



REPUBLICA DE CHILE
Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción
SUBSECRETARIA DE PESCA

FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

INFORMES TECNICOS F I P

FIP - IT / 97 - 51

INFORME : ESTIMACION DEL RECLUTAMIENTO DE
FINAL ANCHOVETA EN LAS REGIONES I Y II

UNIDAD : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO,
EJECUTORA DIRECCION ZONAL I Y II REGIONES

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 P.

AUTORES

EVALUACION ACUSTICA DEL RECLUTAMIENTO DE ANCHOVETA, VERANO 1998

JORGE CASTILLO P.
M. ANGELA BARBIERI B.
MARCOS ESPEJO V.
VICTOR CATASTI B.

CONDICIONES OCEANOGRAFICAS ASOCIADAS AL RECLUTAMIENTO DE ANCHOVETA EN EL VERANO DE 1998

SERGIO ROSALES G.
JORGE OSSES R.

BIOLOGIA PESQUERA DE LOS RECLUTAS DE ANCHOVETA, VERANO DE 1998

PATRICIO BARRIA M.

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y SECUNDARIA DURANTE EL RECLUTAMIENTO DE ANCHOVETA EN EL VERANO DE 1998.

GIOVANNI DANERI H.
HUMBERTO GONZALEZ E.

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
Sergio Rosales
Jorge Osses

BIOLOGÍA PESQUERA

Patricio Barría
Leonardo Caballero
William Miranda

UNIVERSIDAD DEL MAR

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y SECUNDARIA

Giovanni Daneri
Humberto González
Paulina Montero
Bárbara Jacob
Carol Andoni
Juan Torres



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 el verano de 1998.

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. 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 1985-1997.

También se efectúa un análisis de la productividad del sistema, en un sector al norte de Mejillones y que presentó la ocurrencia de reclutas de anchoveta y de frentes oceanográficos.

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 6 y el 25 de enero de 1998, correspondiente a la época del pico principal de reclutamiento de anchoveta en la zona norte. Los trabajos de productividad primaria se realizaron entre el 26 y el 29 de enero de 1998. Los datos



del análisis histórico provienen de cruceros realizados por IFOP en la zona norte en los períodos de invierno entre 1984 y 1995. 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 48 estaciones. Se efectuaron 66 lances de pesca de reconocimiento de ecotrazos y para muestreo biológico utilizando una red de arrastre a media agua con 13 mm de tamaño de malla en el copo.

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

El muestreo de la productividad del sistema se llevó a cabo al norte de la Península de Mejillones (Lat. 22,5 °S) en enero 1998 mientras la zona era afectada por uno de los fenómenos El Niño más intensos del cual se tiene registro. En la zona de estudio se detectó la presencia de una débil discontinuidad térmica en la superficie, registrándose aguas 3°C más frías, al interior del frente (zona costera). En las aguas costeras se encontraron elevados índices de producción primaria (PP) (> 5gC m² d⁻¹) los cuales fueron superiores a los niveles de respiración comunitaria (RC), lo que significó un aumento paulatino de los valores de clorofila **a** integrada en la capa fótica.



En la zona oceánica en cambio, el balance casi perfecto entre las tasas de producción y consumo de la materia orgánica, se tradujo en una mantención de los niveles integrados de clorofila *a* durante el período de muestreo. La concentración de nutrientes en la capa de mezcla fue mayor en la zona costera. La mayor biomasa de zooplancton se registró en el frente mismo (promedio 2,8 g m⁻²). La mayor abundancia de individuos se registró en el estrato de 50 a 150 m, lugar donde es posible ocurra un hundimiento de las aguas costeras más frías, transportando consigo parte del zooplancton.

Los resultados obtenidos durante este crucero reafirman el planteamiento de un nuevo paradigma para la corriente de Humboldt, donde las variaciones espacio-temporales de la productividad biológica del sistema obedecen a un mayor y más complejo número de forzantes.

La hidrografía del sistema norte durante la época de máximo desove de la anchoveta en el período 1984-1996 se caracteriza por:

1. índices de surgencia y turbulencia aumentando desde sus valores mínimos, sin alcanzar los máximos.
2. el número de eventos Laker ha ido disminuyendo desde su valor máximo.
3. temperaturas superficiales del agua de mar han tendido a ser más bajas, entre 14 y 17°C, con anomalías entre -1 y 1°C.
4. salinidades superficiales entre 34,8 y 35,0 psu, con anomalías entre -0,2 y +0,2 psu.



De todos los cruceros que se tiene registro en el invierno de 1997, se presentaron las mayores anomalías en temperatura y salinidad, con +2 a +5°C y +0,1 a +0,5 psu, respectivamente.

Durante el crucero (9801), correspondiente al período del máximo reclutamiento de la anchoveta, la zona de estudio se caracterizó por presentar condiciones anómalas propias de períodos cálidos, con predominio de vientos débiles (≤ 5 m/s) con índices bajos de surgencia y turbulencia. Altos registros de temperatura y salinidad superficial, con 21,67 - 26,09°C y 35,294 - 35,670 psu, respectivamente.

La termoclina, caracterizada por la isoterma de 15°C, se ubicó entre 122 y 184 m, profundidades extraordinariamente altas para la zona y propias de un evento El Niño. En el sector costero y en los primeros 200 m de profundidad, se registraron salinidades mayores o iguales a 35 psu y a las 40 mn estos niveles se presentaron hasta los 110 m.

La zona estuvo dominada por masas de agua AST y AESS y escasa influencia de ASAA.

No obstante la existencia de altas temperaturas en la zona, con anomalías de hasta +4 °C, ésto no inhibió la formación de frentes costeros y que éstos permitieran la acumulación de biomasa fitoplanctónica en la zona. En estas zonas la cloa alcanzó valores superiores a 1 µg/L en la superficie y cercanos a 6 µg/L en la columna. Estas altas temperaturas provocaron que la cloa superficial presentara valores inferiores a 1 µg/L en el 86 % de todos los datos analizados y sólo un 13,8 % sobre 1 µg/L.



La distribución batimétrica de la cloa y los feop indica que la biomasa pigmentaria que se generó en la zona costera, con un núcleo de 6 $\mu\text{g/L}$, provocó la formación de un gradiente que permitió que la isolínea de 1 $\mu\text{g/L}$ se ubicara a una profundidad de 50 m y la isolínea de 0,5 $\mu\text{g/L}$ se distribuyera en forma homogénea. Al mismo tiempo a 5 mn de la zona costera, el núcleo de alta concentración comenzó a hundirse y a aumentar su área de distribución hacia la zona sur. A 10 mn las masas de agua con valores de cloa inferiores a 0,25 $\mu\text{g/L}$, típicas de sistemas oligotróficos, dominan prácticamente toda la zona.

La fluorescencia **in vivo** indica que la biomasa fitoplanctónica estaba en óptimas condiciones fisiológicas, debido a que bajas concentraciones de cloa se asociaron a altos registros fliv. Además se observó que en las zonas en las que se detectó frentes costeros, la funcionalidad entre la fliv y la temperatura superficial era exponencial e inversamente proporcional, ésto implica que en aquellas zonas en las que se midió valores bajos de temperatura se registrarán altos niveles de fliv.

Respecto de la biomasa de anchoveta ésta se presentó en aquellas áreas que presentaban un nivel de cloa cercano a 1 $\mu\text{g/L}$, ésto indica que el recurso se agregó en aquellas zonas en las que la producción biológica del área se mantuvo en niveles relativamente altos. Esta situación fue detectada en aquellas zonas en las que se midió frentes térmicos significativos.

En el área de estudio (zona Arica-Antofagasta) y durante enero de 1998, se realizaron un total de 67 lances de pesca con red de mediana, obteniéndose en 39 de ellos (58%) capturas de anchoveta, fluctuando sus tamaños entre los 5,5-18,5 cm de longitud total. Del total de ejemplares muestreados (6.662), el porcentaje de reclutas (individuos menores o iguales a 12 cm) fue de 49% en número y 23%, en peso. Al



respecto, el peso promedio del total de las anchovetas fue de 14,7 g y el de los reclutas de 6,8 g.

La distribución de frecuencias de tallas se presentó polimodal, con un grupo principal entre los 16,0-16,5 cm (22%) y dos grupos secundarios entre los 12,0-13,0 cm y los 9,5-10,5 cm (18% respectivamente). Sin embargo, al agrupar la información por zonas de pesca, se pudo observar diferencias significativas en las distribuciones de frecuencia.

En la zona de Arica se observó la presencia mayoritaria de reclutas en las capturas (58% en número y 23% en peso) los que también fueron los de menor tamaño del área de estudio. En su distribución polimodal, el peso promedio total de las anchovetas fue de 11,6 g y el de la fracción recluta fue de sólo 4,7 g.

