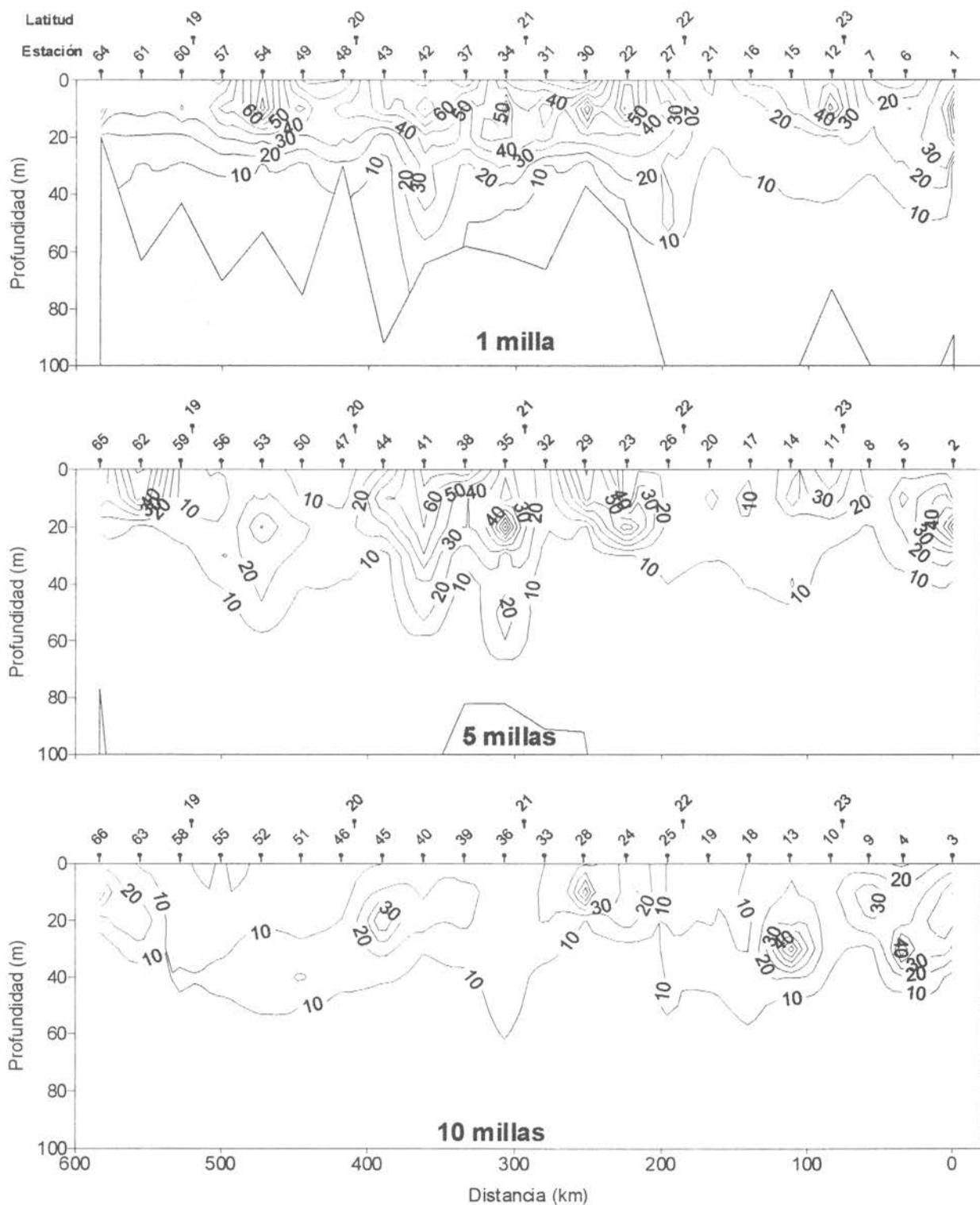


Figura 17. Distribución vertical de la fluorescencia in vivo (UR) a una, cinco y diez mn de distancia a la costa. Crucero RECLAN 9811.

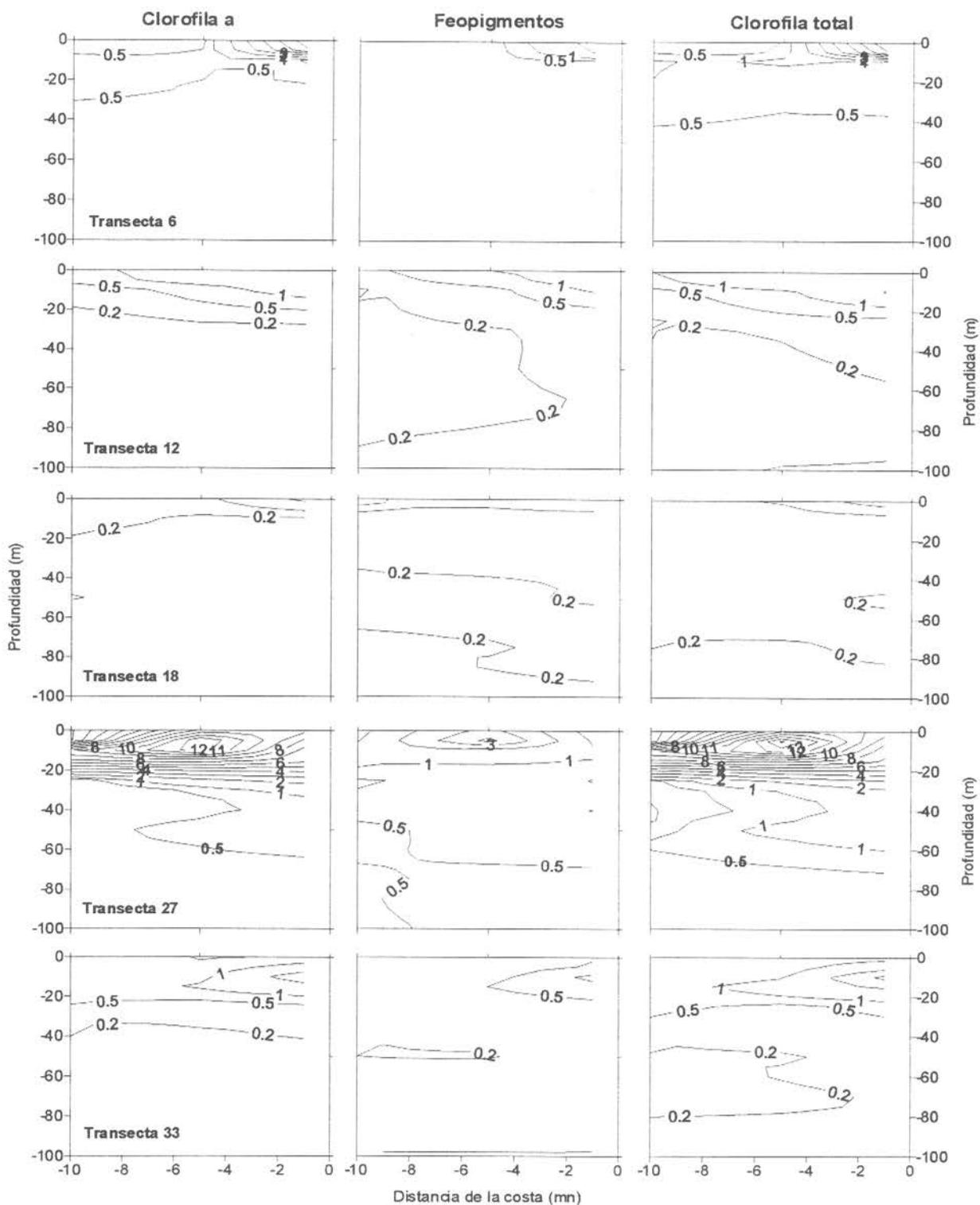


Figura 18. Distribución batimétrica de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/l}$), en las transectas 6 ($23^{\circ}40'$), 12 ($22^{\circ}55'$), 18 ($22^{\circ}55'$), 27 ($21^{\circ}40'$) y 33 ($21^{\circ}10'$). Crucero RECLAN 9811.

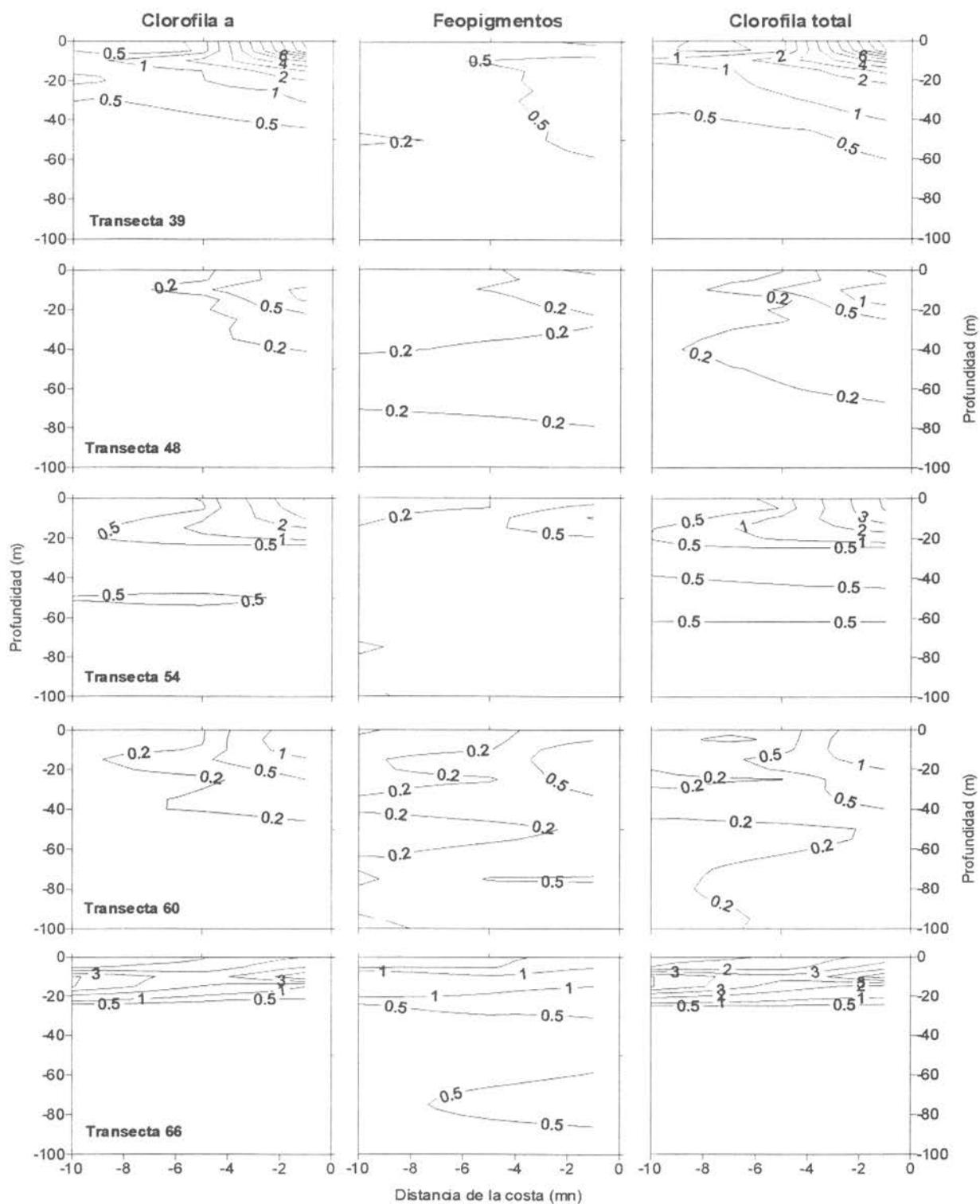


Figura 19. Distribución batimétrica de la clorofila a, feopigmentos y clorofila total ($\mu\text{g/l}$), en las transectas 39 ($20^{\circ}40'$), 48 ($19^{\circ}55'$), 54 ($19^{\circ}25'$), 60 ($18^{\circ}55'$) y 66 ($21^{\circ}10'$). Crucero RECLAN 9811.

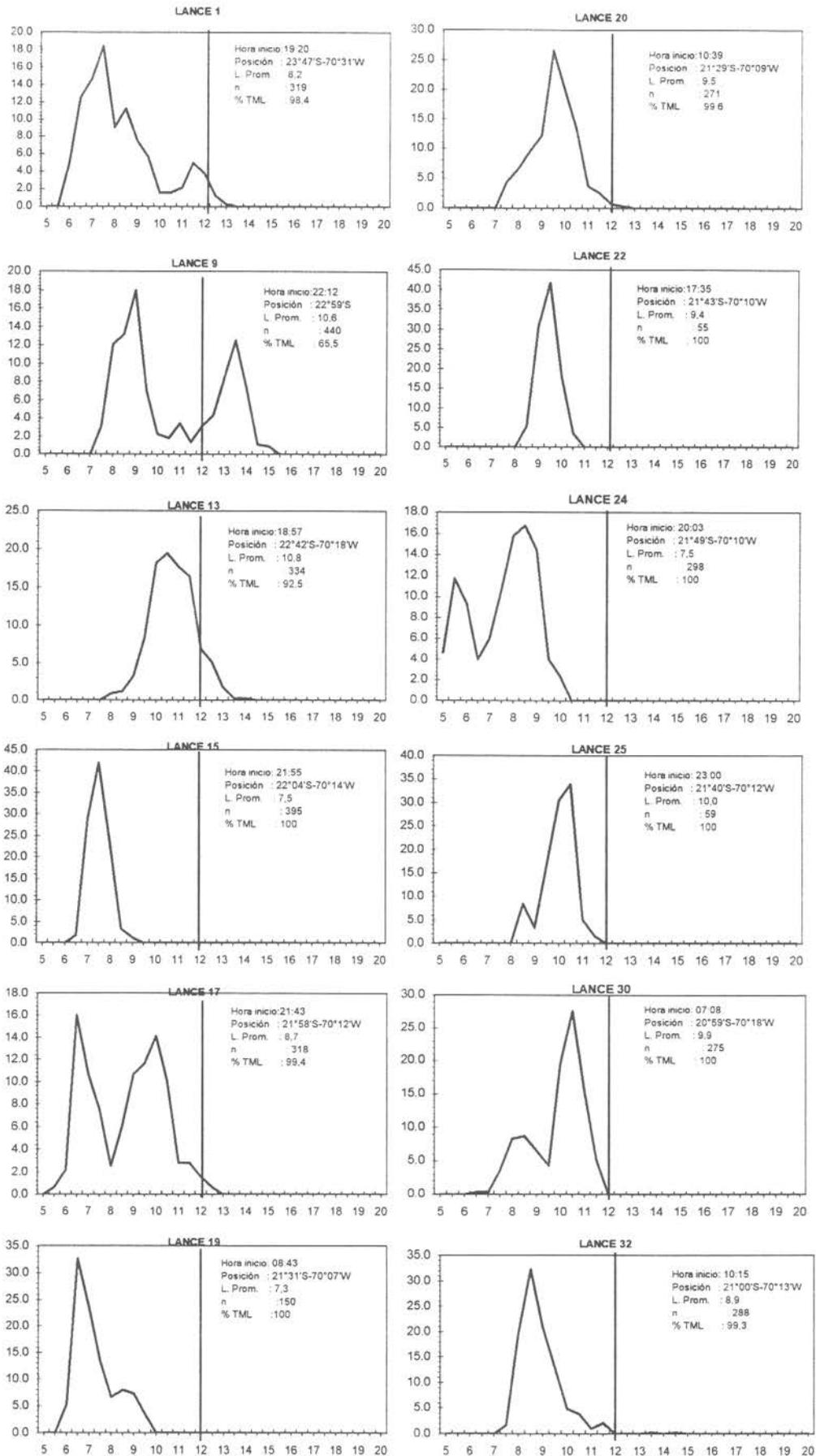


Figura 20. Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lance de pesca en el Crucero RECLAN9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).

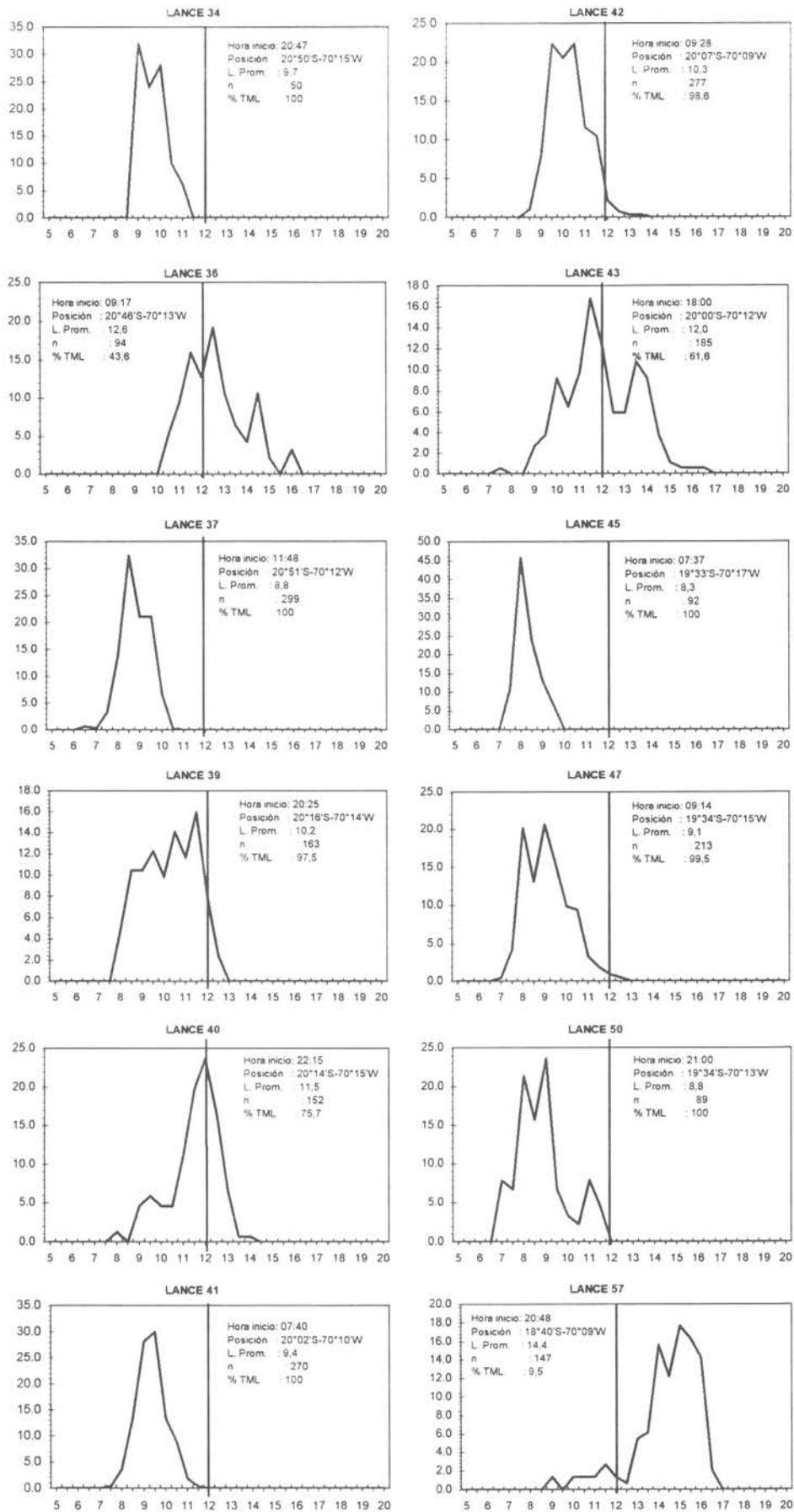


Figura 21. Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lance de pesca en el Crucero RECLAN9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).

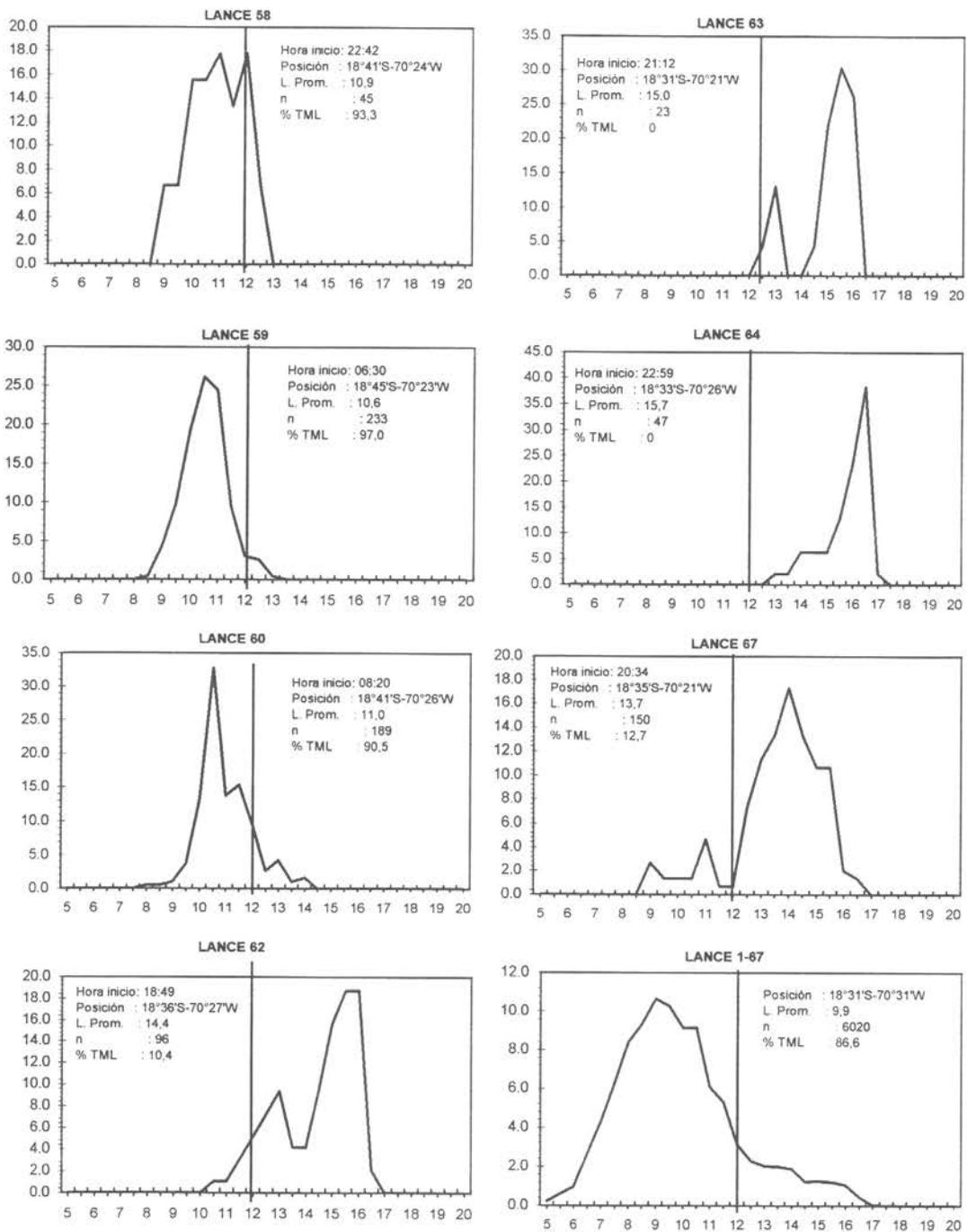


Figura 22. Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lance de pesca en el Crucero RECLAN9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).

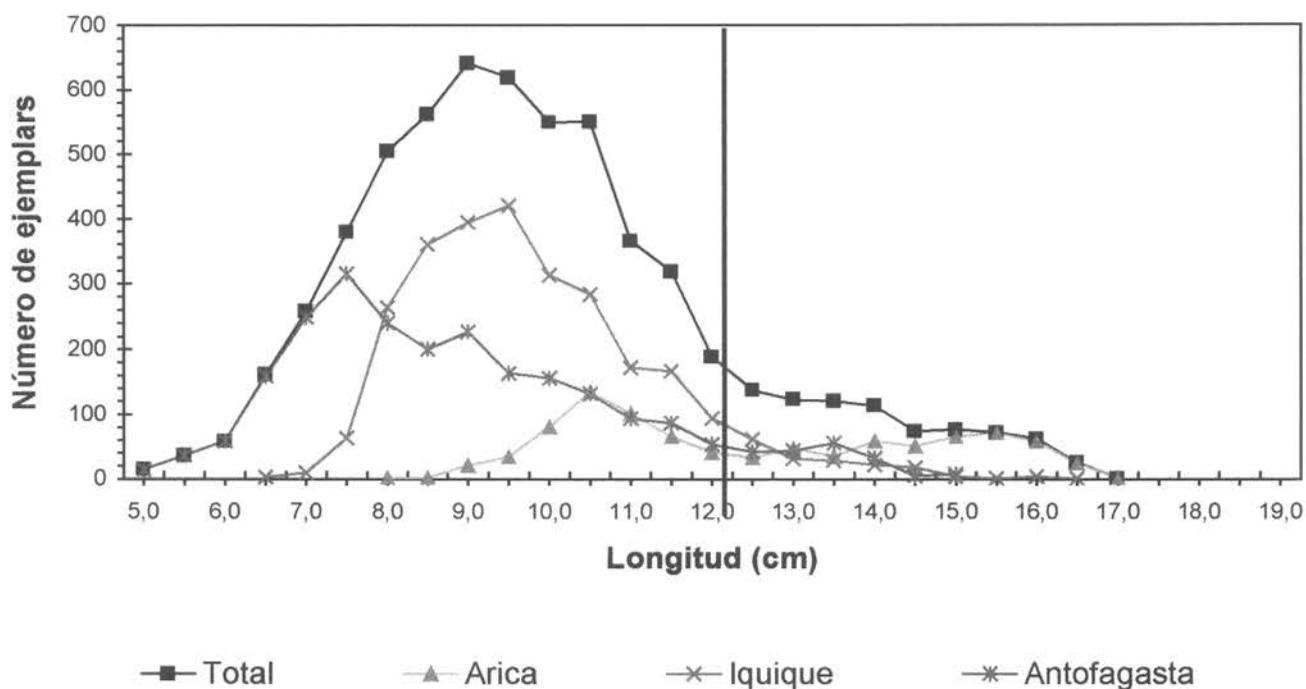


Figura 23. Distribución de frecuencia de longitud de la anchoveta capturada con red de media agua por zona de pesca en el Crucero RECLAN9811 (fracción recluta ≤ 12 cm).

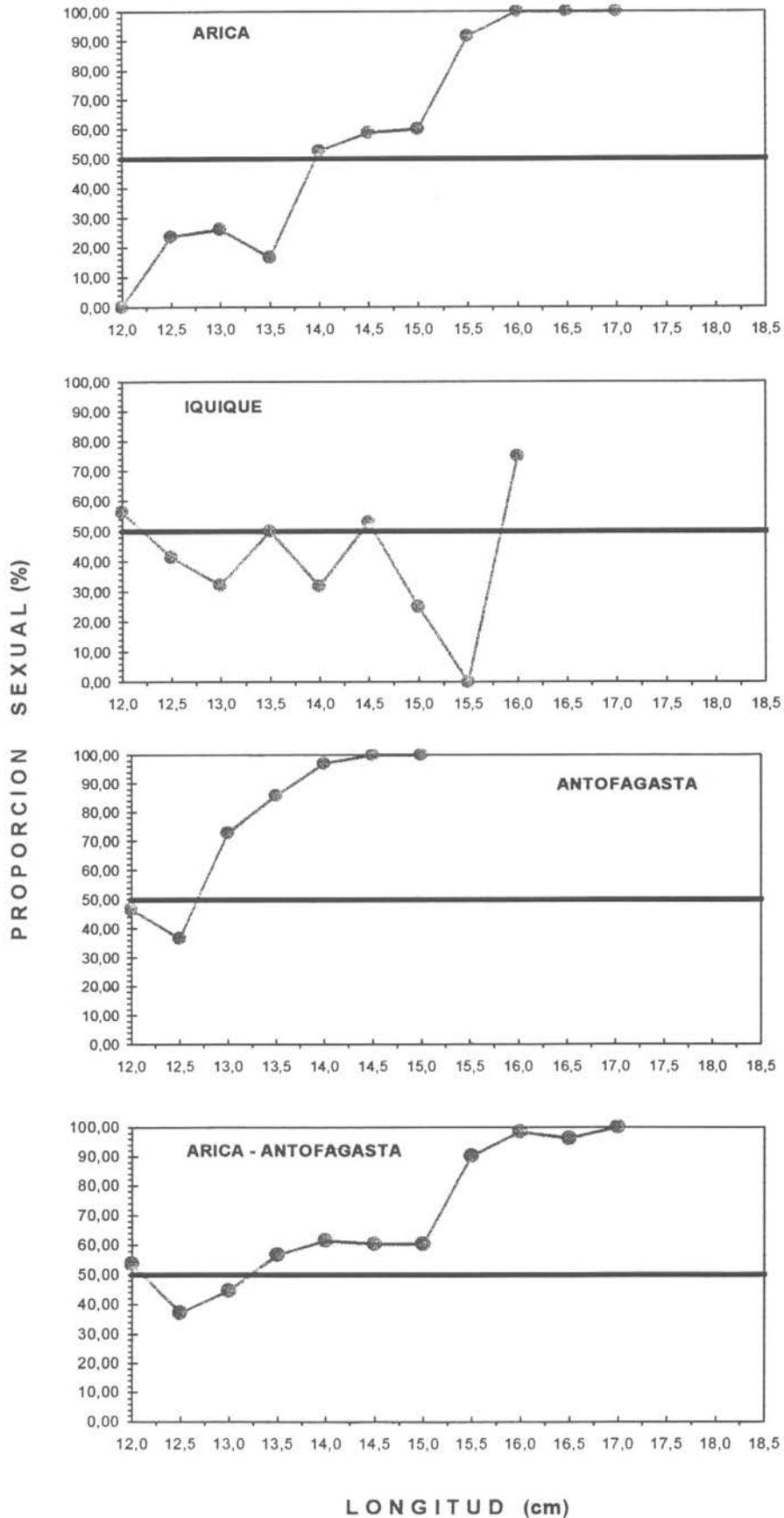


Figura 24. Proporción sexual de la anchoveta capturada con red de media-agua por zona de pesca en el Crucero RECLAN9811.