En la zona de Iquique se presentaron dos grupos diferenciables, uno principal entre los 12,5-13,0 cm (18%) y otro secundario entre los 16,0-16,5 cm (17%), aunque también hubo una alta presencia de reclutas entre los 9,0-11,5 cm (33%). El porcentaje de reclutas en número y peso fue de 48 y 24%, respectivamente. El peso promedio del total de ejemplares de anchoveta fue de 14,5 g y el 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 adultos entre los 16,0-16,5 cm (28%), un grupo de reclutas entre los 9,5-10,5 cm (20%) y un grupo intermedio entre los 12,0-12,5 cm (11%). El porcentaje de reclutas fue de 48% en número y de 22% en peso y el peso promedio para el total de ejemplares y para los reclutas fue de 15,6 y 6,8 g, respectivamente, situación similar a lo observado en la zona de Iquique.



En el período de estudio, no se observó una fuerte segregación espacial de la anchoveta por tamaños como en el crucero anterior (RECLAN9611), ya que en las tres zonas hubo presencia de reclutas y adultos en proporciones similares, aunque en la zona de Arica se tuvo la mayor proporción de reclutas del área. En relación a la fortaleza de la clase anual, se aprecia una disminución en el reclutamiento en comparación con los resultados del crucero anterior y una notoria presencia de ejemplares adultos entre los 16,0-16,5 cm (entre 3-4 años).

Los pesos promedio de los ejemplares presentaron diferencias significativas por zonas de pesca, situación que también se observó en los cruceros de años anteriores (1995, 1996 y 1997), lo cual implicaría la existencia de efectos densodependientes. Adicionalmente, los pesos medios por tamaño del área de estudio, disminuyeron incluso por debajo de los valores registrados en 1995, lo cual podría suponer una disminución en la oferta alimenticia causada por alteraciones del medio ambiente.

El stock desovante presentó, en general, un equilibrio de sexos por zonas en el área de estudio, con una leve predominancia de hembras (52%) sobre machos (48%), lo que fue notorio en los adultos de tallas entre los 14,0-14,5 cm y los mayores de 16,0 cm. En los rangos de longitudes entre los 12,0-12,5 cm y los 15,0-16,0 cm predominaron los machos.

En relación a los estados de madurez, sólo el 23% de los ejemplares se encontraron en estado 5 (desove) y un alto porcentaje (60%) 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.



El análisis de los factores que inciden en el reclutamiento señala que las variables ambientales utilizadas son poco 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.

El sistema de información geográfico se emplea para analizar la distribución de la anchoveta y relacionarla con variables bio-oceanográficas como: la distribución de huevos y larvas de anchoveta, la clorofila *a* superficial (cloa *a*), la temperatura superficial del mar (TSM) y la salinidad promedio desde la superficie hasta los 50 m de profundidad. En el estudio se consideran los cruceros efectuados en temporada de invierno (julio-agosto) entre los años 1985 y 1995.

Los resultados indican que existe una baja asociación entre los mapas de presencia de la anchoveta y los mapas de huevos y larvas de anchoveta (los índices de Cramer varían entre 0,12 a 0,28). También la asociación es baja entre los mapas de presencia de anchoveta, la salinidad y los TSM.

La asociación entre los mapas de distribución de los huevos, la salinidad y TSM es moderada en el período de estudio con la excepción de los años 1988 a 1991, donde es bajo el índice de densidad de los huevos. Mientras que, la asociación es moderada en todo el período con la excepción del año 1989, para los casos de la asociación entre la distribución de las larvas de anchoveta con la TSM y con la salinidad. En relación con la cloa-*a*, la asociación indica una preferencia del recurso y los huevos de anchoveta por las aguas mesotróficas, mientras que las larvas muestran propensión por las aguas oligotróficas.



La biomasa de anchoveta en el verano de 1998 alcanzó a 664.628 t, con un coeficiente de variación de 0,15, representando uno de los estimados más altos de los períodos estivales, siendo más del 63% mayor que los alcanzados en el verano de 1995 y primavera de 1996 (385.881 t).

La biomasa de los reclutas alcanzó a 150.206 t, con un Coeficiente de Variación de 0,14, valor que representa aumentos superiores al 43% respecto a la primavera de 1996, siendo comparable a los valores alcanzados en el verano de 1995.

La abundancia de anchoveta en número alcanzó a $4,890566593 \times 10^{10}$ individuos, con un CV de 0,56 y la abundancia de los reclutas de anchoveta alcanzó a $2,386596497 \times 10^{10}$ individuos.

La distribución espacial de la anchoveta se caracterizó por su presencia permanente en toda la zona de estudio, en el sentido latitudinal; su alta asociación con la franja costera, en el sentido longitudinal, ubicándose hasta las 4 mn de la costa y su alto nivel gregario, registrándose importantes concentraciones en áreas relativamente pequeñas.

Considerando los resultados alcanzados en los lances de pesca y la distribución geográfica de la anchoveta, es posible diferenciar dos sectores desde el punto de vista de dominio de los reclutas, es así como se puede calificar como de dominio de reclutas, a los sectores ubicados entre Arica y punta Argolla; al sector cercano a Pisagua ; al sector ubicado entre Iquique y caleta Patillos y desde punta Grande a Antofagasta. Mientras que entre punta Patache y Punta Grande es posible calificarlo como de baja presencia o ausente de reclutas.

Los Indices de Cobertura (IC) y Densidad (ID) fueron de 29,4% y 689,9 t/mn², respectivamente.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



II. INDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN EJECUTIVO	1
II. INDICE GENERAL	11
III. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS	17
IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO	29
1. Objetivo general	29
2. Objetivos específicos	29
V. ANTECEDENTES	31
1. Régimen oceanográfico de la costa norte de Chile	31
1.1 Condiciones oceanográficas en el sistema de corrientes de Humboldt	31
1.2 Surgencia costera	32
2. Proceso de reclutamiento de la anchoveta	35
VI. METODOLOGIA	43
1. Zona de estudio y plan de muestreo	43
2. Metodología por objetivo	44
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 1997-1998, en la zona que comprende la I y II Regiones	44
2.1.1 Muestreo acústico	45
2.1.2 Calibración del sistema acústico	46
2.1.3 Identificación de especies	51
2.1.4 Procesamiento de la información acústica	54
2.1.5 Estimación de la biomasa	54
2.1.6 Estimación de la varianza	59



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	66
2.2.1	Muestreo de las capturas obtenidas con lances a mediagua.....	66
2.2.2	Muestreo biológico	71
2.2.3	Índices de cobertura y abundancia relativa	73
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	75
2.3.1	Distribución de los recursos	75
2.3.2	Condiciones oceanográficas asociadas al proceso de reclutamiento. Crucero RECLAN 9801 - enero 1998	76
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	79
2.4.1	Interrelaciones espaciales de las variables	79
2.4.2	Análisis del modelo stock-recluta de la anchoveta	84
2.5	Objetivo 2.5 Caracterizar en una zona de reclutamiento, los procesos oceanográficos de pequeña escala que influyen directamente sobre las tasas de producción biológica que se generan en el hábitar de la anchoveta	92
2.5.1	Zona de estudio y estrategia de muestreo	92
2.5.2	Hidrografía	92
2.5.3	Determinación de la productividad primaria (PP)	93
2.5.4	Nutrientes	93
2.5.5	Clorofila	96
2.5.6	Abundancia de zooplancton	96



VII	RESULTADOS	99
1.	Condiciones metereológicas y oceanográficas durante el crucero RECLAN 9801	99
1.1	Viento	99
1.2	Temperatura	99
1.3	Salinidad	101
1.4	Densidad	102
1.5	Oxígeno	102
1.6	Masas de agua	103
1.7	Distribución de la biomasa fitoplanctónica durante el crucero RECLAN 9801	104
1.7.1	Distribución de clorofila a y feopigmentos superficiales e integrados	104
1.7.2	Distribución batimétrica de los pigmentos	105
1.7.3	Distribución de los pigmentos en forma paralela a la costa	107
1.7.4	Distribución de los frentes costeros y la fluorescencia in vivo	107
1.7.5	Funcionalidad entre la fliv y la temperatura	108
2.	Biología pesquera	110
2.1	Resultados de los lances de pesca	110
2.2	Deteminación de la estructura de tamaños	111
2.3	Determinación de la proporción sexual	113
2.4	Determinación de los estados de madurez	113
2.5	Determinación de los pesos medios	114
3.	Estimación del reclutamiento de anchoveta en peso y número mediante métodos hidroacústicos	115
3.1	Calibración del sistema acústico	115
3.1.1	Calibración electroacústica	115
3.1.2	Determinación de la relación funcional de la intensidad de blanco (TS) respecto a la talla de anchoveta	116
3.2	Estimación de la biomasa de anchoveta	120
3.2.1	Método tradicional	120