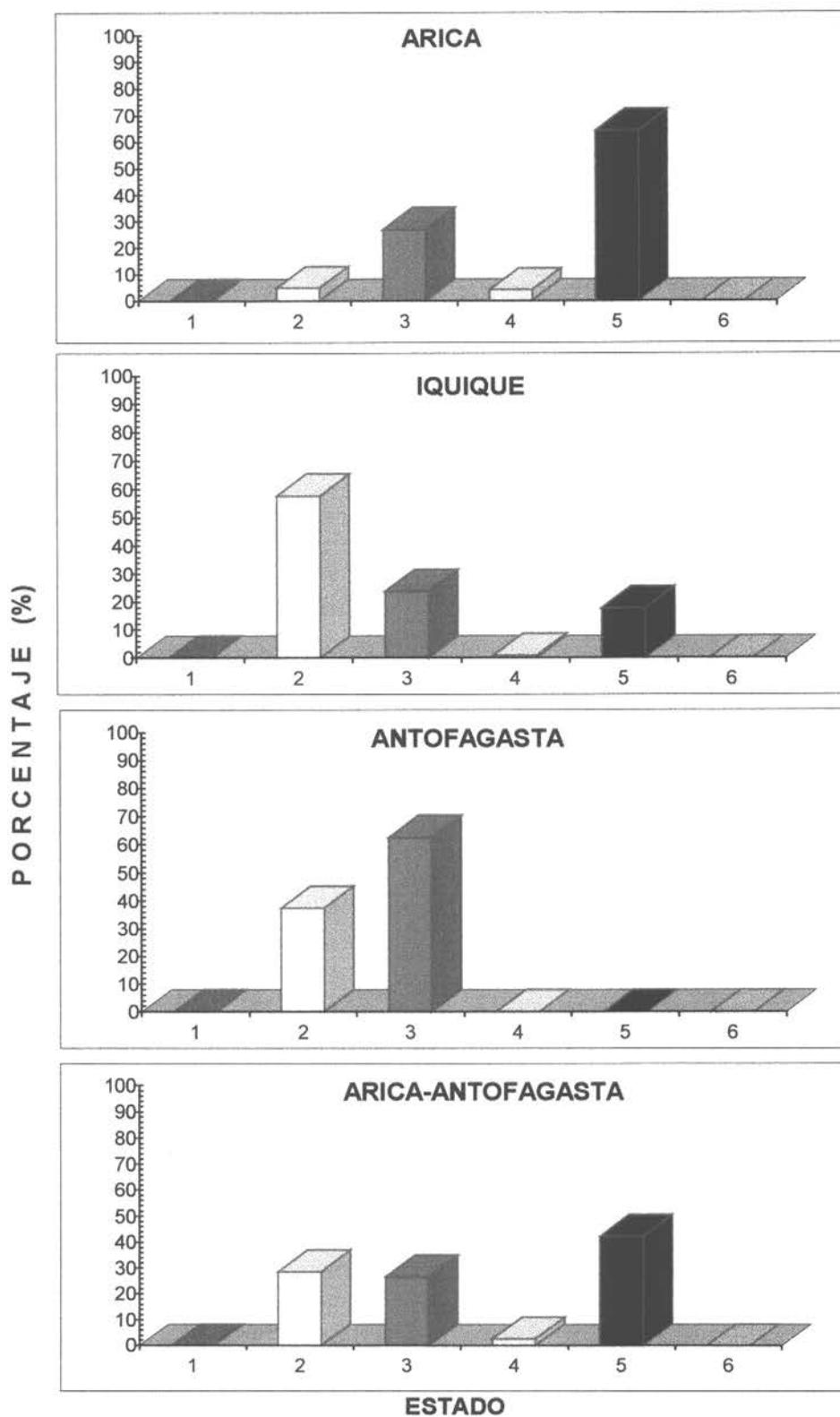


Figura 25. Estados de madurez de la anchoveta capturada con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN9801.

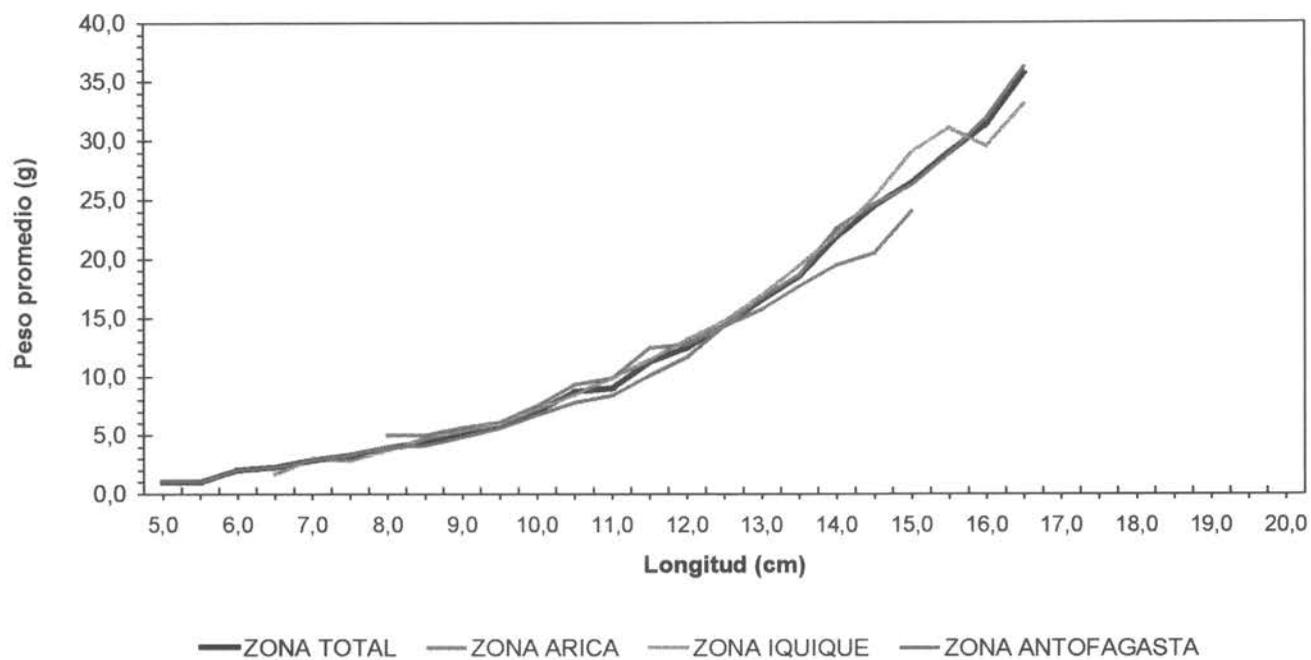


Figura 26. Pesos promedios empiricos a la talla de anchoveta obtenidos con red de media-agua por zona de pesca en el Crucero RECLAN9811.

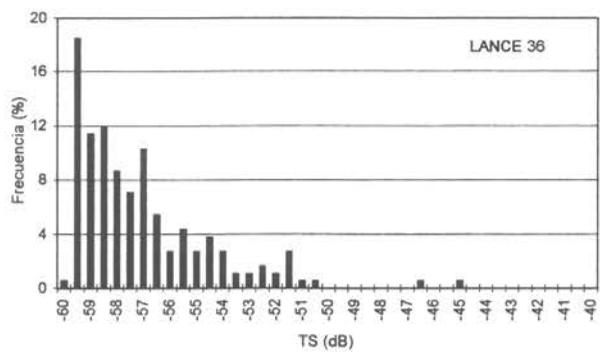
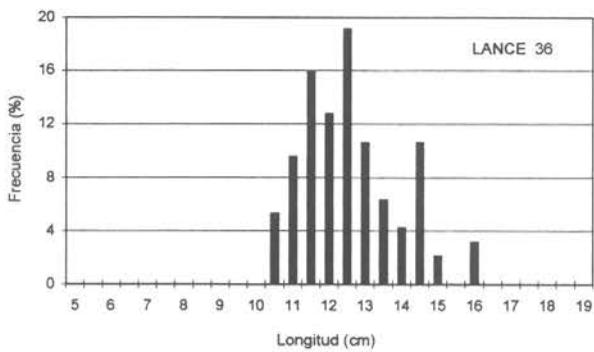
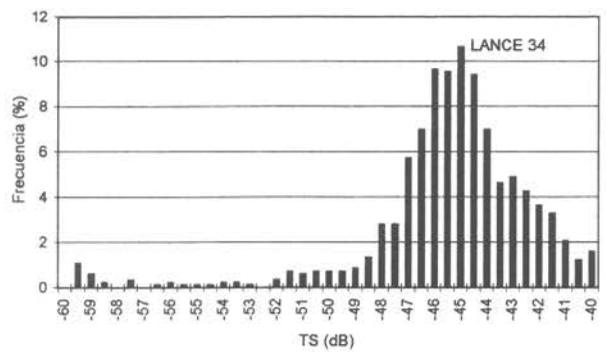
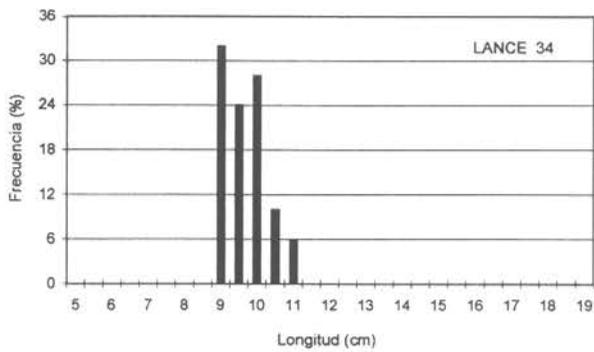
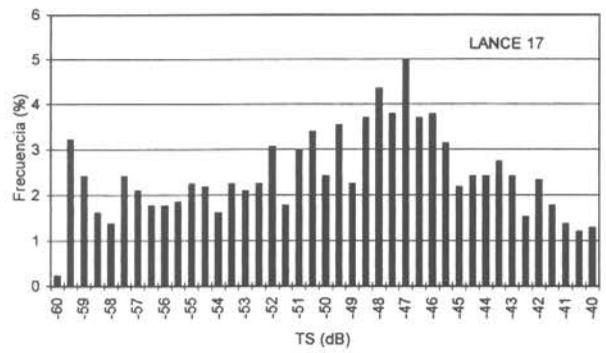
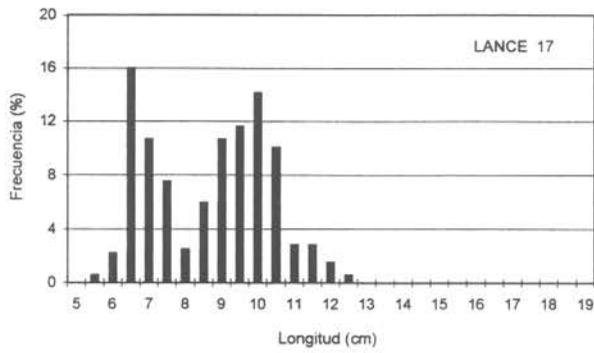
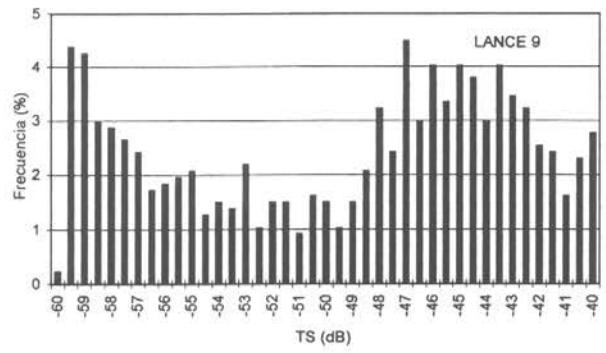
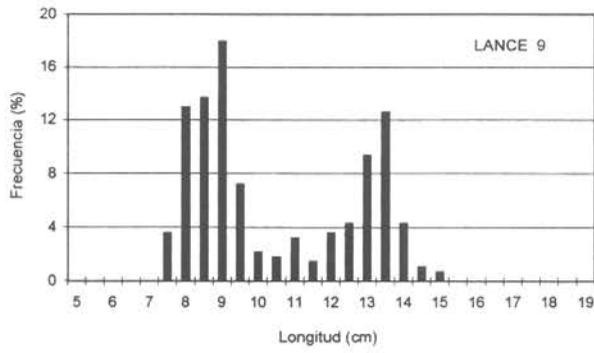


Figura 27 Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 9, 17, 34 y 35). Crucero RECLAN 9811.

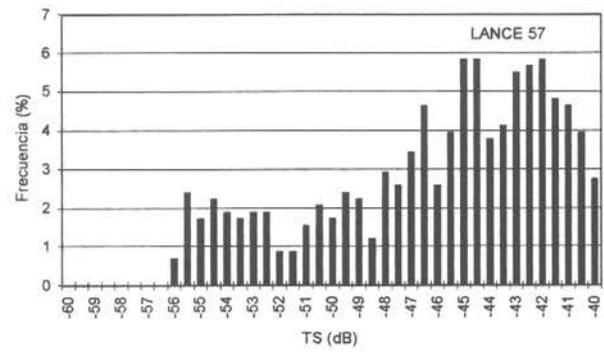
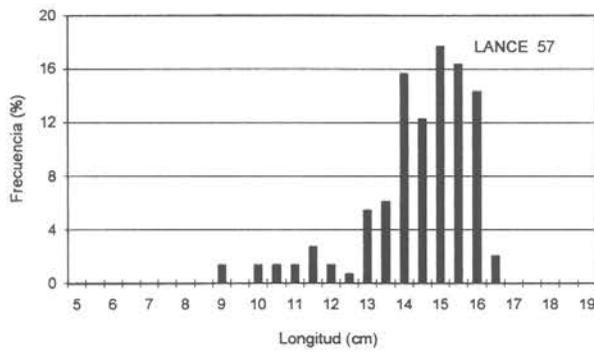
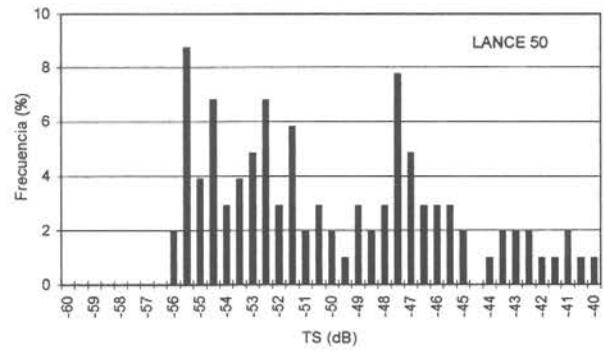
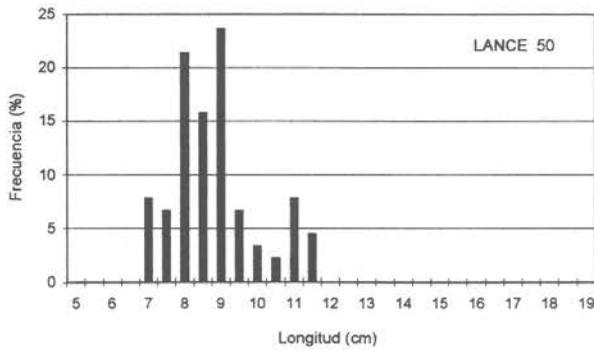
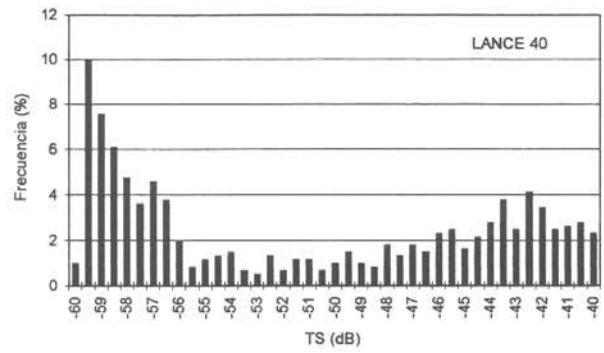
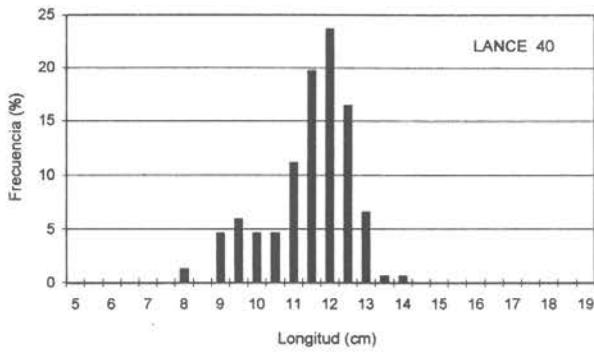
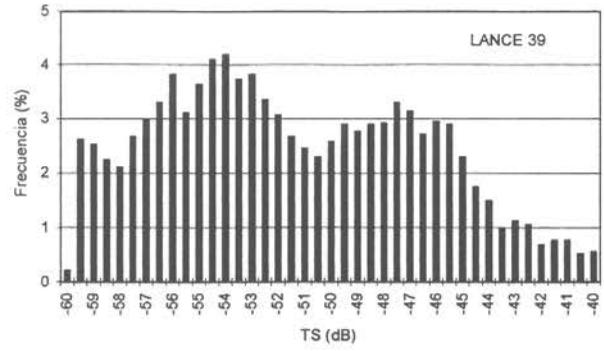
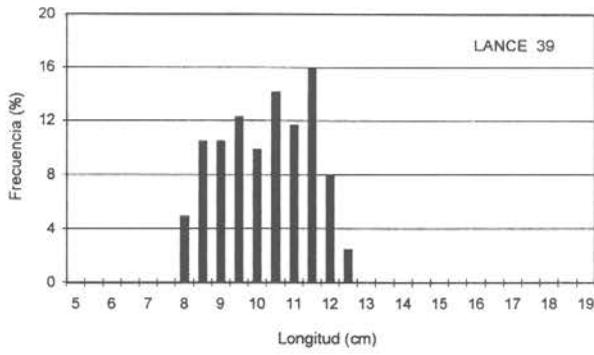


Figura 28 Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 39, 40, 50 y 57). Crucero RECLAN 9811.

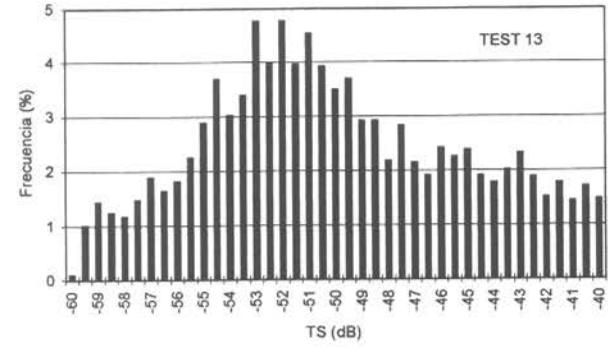
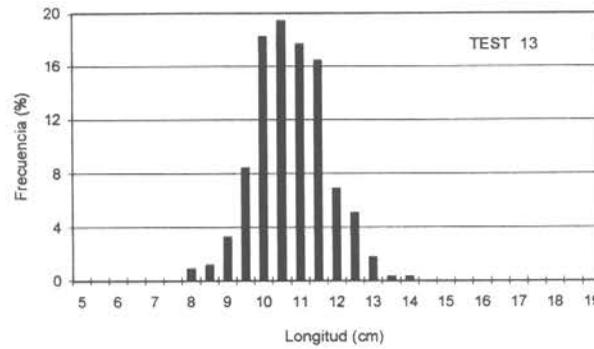
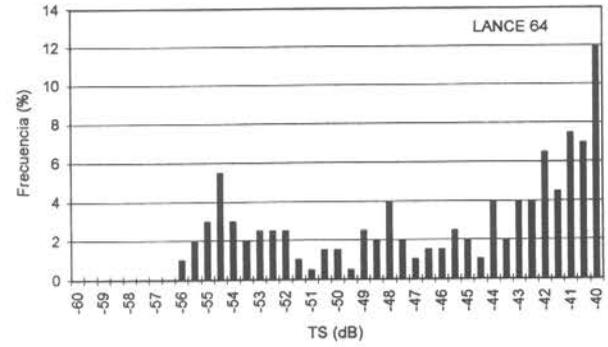
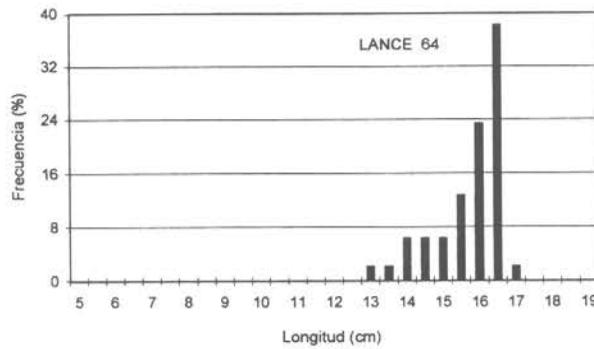
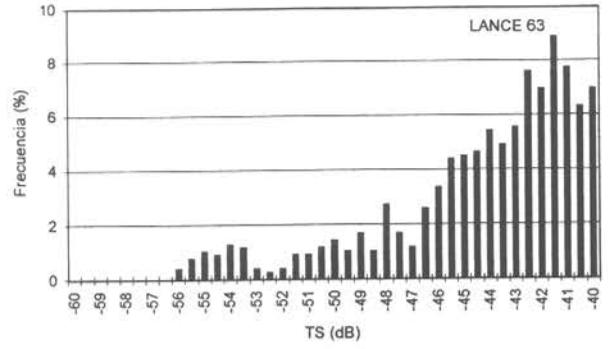
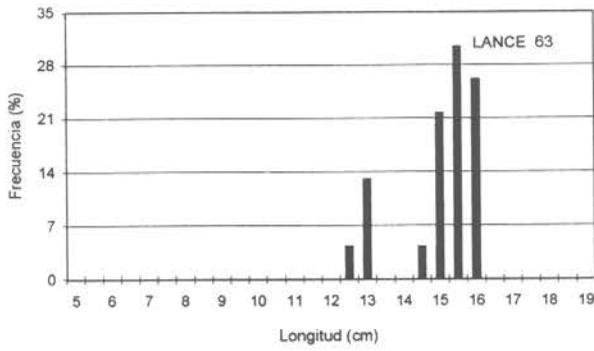
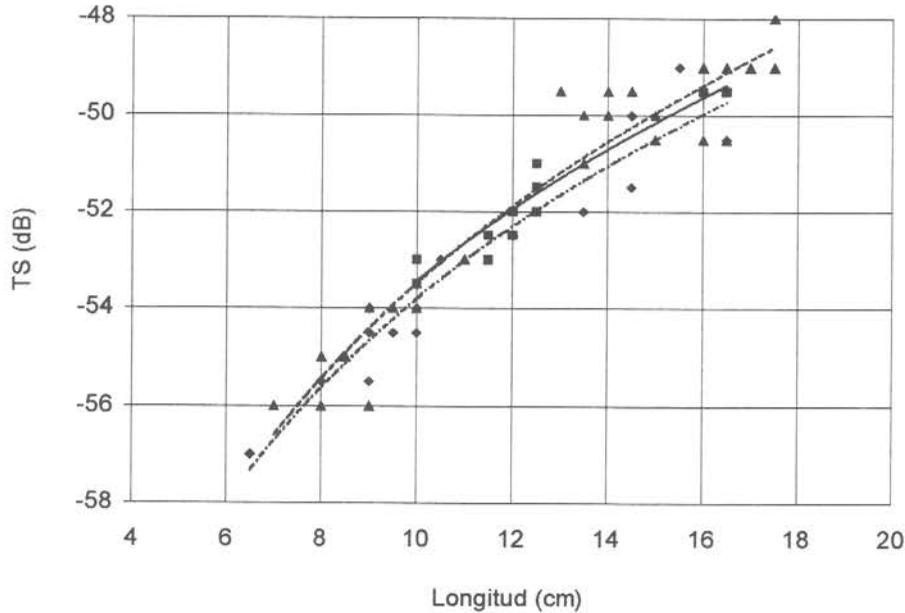


Figura 29 Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 63, 64 y test 13). Crucero RECLAN 9811.

----- ◆ RECLAN 9611	TS = 20,14 log (L) - 73,63	dB	R ² = 0,923
	TS = 20,00 log (L) - 73,47	dB	
—■ RECLAN 9801	TS = 18,69 log (L) - 72,13	dB	R ² = 0,945
	TS = 20,00 log (L) - 73,55	dB	
----- ▲ RECLAN 9811	TS = 18,81 log (L) - 72,61	dB	R ² = 0,917
	TS = 20,00 log (L) - 73,88	dB	

A.



B.

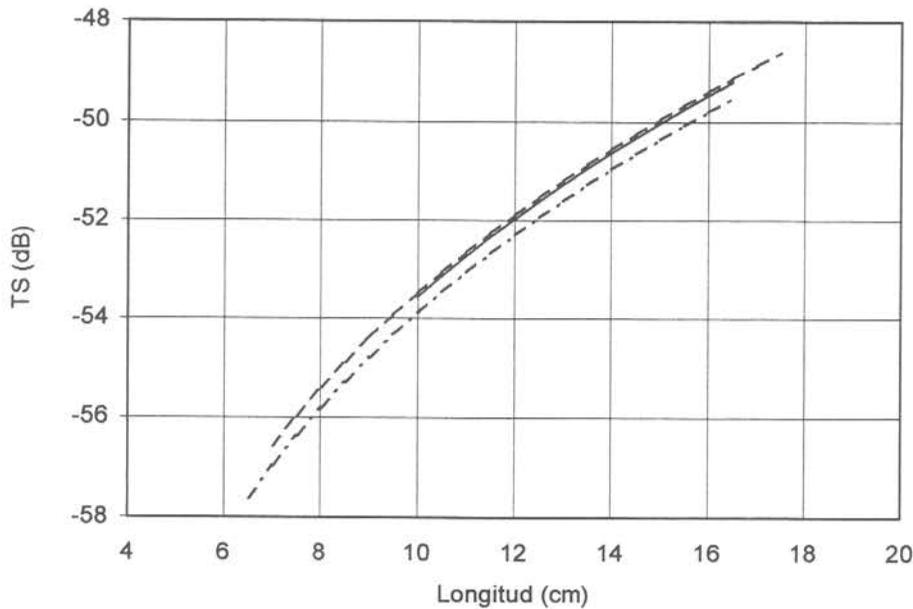


Figura 30 Relación funcional de la intensidad del blanco (TS) y la talla (L) de anchoveta ajustadas en los cruceros RECLAN 9611 (Castillo *et al*, 1998), RECLAN 9801 (Castillo y Espejo, 1998) y en el presente crucero (RECLAN 9811).

- A. Representa los datos originales y sus respectivos ajustes;
 B. Indica el ajuste al modelo general $TS = 20 \cdot \log (L) + A$.

- ◆ RECLAN $TS_{kilo} = -9,62 \log(L) - 22,45$ dB $R^2 = 0,732$
- ■ RECLAN $TS_{kilo} = -11,59 \log(L) - 20,35$ dB $R^2 = 0,869$
- ▲ RECLAN $TS_{kilo} = -11,72 \log(L) - 20,97$ dB $R^2 = 0,832$

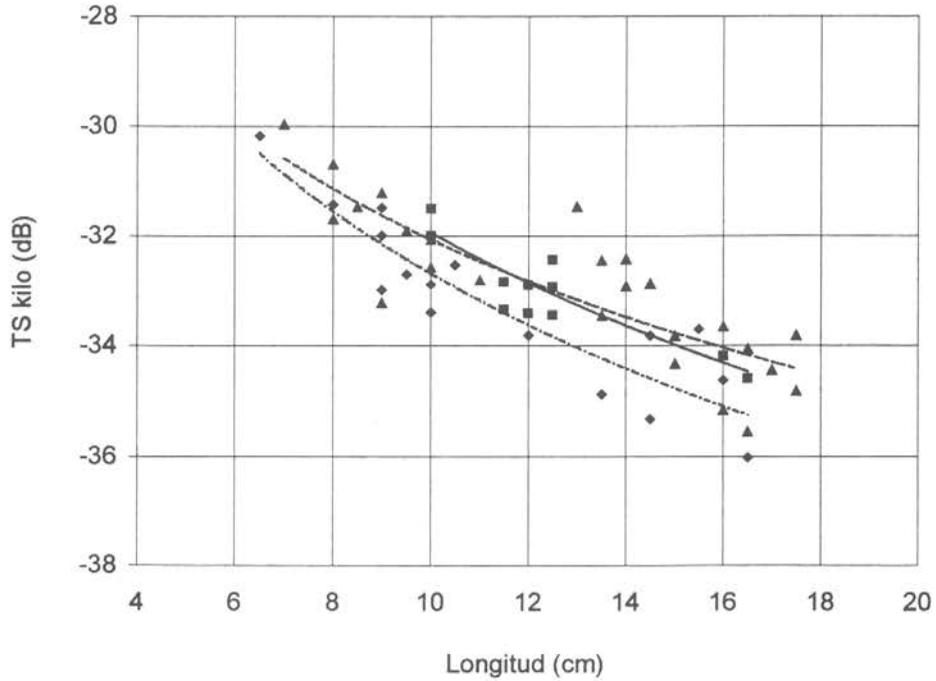


Figura 31 Relación funcional de la intensidad del blanco por kilo (TS kilo) y la talla (L) de anchoveta ajustadas en los cruceros RECLAN 9611 (Castillo **et al**, 1998), RECLAN 9801 (Castillo y Espejo, 1998) y en el presente crucero (RECLAN 9811).

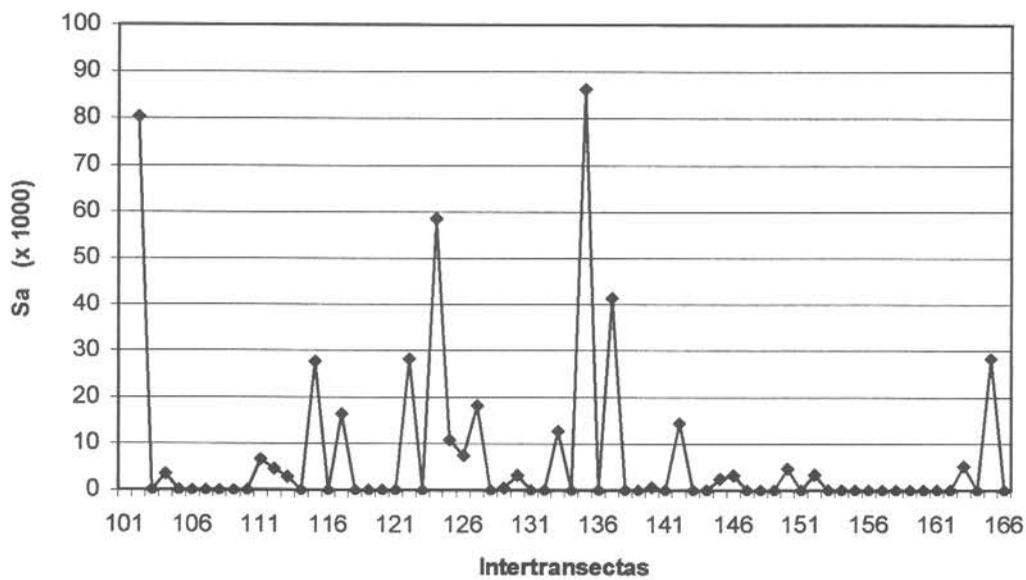
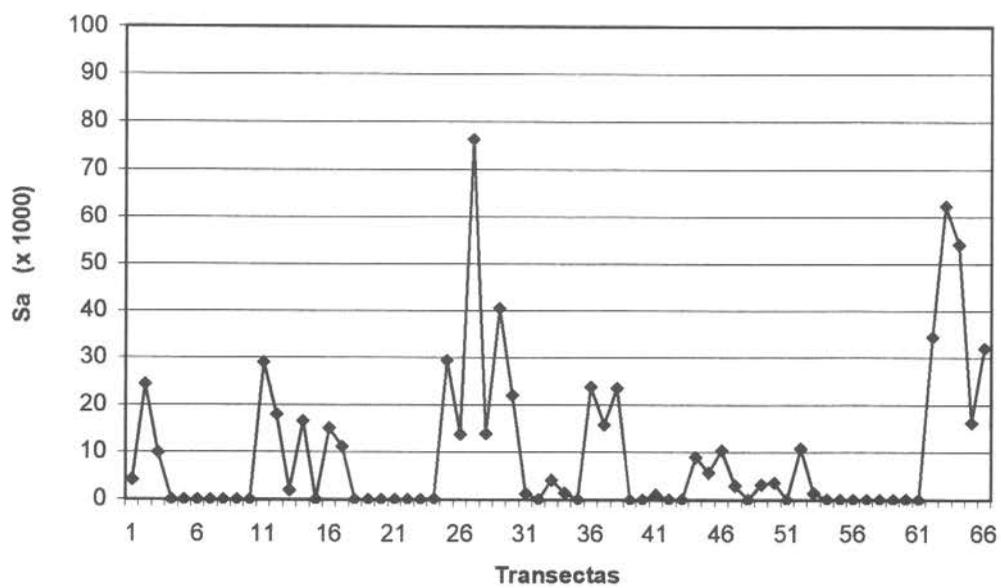


Figura 32. Lecturas acústicas (Sa) acumuladas por transecta e intertransecta. Crucero RRECLAN 9811.