3.2.2	Biomasa por talla (método acústico)	121
3.2.3	Estimación de la biomasa mediante geoestadística y descripción de las estructuras	122
3.2.4	Precisión de los estimados de biomasa de anchoveta	123
3.3	Distribución espacial de la anchoveta	123
3.4	Indices de cobertura y densidad de anchoveta	125
4.	Análisis histórico de las condiciones climáticas y oceanográficas que afectan al reclutamiento de anchoveta en la zona norte	125
4.1	Estimaciones costeras	125
4.1.1	Viento	125
4.1.2	Temperatura superficial del mar	127
4.2	Condiciones hidrográficas durante los cruceros del período 1985-97	128
4.2.1	Temperatura	128
4.2.2	Salinidad	129
4.3	Distribución geográfica de la anchoveta y las condiciones bio-oceanográficas	130
4.3.1	Densidad de anchoveta	130
4.3.2	Huevos	132
4.3.3	Larvas	133
4.3.4	Clorofila-a	134
4.3.5	Condiciones bio-oceanográficas y la distribución de la anchoveta	135
5.	Caracterización de los procesos oceanográficos de la pequeña escala que influyen directamente sobre la tasa de producción biológica que se generan en una zona de reclutamiento de anchoveta y que afectan el hábitat de la especie	142
5.1	Variables físicas y distribución de nutrientes	142
5.2	Producción Primaria Bruta PPB y Respiración Comunitaria (RC).....	145



5.3	Producción Secundaria (Zooplancton)	145
VIII	ANALISIS DE RESULTADOS	149
1.	Condiciones oceanográficas asociadas al proceso de reclutamiento de anchoveta, medidos durante el crucero RECLAN 9801	149
1.1	Surgencia	149
1.2	Temperatura y salinidad	150
1.3	Masas de agua	152
1.4	Análisis de la distribución de la biomasa fitoplanctónica	153
2.	Biología Pesquera	154
3.	Estimados de biomasa de la fracción recluta de anchoveta y de la precisión	157
3.1	Estimados de biomasa de la fracción recluta de anchoveta	157
3.2	Precisión de los estimados de biomasa	160
4.	Análisis de la caracterización de los procesos oceanográficos de pequeña escala que influyen directamente sobre la tasa de producción biológica que se generan en una zona de reclutamiento de anchoveta y que afectan el hábitat de la especie	163
5.	Análisis histórico de las condiciones oceanográficas que afectan el reclutamiento de la anchoveta en la zona norte. Período 1984-97	167
5.1	Estaciones costeras	167
5.1.1	Viento	167
5.1.2	Temperatura superficial del mar	169
5.2	Condiciones oceanográficas medidas durante los cruceros de Invierno del período 1984-1997	170
5.3	Análisis de la distribución y abundancia de los huevos y larvas de anchoveta en los inviernos del período 1984-1996	170



6.	Análisis de los factores que afectan el reclutamiento de anchoveta, Modelo de Ricker	172
IX	CONCLUSIONES	176
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	183
	FIGURAS	
	TABLAS	



III. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1 a) Track navegación nocturna (acústica); b) ubicación de los lances de pesca de media agua y c) posición de las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 2 a) Dirección e intensidad del viento; b) índice de turbulencia y c) índice de surgencia en las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 3 Distribución superficial de temperatura [°C], salinidad [psu] y anomalías de temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 4 Distribución superficial de oxígeno (mL/L) y densidad (sigma-t); y profundidad de la isoterma 15 °C (m). Crucero RECLAN 9801.
- Figura 5 Perfiles verticales de temperatura y salinidad en las transectas de Arica, Pisagua y Antofagasta. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 6 Perfiles verticales de densidad (sigma-t) y oxígeno disuelto en las transectas de Arica, Pisagua y Antofagasta. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 7 Perfiles verticales de temperatura a 5 y 10 mn de la costa. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.



- Figura 8 Perfiles verticales de salinidad a 5 y 10 mn de la costa. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 9 Perfiles verticales de densidad ($\sigma\text{-t}$) a 5 y 10 mn de la costa. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 10 Perfiles verticales de oxígeno a 5 y 10 mn de la costa. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 11 Diagramas T-S de las transectas 1, 10, 16, 31,5 52 y 64. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.
- Figura 12 Distribución de clorofila a superficial e integrada y de feopigmentos superficiales e integrados.
- Figura 13 Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 1 a la 13.
- Figura 14 Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 16 a la 28.
- Figura 15 Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 31 a la 43.
- Figura 16 Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 46 a la 58.
- Figura 17 Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 61 y 64.
- Figura 18 Secciones paralelas a la costa de la distribución batimétrica de la clorofila a



- Figura 19 Secciones paralelas a la costa de la distribución batimétrica de los feopigmentos.
- Figura 20 Distribución de la clorofila a y los feopigmentos superficiales ($\mu\text{g/L}$) e integrados (mg/m^3), desde las transectas 1 a la 64; a 1, 5 y 10 mn de distancia de la costa.
- Figura 21 Perfiles horizontales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y fluorescencia in vivo (UR), en las transectas 1 a la 16.
- Figura 22 Perfiles horizontales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y fluorescencia in vivo (UR), en las transectas 19 a la 35.
- Figura 23 Perfiles horizontales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y fluorescencia in vivo (UR), en las transectas 37 a la 52.
- Figura 24 Relaciones funcionales de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y fluorescencia in vivo (UR), desde las transectas 1 a la 52.
- Figura 25 Diagramas de distribución funcional entre la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y fluorescencia **in vivo** (UR), en las transectas sin frente costero.
- Figura 26 Relaciones funcionales entre los pigmentos vegetales superficiales ($\mu\text{g/L}$) e integrados (mg/m^3) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la salinidad (psu).
- Figura 27 Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta con red de media-agua por lances de pesca en el Crucero REDCLAN 9801 (fracción recluta ≤ 12 cm).
- Figura 28 Distribución de frecuencias de longitud de anchoveta con red de media-agua por lances de pesca en el Crucero REDCLAN 9801 (fracción recluta ≤ 12 cm).



- Figura 29 Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta con red de media-agua por lances de pesca en el Crucero REDCLAN 9801 (fracción recluta ≤ 12 cm).
- Figura 30 Distribución de frecuencias de longitud de anchoveta capturada con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN 9801 (fracción recluta ≤ 12 cm).
- Figura 31 Pesos promedio empíricos a la talla de anchoveta obtenidos con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN 9801.
- Figura 32 Estados de madurez de la anchoveta capturada con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN 9801.
- Figura 33 Proporción sexual de la anchoveta capturada con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN 9801.
- Figura 34 Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 1, 2 y 6). Crucero RECLAN 9801.
- Figura 35 Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 10, 12 y 28). Crucero RECLAN 9801.
- Figura 36 Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 37, 54 y 66). Crucero RECLAN 9801.
- Figura 37 Relaciones funcionales de la intensidad de blanco (dB) y la longitud total (cm) de anchoveta, frecuencia 38 KHz. Crucero RECLAN 9801.
- Figura 38 Lectura acústica (S_a) acumuladas por transecta e intertransecta. Crucero RECLAN 9801.



- Figura 39 Biomasa en peso (t) y abundancia en número de anchoveta, según el método de las tallas. Crucero RECLAN 9801.
- Figura 40 Valores de los variogramas en las direcciones este-oeste, norte-sur y modelo ajustado.
- Figura 41 Distribución espacial de anchoveta. Crucero RECLAN 9801.
- Figura 42 Distribución de la biomasa: a) reclutas b) no reclutas. Crucero RECLAN 9801.
- Figura 43 Distribución batimétrica de anchoveta en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9801.
- Figura 44 Componente U (este-oeste) y V (norte-sur), Índice de Surgencia y Turbulencia del viento promedio diario en Arica.
- Figura 45 Componente U (este-oeste) y V (norte-sur), Índice de Surgencia y Turbulencia del viento promedio diario en Iquique.
- Figura 46 Componente U (este-oeste) y V (norte-sur), Índice de Surgencia y Turbulencia del viento promedio diario en Antofagasta.
- Figura 47 Señal anual de temperatura, índices de turbulencia y surgencia, y número de eventos Lasker en Arica, Iquique y Antofagasta. Período 1971 a 1997.
- Figura 48 Promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) de las estaciones de marea de Arica, Iquique y Antofagasta desde enero de 1971 a febrero 1998. Línea gruesa es el promedio móvil de 12 meses.
- Figura 49 Anomalía mensual estandarizada de la temperatura superficial del mar (TSM) de las estaciones de marea de Arica, Iquique y Antofagasta desde enero de 1971 a febrero de 1998.



- Figura 50 Anomalía mensual acumulada de la temperatura superficial del mar (TSM) de las estaciones de marea de Arica, Iquique y Antofagasta desde enero de 1971 a febrero 1988.
- Figura 51 Comparación de la temperatura superficial del mar en Arica, Iquique y Antofagasta durante los últimos eventos del El Niño.
- Figura 52 Temperatura superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Periodo 1984 a 1997.
- Figura 53 Anomalía de temperatura superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Periodo 1984 a 1987.
- Figura 54 Distribución temporal de la temperatura con profundidad a 5 millas de la costa frente a Iquique.
- Figura 55 Salinidad superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Período 1984 a 1997.
- Figura 56 Anomalía de salinidad de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Periodo 1984 a 1987.
- Figura 57 Mapas de distribución espacial de la densidad acústica de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.
- Figura 58 Índices de ocupación por áreas de: **a)** densidad acústica de anchoveta, **b)** huevos de anchoveta y **c)** larvas de anchoveta.
- Figura 59 Índices de densidad promedio de adultos, huevos y larvas de anchoveta, temperatura, salinidad y cloa-a, por área en el período 1985-95.