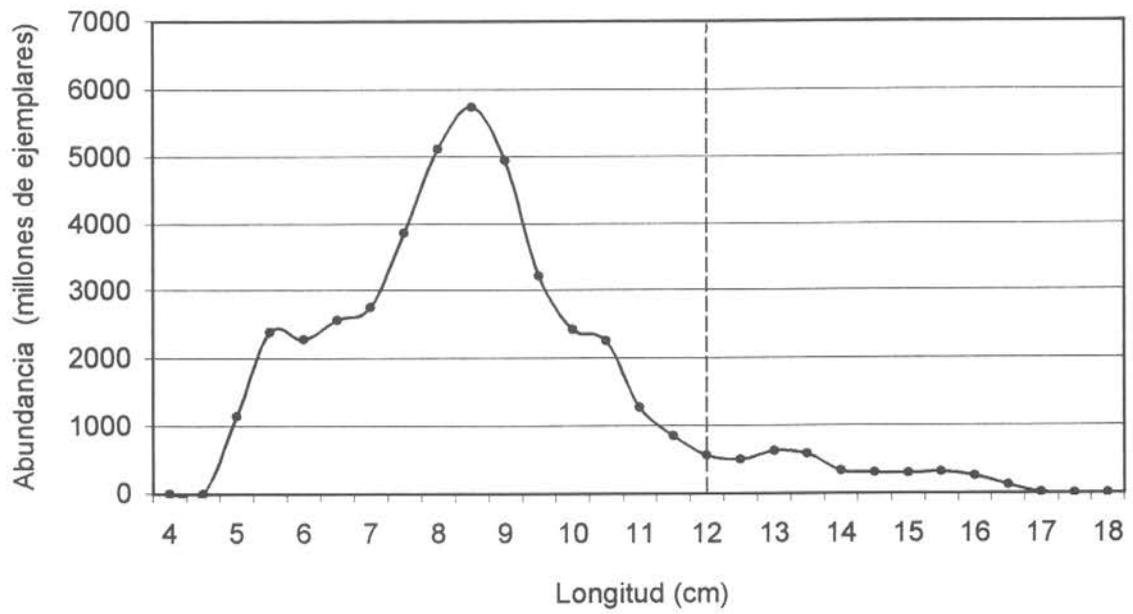


Figura 33. Biomasa en peso (miles de toneladas) y abundancia en número de anchoveta, según el método de las tallas. Crucero RECLAN 9811.

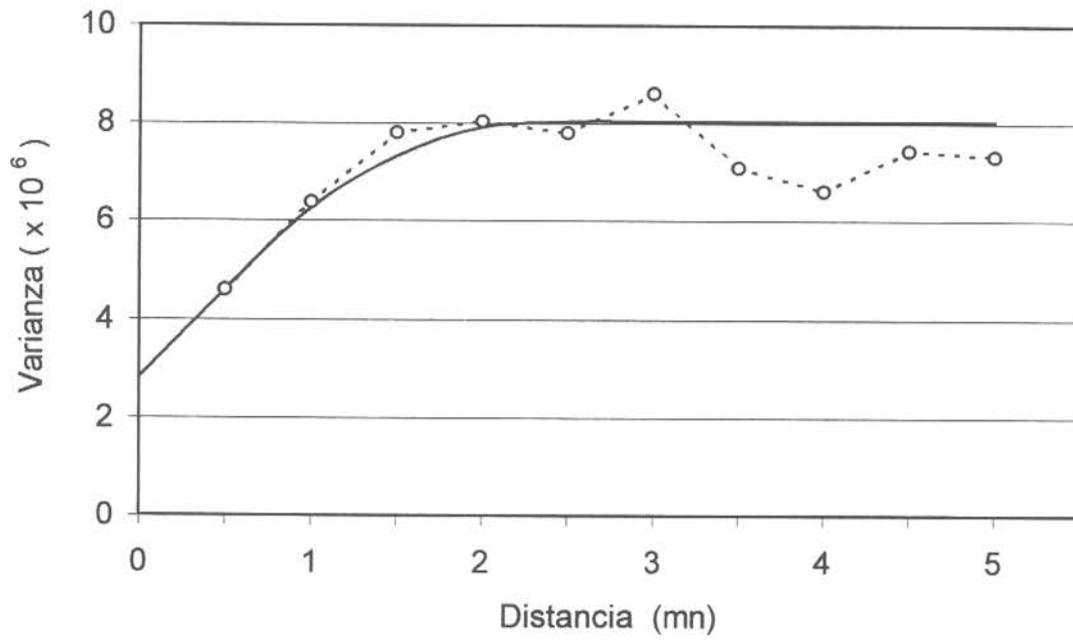


Figura 34. Variograma para la zona de estudio. Crucero RECLAN 9811

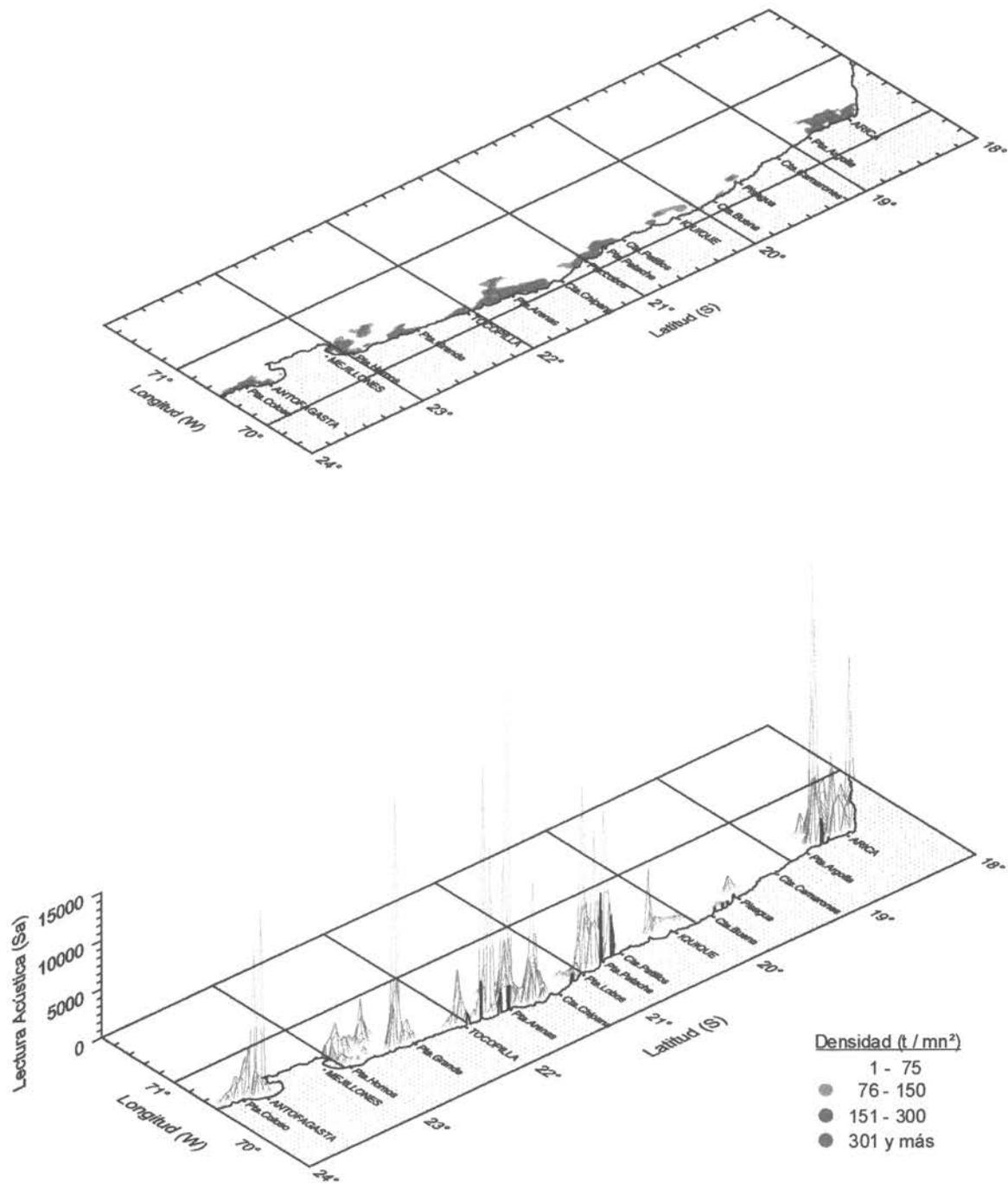


Figura 35 . Distribución espacial de anchoveta. Crucero RECLAN 9811.

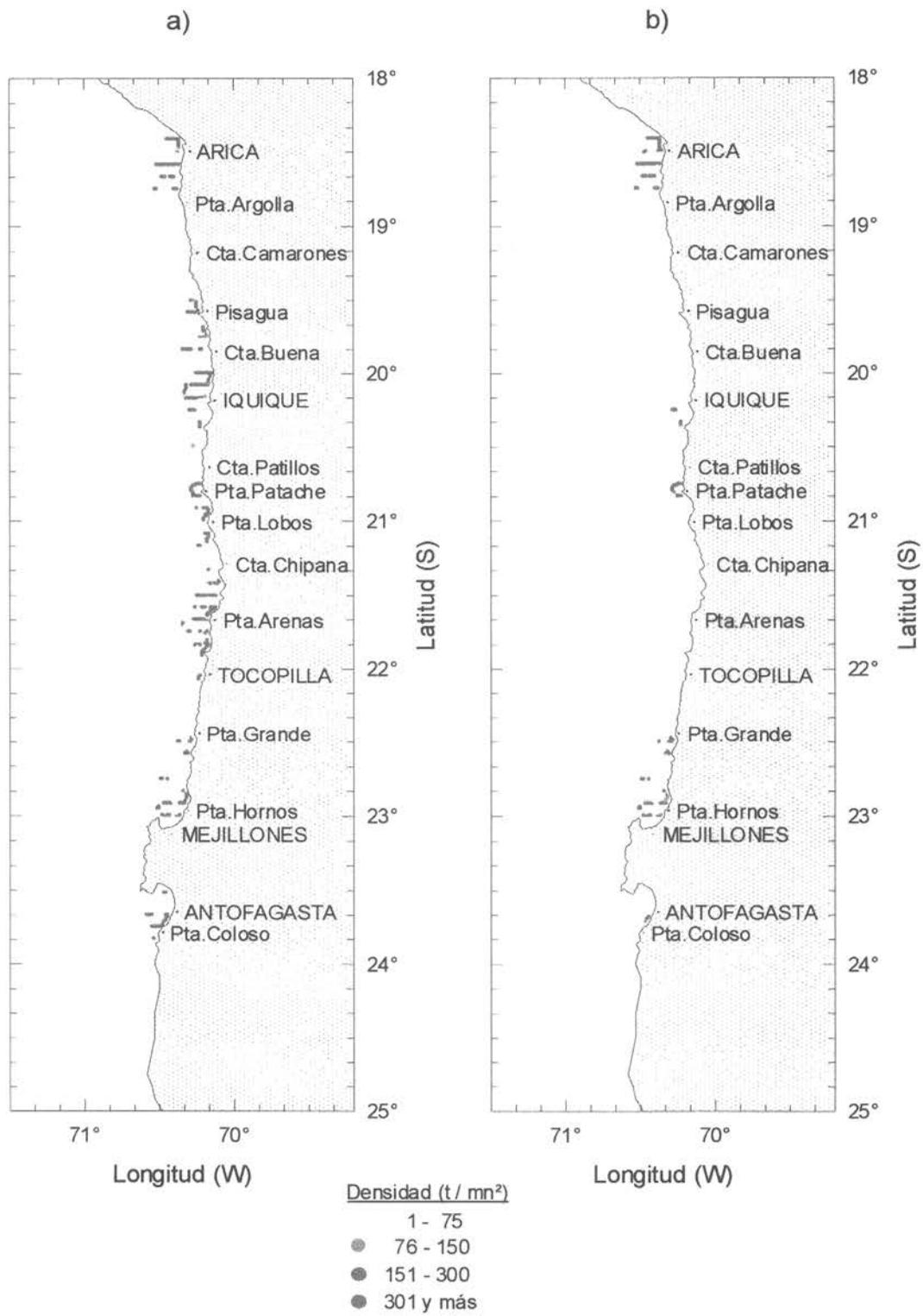


Figura 36 . Distribución de la biomasa: a) reclutas y b) no reclutas. Crucero 9811.

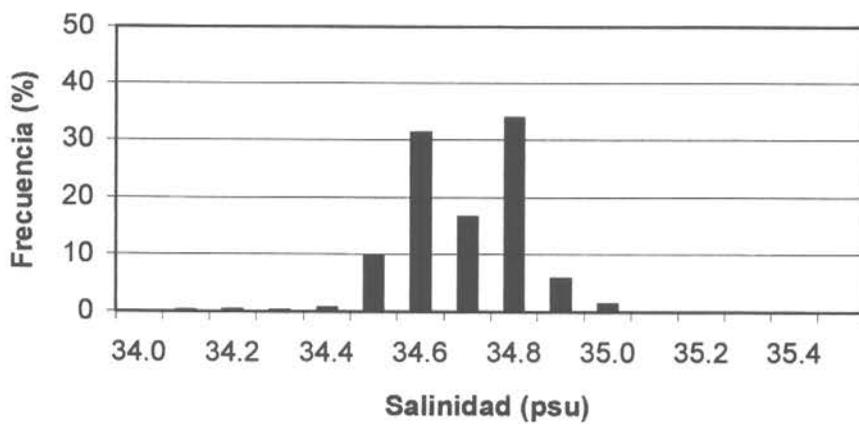
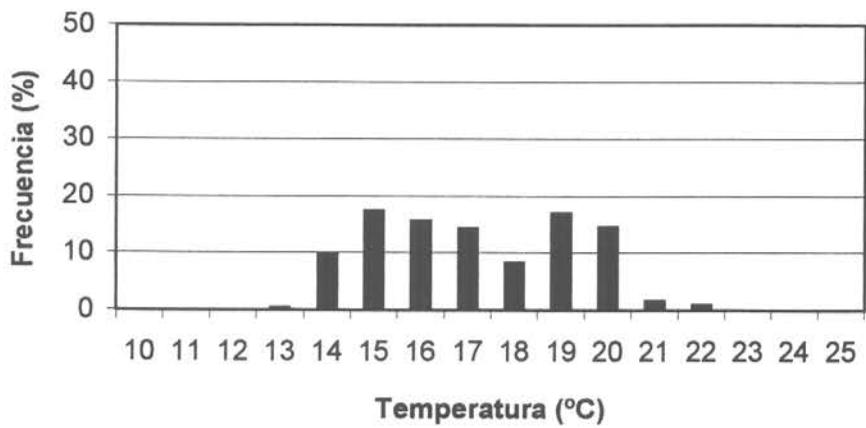
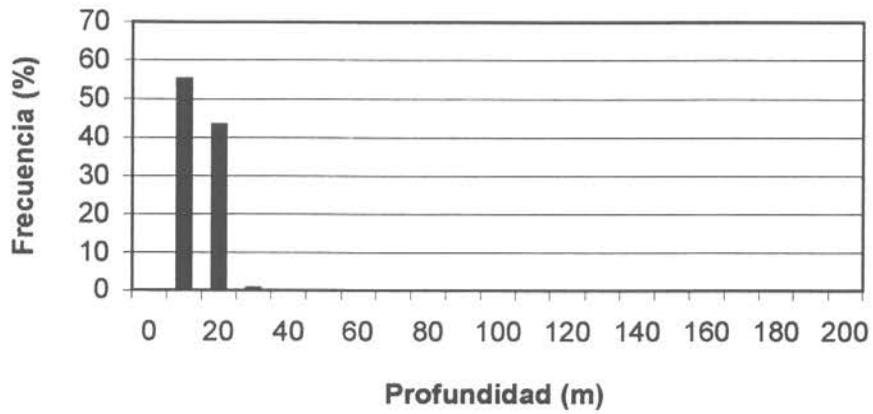


Figura 37. Distribución batimétrica de anchoveta en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9811.

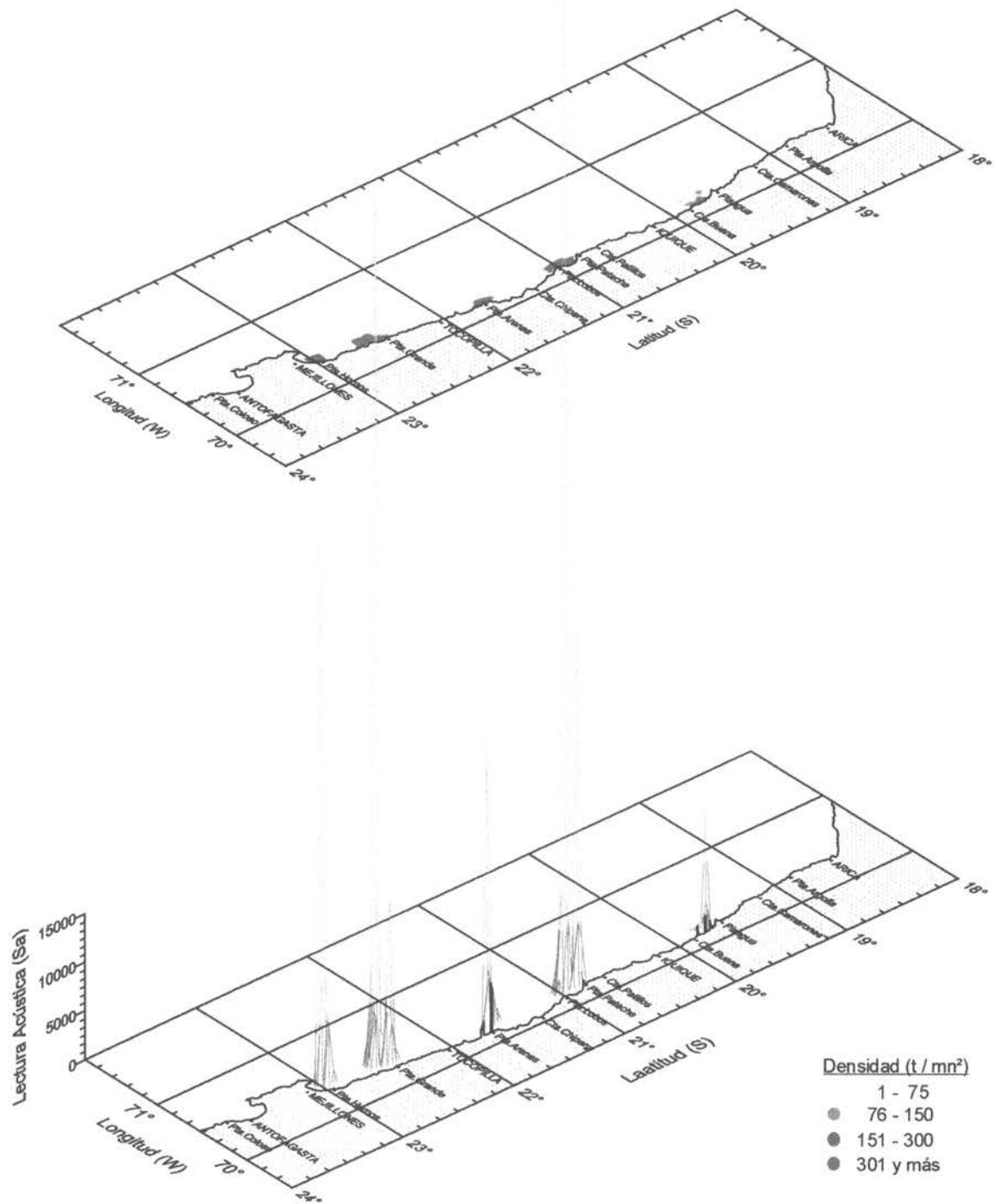


Figura 38. Distribución espacial de bacaladillo. Crucero RECLAN 9811.

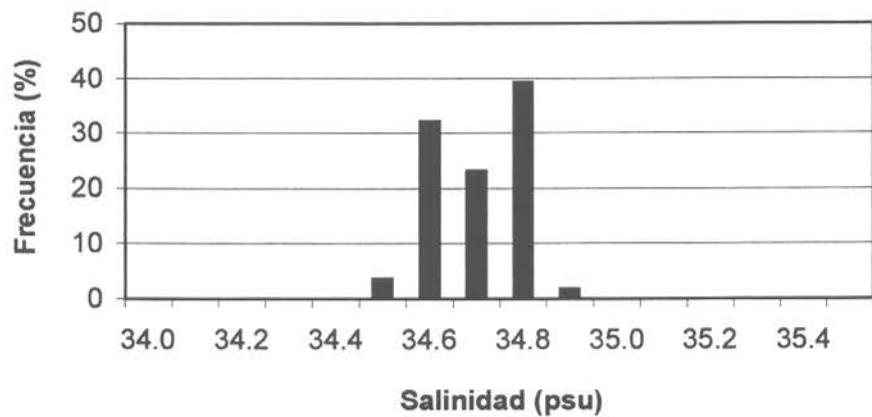
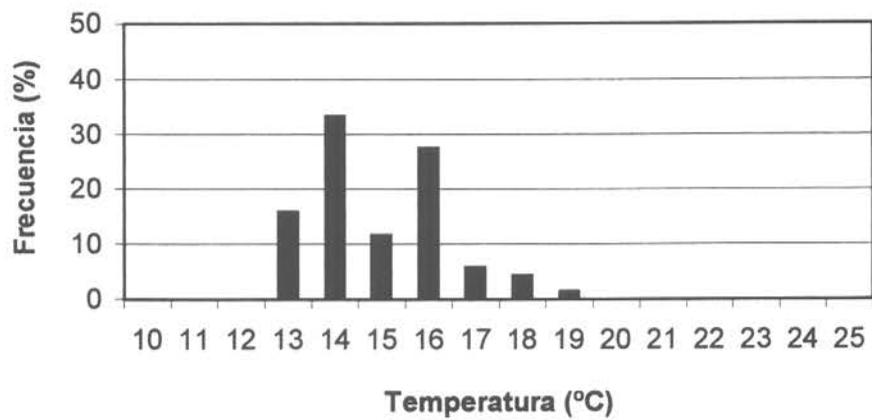
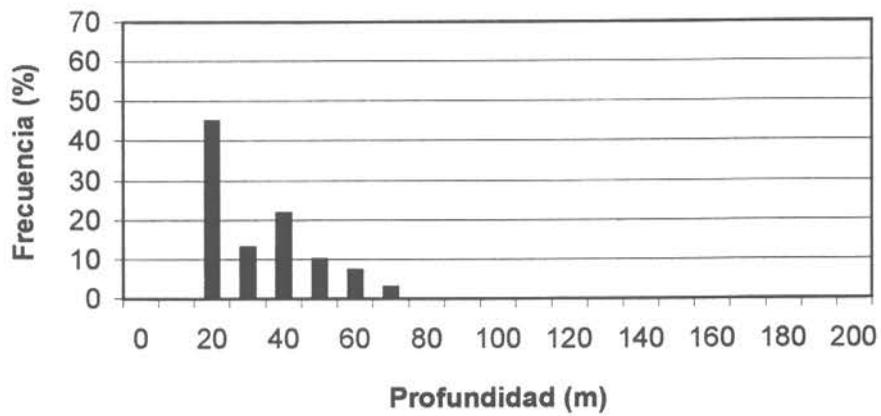


Figura 39. Distribución batimétrica de bacaladillo en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9811.

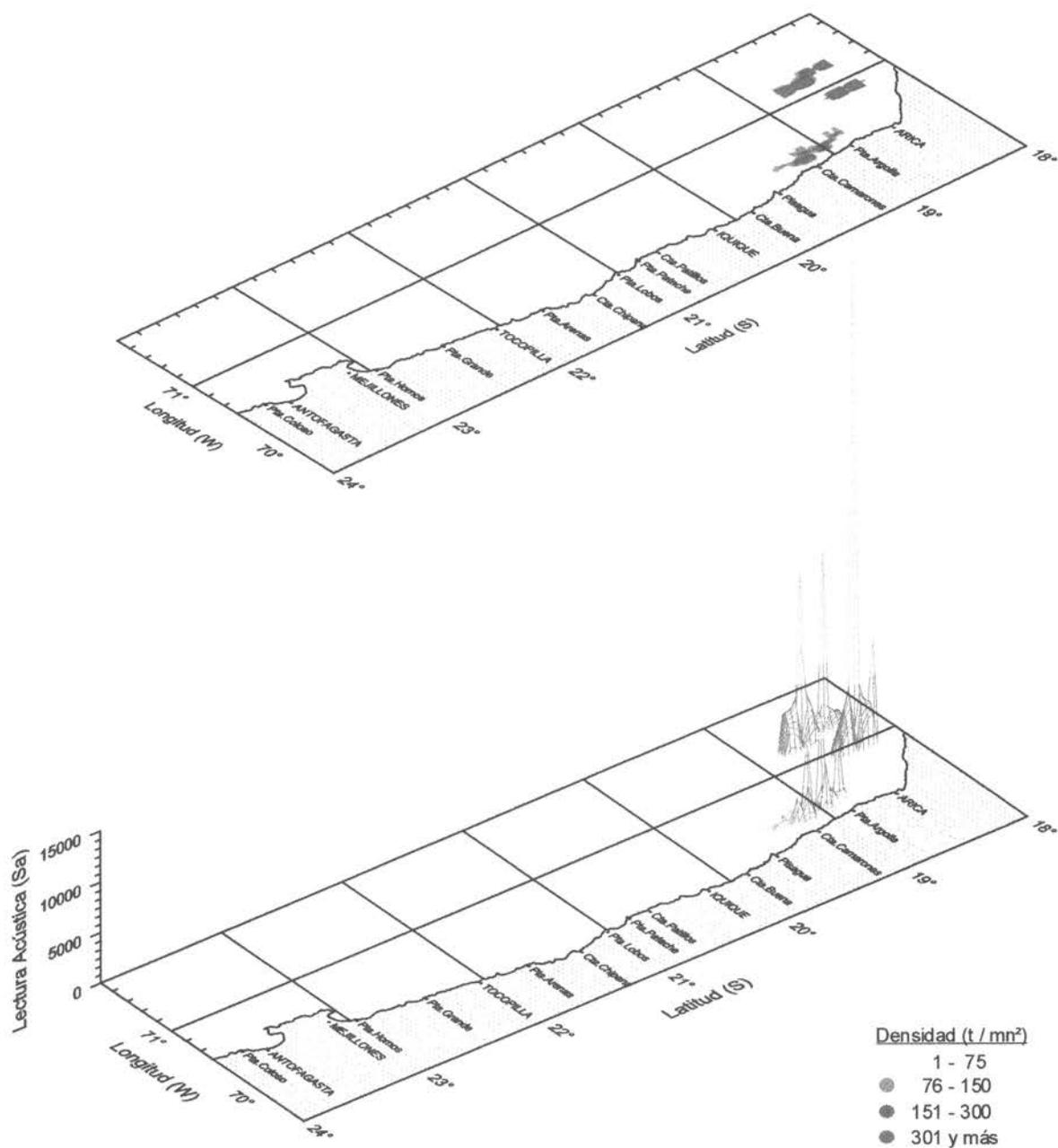


Figura 40. Distribución espacial de pez linterna. Crucero RECLAN 9811.

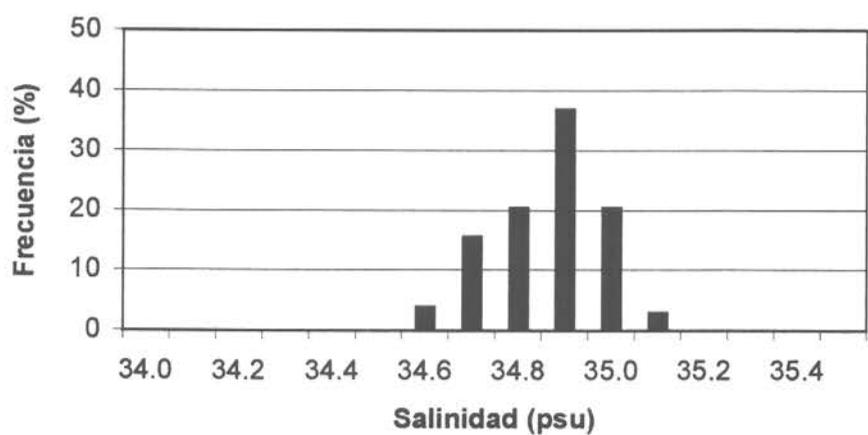
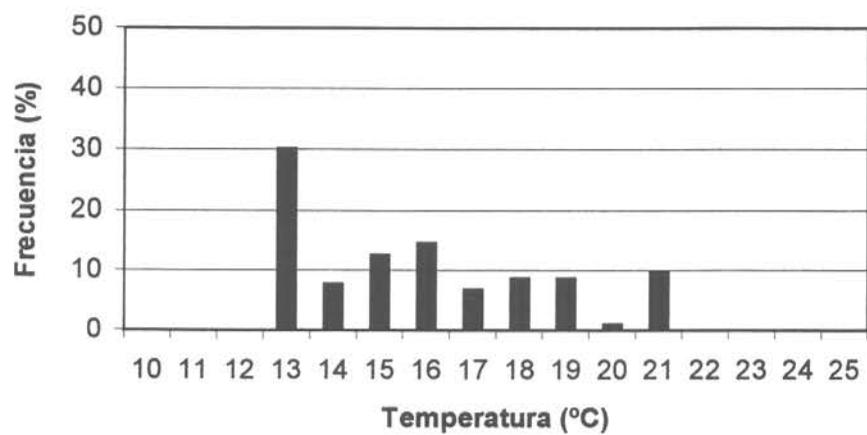
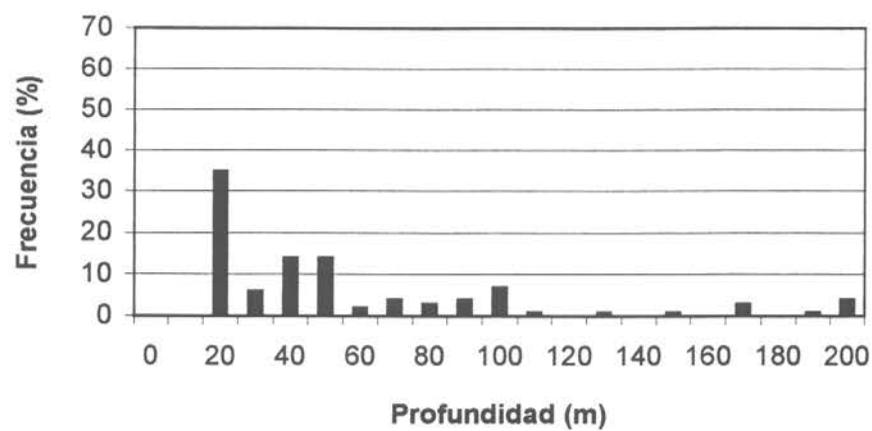


Figura 41. Distribución batimétrica de pez linterna en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9811.