- Figura 60 Mapas de distribución espacial de huevos de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.
- Figura 61 Mapas de distribución espacial de larvas de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.
- Figura 62 Mapas de distribución espacial de cloa-a en cruceros invernales, período 1989-95.
- Figura 63 Número de celdas con presencia de anchoveta en relación a la temperatura.
- Figura 64 Número de celdas con presencia de anchoveta en relación a la salinidad.
- Figura 65 Índice de densidad de adultos, huevos y larvas de anchoveta respecto a la concentración de cloa-a en períodos invernales de 1985-95.
- Figura 66 Número de celdas con huevos de anchoveta en relación a la temperatura.
- Figura 67 Número de celdas con huevos de anchoveta en relación a la salinidad.
- Figura 68 Número de celdas con larvas de anchoveta en relación a la temperatura.
- Figura 69 Número de celdas con larvas de anchoveta en relación a la salinidad.
- Figura 70 Distribución vertical de nutrientes (a), densidad y fluorescencia in vivo (b) y temperatura y salinidad (c) en la estación costera.
- Figura 71 Distribución vertical de nutrientes (a), densidad y fluorescencia in vivo (b) y temperatura y salinidad (c) en la estación oceánica.
- Figura 72 Distribución vertical de nutrientes (a), densidad y fluorescencia in vivo (b) y temperatura y salinidad (c) en la estación del frente.



- Figura 73 Variabilidad temporal de la clorofila a integrada en el frente costero, en las estaciones realizadas en la zona costera, oceánica y frente.
- Figura 74 Abundancia de zooplancton en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150 m) en muestreos diurnos y nocturnos en la estación Costera (29/1/98).
- Figura 75 Abundancia de zooplancton en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150 m) en muestreos diurnos y nocturnos en la estación Frente (26/1/98).
- Figura 76 Abundancia de zooplancton en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150 m) en muestras diurnos y nocturnos en la estación Oceánica (27/1/98).
- Figura 77 Diagrama de flujo de la producción primaria en la estación realizada en la zona costera.
- Figura 78 Diagrama de flujo de la producción primaria en la estación realizada en la zona oceánica.
- Figura 79 Diagrama de flujo de la producción primaria en la estación realizada en la zona costera.
- Figura 80 Ciclo estacional de turbulencia. Períodos y/o áreas con baja turbulencia y transporte fuera de la costa se pueden asumir como apropiados para la sobrevivencia de las larvas. (Callao y Trujillo con datos de Mendo **et. al.**, 1987).
- Figura 81 a) Relación stock-recluta de anchoveta incorporando variables ambientales. b) Relación producción anual de huevos-reclutamiento de anchoveta incluyendo variables ambientales.



- Figura 82 Relación entre los coeficientes de variación (CV) de las estimaciones acústicas de la biomasa de anchoveta a distintas distancias entre las transectas. Crucero RECLAN 9801.
- Figura 83 Relación entre los estimadores de biomasa de anchoveta a distintas distancias entre transectas. Crucero RECLAN 9801.

TABLAS

- Tabla 1. Categorías por densidad
- Tabla 2 Resumen de operación por lance de pesca del Crucero RECLAN9801.
- Tabla 3 Pesos medios empíricos (g) de anchoveta obtenidos por zonas de pesca en el Crucero RECLAN9801 y comparación con cruceros anteriores.
- Tabla 4 Estimación de parámetro de la relación longitud-peso por zona de pesca y total de la zona de estudio. Cruceros RECLAN 9501, RECLAN 9601 y RECLAN9611.
- 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).
- Tabla 6 Valores de TS_{mo} y corregidos por el método PDF, según la talla y experimento. Crucero RECLAN 9801.
- Tabla 7 Análisis de varianza de la regresión TS-L de anchoveta con 38 KHz.



- Tabla 8 Análisis estadístico de la ecuación de regresión TS-L de anchoveta con 38 KHz.
- Tabla 9 Relaciones funcionales de TS respecto a la longitud de diversos autores.
- Tabla 10 Biomasa, Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$ coeficiente de variación (CV) y error (%) de anchoveta y fracción de reclutas (en peso). Crucero RECLAN 9801.
- Tabla 11 Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$, coeficiente de variación (CV) y biomasa de la fracción reclutas de anchoveta. Crucero RECLAN 9801.
- Tabla 12 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).
- Tabla 13 Índices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (ID) (t/mn²) de anchoveta en toda la zona de estudio y la fracción recluta.
- 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).
- Tabla 15 Mediciones de Producción Primaria y Respiración Comunitaria.
- Tabla 16 Biomasa (Peso Seco en g m⁻²) del zooplancton colectado durante enero 1998 en las estaciones Frente, Oceánica y Costera.
- Tabla 17 Abundancia de zooplancton en dos estados de la columna de agua (0-50 y 50-150 m) en muestreos nocturnos y diurnos en tres estaciones de muestreo (Costera, Frente y Oceánica) durante enero de 1998.



- Tabla 18 Tasa de ingestión de COP ($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) por parte de diferentes grupos del zooplancton quitinoso durante muestreos diurnos y nocturnos, realizados durante enero de 1998 en la estación Costera.
- Tabla 19 Tasa de ingestión de COP ($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) por parte de diferentes grupos del zooplancton quitinoso durante muestreos diurnos y nocturnos, realizados durante enero de 1998 en la estación Frente.
- Tabla 20 Tasa de ingestión de COP ($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) por parte de diferentes grupos del zooplancton quitinoso durante muestreos diurnos y nocturnos, realizados durante enero de 1998 en la estación Oceánica.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



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 1997-1998.

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 1997-1998, 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 bio-oceanográficas predominantes.
- 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.



- 2.5 Caracterizar en una zona de reclutamiento, los procesos oceanográficos de pequeña escala que influyen directamente sobre la tasa de producción biológica que se generan en el hábitat de la anchoveta.



V. ANTECEDENTES

1. Régimen oceanográfico de la costa norte de Chile

El sistema de Corrientes de Humboldt (SCH) es un sistema de borde oriental donde el afloramiento de aguas sub-superficiales ricas en nutrientes promueve un intenso intercambio de calor y CO_2 y una alta producción biológica (Alhait & Bernal, 1993). Este sistema se caracteriza por ser una zona con una alta variabilidad espacio-temporal con fuertes cambios inter-anales y estacionales asociados a los eventos El Niño (Wyrтки 1975, Huyer *et al.* 1987).

1.1 Condiciones oceanográficas en el sistema de corrientes de Humboldt

La oceanografía del área norte del SCH de Chile (18,5-30°S), desde la costa hasta 200 millas náuticas mar afuera, se caracteriza por la presencia de cinco masas de agua. Al norte del 23°S la circulación superficial está dominada por aguas subtropicales (AST) hasta la profundidad de aproximadamente 75 m. El AST tiene un núcleo bien definido, caracterizado por temperaturas entre 16 y 24°C, salinidades entre 34,9 y 35,3 y valores de oxígeno disuelto entre 4,5 a 5,5 ml l⁻¹ (Silva y Konow, 1975; Robles *et al.*, 1976). Al sur de la latitud 30°S la circulación superficial está dominada por el Agua Sub-antártica (ASA) la cual se encuentra entre la superficie y 120 metros de profundidad. El ASA tiene un núcleo caracterizado por temperaturas entre 9 y 15°C, salinidades entre 33,0 y 34,3 y oxígeno disuelto entre 5 a 7 ml l⁻¹ (Silva y Konow, 1975; Robles *et al.*, 1976). En la zona de transición en las latitudes 23°S a 30°S existe una fuerte mezcla lateral entre el ASA y el AST con predominio estacional de una masa de agua sobre la otra. En la subsuperficie, el



Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) se encuentra aproximadamente entre los 150 y 350 m. El AESS se caracteriza por un máximo de salinidad (34,4 a 34,9) y un mínimo de contenido de oxígeno disuelto entre 0,2 a 3 ml l⁻¹ (Reid, 1965; Silva y Konow, 1975). El AESS es rica en nutrientes inorgánicos y es la principal fuente de agua subsuperficial que aflora durante los eventos de surgencia. En la zona intermedia entre los 400 y 1000 m se encuentra el agua intermedia antártica (AIA) cuyo núcleo se caracteriza por temperaturas entre 2 a 6 °C, salinidades entre 34,2 a 34,5 y oxígeno disuelto entre 2 a 6 ml l⁻¹ (Reid, 1965; Silva y Konow, 1975, Sievers y Silva, 1975).

La circulación oceánica en la zona de Antofagasta se caracteriza por tener en superficie un máximo de salinidad asociado al AST y a la presencia de ASA en la subsuperficie formando un mínimo de salinidad (Gunther, 1936; Wyrski, 1963; Reid, 1965, 1973a, 1973b; Brandhorst, 1971). Debajo del AST y el ASA se encuentra el AESS. Los niveles de mezcla de estas tres masas de agua, probablemente determinan el grado de fertilización de la zona eufótica durante los eventos de surgencia en la zona de Antofagasta (Daneri *et al.* 1998b).

1.2 Surgencia costera

A lo largo del sistema de Corrientes de Humboldt Chileno los eventos de surgencia costera, suceden en puntos que generalmente están asociados a conspicuos accidentes geográficos. La Península de Mejillones (23 °S) es uno de los principales centros de surgencia costera, la cuál presenta una estacionalidad asociada al ciclo anual de vientos. En esta zona, una de las principales masas de agua que afloran durante eventos de surgencia son las ecuatoriales subsuperficial (AESS), las que se caracterizan por sus bajas concentraciones de oxígeno disuelto y altas concentraciones



de nutrientes inorgánicos. El afloramiento de AESS y la posterior estabilización de la columna de agua, representan probablemente las condiciones óptimas para el desarrollo de crecimientos masivos de fitoplancton (Peterson *et al.*, 1988; Marín *et al.*, 1993). Es así como los valores de producción primaria más altos reportados en la literatura ($> 2 \text{ gC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) han sido asociados a estas condiciones en la Bahía de Mejillones (Marín *et al.* 1993). Existe, sin embargo, una creciente percepción que las condiciones descritas representan sólo un aspecto que determina la producción primaria en los ecosistemas de surgencia de la Corriente de Humboldt. Dependiendo de las condiciones hidrodinámicas, la mezcla de la columna de agua inducida por los vientos, puede resultar en la surgencia de masas de agua de diferente composición con distintos efectos fertilizantes (Morales *et al.* 1996). Un incremento en la productividad primaria puede, en lugares específicos, ser producto de forzantes remotos, tales como el paso de ondas atrapadas o por el efecto de la topografía del fondo marino (Arcos & Salamanca, 1984). Más recientemente se han descrito eventos de afloramiento inducidos por el cañón del Bío-Bío, mientras predomina el viento norte (Sobarzo y Figueroa, 1998).

A pesar de la importancia del sistema Chileno de corrientes de Humboldt existen pocos datos sobre mediciones de productividad primaria (PP) y los forzantes que la controlan (Daneri *et al.* 1998a). Marín *et al.* (1993) reportan un rango de productividad para la zona de Antofagasta de 0,5 a 6,6 $\text{gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Sur de Mejillones; Lat. $23^{\circ} 05' \text{S}$) durante septiembre y octubre 1990. Para la misma área los autores midieron valores de producción primaria en exceso de $2 \text{ gC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ en un bloom del flagelado autótrofo, **Mesodinium rubrum**. Estos valores representan las mediciones más altas de productividad primaria registrada hasta la fecha en ambientes acuáticos marinos. Para el sistema de surgencia de Coquimbo, Montecino *et al.* (1996) han estimado valores de PP integrada de $0,35^{-2} \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$,



mientras que Dellarossa **et al.** (1998) entregan valores de 0,18-0,6 gC m⁻² d⁻¹ para la misma área. Por otra parte, Daneri **et al.** (1998a) reportan un valor integrado de 2,8 gC m⁻² d⁻¹ para la zona costera de Coquimbo durante Julio 1997. Para el área de la plataforma continental de Concepción, Fossing **et al.** (1997) registró un solo valor integrado de 9,9 gC m⁻² d⁻¹, mientras que Peterson **et al.** (1988) estimó un valor superficial de 57 (gC l⁻¹ h⁻¹ para el área de Dichatos (Lat. 36° 30'S). También para el área de Dichatos, Arcos y Salamanca (1984) usaron una razón de carbono:clorofila a de 35:1 (Ryther y Menzel, 1965) y estimaron un valor de PP de 0,45 (gC l⁻¹ d⁻¹). Por otra parte, basado en datos integrados de PP mensuales, Daneri **et al.** (1998a) estimaron una productividad anual para la zona de pesca Centro sur de 0,8 KgC m⁻² anuales. Los valores de PP reportados para el sistema de corrientes de Humboldt chileno concuerdan bien (están dentro del mismo orden de magnitud) con valores de PP reportados para el Perú: 0,05-10,5 gC m⁻² d⁻¹ (Calienes **et al.**, 1985); 12 gC m⁻² d⁻¹ para el área de Chimbote, 9°S (Harrison y Platt, 1981); 1,1-3,5 gC m⁻² d⁻¹ (Barber **et al.**, 1971) y 3,1-11,7 gC m⁻² d⁻¹ (Ryther **et al.**, 1971). Walsh (1981) midió valores diarios de PP para las aguas Peruanas de 1,3-6,3 gC m⁻² d⁻¹, estimando una PP anual de 1 KgC m⁻² para el área 7°S a 15°S.

La alta producción biológica de los ecosistemas de surgencia ha sido también asociada a tramas tróficas cortas, donde la herbivoría predomina por sobre procesos como ciclaje de carbono a través del anillo microbiano y/o sedimentación de fitoplancton senescente (Steele, 1974). Sin embargo, en forma creciente la importancia que tienen las clases de pequeño tamaño del fitoplancton (pico- y nano-fitoplancton) y las bacterias en la utilización del carbono orgánico disuelto y particulado, están cambiando nuestra visión del comportamiento de las comunidades pelágicas en zonas costeras y oceánicas, así como el flujo de materia a través de ellas (Azam, 1998).



El zooplancton del sistema de surgencia de la zona norte de la Corriente de Humboldt ha sido pobremente estudiado, existiendo a la fecha solamente estudios exhaustivos de una especie de copépodo (**Calanus chilensis**) en el área de Antofagasta (Escribano **et al.** 1997). Sin embargo recientemente, un programa multidisciplinario evaluó el flujo de carbono a través de la trama trófica y su exportación al océano profundo, además del intercambio océano-atmósfera de CO₂ en la zona costera y oceánica de Antofagasta durante enero (pre-El Niño) y julio (El Niño) de 1997 (González **et al.** 1998).

Información sobre zooplancton en áreas de surgencia ha sido obtenida principalmente en la zona de Perú y las Corrientes de Benguela y California. En estas áreas han sido descritos sistemas usualmente dominados por diatomeas formadoras de cadenas, sin embargo, durante períodos de relajación, se desarrolla una abundante población de microflagelados (Shannon & Pillar 1986), sobre todo después de que el sistema se estratifica y se han agotado los nutrientes inorgánicos (Mann 1992). El evento El Niño 1997-98 tuvo importantes consecuencias para el sistema en estudio (González **et al.** 1998). Estos autores reportan un corrimiento del espectro de tamaños del zooplancton hacia las tallas más chicas, dominando ampliamente los copépodos calanoídeos de pequeño tamaño. Para las costas del Perú ha sido descrito que durante El Niño 1982-83 ocurrió una significativa disminución en la biomasa de zooplancton (desde 25 a 6 ml m⁻² en volumen total) y con una alta dominancia de quetognatos (Carrasco & Santander 1987).

2. Proceso de reclutamiento de la anchoveta

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. En el caso de la zona norte de Chile, Parrish *et al.* (1983) y Bernal (1990) la califican como un sector adecuado para el desove de anchoveta y sardina, debido a la baja turbulencia, débil transporte de Ekman y características topográficas de la plataforma.

El proceso de reclutamiento afecta tanto a las fluctuaciones anuales como la dinámica de largo plazo de las poblaciones de peces y todavía después de muchas décadas de investigación es pobremente comprendida. Una razón se debe a las enormes dificultades logísticas y técnicas para seguir de manera rigurosa la secuencia de eventos de manera cuantitativa desde la maduración y desove de una generación de peces a partir de las fases de huevo hasta los estados de larva, post-larva y juvenil y la posible madurez de los sobrevivientes de la nueva generación (Lazzari *et al.* 1996; Peterman y Bradford, 1987; Peterman *et al.* 1988).

De hecho, existen diferentes factores intrínsecos y extrínsecos y muchos son aún desconocidos y actúan en una parte u otra de los estadios que determinan el reclutamiento, por lo tanto son un obstáculo para tener una comprensión general del proceso de reclutamiento (Beverton, 1989).

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. Los científicos pesqueros están conscientes del hecho que esos procedimientos de manejo tienen implicancia de largo plazo, si fueran



mejor comprendidos podrían tener un gran significado para la toma de decisiones tanto en la Administración Pesquera como en la Industria (Beverton, 1989).

En el caso de los peces pelágicos de corta vida, como 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).

Un ejemplo de lo anterior lo constituyen las interrelaciones existentes entre la distribución espacial de la anchoveta sudafricana (**Engraulis capensis**) con las variables ambientales, conseguidos mediante 22 cruceros acústicos en el período 1978-1985, en que se observa que existe una relación entre la surgencia y la distribución de los reclutas, observándose que dicho fenómeno establece límites entre los distintos stock de la anchoveta (Cruickshank, **et al.** 1990).

Por otro lado, Cruickshank (1990), basado en el modelo de Harden Jones (1967), sostiene que los juveniles de anchoveta (post larvas) distribuida en Sud Africa (**Engraulis capensis**) son transportados pasivamente desde la zona de desove al



área de crianza.

Tradicionalmente el método de Análisis Secuencial de Poblaciones (ASP) ha sido el procedimiento utilizado para la estimación de la clase anual que se incorpora a la pesquería, siendo considerado como una estimación de tipo absoluta (Rosenberg *et al.*, 1992).