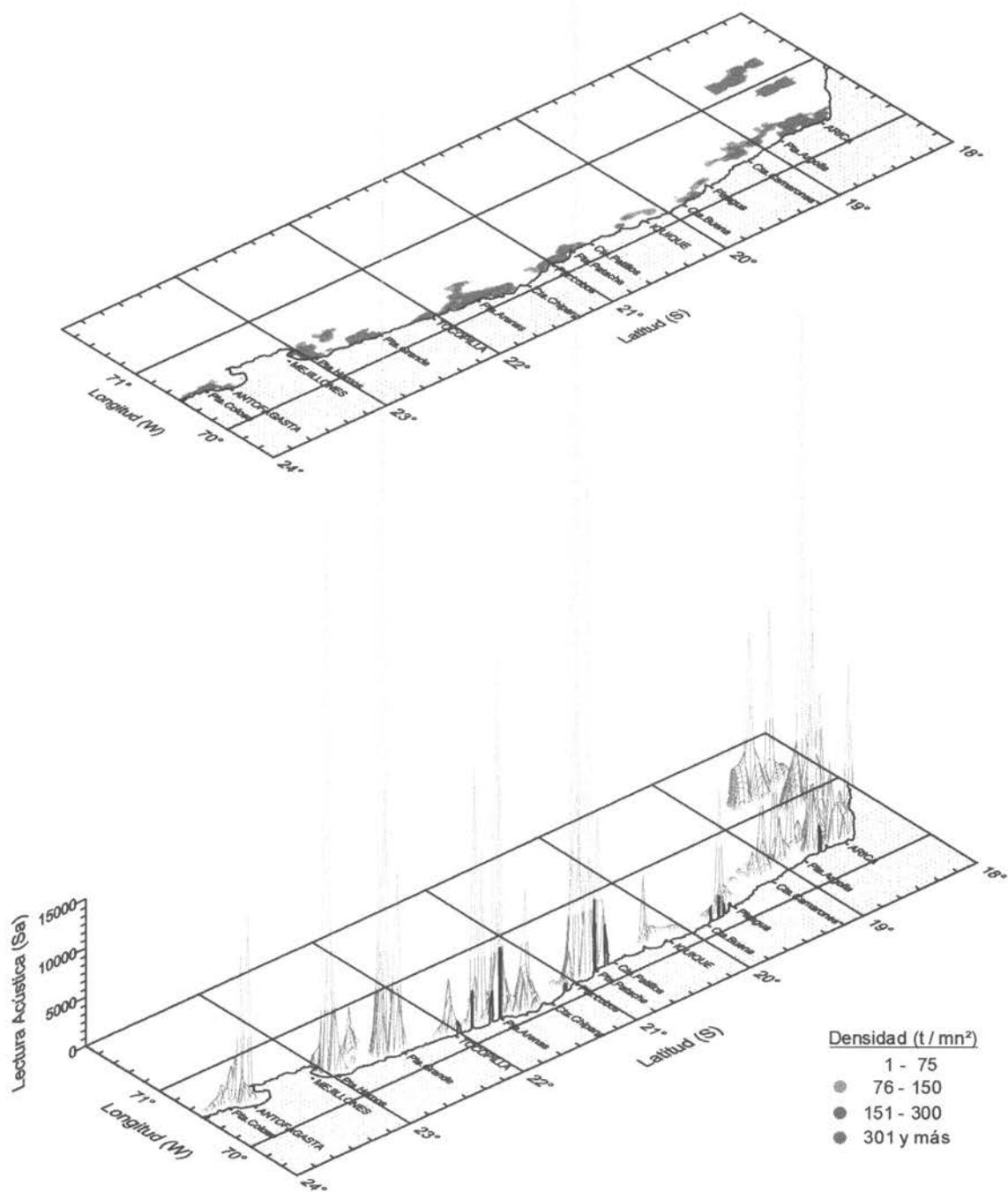


Figura 42. Distribución espacial del total de especies. Crucero RECLAN 9811.

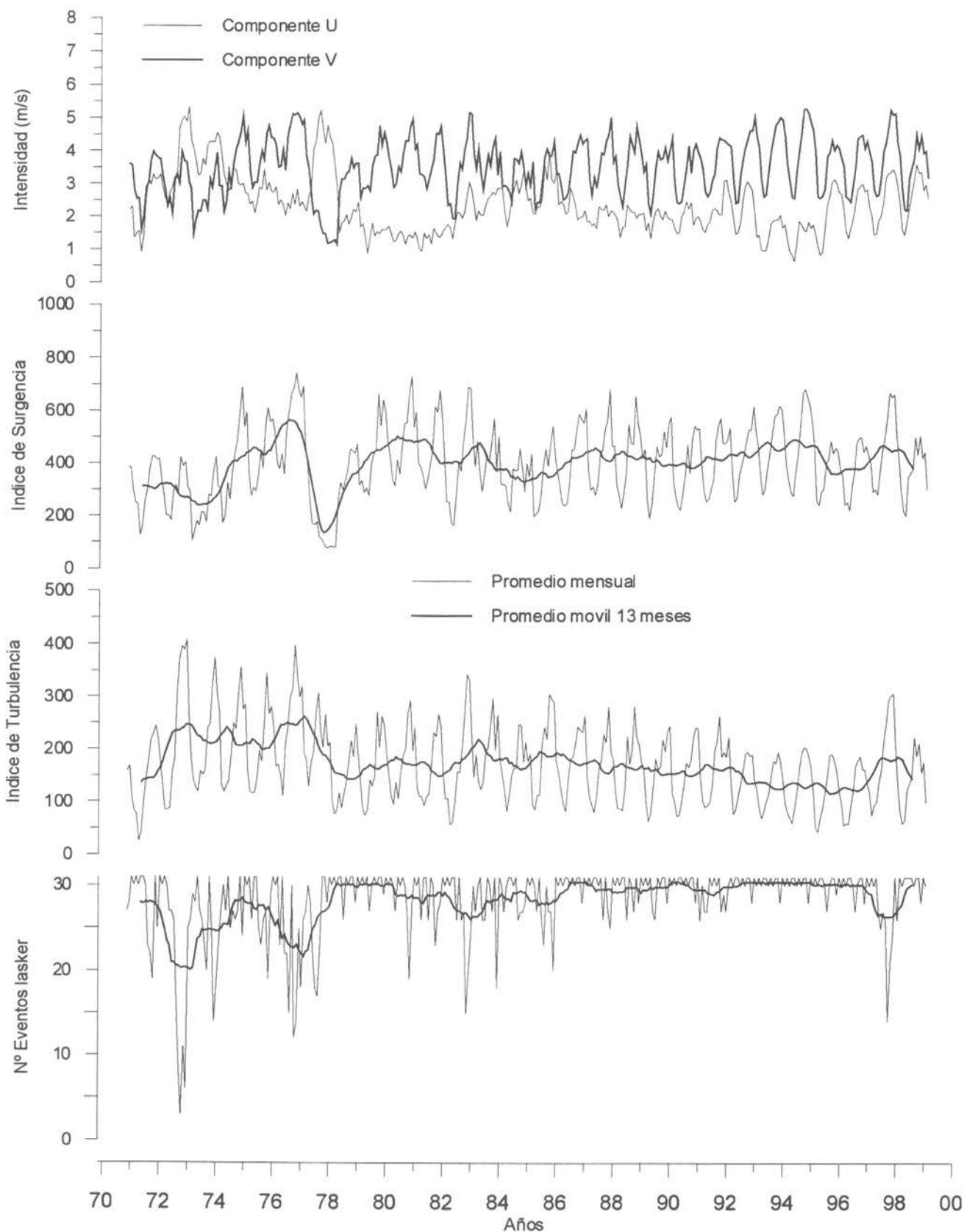


Figura 43 Promedio mensual de la componente U (este-oeste) y V (norte-sur); índices de surgencia y turbulencia; y número de eventos Lasker del viento en Arica.

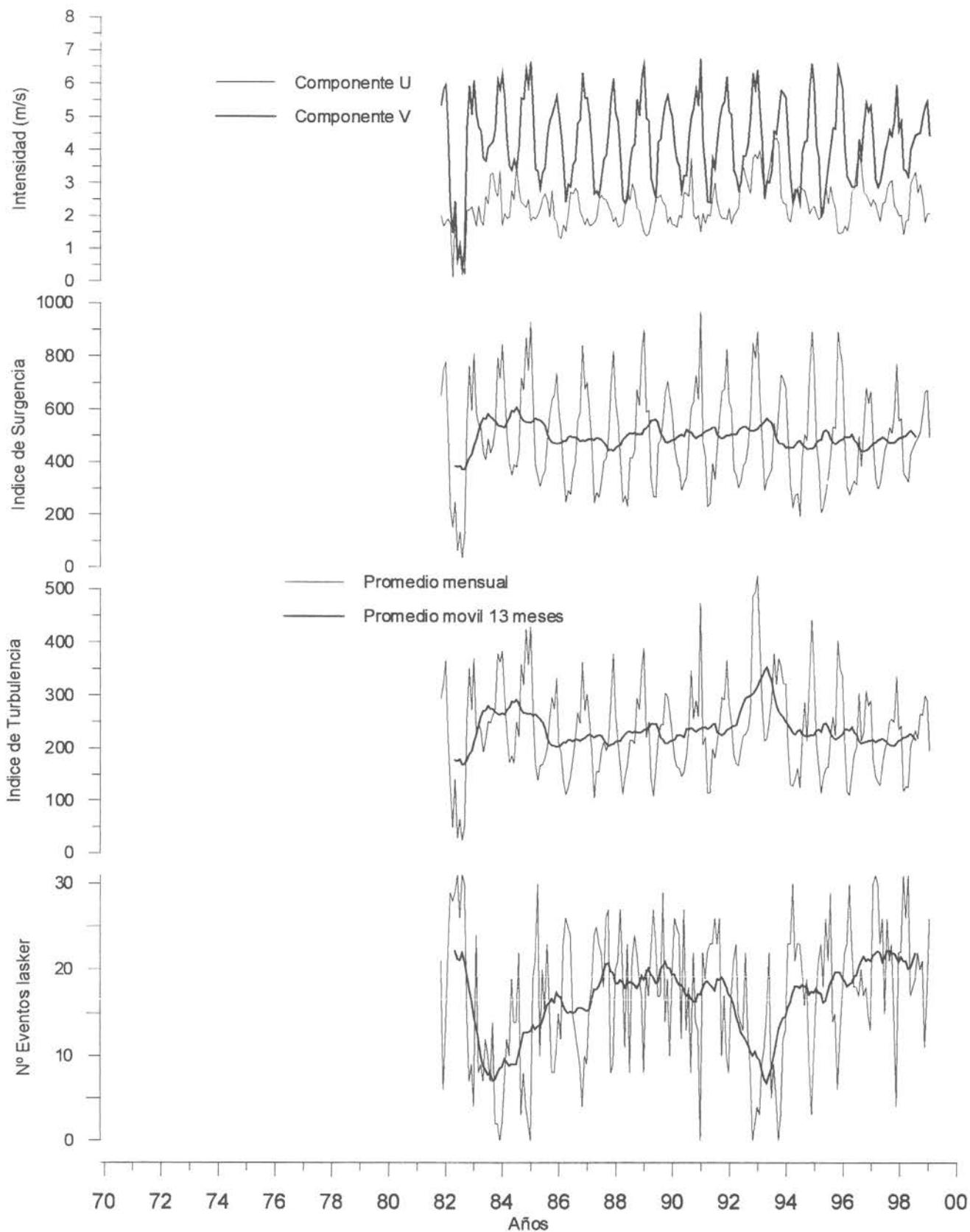


Figura 44 Promedio mensual de la componente U (este-oeste) y V (norte-sur); índices de surgencia y turbulencia; y número de eventos Lasker del viento en Iquique.

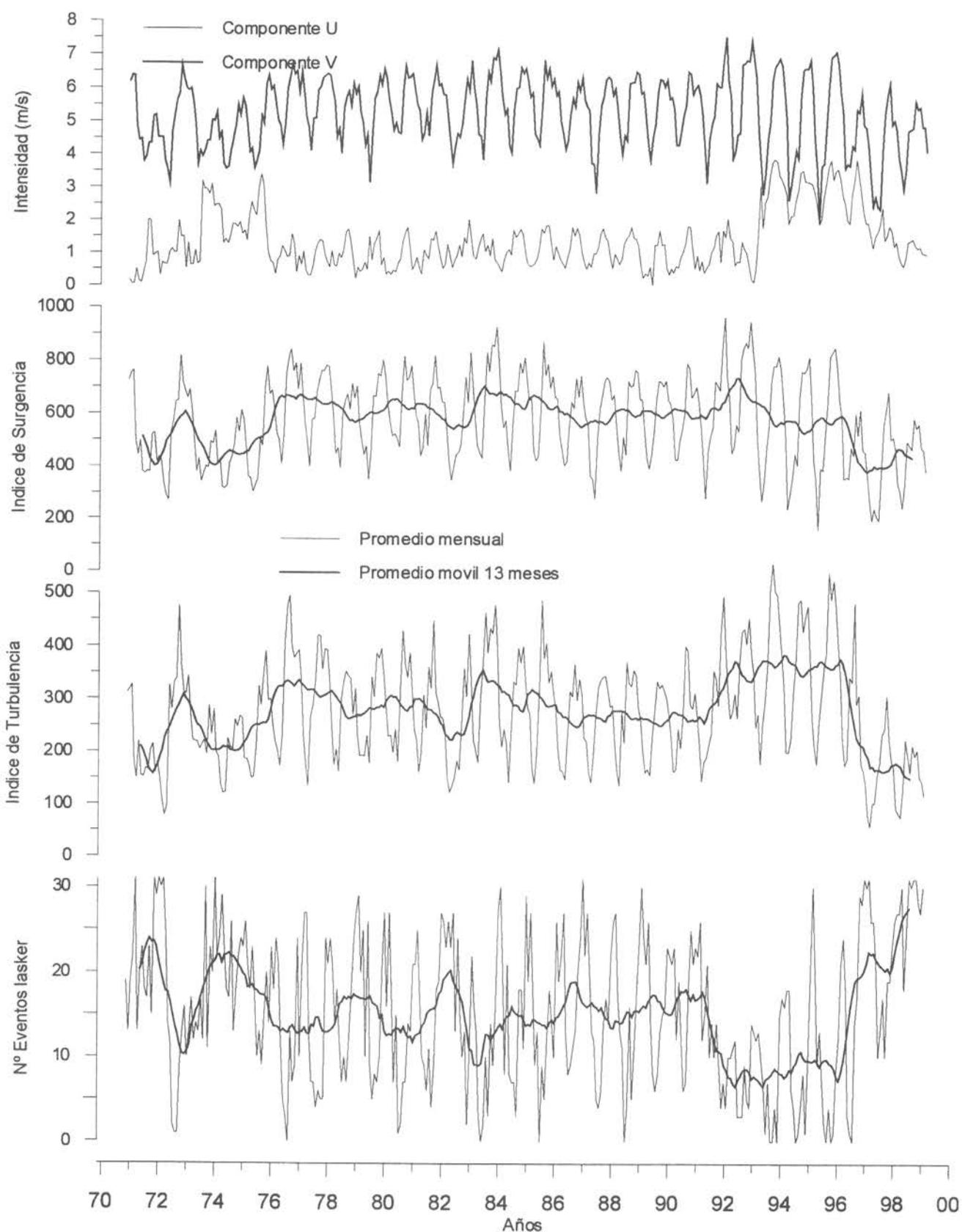


Figura 45 Promedio mensual de la componente U (este-oeste) y V (norte-sur); índices de surgencia y turbulencia; y número de eventos Lasker del viento en Antofagasta.

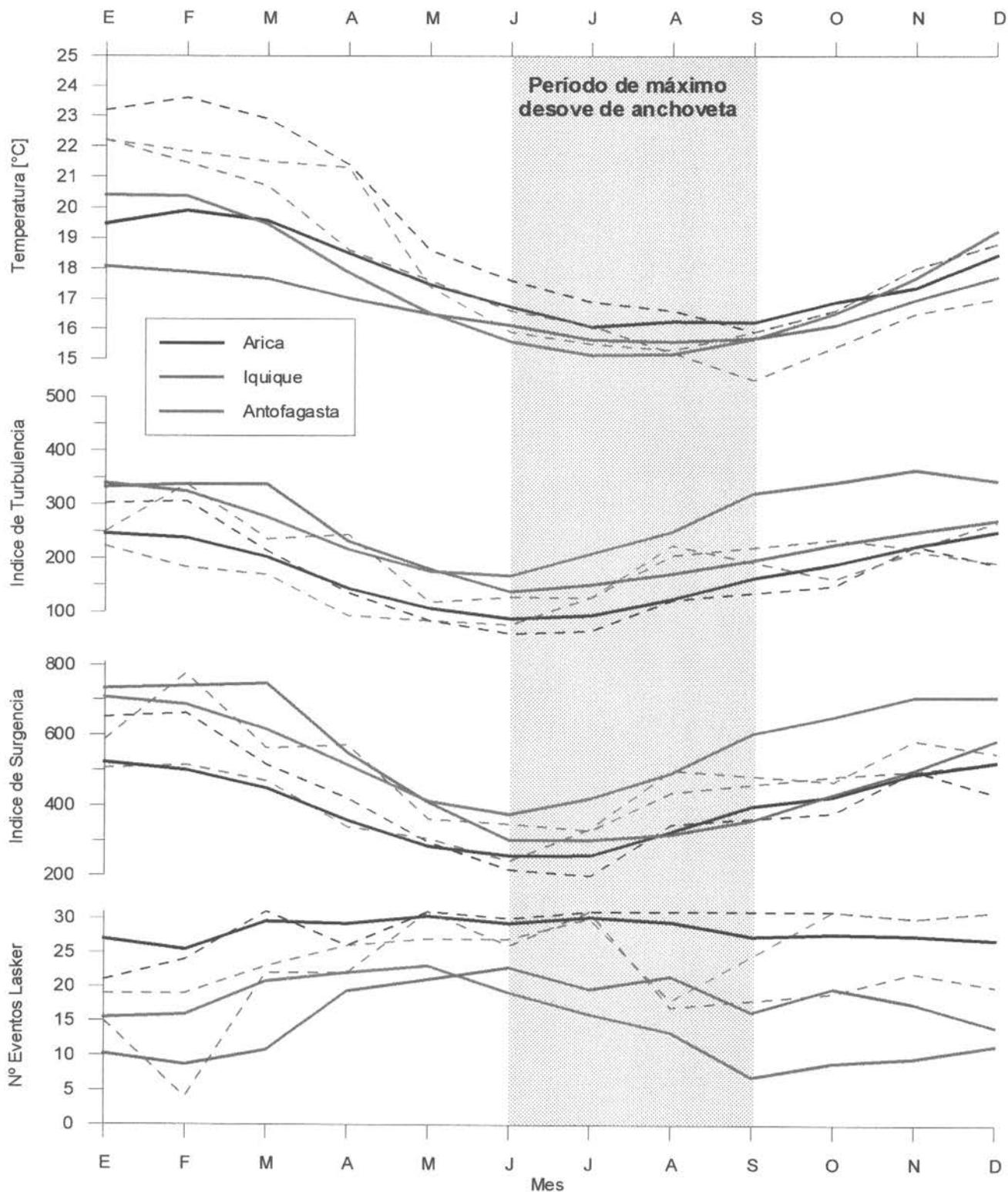


Figura 46 Temperatura superficial del mar, índices de turbulencia y surgencia, y número de eventos Lasker. Promedio mensual del Período 1971 a 1998 (Línea continua) y promedio mensual año 1998 en Arica, Iquique y Antofagasta (Línea segmentada).

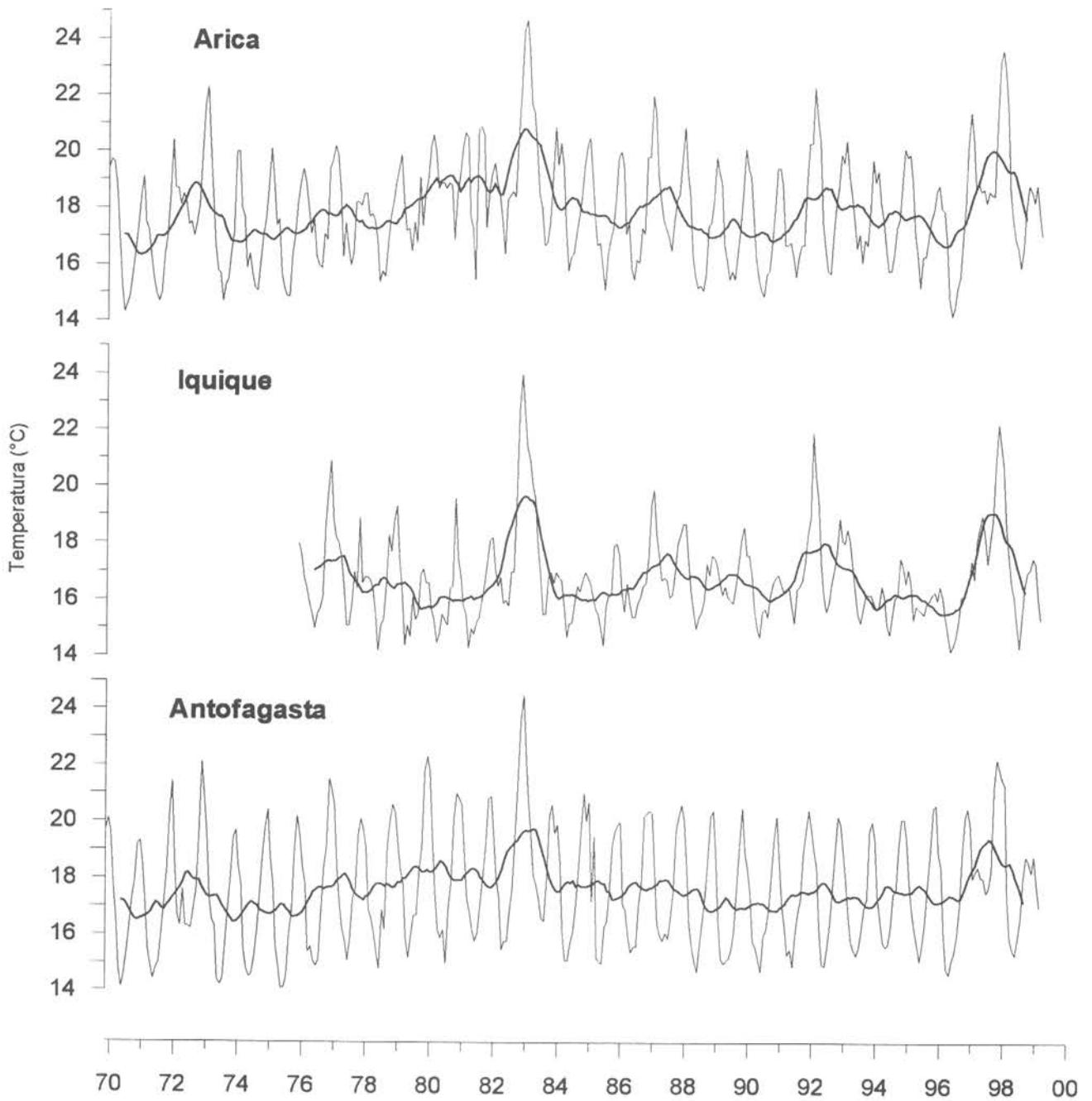


Figura 47 Promedio mensual de temperatura superficial del mar en estaciones costeras de Arica, Iquique y Antofagasta.

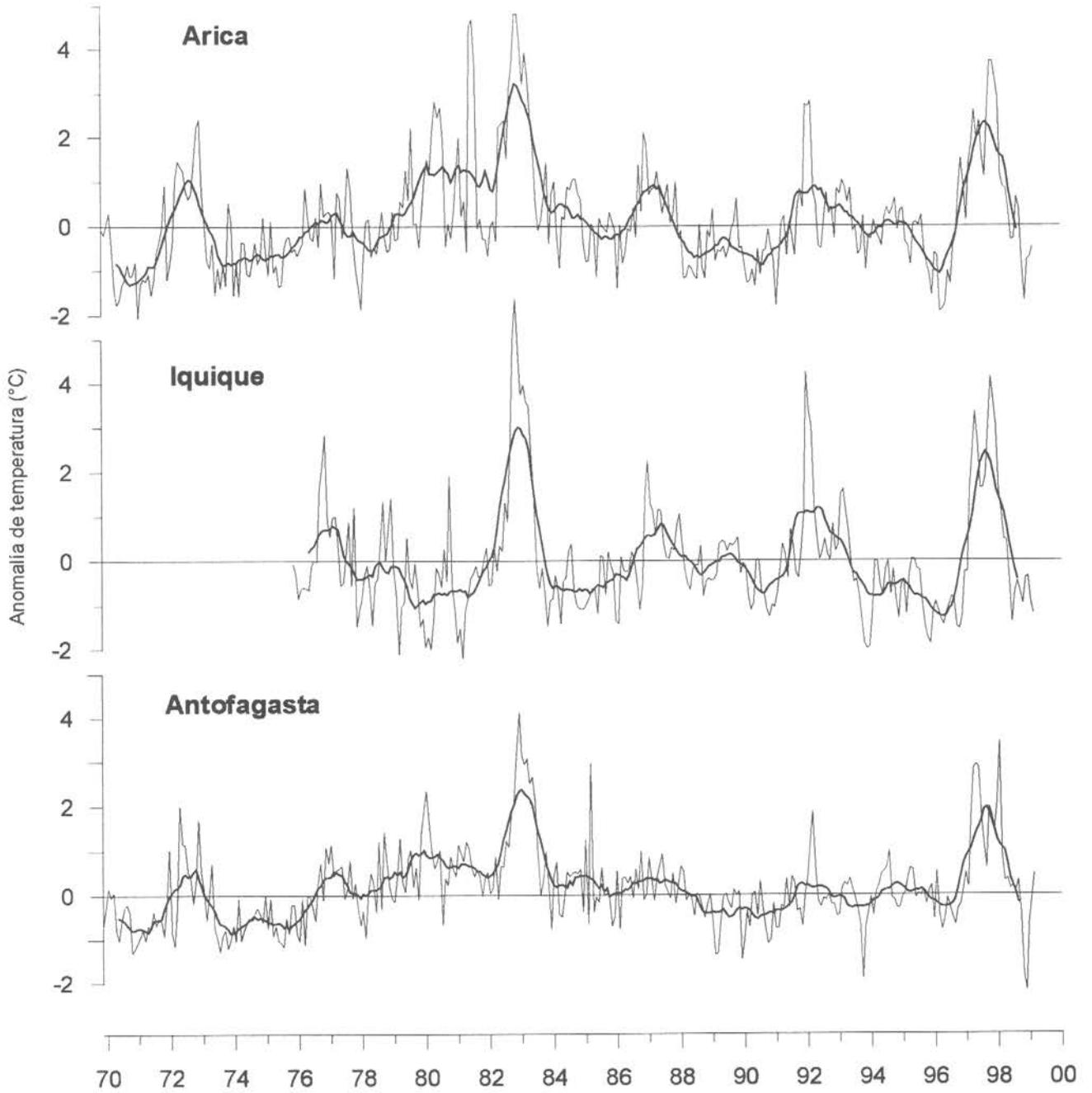


Figura 48 Promedio mensual de anomalía de temperatura superficial del mar en estaciones costeras de Arica, Iquique y Antofagasta.

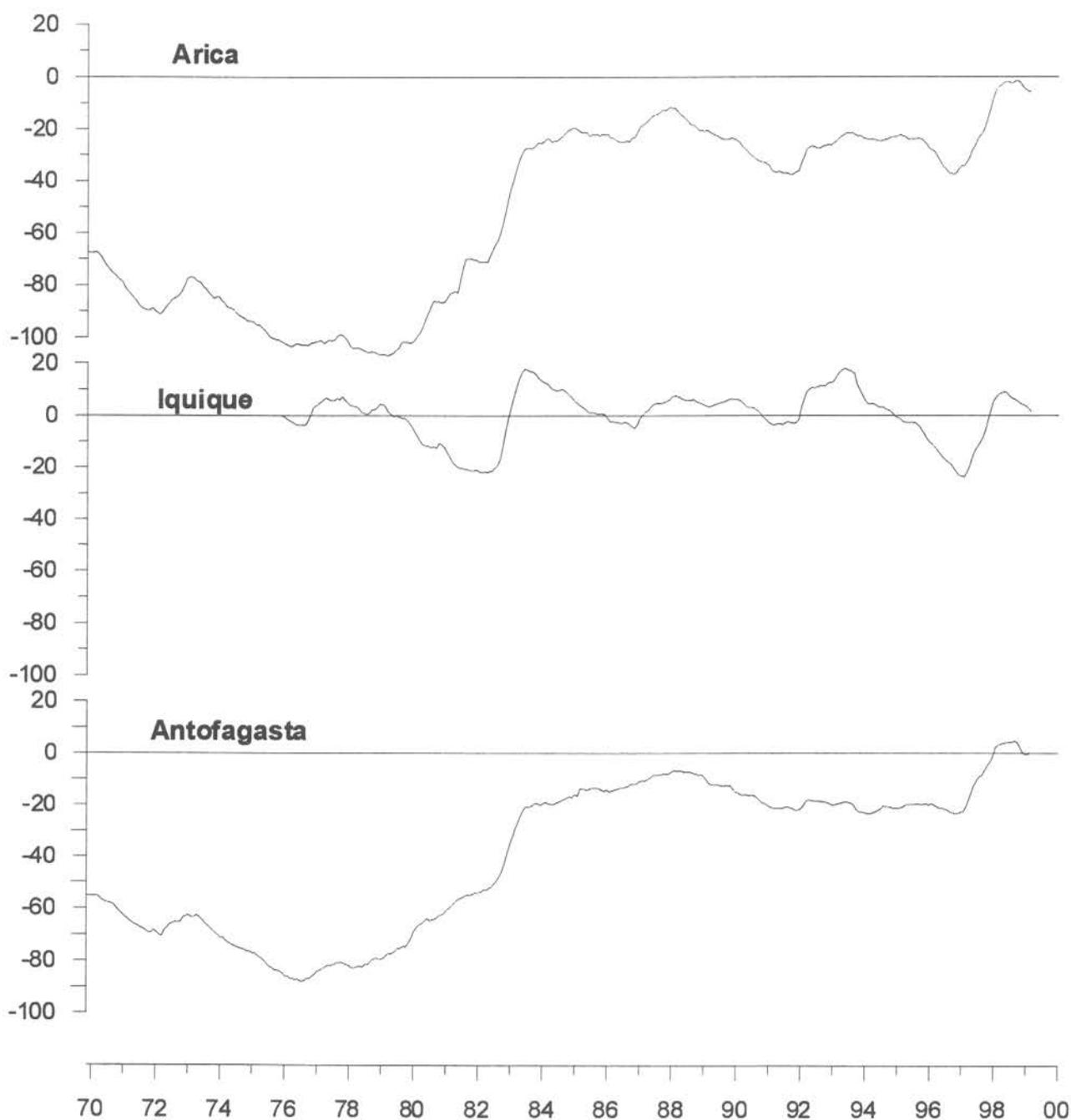


Figura 49 Promedio mensual de anomalía temperatura superficial del mar acumulada en estaciones costeras de Arica, Iquique y Antofagasta.