Una de las tendencias más modernas en el análisis del ciclo de vida de los recursos pesqueros, 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).

Existen otros métodos que utilizan información de la actividad de la flota cerquera



industrial con el propósito de establecer un índice de reclutamiento como la fracción de recluta en la captura por una unidad de esfuerzo. Sin embargo, su aplicación en recursos pelágicos en los cuales el coeficiente de capturabilidad cambia en función de la densidad de los cardúmenes hacen poco aconsejable su utilización en términos de cuantificación absoluta del reclutamiento.

Los estudios del reclutamiento de la anchoveta en la zona norte de Chile, se han orientado hacia la determinación de la fuerza de una clase anual, 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, estimándose de este modo el nuevo contingente que se incorpora a la fracción susceptible de ser explotada.

Biológicamente, la anchoveta presente en la costa del Pacífico sur, se caracteriza por su corta vida (alrededor de 5 años), con un importante potencial reproductivo, presentando desoves fraccionados durante todo el año. En el caso de la zona norte de Chile el desove se centra principalmente entre julio y septiembre, 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),.

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 sobre la distribución y el comportamiento de los reclutas se han conseguido en los proyectos FIP 94-35, 95-02 y 96-02, determinándose que el límite occidental de la distribución nocturna de los reclutas de anchoveta 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 observaron 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.

Dado este comportamiento, se determinó que las noches con luna constituyen el momento más adecuado para efectuar la prospección acústica de esta fracción de la



población, por cuanto se reducen los sesgos de zona muerta superficial y de orilla y las agregaciones nocturnas tipo estrato, permiten reducir la variabilidad de los estimados de biomasa.

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 Consejo del Fondo de Investigación Pesquera identificó e incluyó el presente proyecto de evaluación directa en el programa de investigación de 1997, conciente de la necesidad de continuar con este tipo de investigaciones que, por una parte, se deben considerar como una vigilancia sistemática y permanente del proceso de reclutamiento y por otra deben contribuir a ampliar el conocimiento del proceso. Es así como los objetivos 2.1, 2.2 y 2.3 tienden a actualizar la serie de datos existente y los objetivos 2.4 y 2.5 persiguen ampliar el conocimiento existente sobre el proceso de reclutamiento, mediante un análisis a micro escala de los factores que afectan el proceso (objetivo 2.5) y mediante los factores que influyen a una escala mayor (objetivo 2.4). En este último caso, es importante destacar que la metodología aplicada por IFOP utiliza los datos coleccionados desde 1985, 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, resaltando de este modo la importancia de la existencia de bases de datos sistemáticas e ininterrumpidas durante el mayor tiempo posible.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



VI. METODOLOGIA

1. Zona de estudio y plan de muestreo

La zona de estudio estuvo comprendida entre Arica ($18^{\circ}22'S$) y Antofagasta ($23^{\circ}26'S$), 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 (Fig. 1).

El crucero de evaluación se realizó a bordo del B/I "Abate Molina" entre el 6 y el 29 de enero 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.

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 eointegración 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.

Otra característica importante de mencionar del EK-500, instalado en el B/I "Abate Molina", lo constituyen los transductores de haz compartido (split beam), que 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.

Además, el software de procesamiento de las señales acústicas con que cuenta el EK 500, permite obtener simultáneamente con la ecointegración, mediciones de la intensidad de blanco de los peces (TS) distribuidos en forma aislada, lográndose de este modo ajustar los factores de conversión de las lecturas de ecointegración.

A lo anterior se agregan las facilidades de comunicación con equipos computacionales externos y otros equipos (GPS, corredera, otros ecosondas), siendo factible almacenar la información directamente a una base de datos diseñada para tales efectos.

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 1997-1998, 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.



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 ecointegración (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:

$$G_1 = G_0 + \frac{Tsm - Tsb}{2}$$

donde:

- G_1 = nueva ganancia del transductor
- G_0 = ganancia antigua
- Tsm = intensidad de blanco medida (dB)
- Tsb = intensidad de blanco teórico (dB)

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

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

siendo:

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

donde:

- s_{bs} = sección dispersante de la esfera (dB).
- r = profundidad de la esfera (m).
- r_0 = profundidad de referencia (1 m).
- Y = ángulo equivalente del haz acústico (dB).
- $Sa_{(t)}$ = salida teórica del ecointegrador.
- $Sa_{(m)}$ = salida medida del ecointegrador.



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:

$$TS = 10 \log (\sigma / 4 \pi)$$

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). 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:



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

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

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

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

$$S = \sum_i ((\sum_n M M_i / \sum_n M M_n) - (M_i / \sum_n M_n))^2$$

siendo:

- S_{1i}, S_{2i} = àrea 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 eointegración (C) se calculó según:

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

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:

$$S_v = \frac{C1xV^2}{LxD}$$

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 ecointegrador.
- 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 japonés, denominada Nichiro, con una abertura vertical en la boca de 40 m, adecuada 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 fue utilizada 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 está amantillada con flotadores especiales para incrementar la flotación en la relinga.



No obstante lo anterior, a bordo se dispuso de otra 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 :

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



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/mn²/Sa).

El coeficiente de ecointegración se calcula según:

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

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 econtegrador por ESDU, corresponde a la expresión:

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

donde:

- S_a = lecturas promedio del econtegrador por ESDU, en este caso se señala 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 econtegración 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:

$$\hat{B}_{r1} = \hat{B} \hat{P}_{r1}$$

donde:

- \hat{B}_{r1} = biomasa en peso de los reclutas (t)
- \hat{B} = biomasa total de anchoveta (t)
- \hat{P}_{r1} = porcentaje de los reclutas.



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

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

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):



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

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 IBM, 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:

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

La biomasa en peso a la talla se calcula según:

$$B_{(k)} = N_k a_i L_k^b$$



siendo:

N_k	=	número de ejemplares en la k-ésima talla
Sa_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:

$$\hat{V}(\hat{B}) = A^2 x \hat{V}_1(\hat{R})$$

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

$$\hat{V}_1(\hat{R}) = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{1}{ny} (s_x^2 + \hat{R}^2 s_y^2 - 2\hat{R} s_{xy})$$

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

$$\hat{V}_2(\hat{R}) = \frac{1}{(G-1)} \sum_{i=1}^G (\hat{R}_i - \bar{\hat{R}})^2$$

donde:

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

siendo \hat{R}_i 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}_2 se encuentra dado por el método Percentil Corregido (BC)

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



donde \hat{F}^{-1} 3 es la función inversa de la distribución acumulada de $\hat{F}(\hat{R})$ 4, definida por:

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

y donde,

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

siendo ϕ^{-1} la función inversa de la distribución normal estándar y Z_α 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:

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

donde los términos de la ecuación se pueden representar mediante sus respectivos variogramas ($\gamma(h)$) 5 donde:

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

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

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



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^2_6 es entonces la diferencia entre la integral doble de la función de estructura $(\bar{\gamma}(S, V))_7$ y sus dos aproximaciones discretas sobre la grilla de muestreo $(\bar{\gamma}(S, V)$ y $\bar{\gamma}(S, S)_8)$, de los cuales estos últimos no pueden ser calculados sin recurrir a un modelo de variograma.

La varianza σ^2_9 depende de la estructura espacial a través de tres factores geométricos; de la geometría del campo para $\bar{\gamma}(V, V)_{10}$; de la disposición entre los intervalos básicos de muestreo para $\bar{\gamma}(S, S)_{11}$ y de la posición de la red de muestreo en el campo para $\bar{\gamma}(S, V)_{12}$.

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:

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

donde:

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



V (P_{rl}) está dada por:

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

donde:

La varianza de los pesos de reclutas es:

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

La varianza de los pesos por talla es:

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

La covarianza de los reclutas y peso total es:

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

donde:

- l₀ = 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:

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



donde:

$\hat{V}(\bar{w})$ 13 = varianza del peso promedio obtenido en los lances de pesca de mediagua.

$\hat{V}(\hat{B})$ 14 = 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 15 = 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

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

donde:

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

a2. Estimador de la varianza de p_{hk}

$$\begin{aligned} \hat{V}(p_{hk}) &= \left(\frac{1}{t_h} - \frac{1}{T_h} \right) \frac{1}{t_h - 1} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{X_h^2} (p_{hlk} - p_{hk})^2 + \\ &+ \frac{1}{t_h} \frac{1}{T_h} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{X_h^2} \left(\frac{1}{n_{hl}} - \frac{1}{N_{hl}} \right) S_{hl}^2 \end{aligned}$$

donde:

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

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

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

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



b. Pesos medios a la talla

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:

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

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

$$\begin{aligned} \hat{V}(\bar{w}_{hk}) &= \left(\frac{1}{t_h} - \frac{1}{T_h} \right) \frac{1}{t_h - 1} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{x_h} (\bar{w}_{hkl} - \bar{w}_{hl})^2 \\ &+ \frac{1}{t_h T_h} \sum_{l=1}^{t_h} \frac{X_{hl}^2}{x_h} \left(\frac{1}{n_{hl}} - \frac{1}{N_{hl}} \right) S_{hwl}^2 \end{aligned}$$



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{Q} , 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, peso eviscerado, 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 muestreo la 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:

$$\hat{P}S = \frac{Y_i}{Y}$$

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:



$H_0 = \beta_1$ es igual a β_2

$H_1 = \beta_1$ distinto a β_2

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 ecointegración.
- 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 oceanográficas asociadas al proceso de reclutamiento. Crucero RECLAN 9801-enero 1998.