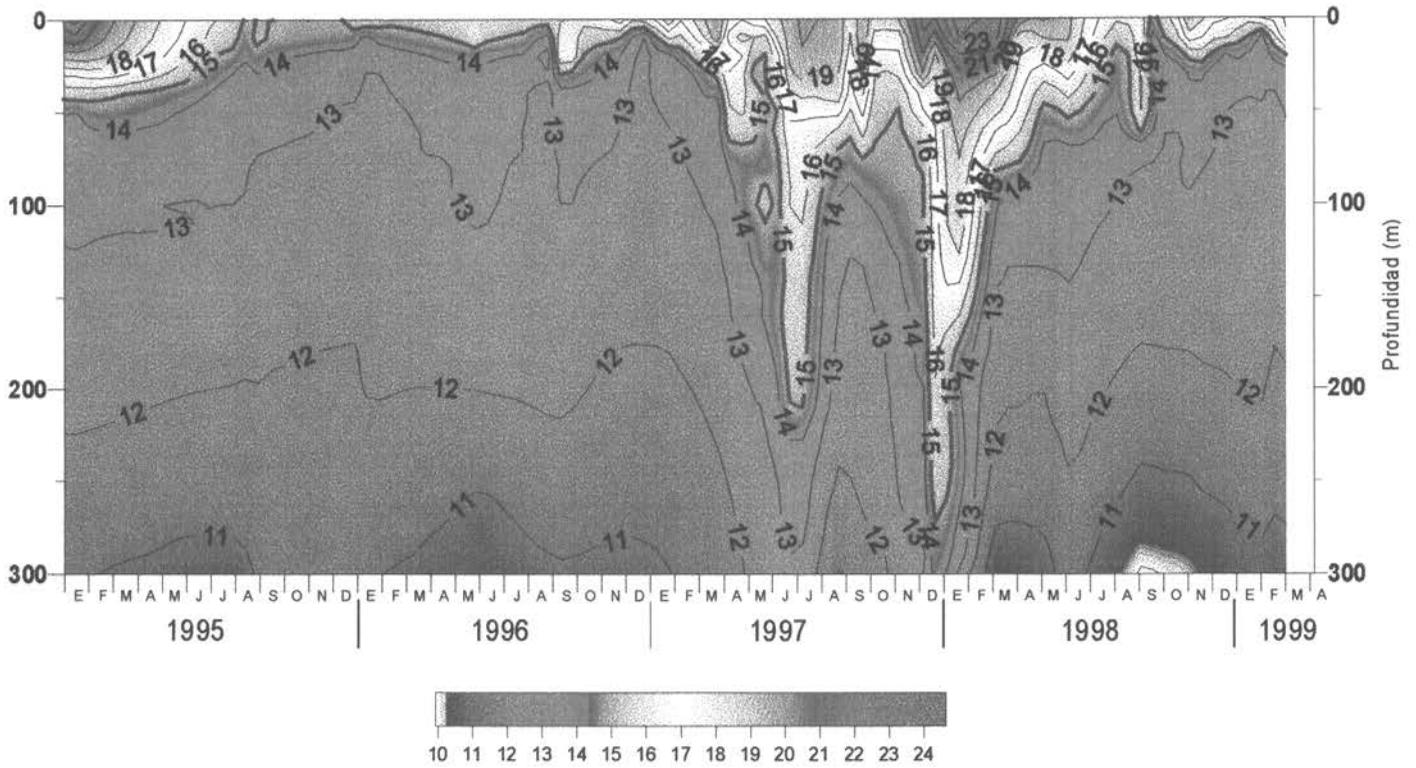


Figura 50 Distribución temporal de temperatura con profundidad a 5 millas frente a Iquique.

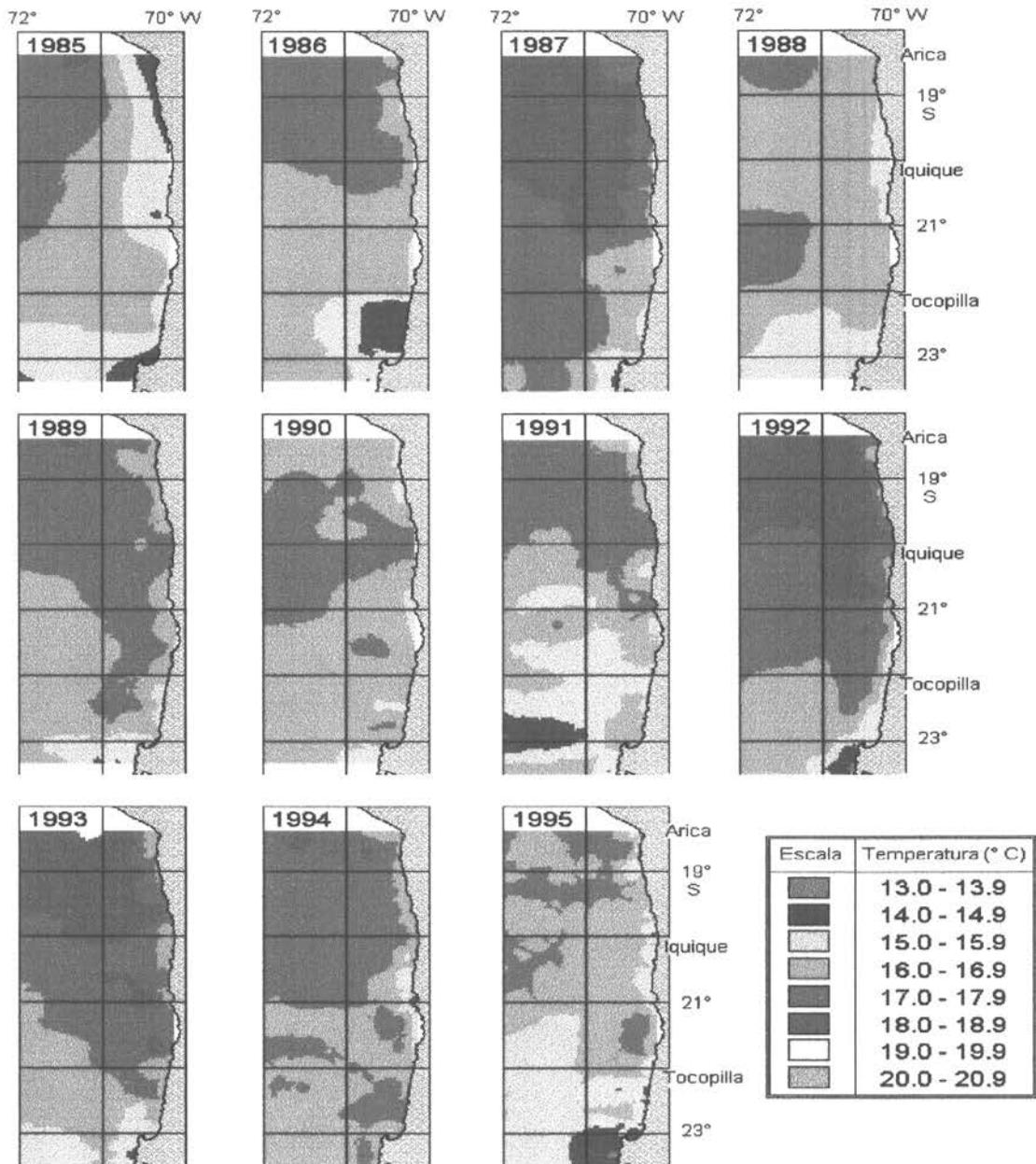


Figura 51. Cartas de distribución espacial de la temperatura superficial de los cruceros invernales (julio-septiembre), período 1985-95.

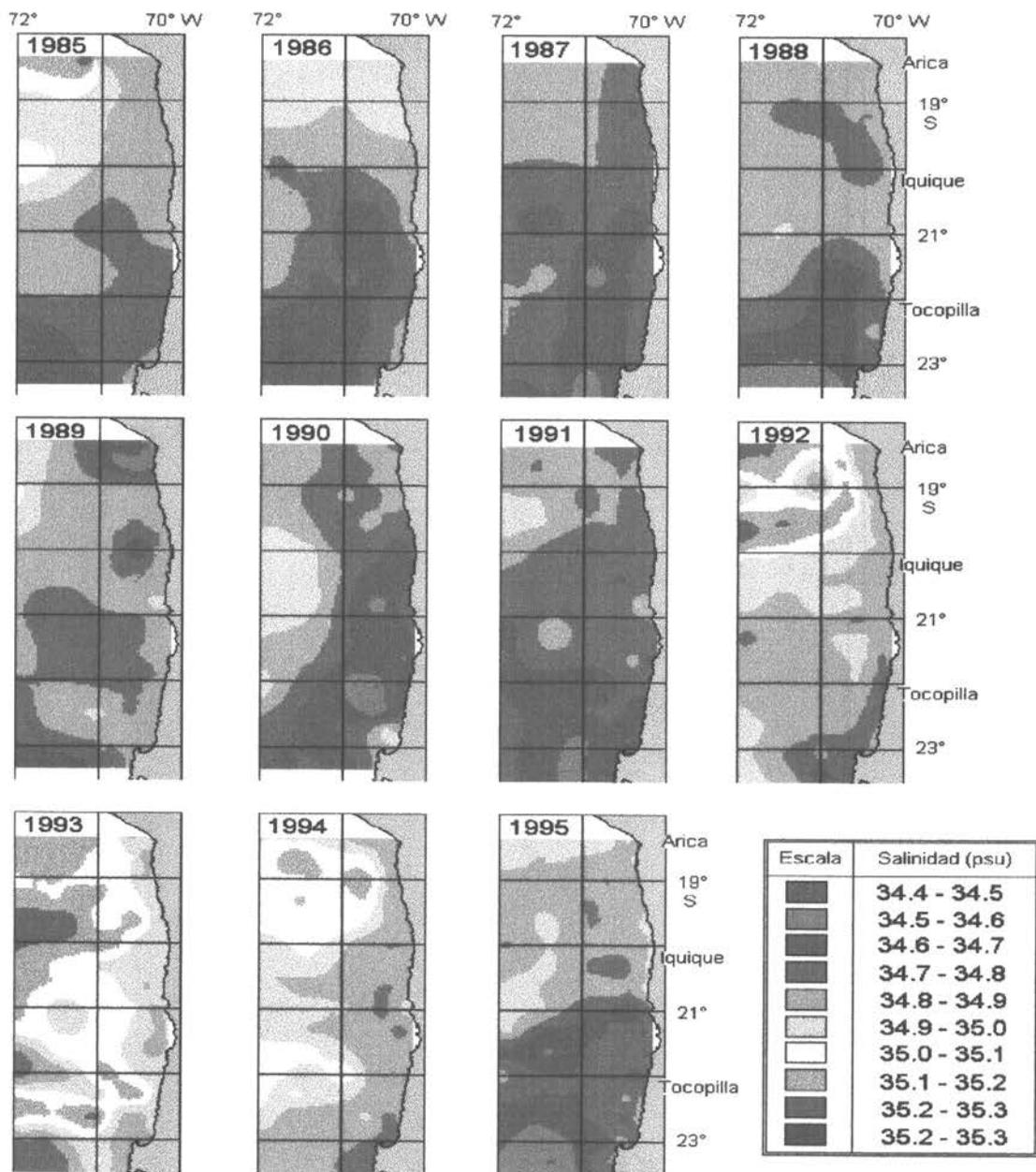


Figura 52. Cartas de distribución espacial de la salinidad superficial de los cruceros invernales (julio-septiembre), período 1985-95.

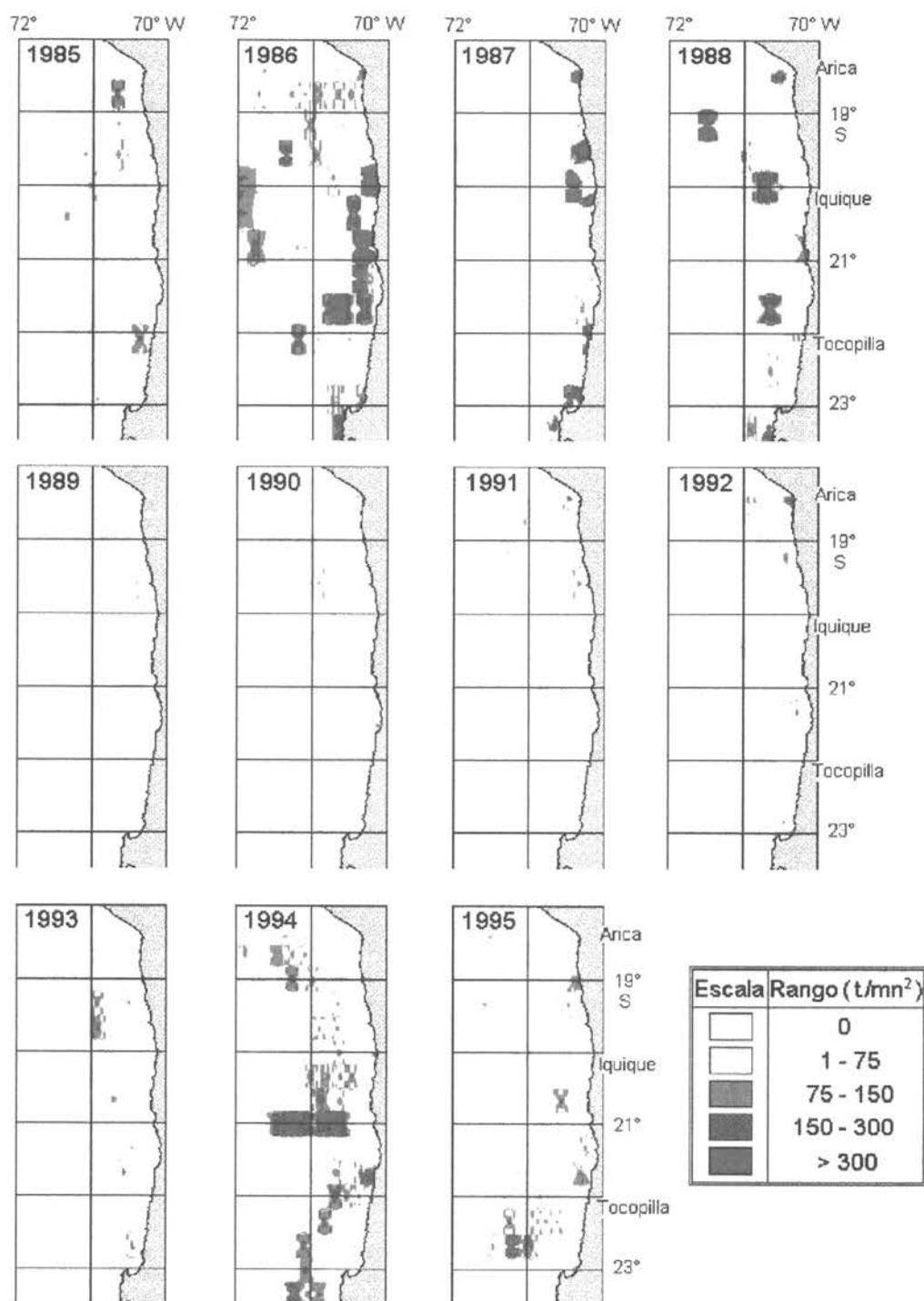


Figura 53. Mapas de distribución espacial de la densidad acústica de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.

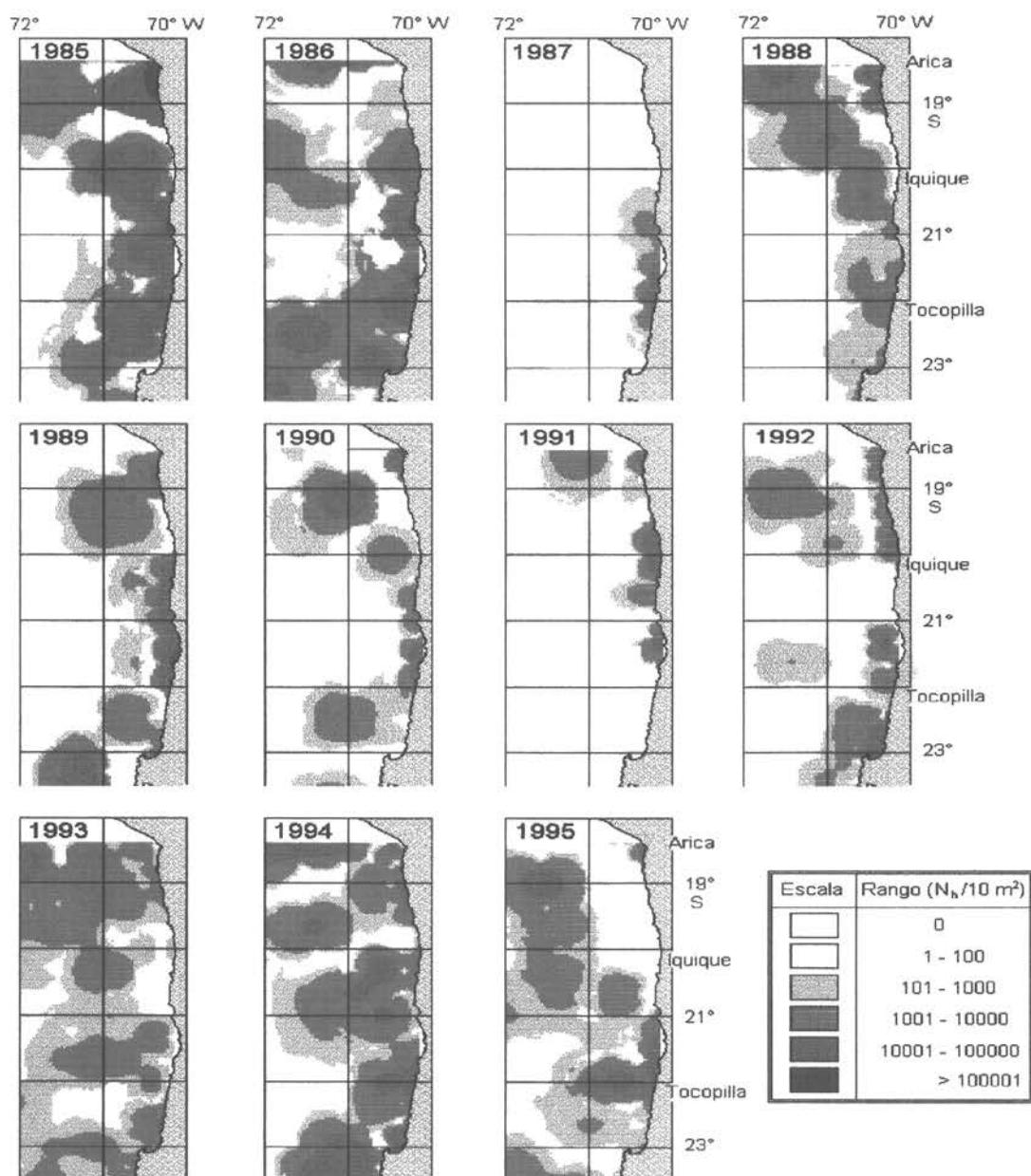


Figura 54. Mapas de distribución espacial de huevos de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.

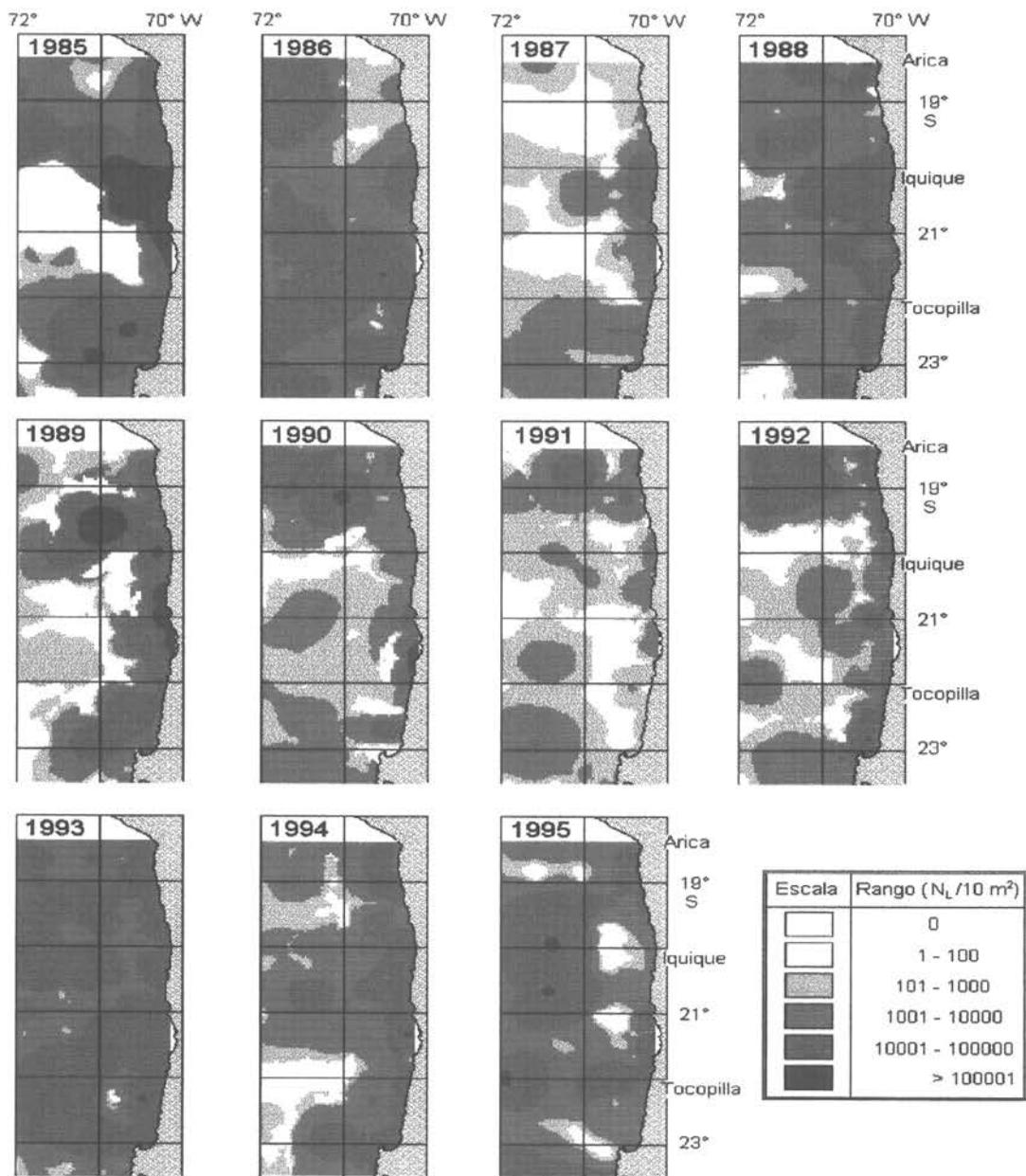


Figura 55. Mapas de distribución espacial de larvas de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.

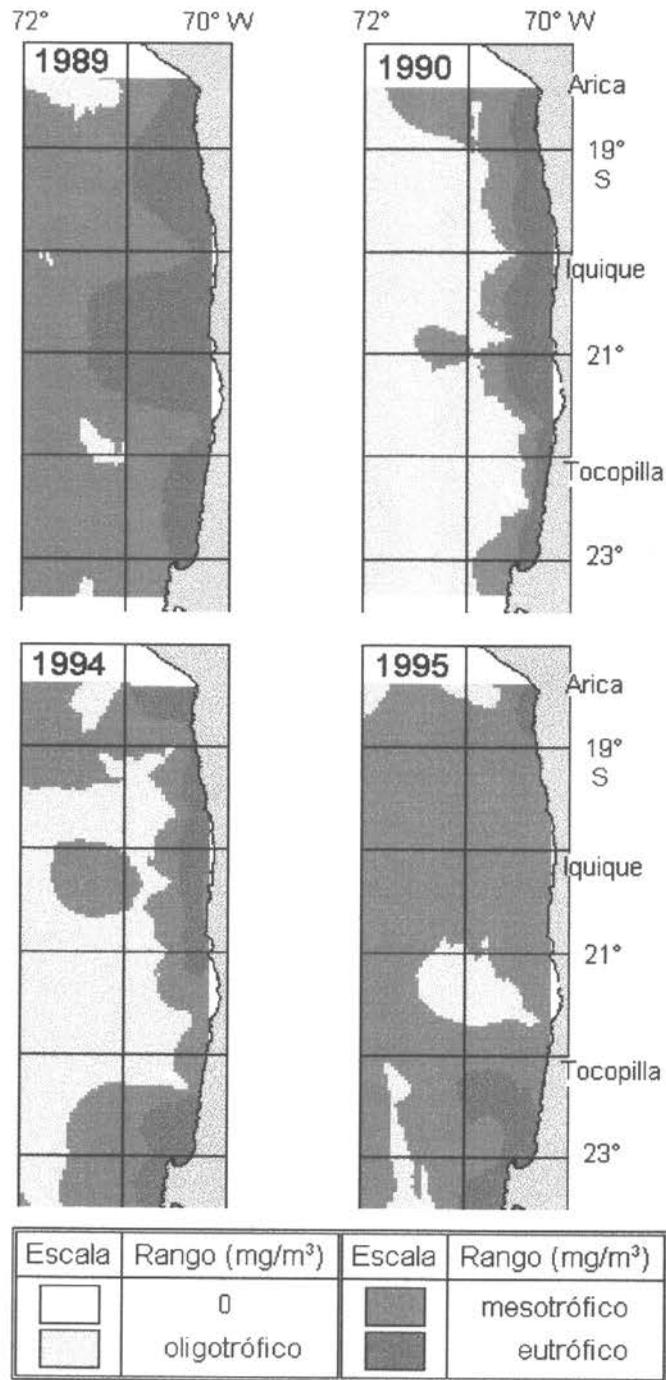


Figura 56. Cartas de distribución espacial de la clorofila-a de los cruceros invernales, período 1989-95.

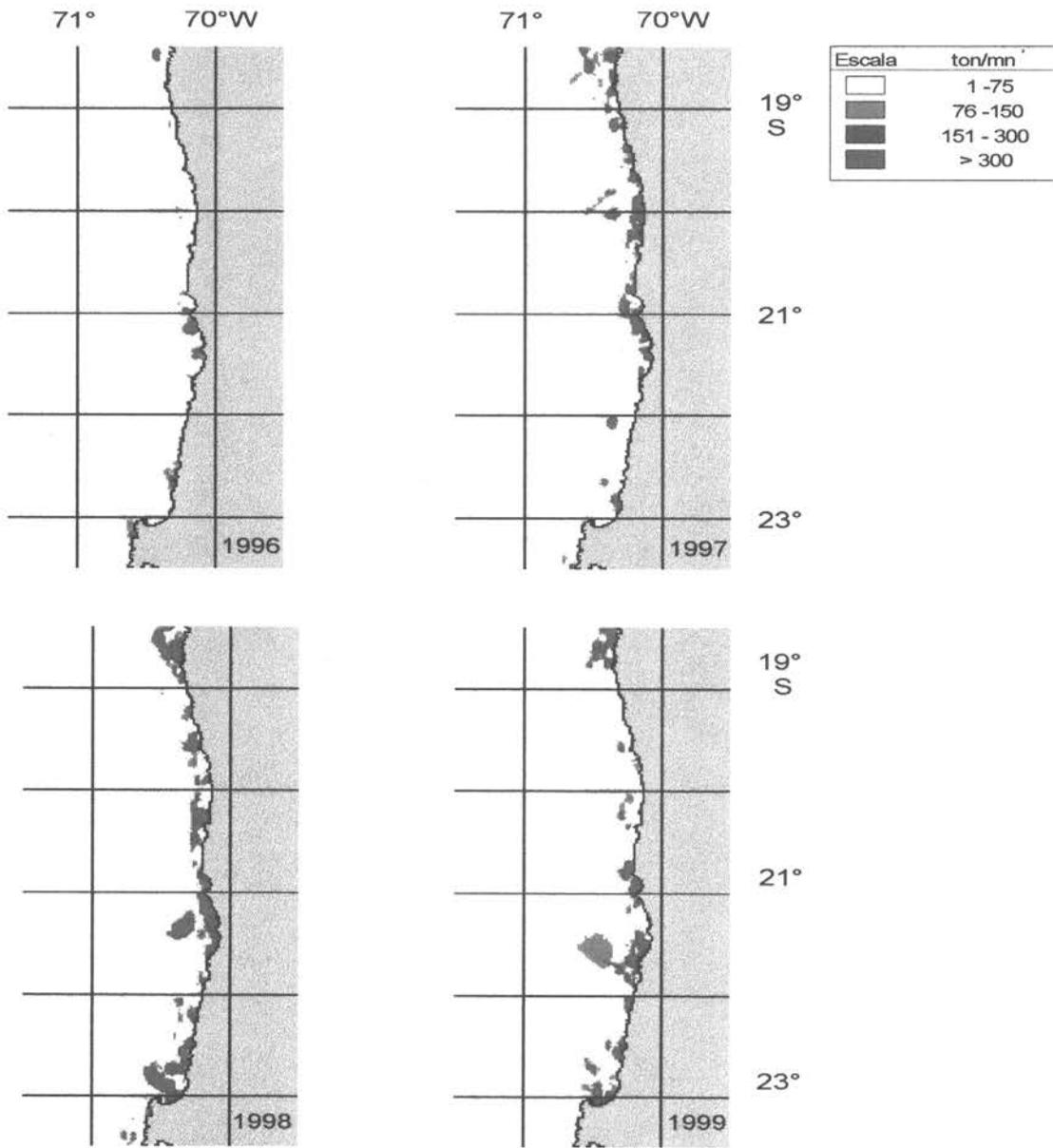


Figura 57. Mapas de distribución espacial de la densidad acústica de anchoveta. Períodos primavera-verano 1996-99.

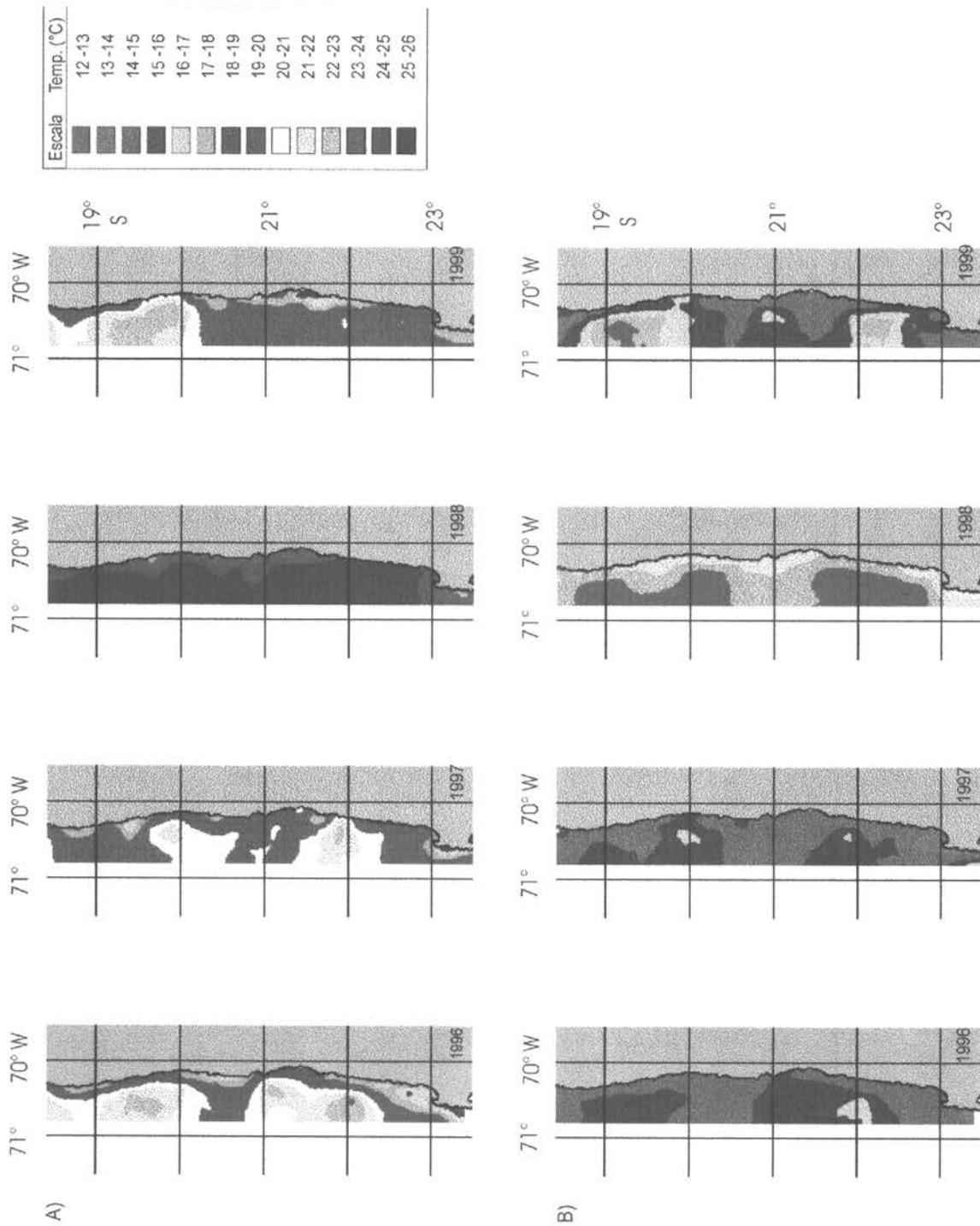


Figura 58. Cartas de distribución por cruceo de: A) temperatura superficial y B) temperatura promedio entre la superficie y los 50 m. de profundidad.

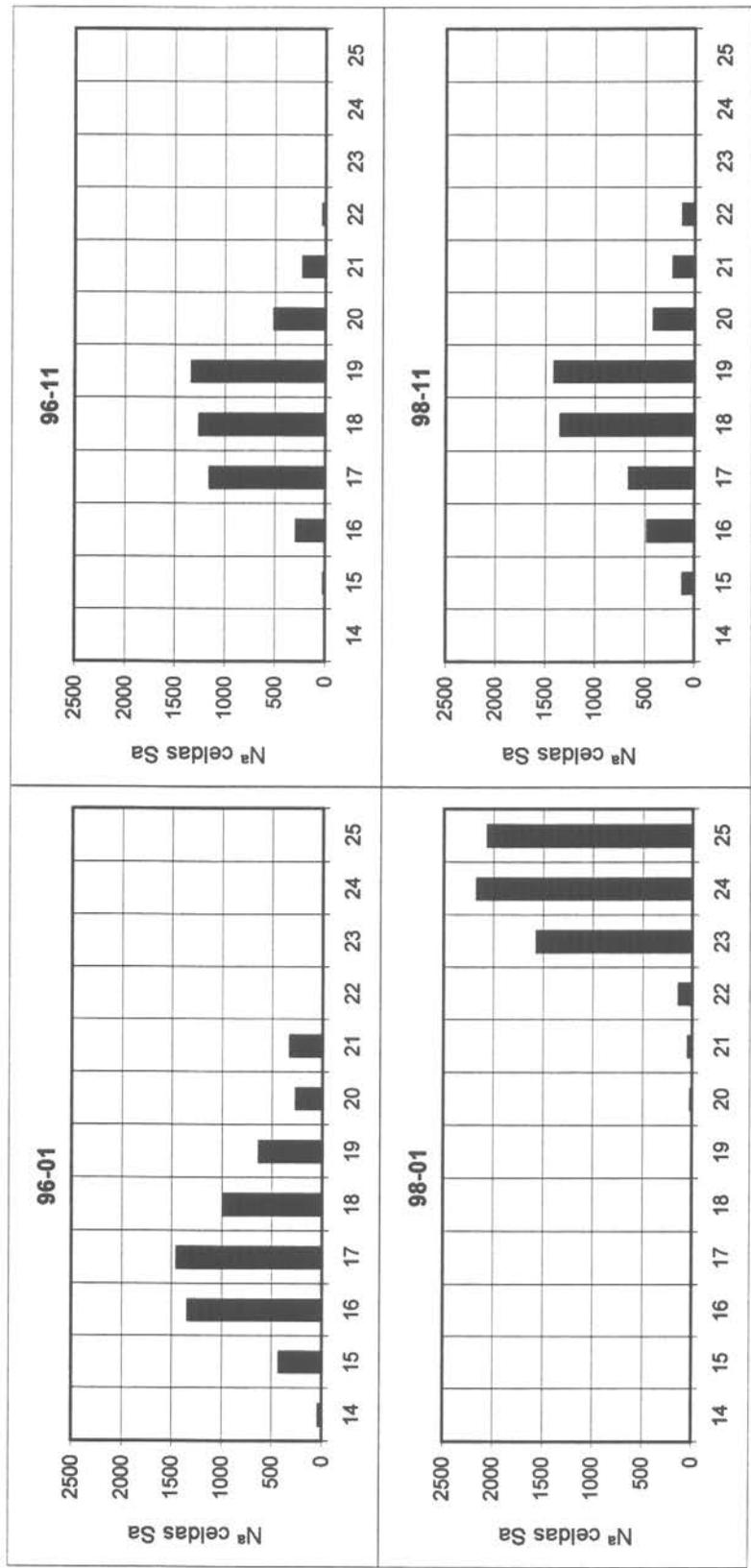


Figura 59. Número de celdas con presencia de reclutas de anchoveta en relación a la temperatura.

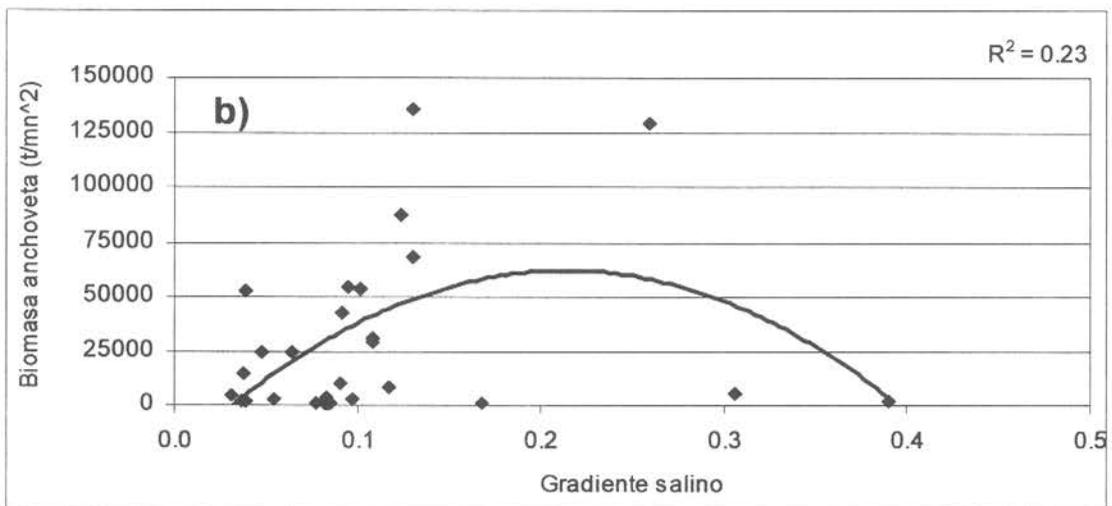
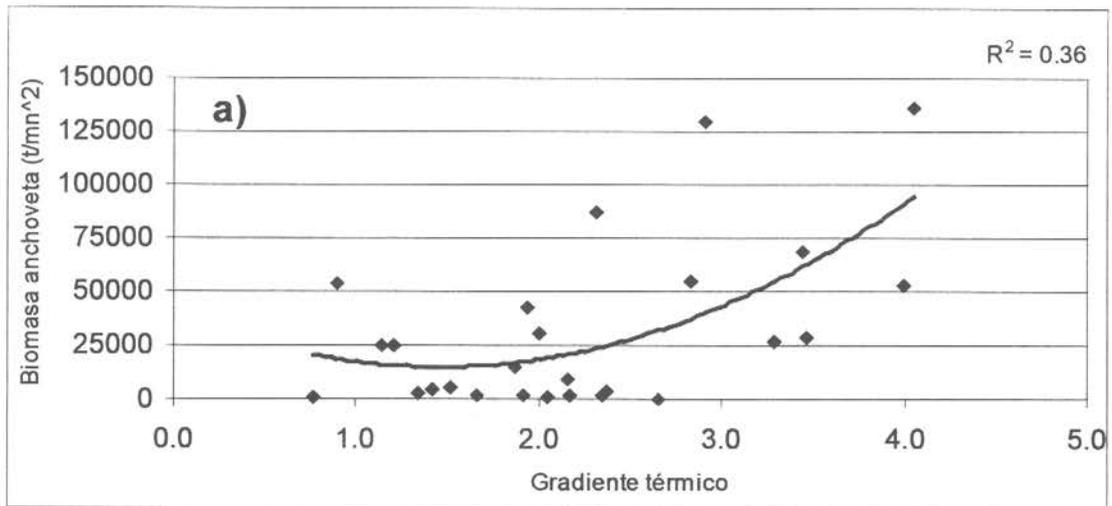


Figura 60. Densidad de reclutas de anchoveta en relación : a) gradiente de temperatura superficial y b) gradiente de salinidad superficial.

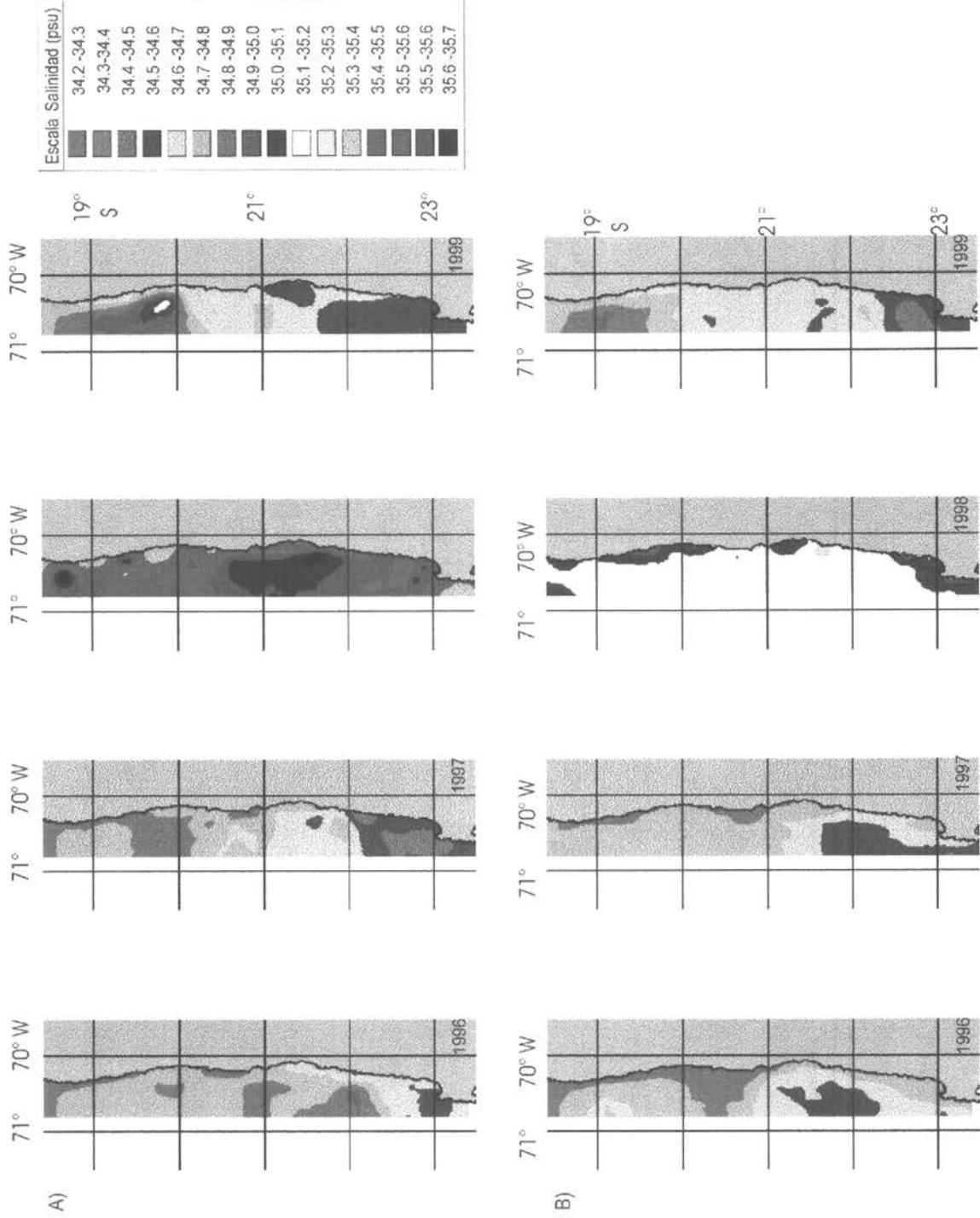


Figura 61. Cartas de distribución por cruceiro de: A) salinidad superficial y B) salinidad promedio entre la superficie y los 50 m. de profundidad.

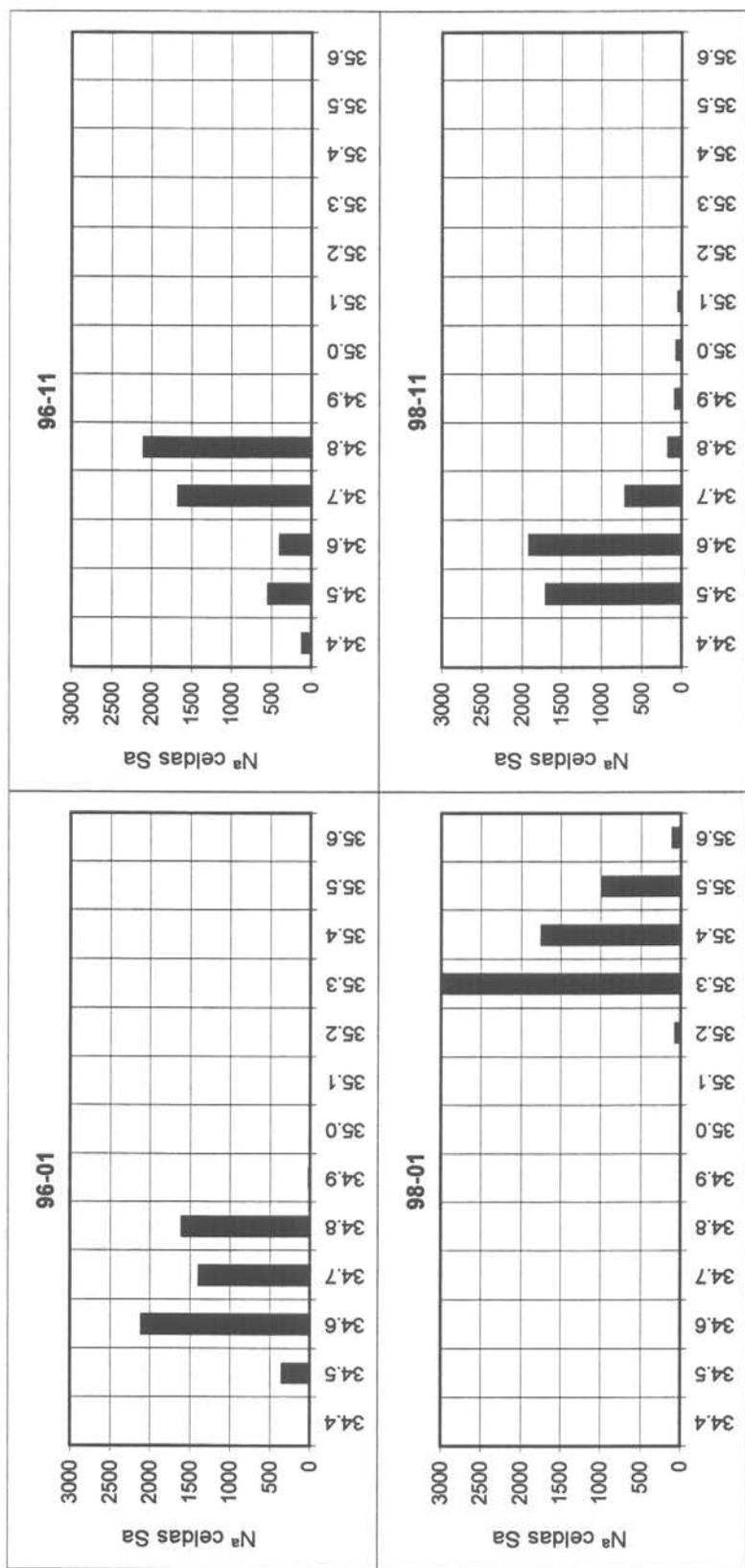


Figura 62. Número de celdas con presencia de reclutas de anchoveta en relación a la salinidad.

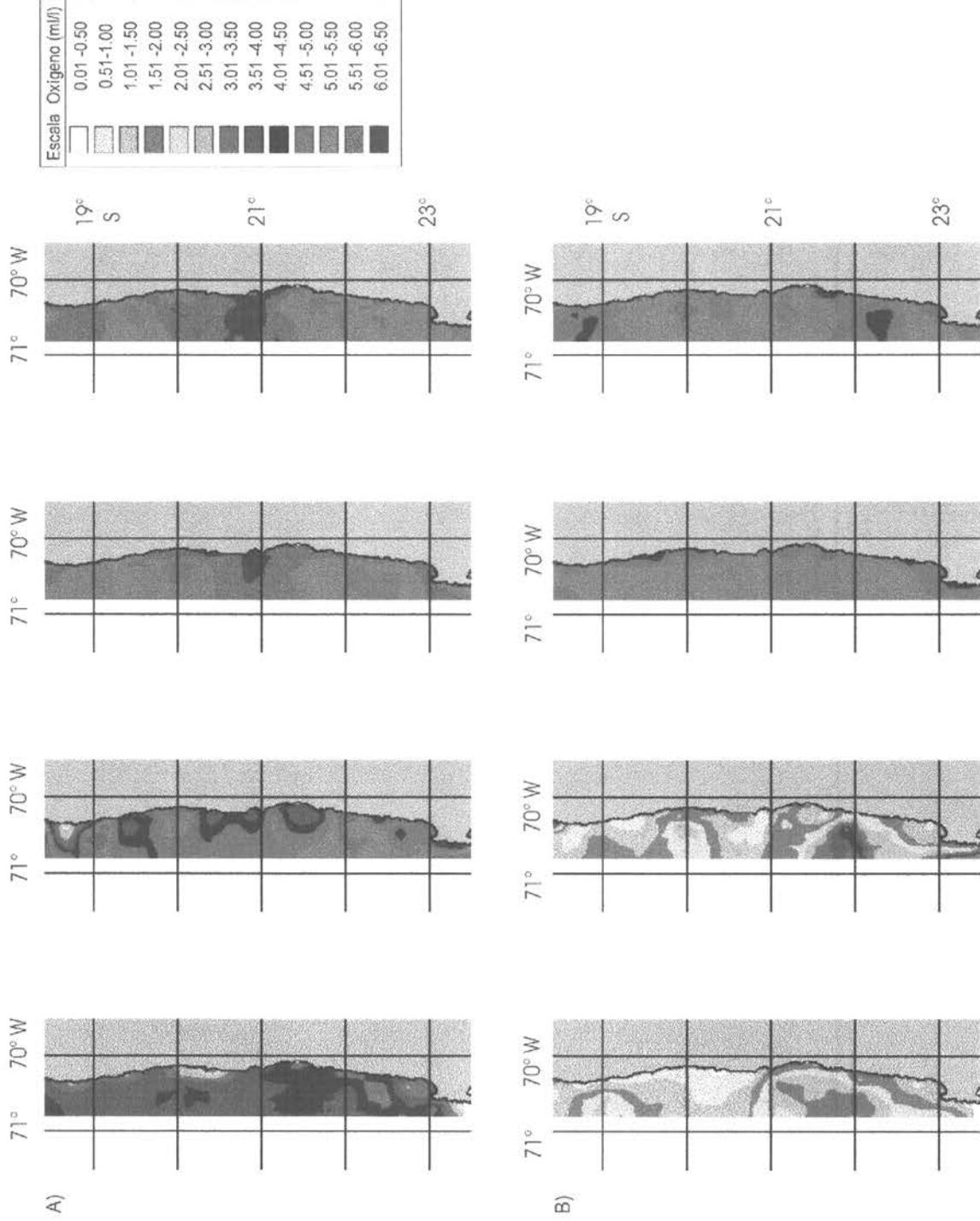


Figura 63. Cartas de distribución por cruceo de: A) oxígeno disuelto superficial y B) oxígeno disuelto promedio entre la superficie y los 50 m. de profundidad.

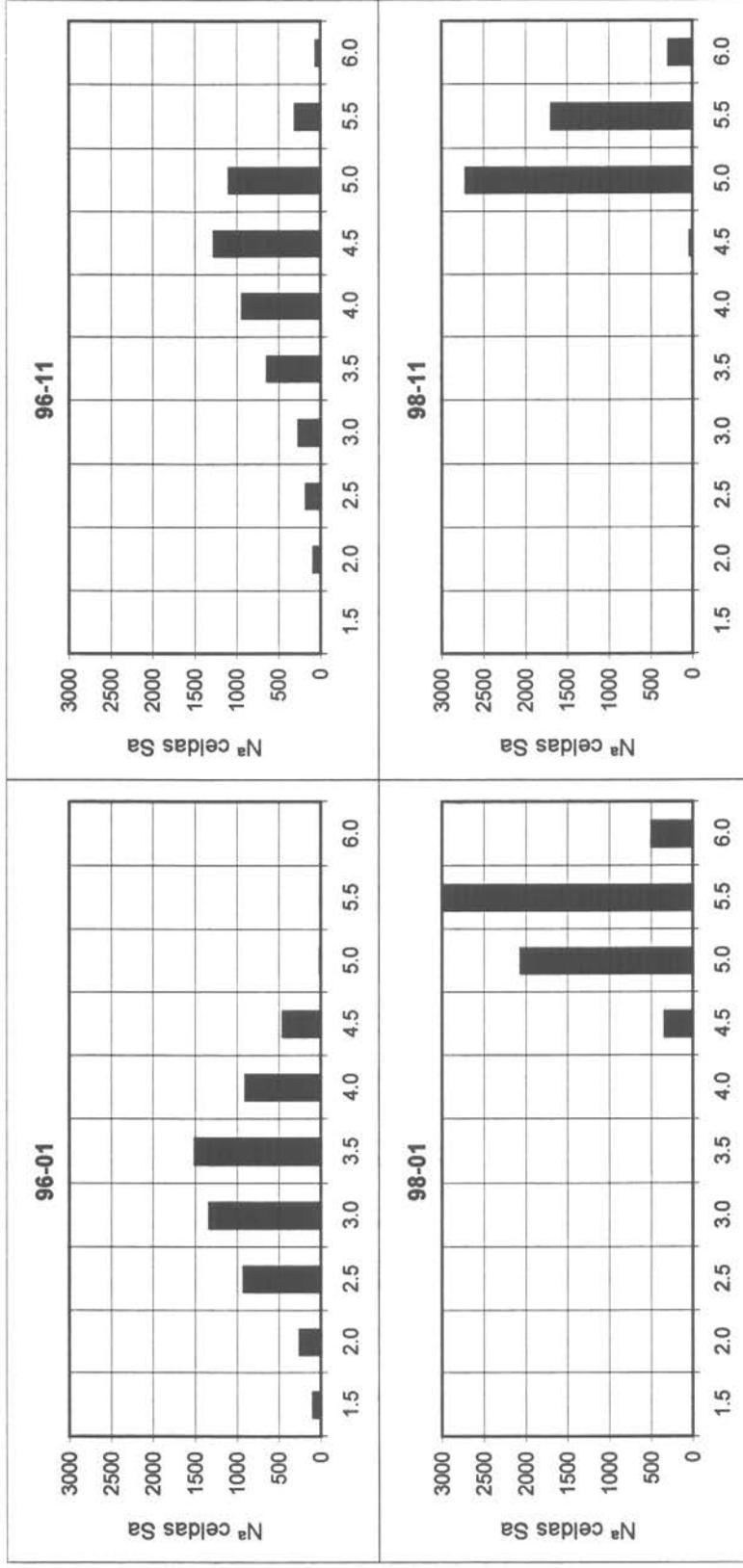


Figura 64. Número de celdas con presencia de reclutas de anchoveta en relación al oxígeno disuelto.

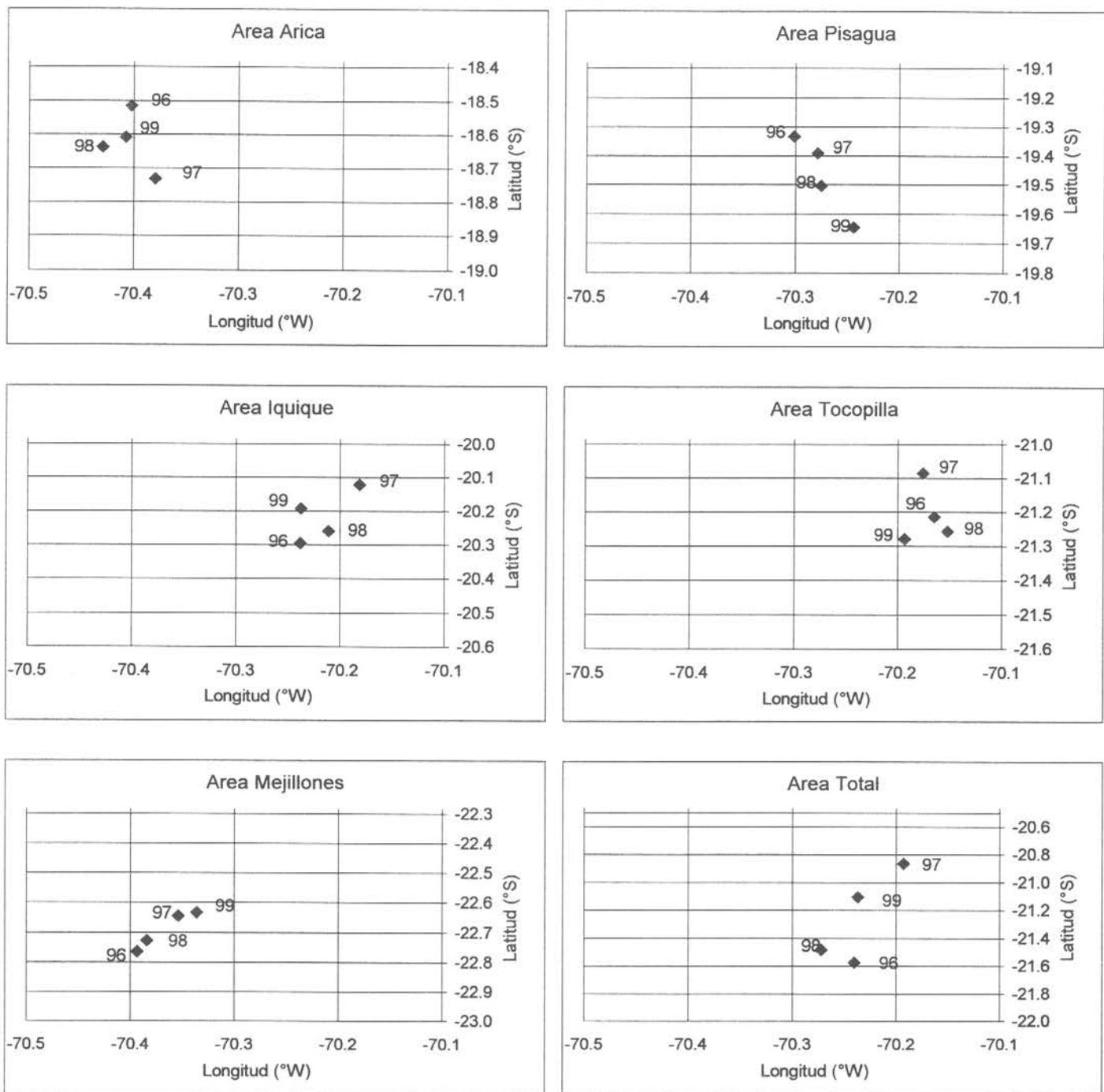


Figura 65 .Centros de gravedad de los reclutas de anchoveta por subzona y zona total.