2.3.2.1 Datos meteorológicos

En cada una de las estaciones oceanográficas, se registraron los siguientes datos meteorológicos: Temperatura del aire (bulbo seco y húmedo), presión atmosférica, intensidad y dirección del viento, tipo y cantidad de nubes, visibilidad y altura y dirección de las olas. Se utilizaron las normas, Tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991).

2.3.2.2 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. Con el objetivo de caracterizar de mejor manera la zona, que desde mayo de 1997 presentó condiciones oceanográficas anómalas, en las transectas frente a Arica, Pisagua y Antofagasta se hicieron estaciones a 20 y 40 mn de distancia de la costa. Durante la navegación en la transecta 53 de hidroacústica se realizó una estación adicional con CTD a 15 mn de la costa (Fig. 1c).

En cada estación se obtuvieron registros verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto hasta una profundidad máxima de 500 m. La temperatura y salinidad se registró con un CTD SEA BIRD modelo 19, adosado a un sistema de muestreo tipo roseta (General Oceanics) equipado con botellas Niskin de 5 L de capacidad.



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, 100, 150, 200, 300, 400 y 500 m o hasta 10 m del fondo si la profundidad es menor de 500 m. En el caso de las muestras de clorofila sólo se tomaron muestras hasta 100 m.

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).

2.3.2.3 Datos de viento

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:

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

2.3.2.4 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 entre las variables biológicas de los recursos (huevos, larvas y distribución de los adultos) en los períodos invernales, respecto a las variables oceanográficas físicas (T y S) utilizando sistemas de análisis geográficos (SIG). 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 analizarán los eventos Laker, 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.

Los datos analizados, 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.

Los cruceros 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).

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

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 se realizó con un modelo sistemático con transectas perpendiculares a la costa y paralelas entre si, equidistantes por 25 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 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 empleaba una red WP-2 de 300 micras que era 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 poseyera 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 (mn²) 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/mn²) del año t+1, a partir de las variables independientes: índice de densidad de huevos (ind/10m²), índice de densidad de larvas (ind/10m²), salinidad y temperatura superficial para el año t.

Un análisis visual de los mapas, 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, pivotando en el paralelo 21° S y el meridiano 71° W.

El modelo ajustado 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

2.4.2.1 Marco teórico

El análisis del reclutamiento en relación a los factores climáticos, bio-oceanográficos, biológicos y pesqueros, es un tema de extrema complejidad, y que no ha sido resuelto en ningún recurso pesquero en términos de cuantificar los factores claves de la sobrevivencia de los huevos y larvas hasta el reclutamiento.

Esto constituye uno de los principales aspectos de investigación que se han desarrollado a partir del paradigma de Hjort (1913 fide Peterman **et al.**, 1988); el cual planteó la hipótesis que la abundancia o fortaleza de una clase anual se establece en los primeros estadios de vida, es decir cuando la larva absorbe las reservas del saco vitelino. Esta hipótesis se basó en la observación de altas mortalidades de peces jóvenes en sus primeros estadios planctónicos, en que se encuentra extremadamente vulnerable a la inanición, predación, y transporte por movimientos de masas de agua lejos de hábitat favorables para su sobrevivencia y crecimiento.

Esta hipótesis del "período crítico" estimuló el desarrollo de investigación pesquera



que intenta explicar la variabilidad interanual del reclutamiento. La hipótesis de Lasker (1975,1981) sobre la estabilidad del océano es un caso especial del paradigma de Hjort. Lasker propuso que la turbulencia generada por el viento mezclaba la capa superficial del océano y esto producía una alta mortalidad de las larvas de peces que se encontraban en su primera etapa de alimentación, mediante la disipación y dilución de los patches de alimento. En tal sentido Teilacker (1986) señala que esto es consistente con sus observaciones siendo la inanición la principal causa de mortalidad para las larvas que se alimentan por primera vez, sin embargo, esto no parece ser efectivo para larvas mayores. La segunda parte de la hipótesis de Lasker indica que las condiciones de turbulencia pueden generar clases anuales débiles. Antecedentes de este enfoque se encuentran descrito para la anchoveta de California por Peterman y Bradford (1987).

Actualmente la disponibilidad de alimento y las restricciones físicas del ambiente tales como turbulencia y transporte Ekman son considerados factores importantes que afectan la sobrevivencia de los huevos y larvas y por ende el reclutamiento de peces pelágicos (Cury y Roy, 1988; Roy *et al.*, 1992).

En el presente trabajo se re-estiman estos valores para la unidad de stock del Sur de Perú y Norte de Chile, para lo cual se utilizan antecedentes de las evaluaciones conjuntas del IMARPE e IFOP (Barría, 1995 y 1996; GTE, 1992, 1993, 1994).

También el conocimiento de estos procesos ha sido enfrentado desde el punto de vista de modelos de stock-reclutamiento y mediante análisis exploratorio de datos entre información biológica-pesquera y oceanográfica. Sin embargo, es necesario referirse al marco teórico del problema para derivar en el análisis exploratorio de relaciones entre las variables involucradas.



Las consideraciones clásicas de los modelos de stock-reclutamiento, indican que en la mayoría de los stock de peces se desconoce esta relación (Sharp, 1980). Sin embargo, es posible distinguir patrones que son diferentes y están relacionados con los patrones del ciclo vital del recurso, en ciertas especies el reclutamiento tiene variaciones menores y en otras virtualmente no existe esta relación o se encuentra enmascarada por ruidos ambientales y de interacciones biológicas desconocidas.

Ricker (1954), plantea el siguiente modelo de stock-reclutamiento en que el reclutamiento es dependiente de la abundancia de la población, donde:

$$R = R1 * E * \exp(-R2 * E) \quad (1)$$

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 la ecuación 1 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, es útil la aplicación del $\ln(R/S)$, debido a que esta expresión 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 está 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 (13 años). Este modelo fue aplicado por Bakun y Parrish (1980) a la sardina de California, con excelentes resultados. Donde las variables ambientales fueron tamaño del stock desovante, índices de upwelling en la latitud 30°N y latitud 39°N, índice de stress del viento en la latitud 30°N y 33°N.

El enfoque tradicional del reclutamiento se enfrentaba relacionando el tamaño del stock desovante con los reclutas, sin embargo existía un porcentaje alto de la variación del reclutamiento que no ha sido explicada. Con el presente enfoque metodológico es factible explorar las variaciones del reclutamiento en función de varias variables físicas y biológicas, las cuales se esperan que reduzcan la incertidumbre del reclutamiento.



2.4.2.2 Descripción de las variables

A) Índices 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) Índices 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) Índices 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 horas del período 1971 a 1997 (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 febrero de 1998. Los datos fueron facilitados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.



2.5 Objetivo 2.5. Caracterizar en una zona de reclutamiento, los procesos oceanográficos de pequeña escala que influyen directamente sobre las tasas de producción biológica que se generan en el hábitat de la anchoveta

2.5.1 Zona de estudio y estrategia de muestreo

Las estaciones de muestreo se realizaron en 22 °47'2" S, 070° 32'38" W (Frente); 22°42'95"S, 07036'48"W (oceánica) y 22°47'64"S , 070°24'83"W (costera), esta zona se determinó de acuerdo a la detección de frentes oceanográficos y presencia de peces juveniles de anchoveta en la prospección acústica-oceanográfica previa.

El muestreo consistió en estaciones repetitivas durante 24 horas, tipo lagrangiano, en tres sitios contrastantes: a) estación costera; b) estación frente y c) estación oceánica.

Los muestreos fueron realizados durante el período comprendido entre el 26 de enero al 29 de enero de 1998 y se obtuvieron muestras de clorofila-a, nutrientes, producción primaria bruta (PPB), respiración comunitaria (RC), además de producción y abundancia zooplanctónica.

2.5.2 Hidrografía

En cada estación se utilizó una roseta-CTD General Oceanic para la obtención de perfiles continuos de temperatura, salinidad y profundidad. Además de registros continuos de oxígeno disuelto, penetración de luz (PAR) y fluorescencia.



2.5.3 Determinación de la productividad primaria (PP)

La determinación de los niveles de producción primaria (PP) se realizó utilizando tres metodologías: PP in situ, PP On deck, y Curvas de fotosíntesis versus irradianza (F/I).

2.5.3.1 Producción primaria in situ

Se realizaron un total de 4 experimentos **in situ** los días 26, 27, 28 y 29 de enero. Muestras de microplancton fueron colectadas con botellas Niskin desde 6 profundidades ópticas: 82%, 56%, 28%, 16% 8%, 1% de la luz PAR superficial. Las muestras fueron incubadas en botellas de borosilicato de 125 ml de capacidad nominal. La incubación de las muestras de agua se realizó desde la salida del sol hasta el término del día, utilizando incubadores **in situ** consistentes en 6 cubos de acero inoxidable con portabotellas posicionados en forma diagonal dentro del cubo. La incubación se efectuó en las mismas profundidades ópticas de las cuales fueron obtenidas las muestras.