INDICE GONADOSOMATICO DE ANCHOVETA

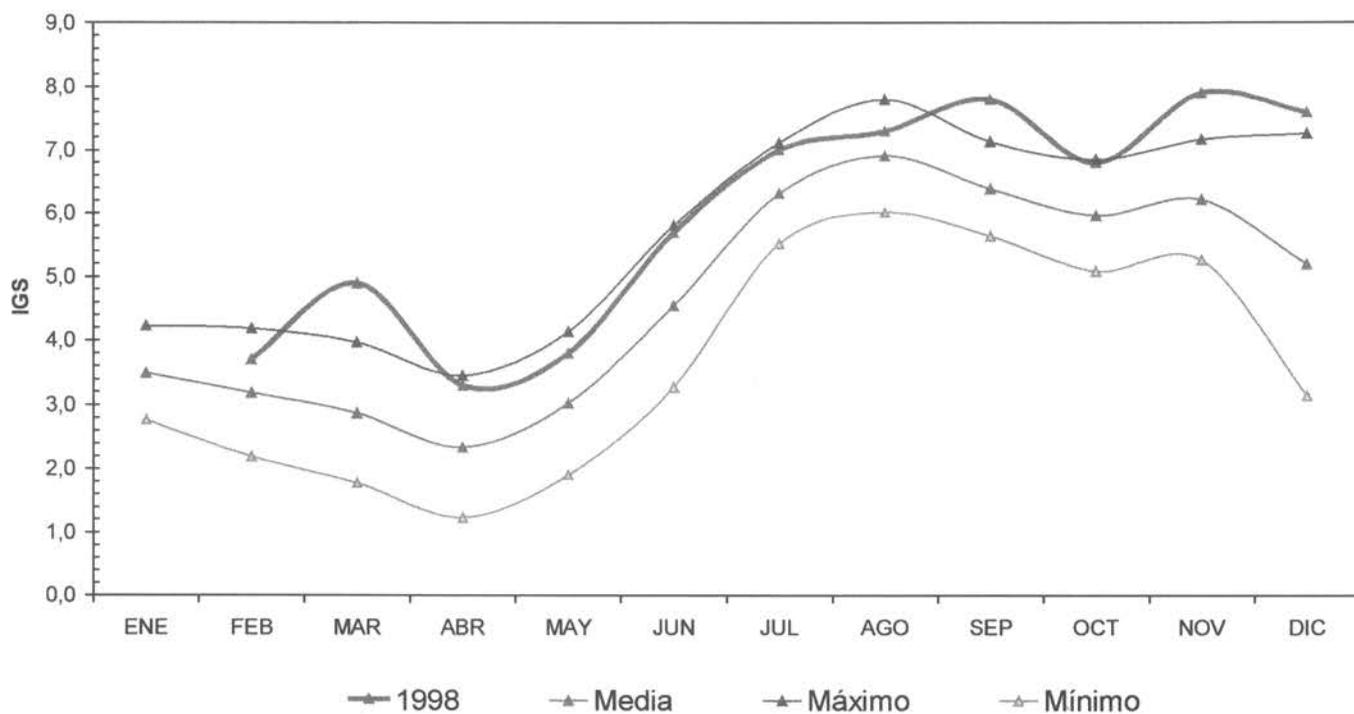


Figura 66. Patrón del índice gonadosomático de las hembras de anchoveta de la zona norte de Chile, período 1987-98. Los valores representan el promedio más o menos una desviación estándar.

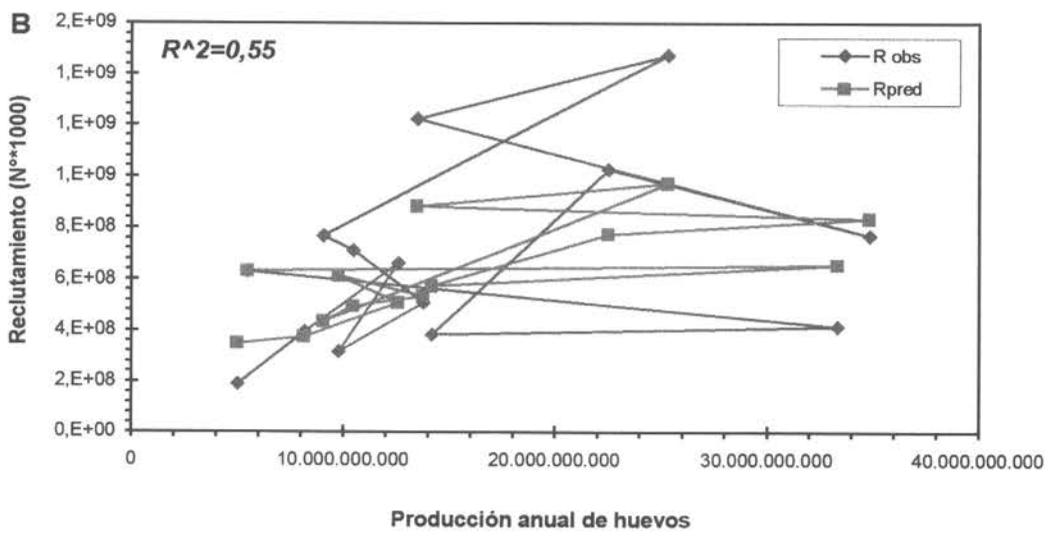
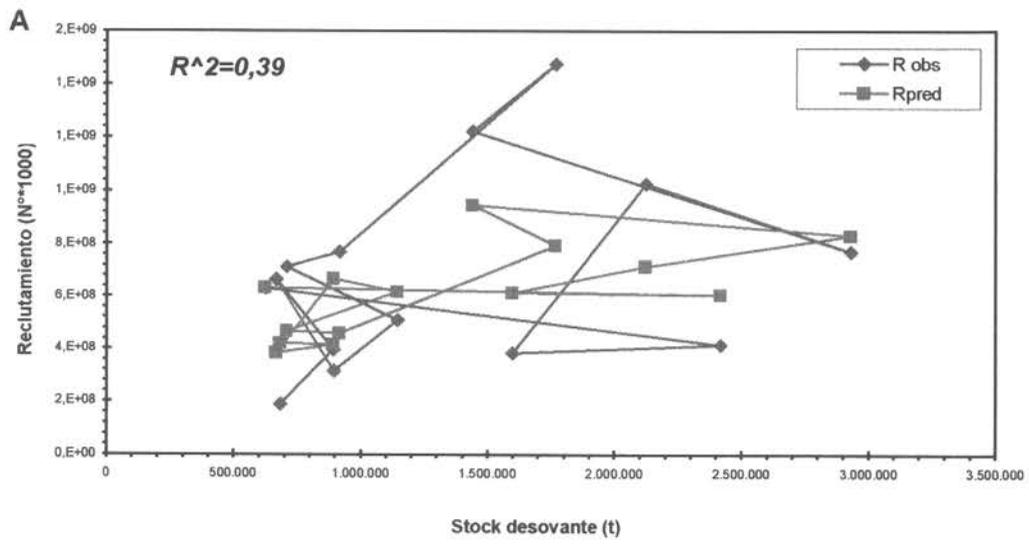


Figura 67. A) Relación stock-recluta de anchoveta incorporando variables ambientales.
 B) Relación producción anual de huevos - reclutamiento de anchoveta incluyendo variables ambientales

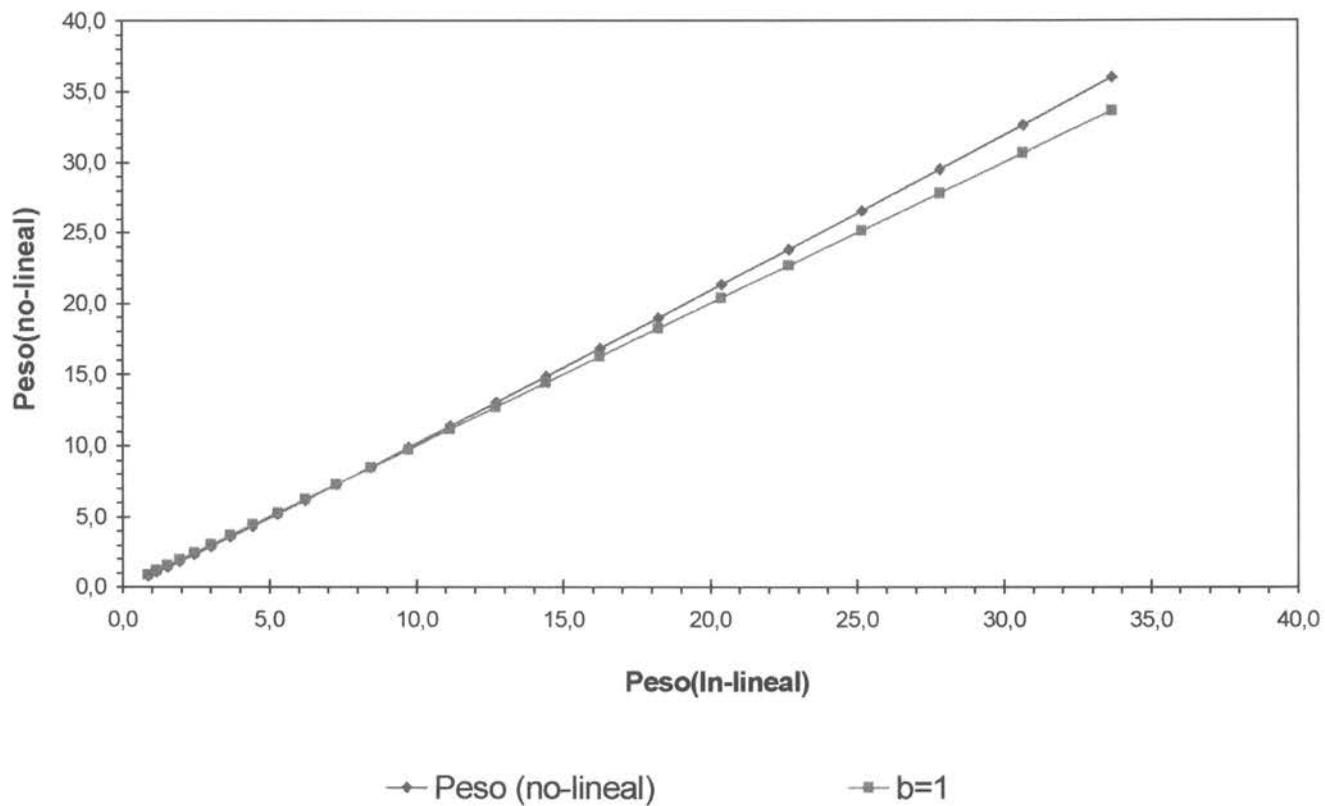


Figura 68. Comparación de pesos de anchoveta estimados a través del modelo In-lineal y modelo no-lineal.

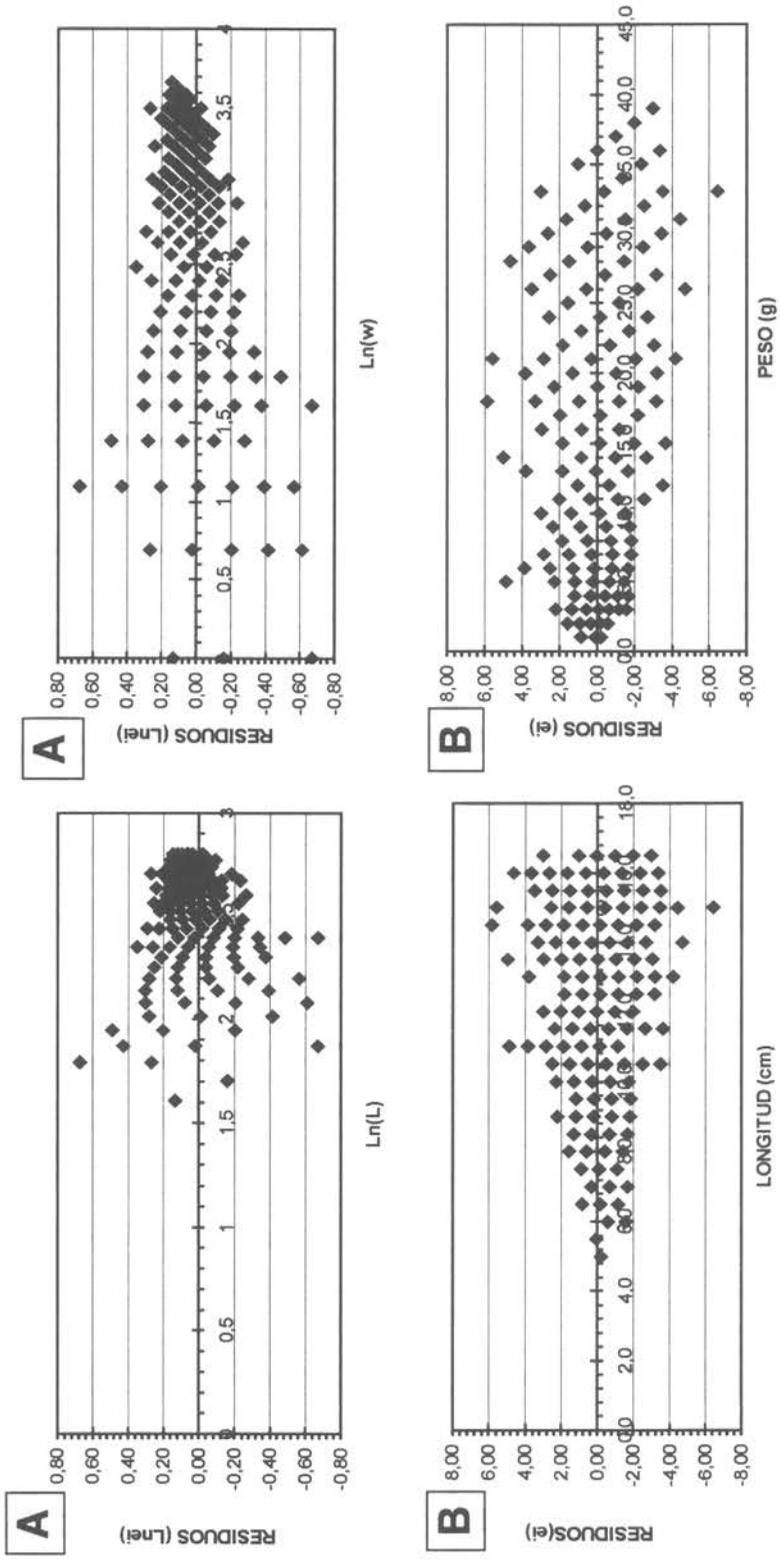


Figura 69. Gráfico de residual con respecto a las variables longitud y peso obtenidos en el Crucero RECLAN9811

A) Modelo In-lineal (residuos en escala logaritmo neperiana).

B) Modelo no lineal (residuos en escala aritmética).

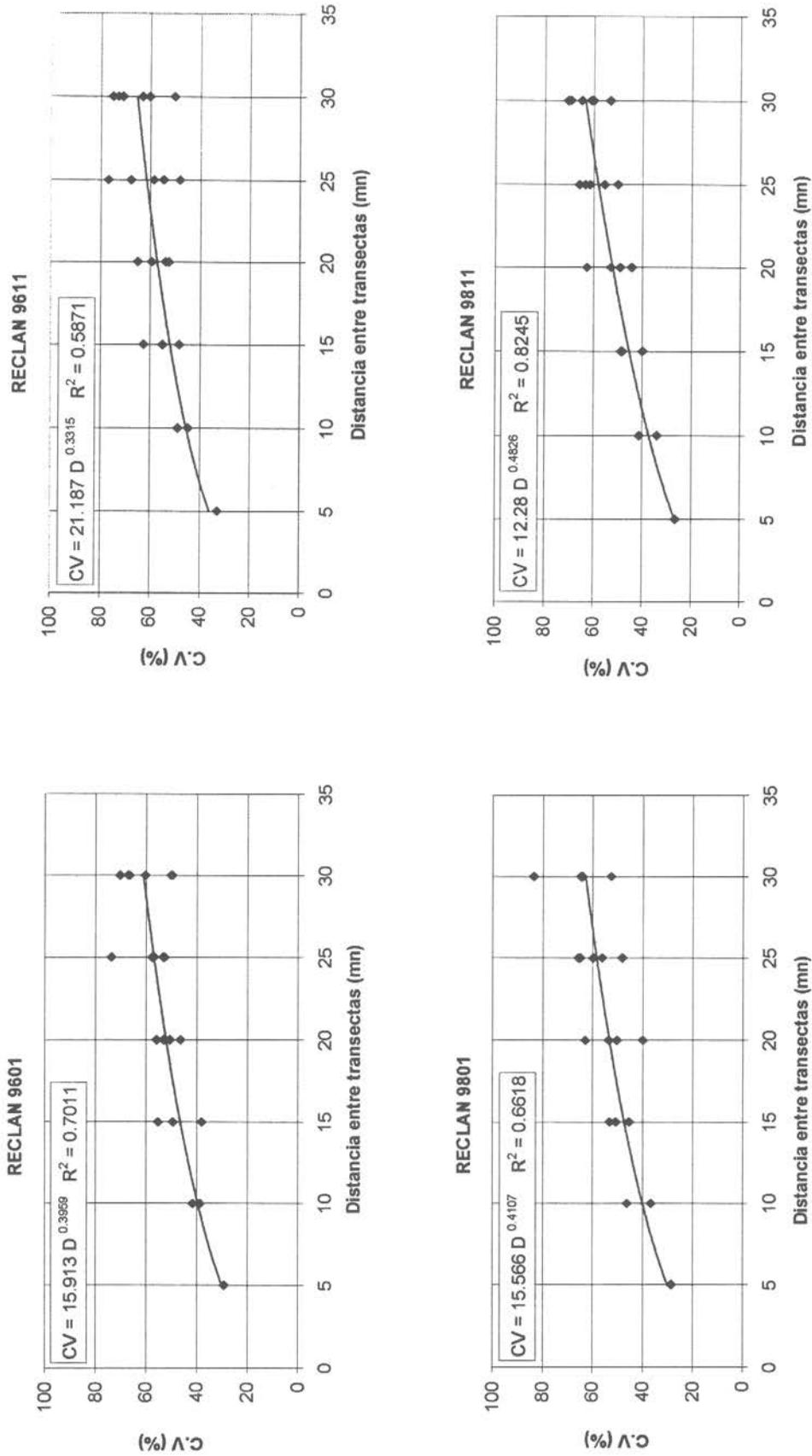


Figura 70 . Relación entre los coeficientes de variación (CV) de las estimaciones acústicas de la biomasa de anchoveta a distintas distancias entre transectas. Cruceros RECLAN 9601, 9611, 9801 Y 9811.

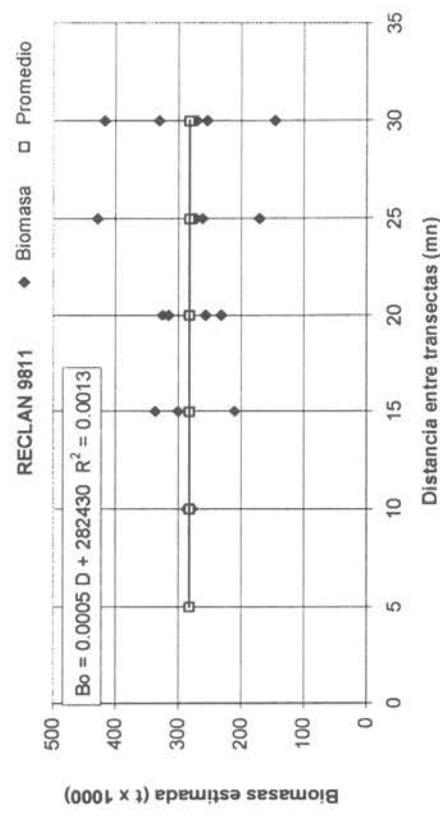
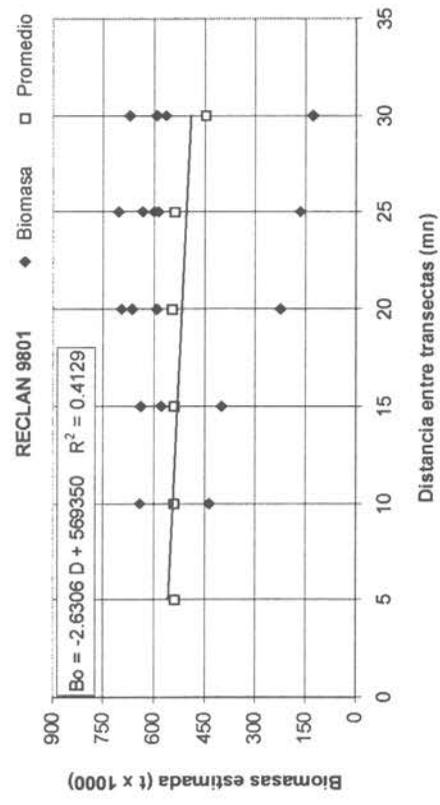
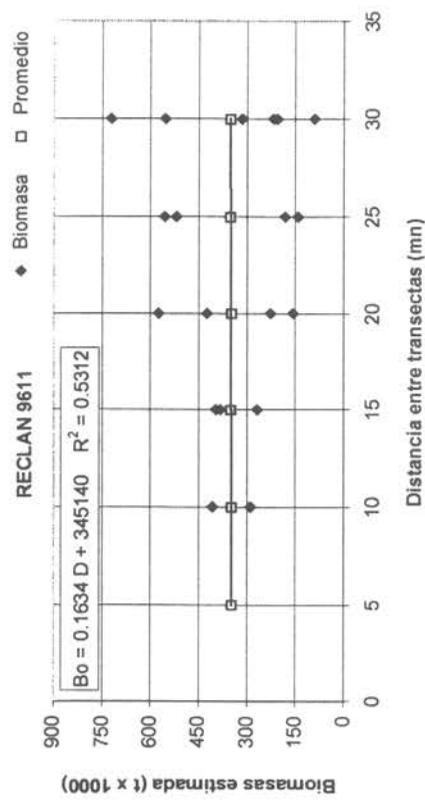
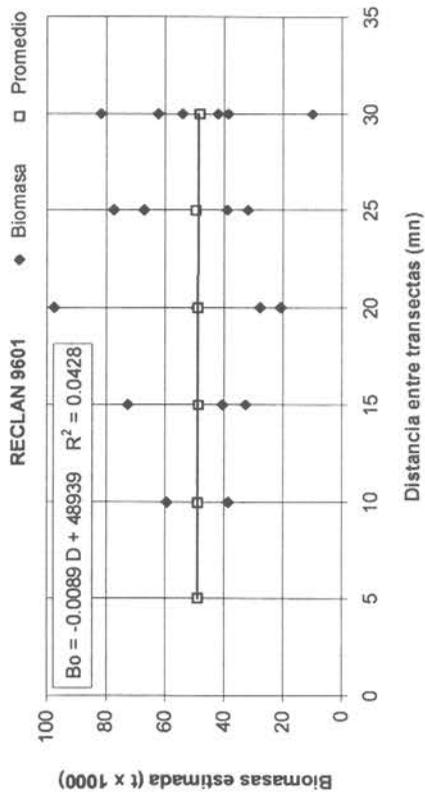


Figura 71. Relación entre los estimadores de biomasa de anchoveta a distintas distancias entre transectas. Cruceros RECLAN 9601, 9611, 9801 y 9811.

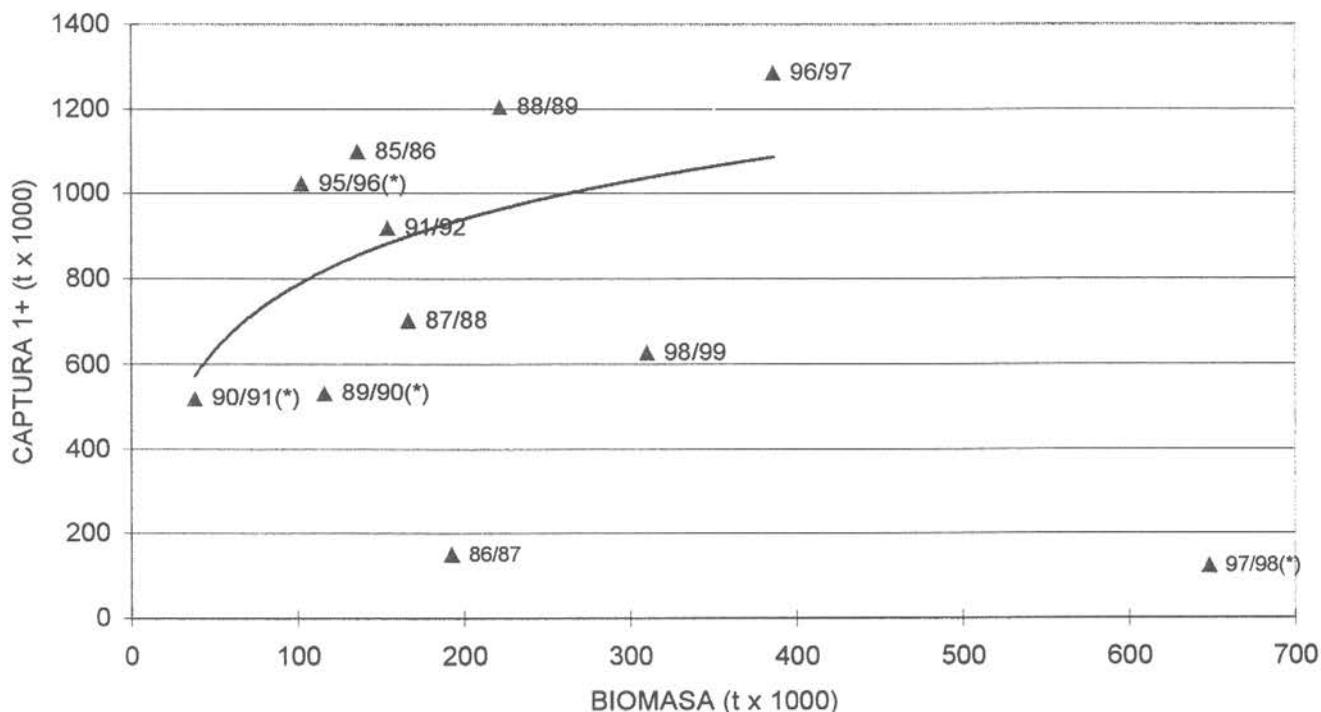


Figura 72. Relación funcional entre la biomasa de anchoveta de primavera-verano y la captura del año siguiente. Los datos (*) corresponden a cruceros de verano realizados a principios del año en que se consideró la captura, se tratan como realizados en la primavera del año anterior. Se descartaron de la relación funcional ajustada los datos 86/87, 97/98 por y 98/99.

La ecuación ajustada fue:

$C = -708,1793 + 755,7115 \text{ Log (BIO)}$; $r^2 = 0,74$; $n = 8$. Siendo C la captura y BIO la biomasa.

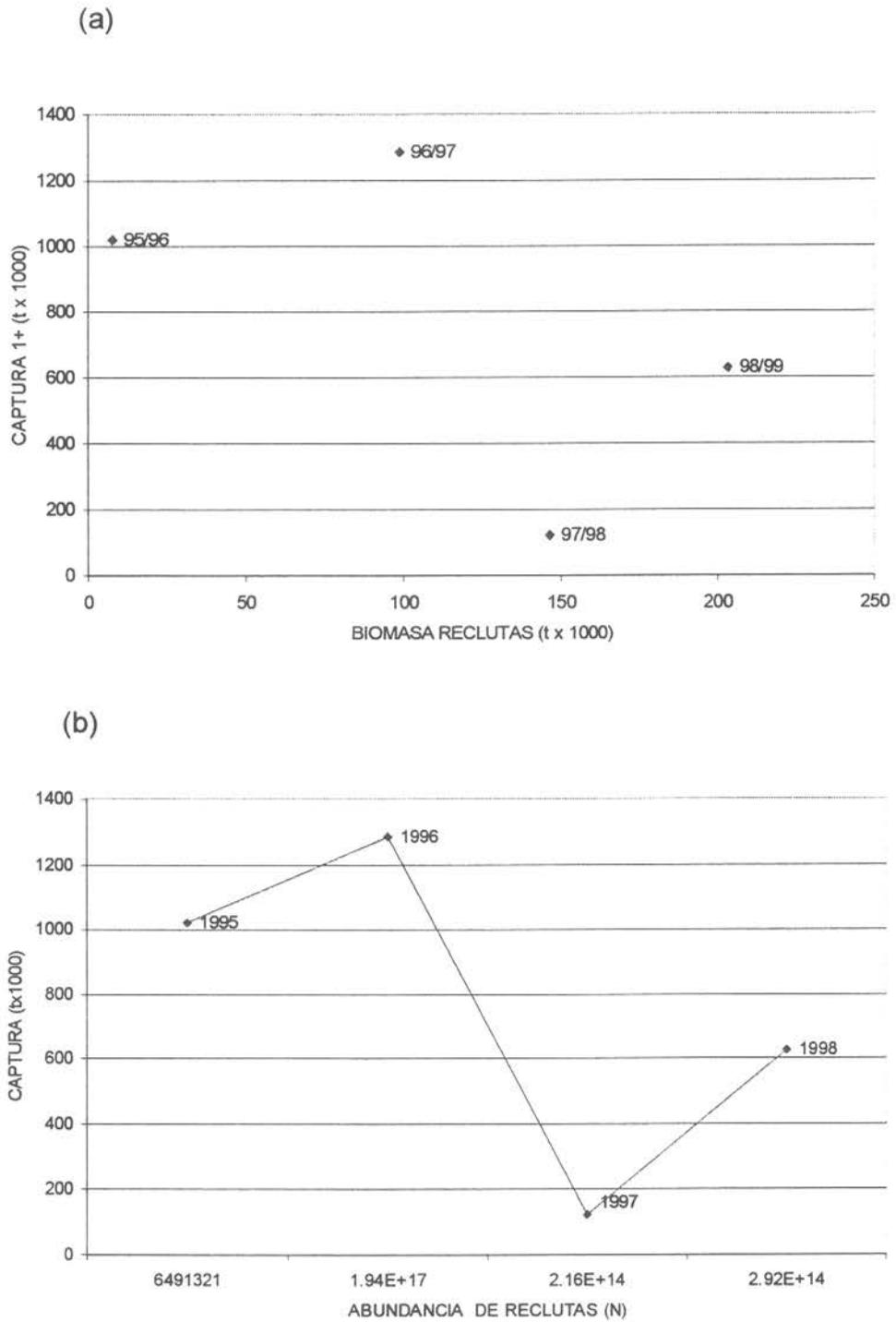


Figura 73. Biomasa (t) (a) y Abundancia (Número) (b) de reclutas de anchoveta de primavera-verano respecto a la captura del año siguiente



T A B L A S

Tabla 1. Categorías por densidad

Categoría	Intervalo (t/mn²)	Calificación de densidad
I	1 - 75	Muy baja
II	76 - 150	Baja
III	151 - 300	Densa
IV	301 - >	Muy densa

Tabla 2. Resumen de operación por lance de pesca en el crucero RECLAN9811.

LANCE	FECHA	HORA		POSICION				PROFUNDIDAD DE ARRASTRE	TSM (°C)	CAPTURA (Kg.)	
		CALADO	VIRADO	CALADO		VIRADO				ANCHOVETA	TOTAL
				Latitud	Longitud	Latitud	Longitud				
1	25.10.98	19:20	21:00	23°4720	70°3120	23°4380	70°2907	6		340,9	900,0
2	26.11.98	09:48	10:15	23°3050	70°2790	23°3050	70°2950	10			
3	26.11.98	17:44	18:20	23°2510	70°3780	23°2310	70°3480	15			
4	26.11.98	18:44	19:33	23°2207	70°3860	23°2030	70°3860	23			
5	27.11.98	09:12	09:43	23°1809	70°4180	23°1690	70°4180	8	16,8		
6	27.11.98	11:22	11:39	23°1170	70°3500	23°1070	70°3500	5	15,9		
7	27.11.98	18:54	19:37	22°5570	70°2270	22°5360	70°2140	3	17,8		
8	27.11.98	21:15	21:38	23°0060	70°2240	22°5950	70°2220	35	17,7		510,0
9	27.11.98	22:12	22:15	22°5990		22°5780	70°2190	3	18,1	160,0	160,0
10	28.11.98	07:50	08:25	22°4670	70°3080	22°4430	70°3090	3		108,0	108,0
11	28.11.98	11:43	12:00	22°4690	70°1980	22°4590	70°1950	30	17,5		
12	28.11.98	13:34	13:52	22°5480	70°1930	22°5360	70°1900	5			
13	28.11.98	18:57	19:34	22°4280	70°1870	22°3270	70°1802	5	17,99	8030,1	10000,0
14	28.11.98	10:04	10:39	20°3250	70°1840	22°2860	70°1780	20	17,1		8300,0
15	29.11.98	21:55	22:15	22°0400	70°1420	22°0240	70°1350	5	14,9	89,9	800,0
16	30.11.98	10:02	10:22	22°5880	70°1240	21°5660	70°1220	5	14,5		
17	30.11.98	21:43	22:17	21°5890	70°1250	21°5690	70°1200	7	14,6	1000,7	1120,0
18	30.11.98	23:57	00:20	21°4840	70°1010	21°4680	70°1090	4	15,4		435,0
19	01.12.98	08:43	09:29	21°3160	70°0710	21°2900	70°0760		16	29,9	195,0
20	01.12.98	10:39	11:11	21°2930	70°0960	21°2820	70°1130	3	16,8	953,3	1715,0
21	01.12.98	14:55	15:23	21°3290	70°0680	21°3140	70°0610	5			
22	01.12.98	17:35	18:00	21°4320	70°1040	21°4160	70°1040	13		18,0	215,0
23	01.12.98	18:33	18:54	21°4190	70°1060	21°4320	70°1007	10	16,1		480,0
24	01.12.98	20:03	20:50	21°4980	70°1040	21°4750	70°1040	0	15,8	797,4	1000,0
25	01.12.98	23:00	23:37	21°4010	70°1250	21°3810	70°1230	0	16	22,5	70,0
26	02.12.98	08:20	09:00	21°1690	70°1470	21°1460	70°1500	5	16,9		
27	02.11.98	10:54	11:58	21°1900	70°1240	21°2050	70°1270	0	19,5		
28	02.11.98	13:40	14:14	21°2600	70°0600	21°2390	70°0590	0	16,6		
29	02.12.98	21:20	21:50	21°2270	70°1220	21°2100	70°1190		19,6		
30	03.12.98	07:08	07:40	20°5960	70°1180	20°5730	70°1140		17,4	1960,0	1960,0
31	03.12.98	08:43	09:14	21°0070	701200	205880	701150		16,5		6920,0
32	03.11.98	10:15	10:49	21°0000	701330	205790	701300	5	17,9	360,0	360,0
33	03.11.98	12:29	13:07	21°0170	701460	205930	701420	5	19		
34	03.11.98	20:47	21:30	20°5020	701520	204780	701520	0	17	127,1	1200,0
35	04.11.98	07:33	08:10	20°4650	701460	204460	701440	5	16,8		1925,0
36	04.12.98	09:17	09:47	20°4640	701340	204480	701340	5	16,5	1395,4	5580,0
37	04.12.98	11:48	12:20	20°5120	701260	204960	701330	4	17,6	271,0	320,0

Cont.'

Continuación Tabla 2

LANCE	FECHA	HORA		POSICION				PROFUNDIDAD DE ARRASTRE	TSM (°C)	CAPTURA (Kg.)	
		CALADO	VIRADO	CALADO		VIRADO				ANCHOVETA	TOTAL
				Latitud	Longitud	Latitud	Longitud				
38	04.12.98	12:55	13:30	20°4950	701410	204790	701360				
39	05.12.98	20:25	21:14	20°1630	701450	201670	701170	10	16,7	622,4	1785,0
40	05.12.98	22:15	22:59	20°1440	701590	201470	701380	10	15	104,5	175,0
41	06.12.98	07:40	08:00	20°0230	701070	200130	701060	5	19,4	167,3	325,0
42	06.12.98	09:28	09:47	20°0740	700912	200640	700916	5	19	600,2	672,0
43	06.12.98	18:00	18:30	20°0009	701240	199850	701137	10	21,3	558,1	833,0
44	06.12.98	22:12	22:36	19°4960	701156	199080	701106	20	21		200,0
45	07.12.98	07:37	07:56	19°3300	701747	193207	701740	10	19,7	18,2	250,0
46	07.12.98	08:55	09:05	19°3450	701623	193434	701639	10	18,6		
47	07.12.98	09:43	10:12	19°3450	701566	193438	701747	10	17,1	1167,9	1225,0
48	07.12.98	11:24	11:56	19°3857	701446	193678	701552	15			
49	07.12.98	13:33	13:52	19°4002	701140	193960	701260	15	19,8		315,0
50	07.12.98	21:00	21:27	19°3490	701375	193490	701540	15	16,6	39,3	103,0
51	07.12.98	22:29	22:51	19°3760	701580	193620	701640	10	20,2		525,0
52	08.12.98	09:35	10:20	19°2460	702315	192300	702299	165	20,5		45,0
53	08.12.98	11:17	11:45	19°2427	702298	192270	702350	15	20,9		35,0
54	08.12.98	13:05	13:49	19°1512	702615	191700	702540	25	21,4		245,0
55	09.12.98	10:17	11:00	19°1060	702570	190825	702586	40	19,9		175,0
56	09.12.98	11:40	13:00	19°0630	702590	190940	702445	50	20		70,0
57	09.12.98	20:48	21:20	18°4076	700901	183864	702927	5	18,3	329,9	355,0
58	09.12.98	22:42	23:12	18°4157	702400	183985	702431	5	16,3	102,6	654,0
59	10.12.98	06:30	07:02	18°4502	702318	184332	702301	5	16,3	979,9	1160,0
60	10.12.98	08:20	08:50	18°4173	702612	184342	702624	6	16,7	3302,6	3715,0
61	10.12.98	11:00	11:20	18°3966	702243	184065	702168	5	16,8		8845,0
62	10.12.98	18:49	19:29	18°3653	702733	183456	702714	5	20,3	1275,8	2828,0
63	10.12.98	21:12	21:33	18°3171	702182	183066	702186	6	19,4	4,3	30,0
64	10.12.98	22:59	23:30	18°3329	702676	183166	702736	8	20,1	227,1	820,0
65	11.12.98	11:21	12:05	18°3929	702676	183760	701016	280	22,1		40,0
66	11.12.98	17:45	21:14	18°4020	703116	183790	703041	6	20,5		458,0
67	11.12.98	20:34	21:14	18°3506	702179	183317	702159	5	20,2	358,0	358,0
Total								0-280	14,5-22,1	25522,2	70514,0

Tabla 4. Estimación de parámetros de la relación longitud - peso por zona de pesca y total de la zona de estudio. Crucero RECLAN 9811

Parámetros	Arica	Iquique	Antofagasta	Total	Total
Modelo In-lineal					Modelo no-lineal
a	0,006248	0,003861	0,013834	0,006388	0,006323
b	3,085821	3,268084	2,697262	3,057338	3,062529
R ²	0,974808	0,930444	0,943949	0,959652	0,9432
N	801	1.845	1.169	3.815	3.815
g.l.	800	1.844	1.168	3.814	3.814
RSS	6,0	34,7	23,6	75,7	
RDF	800	1.844	1.168	3.814	
Sum X ²	5.155	9.676	5.442	20.273	

Comparación de b	g.l	tc	t(g.l.;0,975)	Diferencia
Arica -Iquique	2.644	-85,2	1,96	D.S.
Iquique-Antofagasta	3.012	242,1	1,96	D.S.
Arica-Antofagasta	1.968	163,0	1,96	D.S.

N.S = no significativa

D.S. = diferencia significativa

Tabla 5. Resultados de las calibraciones hidroacústicas del sistema Simrad EK-500 del B/I Abate Molina, para la frecuencia de 38 Khz, por longitudes de pulso.

Pulso →	Corto	Medio	Largo
TS- transducer gain	26.9	27.4	27.2
Sv - transducer gain	27.1	27.2	27.3

Tabla 6. Resultados de las calibraciones hidroacústicas históricas del sistema Simrad EK-500 del B/I Abate Molina, para la frecuencia de 38 Khz, por longitudes de pulso.

Fecha	Lugar	TS-transducer gain			Sv-transducer gain	
		Corto	Medio	Largo	Medio	Largo
01.10.92	Quintero	26.9	27.9	28.1	27.5	27.9
20.06.93	Valparaíso	26.8	27.9	27.9	27.5	27.6
09.11.93	Valparaíso	26.5	27.2	27.4	27.2	27.6
27.02.94	Mejillones	26.0	27.0	27.0	26.7	27.0
15.05.94	Mejillones	26.1	27.1	27.1	27.0	27.2
06.01.95	Mejillones	27.0	27.6	27.8	27.7	28.1
12.07.95	Valparaíso	27.1	28.1	28.0	28.0	28.1
04.09.96	Pto. Yates	26.8	27.9	27.9	27.6	28.1
19.11.96	Mejillones	26.7	27.9	27.9	27.7	28.0
18.04.97	Valparaíso	26.8	27.5	27.6	27.7	27.8
29.12.97	Valparaíso	26.8	27.7	27.7	27.5	27.9
21.11.98	Valparaíso	26.9	27.4	27.2	27.2	27.3

Tabla 7. Biomasa, Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$ coeficientes de variación (CV) y error (%) de anchoveta y fracción reclutas (en peso). Crucero RECLAN 9811.

ESPECIE	METODO		CONGLOMERADOS			ESTRATOSAGRUPADOS			BOOTSTRAP		
	Area (mn ²)	Biomasa (t)	V(B _o) (x 10 ⁰⁸)	E (%)	CV	V(B _o) (x 10 ⁰⁸)	E (%)	CV	V(B _o) (x 10 ⁰⁸)	E (%)	CV
A n choveta	3.110	310.108	49,3462	37,3	0,22	11,10039	17,7	0,11	28,31418	28,0	0,17
Reclutas	3.110	203.120	21,22642	36,2	0,22	4,82033	17,8	0,11	12,204426	27,9	0,17

Tabla 8. Biomasa de la anchoveta y de la fracción recluta en peso y número y Varianza $V(\hat{B}_o)$, coeficientes de variación (CV) y error (%) por el método geoestadístico y de las tallas (acústico).

METODOS	Especie	PESO					NUMERO		
		Area (mn ²)	Biomasa (t)	V(B _o) (x 10 ⁸)	CV	E(%)	Abundancia (x 10 ⁶)	V(B _o) (x 10 ²⁰)	CV
Geoestadístico	Anchoveta	3.100	315.521	17,98913	0,11	18,1	34.295,7608	7,52487	0,79
Geoestadístico	Reclutas	3.100	206.666	7,77741	0,13	21,4	29.700,1289	2,38750	0,45
Tallas	Anchoveta	3.110	310.043				51.026,8400		
Tallas	Reclutas	3.110	226.758				47.311,9900		

Tabla 9. Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$, coeficiente de variación (CV) y biomasa de la fracción reclutas de anchoveta. Crucero RECLAN 9811.

ESPECIE	METODO		CONGLOMERADOS		ESTRATOSAGRUPADOS		BOOTSTRAP	
	Area (mn ²)	Abundancia (Nx10 ⁶)	V(B _o) (x 10 ²⁰)	CV	V(B _o) (x 10 ²⁰)	CV	V(B _o) (x 10 ²⁰)	CV
Anchoveta	3.110	33.707,3913	7,6466	0,82	7,19474	0,79	7,39811	0,79
Reclutas	3.110	29.190,6008	2,6421	0,48	2,24035	0,44	2,42119	0,46

Tabla 10. Indices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (ID) (t/mn²) de anchoveta en toda la zona de estudio y de la fracción recluta.

	ID (t/mn ²)	IC (%)
Anchoveta	395,3	25,2
Fracción recluta	72,2	3,5

Tabla 11. Índices de ocupación (en %), por áreas de: a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL). Periodos de invierno.

a) Biomasa promedio de anchoveta (IDA)						
	Area norte costera	Area sur costera	Area norte oceánica	Area sur oceánica	Area total	
1985	16.80	8.43	7.30	5.27	37.80	
1986	15.07	17.78	12.42	5.37	50.63	
1987	6.23	6.56	1.14	0.00	13.93	
1988	4.44	7.18	2.63	0.36	14.60	
1989	7.30	1.41	0.00	0.00	8.72	
1990	5.57	3.62	6.15	0.40	15.73	
1991	3.94	2.44	2.72	0.00	9.10	
1992	7.53	3.57	1.37	0.00	12.46	
1993	6.28	4.36	1.78	0.00	12.42	
1994	12.82	13.83	14.15	7.24	48.05	
1995	5.70	14.08	3.93	6.04	29.76	
b) Índice densidad de huevos (IDH)						
	Area norte costera	Area sur costera	Area norte oceánica	Area sur oceánica	Area total	
1985	19.83	19.46	17.27	16.32	72.88	
1986	17.24	19.81	20.65	16.92	74.61	
1987	5.38	13.56	0.00	11.02	29.96	
1988	19.17	20.62	16.49	1.15	57.44	
1989	20.91	18.77	11.66	10.01	61.34	
1990	16.65	14.13	15.01	11.13	56.91	
1991	16.80	6.12	20.24	0.00	43.16	
1992	14.33	17.43	15.18	11.56	58.49	
1993	21.38	20.14	26.28	23.54	91.34	
1994	21.61	21.08	21.28	15.04	79.00	
1995	12.27	20.28	24.47	21.18	78.20	
c) Índice densidad de larvas (IDL)						
	Area norte costera	Area sur costera	Area norte oceánica	Area sur oceánica	Area total	
1985	23.76	18.39	17.05	19.81	79.00	
1986	22.69	22.13	27.15	26.71	98.69	
1987	18.34	20.06	19.91	22.31	80.61	
1988	23.21	22.55	25.76	22.18	93.71	
1989	19.73	20.52	21.45	21.65	83.35	
1990	22.97	19.08	23.44	25.43	90.92	
1991	21.22	17.76	23.89	24.83	87.71	
1992	21.49	20.38	23.10	23.18	88.16	
1993	22.80	21.95	26.83	25.43	97.00	
1994	22.98	20.75	21.84	19.82	85.39	
1995	21.15	20.65	26.17	25.18	93.15	

Tabla 12. Índices de densidad, por áreas de: a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL). Periodos de invierno.

a) Biomasa promedio de anchoveta (IDA)				
	Area norte costera	Area sur costera	Area norte oceánica	Area sur oceánica
1985	18.23	7.62	4.60	1.13
1986	117.66	99.96	32.29	8.68
1987	47.50	22.09	0.39	0.02
1988	24.14	26.67	22.73	0.27
1989	4.63	0.63	0.00	0.00
1990	3.50	0.69	1.73	0.02
1991	3.38	0.46	1.46	0.00
1992	7.28	2.41	0.58	0.00
1993	9.58	5.33	1.43	0.00
1994	40.09	45.48	25.80	26.31
1995	8.00	18.57	1.47	16.26
b) Índice densidad de huevos (IDH)				
	Area norte costera	Area sur costera	Area norte oceánica	Area sur oceánica
1985	1213.59	1201.23	121.00	59.52
1986	29552.28	13327.10	1141.08	588.92
1987	6675.47	7003.48	729.95	4029.26
1988	101.93	1342.80	0.00	3.17
1989	3974.37	1109.89	1740.85	1.41
1990	3845.92	3101.85	364.80	1104.98
1991	3836.73	940.02	1693.48	375.09
1992	2146.73	108.82	206.65	0.00
1993	1241.11	7048.36	738.48	80.90
1994	1430.63	4900.71	2717.00	697.50
1995	4743.07	10567.83	2965.94	1957.51
c) Índice densidad de larvas (IDL)				
	Area norte costera	Area sur costera	Area norte oceánica	Area sur oceánica
1985	13941.31	3197.60	893.74	1343.92
1986	14093.75	2924.14	893.74	1138.81
1987	443.42	3067.89	1200.45	1583.11
1988	418.88	309.96	30.19	119.19
1989	2037.38	1217.03	903.97	358.94
1990	4479.77	1546.38	1534.63	188.53
1991	883.08	439.02	1336.46	129.04
1992	266.33	34.34	245.08	206.86
1993	874.94	839.91	712.33	153.67
1994	1750.32	2590.84	2144.87	2027.34
1995	5862.13	5998.46	1652.65	1466.82

Tabla 13. Número de celdas con presencia de: a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL), respecto a la temperatura. Periodos de invierno.

a) Biomasa promedio de anchoveta (IDA)							
	13	14	15	16	17	18	19
1985	0	201	1089	1583	401	0	0
1986	0	397	517	1784	1298	0	0
1987	0	140	136	202	345	266	0
1988	0	43	216	861	0	0	0
1989	0	0	36	285	502	0	0
1990	0	0	115	579	586	0	0
1991	0	0	106	219	490	0	0
1992	0	0	72	134	405	510	0
1993	25	37	219	63	358	431	10
1994	0	0	53	1864	2314	47	0
1995	9	147	986	1186	315	0	0
total	3	88	322	796	638	114	1
b) Índice densidad de huevos (IDH)							
	13	14	15	16	17	18	19
1985	15	459	2088	2325	1234	46	0
1986	31	107	2431	1942	2186	968	0
1987	0	192	177	616	1416	139	0
1988	523	0	69	896	3324	388	0
1989	615	0	150	546	1698	2830	2
1990	436	0	0	363	2805	1424	0
1991	0	0	0	358	1550	1909	0
1992	0	23	159	482	1054	1546	1904
1993	0	0	0	1051	2040	2844	2107
1994	0	0	20	221	2844	3820	75
1995	0	11	333	2363	3289	1013	0
total	8	201	1342	3249	2775	836	3
c) Índice densidad de larvas (IDL)							
	13	14	15	16	17	18	19
1985	22	616	2045	2464	1365	54	0
1986	0	440	877	4161	2642	0	0
1987	0	193	293	1047	3230	2206	0
1988	0	69	1513	5131	1085	0	0
1989	0	143	656	2944	3358	12	0
1990	0	0	466	4833	2172	0	0
1991	3	388	2125	2635	2598	0	0
1992	23	170	487	1955	2810	2344	0
1993	45	73	931	2334	2961	2198	28
1994	0	20	221	3093	4120	7	0
1995	11	389	2811	3659	1360	0	0
Total	9	227	1130	3114	2518	620	3

Tabla 14. Índice de Cramer entre densidad de anchoveta, densidad de huevos de anchoveta, densidad de larvas de anchoveta, clorofila a superficial (cloa-a), temperatura superficial del mar (TSM) y salinidad promedio (desde la superficie hasta los 50 m).

Año	Densidad anchoveta					Temperatura		Salinidad		cloa-a	
	huevos	larvas	TSM	Salin.	cloa-a	huevos	larvas	Huevos	larvas	huevos	larvas
1985	0,225	0,211	0,183	0,170		0,34	0,30	0,311	0,250		
1986	0,158	0,136	0,167	0,160		0,36	0,43	0,252	0,356		
1987	0,176	0,157	0,226	0,140		0,34	0,36	0,271	0,330		
1988	0,195	0,115	0,122	0,196		0,2	0,34	0,223	0,200		
1989	0,260	0,280	0,152	0,232	0,393	0,22	0,23	0,240	0,220	0,342	0,257
1990	0,258	0,248	0,127	0,162	0,117	0,22	0,36	0,212	0,280	0,173	0,372
1991	0,171	0,142	0,131	0,092		0,28	0,39	0,287	0,344		
1992	0,139	0,137	0,107	0,085		0,29	0,38	0,219	0,310		
1993	0,133	0,133	0,192	0,104		0,45	0,46	0,350	0,416		
1994	0,217	0,210	0,207	0,209	0,280	0,28	0,33	0,360	0,450	0,3633	0,4631
1995	0,150	0,134	0,142	0,226	0,182	0,33	0,39	0,326	0,314	0,3458	0,4699

asociación moderada

Tabla 15. Número de celdas con presencia de: a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL), respecto a la salinidad. Periodos de invierno.

a) Biomasa promedio de anchoveta (IDA)											
	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2	35.3
1985	0	14	20	83	1022	1476	478	40	0	0	0
1986	0	30	87	780	1088	1189	586	0	0	0	0
1987	0	92	5	172	741	83	0	0	0	0	0
1988	0	0	80	228	508	296	0	0	0	0	0
1989	0	0	46	2	168	547	59	1	0	0	0
1990	0	35	12	345	537	283	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	46	386	209	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	54	423	274	102	16	0	0
1993	0	0	0	0	0	170	315	348	138	0	0
1994	0	0	0	179	1595	1046	962	249	0	0	0
1995	0	0	8	526	1161	773	56	0	0	0	0
b) Índice densidad de huevos (IDH)											
	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2	35.3
1985	0	37	73	493	1847	2275	736	200	30	0	0
1986	0	31	96	2162	1690	1694	522	0	0	0	0
1987	0	107	22	1272	1234	12	0	0	0	0	0
1988	0	1	184	657	1481	1979	0	0	0	0	0
1989	0	0	127	301	1448	2753	323	18	5	0	0
1990	0	81	251	1339	1493	905	247	0	0	0	0
1991	38	102	112	252	1662	1032	213	0	0	0	0
1992	0	0	0	37	702	2217	712	537	413	38	0
1993	0	0	0	0	308	790	1974	2315	1715	394	5
1994	0	0	0	341	3175	1415	1232	217	0	0	0
1995	0	2	390	1092	1924	2496	783	0	0	0	0
c) Índice densidad de larvas (IDL)											
	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2	35.3
1985	0	37	101	411	1752	2674	828	238	30	0	0
1986	0	31	107	2431	1942	2186	968	0	0	0	0
1987	0	143	209	2108	3520	583	0	0	0	0	0
1988	0	1	406	1286	2107	3550	30	0	0	0	0
1989	0	0	132	294	2338	3388	414	34	5	0	0
1990	0	97	243	1936	2091	1822	805	1	0	0	0
1991	39	103	266	1875	3187	1483	309	0	0	0	0
1992	0	0	0	37	767	3845	1528	525	384	34	0
1993	0	0	0	0	306	790	2197	2479	1806	396	5
1994	0	0	0	0	337	3353	1837	1625	283	0	0
1995	0	2	486	1228	2090	2994	816	0	0	0	0

Tabla 16. Número de celdas con presencia de: a) biomasa promedio de anchoveta (IDA), b) huevos de anchoveta (IDH) y c) larvas de anchoveta (IDL), respecto a la cloaca. Periodos de invierno.

a) Biomasa promedio de anchoveta (IDA)			
	baja	Media	alta
1989	0	22	711
1990	651	251	375
1994	1833	2157	242
1995	342	1742	490
b) Índice densidad de huevos (IDH)			
	baja	media	alta
1989	49	2792	2159
1990	2652	805	1072
1994	2950	2605	1265
1995	677	5346	856
c) Índice densidad de larvas (IDL)			
	baja	media	alta
1989	224	4399	2263
1990	4617	1421	1375
1994	3338	2844	1137
1995	888	6282	906

Tabla 17. Superficie (en mn²) ocupada por la anchoveta por cruceros y sub-zona. Primavera-verano.

	SUPERFICIE	CRUCEROS				
		superficie ocupada (en mn ²)				
		96.01	96.11	98.01	98.11	MEDIA
Sub-zona 1 (Arica)	381	263	341	279	237	280
Sub-zona 2 (Pisagua)	489	361	347	278	199	296
Sub-zona 3 (Iquique)	510	451	314	356	312	358
Sub-zona 4 (Tocopilla)	781	538	479	487	585	522
Sub-zona 5 (Mejillones)	899	633	209	696	339	496
Superficie Ocupada	3060	2246	1690	2096	1672	

Tabla 18. Temperatura, salinidad y oxígeno superficial promedio por subzona y total. Primavera-verano.

CRUCEROS	Sub-zona	9601	9611	9801	9811
TSM Promedio (°C)	1 (Arica)	17,66	17,12	23,95	18,38
	2 (Pisagua)	18,32	17,22	23,20	19,34
	3 (Iquique)	16,82	17,99	23,25	17,89
	4 (Tocopilla)	17,62	18,08	23,11	16,09
	5 (Mejillones)	15,56	17,56	23,84	17,34
		17,19	17,69	23,47	17,81
Salinidad Promedio (psu)	1 (Arica)	34.82	34.81	35.40	34.74
	2 (Pisagua)	34.78	34.80	35.27	34.75
	3 (Iquique)	34.79	34.77	35.28	34.67
	4 (Tocopilla)	34.36	34.37	35.06	34.25
	5 (Mejillones)	34.56	34.52	35.44	34.80
		34,66	34,65	35,29	34,64
Oxígeno Disuelto (ml/l)	1 (Arica)	3,43	3,84	5,42	5,55
	2 (Pisagua)	3,52	4,66	5,42	5,35
	3 (Iquique)	2,88	4,51	5,73	5,57
	4 (Tocopilla)	4,15	4,27	5,74	5,68
	5 (Mejillones)	3,67	4,87	5,45	5,35
		3,63	4,43	5,55	5,55

Tabla 19. Índice de Cramer de distribución de reclutas de anchoveta con variables ambientes. Primavera –verano.

	TEMPERATURA	SALINIDAD	OXÍGENO DISUELTO
9601	0,36	0,30	0,32
9611	0,29	0,29	0,28
9801	0,30	0,27	0,22
9811	0,31	0,28	0,25

Tabla 20. Matriz de correlación entre las variables: Tem (temperatura del mar), Sal (sainidad), Oxi (oxígeno), Den (densidad de reclutas anchoveta); en 0prom (superficie) y 50prom (promedio entre los 0 y 50 m de profundidad) y grd (gradiente).

	Den	Tem 0prom	Tem 0grd	Temp 50prom	Tem 50grd	Sal 0prom	Sal 0grd	Sal 50prom	Sal 50grd	Oxi 0prom	Oxi 0 grd	Oxi 50 prom
Den prom	1											
Tem 0 m	*0.526	1.000										
Tem 0 grd	0.124	-0.107										
Temp 50 prom	*0.651	*0.934	0.012									
Tem 50 grd	*0.449	0.188	*0.514	0.206								
Sal 0 prom	*0.635	*0.916	0.068	*0.956	0.165							
Sal 0 grd	-0.002	0.291	0.130	0.184	0.251	0.233						
Sal 50 prom	*0.597	*0.858	0.091	*0.938	0.122	*0.967	0.131					
Sal 50 grd	*0.313	*0.586	*0.309	*0.637	*0.353	*0.542	0.277	*0.563				
Oxi 0 prom	*0.376	*0.573	-0.189	*0.512	*0.326	*0.343	0.299	0.271	*0.370			
Oxi 0 grd	0.008	*-0.414	*0.474	-0.280	*0.364	-0.199	-0.176	-0.141	-0.190	*-0.510		
Oxi 50 prom	*0.462	*0.586	-0.130	*0.581	0.251	*0.422	*0.354	*0.333	*0.404	*0.895	*-0.544	
Oxi 50 grd	-0.158	-0.289	*0.474	-0.259	*0.521	*-0.309	-0.179	-0.281	-0.095	-0.034	*0.622	-0.179

Tabla 21. Análisis de componentes principales valor propio

COMPONENTES	VALOR PROPIO	% TOTAL DE LA VARIANZA	% VARIANZA ACUMULADA
1	5,1285	51,2847	51,2847
2	1,9184	19,1821	70,4689

Tabla 22. Análisis de varianza y errores típicos de las variables ajustadas en la regresión :

$$R = 2,07 \times 10^{19} SSB e^{(-5,32 \times 10^{-7}(SSB) - 1,1741(S) + 0,1902(T) - 0,00156(IS) + 0,00613(IT))}$$

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F
Regresión	1,9093	5	0,3819	1,041
Residuos	2,9349	8	0,3669	
Total	4,8443	13		

	Coefficiente	Error típico	T
Variable 1	- 5,32E-7	3,8297E-7	-1,391
Variable 2	-1,174	3,096	-0,379
Variable 3	0,1902	0,2062	0,9226
Variable 4	-0,00156	0,00408	-0,3846
Variable 5	0,00613	0,01142	0,536

Tabla 23. Análisis de varianza y errores típicos de las variables ajustadas en la regresión :

$$R = 3,65 \times 10^{14} PAHe^{(-3,76 \times 10^{-11}(PAH) - 1,142(S) + 0,2110(T) + 0,00054(IS) + 0,00282(IT))}$$

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F
Regresión	2,5380	5	0,5076	1,952
Residuos	2,0799	8	0,2599	
Total	4,6179	13		

	Coficiente	Error típico	T
Variable 1	- 3,7599E-11	2,34146E-11	-1,6058
Variable 2	-1,142	2,617	-0,4366
Variable 3	0,2110	0,1743	1,2108
Variable 4	0,00054	0,00339	0,1612
Variable 5	0,00282	0,009134	0,3097

Tabla 24. Análisis estadístico de la regresión $C = -708,1793 + 755,7115 \text{ Log (BIO)}$.

Parámetro	Estimado	SE	t	$t_{(0,95,6)}$
Pendiente	755,7115	281,9101	2,6807	1,943

Tabla 25. Análisis de varianza de la regresión. $C = -708,1793 + 755,7115 \text{ Log(BIO)}$.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F
Modelo	335.024,2	1	335.024,2	7,18
Residual	279.728,5	6	46.621,4	5,99
Total	614.752,7	7	$F_{(0,95;1,6)}$	



INVESTIGACION Y FOMENTO PESQUERO

ANEXO

DESCRIPTOR DE DATOS



DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS

Proyecto: "Estimación Acústica del reclutamiento de anchoveta en las regiones I y II", 1998

RECLAN 9811

ECOINTEGR.DBF

Contiene en un solo archivo los datos de ecointegración obtenidos en el crucero. Las columnas son las siguientes:

Col.	Dato	Descripción
1	Transecta	Número de la transecta o intertransecta 001 a 068 Transectas perpendiculares a la costa 102 a 165 Intertransectas
2	IBM	Número del Intervalo Básico de Muestreo en la transecta
3	Especie	Código de la especie: 1 Sardina 2 Jurel 3 Anchoveta 4 Caballa
4	Agregación	Código de la agregación 1 Cardumen 2 Estrato 3 Disperso 4 Individual
5	Prof. Sup.	Profundidad superior de la agregación
6	Prof. Inf.	Profundidad inferior de la agregación
7	Sa	Valor de ecointegración



POSICION.DBF

Archivo que contiene los datos del total de las IBMs prospectadas.

Col.	Dato	Descripción
1	Transecta	Número de la transecta o intertransecta 001 a 068 Transectas perpendiculares a la costa 102 a 165 Intertransectas
2	IBM	Número del Intervalo Básico de Muestreo en la transecta
3	Hora	Hora en el formato HHMMSS HH Hora MM minutos SS segundos
4	Latitud	Latitud en el formato GGMM.mm GG Grados MM minutos mm décimas de minuto
5	Sur	Hemisferio de latitud Sur
6	Longitud	Longitud en el formato GGMM.mm GG Grados MM minutos mm décimas de minuto
7	Weste	Hemisferio de longitud Oeste (Weste)



ESTACION.DBF

Archivo con los datos de posición de las estaciones oceanográficas

Col.	Dato	Descripción
1	Estación	Número correlativo de la estación oceanográfica
2	Fecha	Fecha de realización de la estación en el formato: AAMMDD
3	Hora	Hora de realización de la estación en el formato: HHMM
4	Distancia	Distancia estimada desde la costa (mn ²)
5	Latitud	Latitud en el formato GGMM.mm GG Grados MM minutos mm décimas de minuto
6	Sus	Hemisferio de latitud Sur
7	Longitud	Longitud en el formato GGMM.mm GG Grados MM minutos mm décimas de minuto
8	Weste	Hemisferio de longitud Oeste (Weste)



OCEANOGR.DBF

Archivo con los datos oceanográficos de todas las estaciones

Col.	Dato	Descripción
1	Estación	Número correlativo de la estación oceanográfica
2	Profundidad	Profundidad de la muestra (m)
3	Temperatura	Temperatura del agua a la profundidad (°C)
4	Salinidad	Salinidad del agua a la profundidad (psu)