2.5.3.2 Producción primaria “on deck”

Se realizaron un total de 3 experimentos “on deck”, los días 26, 27 y 28 de enero. Muestras de microplancton fueron colectadas con botellas Niskin desde 6 profundidades ópticas: 82%, 56%, 38%, 8% y 1% de la luz PAR superficial. Las muestras fueron incubadas en botellas de borosilicato de 125 ml de capacidad nominal. La incubación de las muestras “ondeck” se realizó desde aproximadamente las 10 AM hasta la puesta del sol. Las muestras fueron incubadas (5 réplicas para cada tiempo) en cilindros de perspex con filtros de atenuación de luz simulando la cantidad y calidad espectral de la luz de la profundidad de la muestra.



2.5.3.3 Incubador F/I

En la zona costera se realizó una incubación de PPB utilizando el método de las botellas claras y oscuras incubadas en una “caja F/I”, la cual simula un gradiente de luminosidad. Las incubaciones en la caja F/I se realizaron por un período de 4 horas y la cantidad de luz a que fue sometida cada muestra fue estimada como el promedio de luz PAR de entrada y salida.

Para la estimación de la producción primaria bruta (PPB) y la respiración comunitaria (RC) en cada nivel óptico, se utilizó la técnica de botellas claras y oscuras con 5 réplicas para cada tiempo final y 5 réplicas para el tiempo inicial (Daneri **et al.** 1998a) donde:

Producción primaria bruta: botellas claras - botellas oscuras

Respiración comunitaria: botellas tiempo cero - botellas oscuras

Los valores de producción de oxígeno fueron convertidos a valores de producción de carbono utilizando un cociente fotosintético de 1,25, mientras que las tasas de utilización de oxígeno fueron convertidas a carbono orgánico consumido utilizando un cociente de respiración de 1 (Daneri **et al.** 1998a).

La determinación del oxígeno disuelto se realizó utilizando la metodología Winkler. Se tituló todo el contenido de las botellas de borosilicato usando un detector electrónico de punto final en interfase con un registrador. La adición del tiosulfato se realizó con un dosificador de alta precisión Dosimat.



2.5.3.4 Producción primaria, método ^{14}C

La productividad primaria fue medida según el método modificado de Steeman-Nielsen (1952). Para la medición de la productividad primaria (incorporación del isótopo ^{14}C), el agua de mar fue colectada a profundidades correspondientes al 82%, 56%, 38%, y 1% de la irradiancia incidente e inmediatamente colocadas en botellas de borosilicato de 120 ml de volumen nominal. Las muestras fueron inoculadas con bicarbonato de sodio marcado (40 (Ci - $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$), e incubadas junto con las muestras de PP (método botellas claras y oscuras) en los cubos de incubación **in situ**. Una vez que las muestras fueron filtradas bajo condiciones de semi-oscuridad a través de un filtro de fibra de vidrio (MFS 0,7 (m) de 25 mm de diámetro (2 - réplicas). Los filtros fueron puestos en viales de centelleo (borosilicato 20 ml) y conservados en frío. Para remover el exceso de carbono inorgánico marcado, los filtros fueron expuestos a vapores de HCl concentrado durante 4 horas durante la noche. Cocktail de centelleo (10 ml, Ecolite®) fue añadido a los viales y la actividad radiactiva (cuentas por minuto, cpm) determinada en un contador de centelleo (Beckmann LS 5000 TD).

2.5.4 Nutrientes

Las muestras para la determinación de concentraciones de nutrientes (Nitrito, Nitrato, Silicato y Fosfato) fueron colectadas en todas las estaciones donde se realizaron lances de roseta (30 en total). Las profundidades de muestreo se ubicaron entre los 2 y 300 m. Las muestras fueron almacenadas en botellas de plástico de 500 ml, previamente lavadas con una solución diluida de ácido clorhídrico (10%) por un periodo de 24 horas. Las muestras fueron fijadas con una solución saturada de Cloruro de Mercurio y posteriormente fueron congeladas a –



18°C hasta su análisis en el laboratorio. Los nutrientes se analizaron de acuerdo a las metodologías descritas en Parsons **et al.** (1984). Los niveles de absorbancia se midieron utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer UV/VIS.

2.5.5 Clorofila

Se tomaron muestras de agua para análisis de Clorofila-a y Feopigmentos en todas las estaciones donde se realizaron lances de roseta. Las muestras de agua para clorofila fueron colectadas conjuntamente con las muestras de nutrientes. Una vez obtenidas las muestras de las diferentes profundidades estas fueron filtradas en un manifold MILLIPORE, con filtros GF/F de 0,8 μm de apertura nominal de poro. Para la extracción de los pigmentos fotosintéticos los filtros fueron dejados en acetona (90% p.a) en ambiente frío y sin luz por 12 horas. La lectura de las muestras, antes y después de acidificar, se realizó usando un fluorómetro digital TURNER 10AU.

2.5.6 Abundancia de zooplancton

Muestras de zooplancton fueron colectadas mediante arrastres oblicuos desde dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150 m) usando una red WP2, de 200 μm y un medidor de flujo de agua TSK. Las muestras fueron luego fijadas en formalina tamponada con bórax (concentración final 5% v/v).

2.5.6.1 Grupos de tamaño y especies claves

Para la determinación de abundancia y tasas de ingestión, los copépodos fueron agrupados por tamaños en las siguientes clases: (1) Grandes; representados por individuos de tamaño > 2,0 mm como por ejemplo **Rhincalanus spp.**, **Centropages**



spp., **Pleuromamma spp.** (2) Medianos; representados por individuos en un rango de tamaño entre 1 y 2 mm y (3) Chicos; representados por individuos de tamaño <1 mm, a estas dos últimas clases pertenecen a los géneros de **Acartia**, **Paracalanus**, **Microcalanus**, **Candacia**, copepoditos de las especies grandes, etc. Los individuos pertenecientes a la especie **Calanus chilensis** y el género **Eucalanus spp.** son tratados separadamente. Los copépodos estuvieron representados por tres géneros que son **Oithona**, **Corycaeus** y **Oncaea**. Los eufáusidos fueron tratados como grupo mayor y la abundancia de adultos y estados larvales como **Caliptopis** y **Furcilia** se entregan por separado. Otros grupos mayores del zooplancton importantes fueron: (a) chaetognatos, (b) osfípodos, (c) anfípodos, (d) larvaceos y (e) “gelatinoso” en el cual se han agrupado ctenóforos, sifinóforos, hidromedusas, salpas y doliólidos.

2.5.6.2 Biomasa (peso seco) del zooplancton

Muestras adicionales de zooplancton fueron tamizadas a través de filtros confeccionados con red de 30 m usados para drenar el agua de la muestra original. La sal contenida en agua entre individuos del zooplancton fue eliminada con enjuagues cortos con agua destilada, por cuanto el zooplancton estuvo dominado por grandes individuos con esqueleto quitinoso (i. e. copépodos y eurausidos) (Omiri & Ikeda 1984). Este exceso de agua fue succionado en el embudo de filtración. La presión de succión fue reducida (máx. 250 mm Hg). Después de succionar el agua destilada, el zooplancton fue secado hasta peso constante en una estufa a 60 °C. Luego la muestra fue dejada en un desecador hasta el momento de la estimación de peso seco.



2.5.6.3 Tasas de ingestión del zooplancton

El contenido de pigmentos del zooplancton (CE) fue estimado mediante el método de fluorescencia de partículas en el sistema digestivo (Mackas & Bohrer 1976). Se utilizaron las tasas de evacuación (TE) para los diferentes grupos del zooplancton, obtenidas en la misma área de estudio durante enero y julio de 1997 (González *et al.* 1998). El CE y la TE fueron usados para calcular la tasa de ingestión (TI) en ng cl-a equivalente (cl.a-eq. = suma de cl-a y feopigmentos) por individuo y tiempo. Las tasas de ingestión de copépodos calanoídeos fueron corregidas por las pérdidas de pigmentos a componentes incoloros (no fluorescentes) de acuerdo al modelo propuesto por Stevens & Head (1998).

La razón, carbono/cl-a, fue obtenida de González *et al.* (1998) y usada para convertir las TI en unidades de carbono asumiendo que no hay selectividad. Considerando que los eufáusidos realizan migraciones verticales diurno-nocturnas, los valores de abundancia fueron integrados a los primeros 150 m de la columna de agua, agrupando todas las colectas (tanto diurnas como nocturnas).

2.5.6.4 Tasas de sedimentación con trampas derivando

El flujo vertical de partículas fue estimado mediante trampas de sedimento cilíndricas pareadas (modificadas de Gundersen 1991) con 122 cm² de área y una razón alto/diámetro de 8,3. Estas trampas fueron instaladas derivando a profundidades de 65, 100 y 200 m por períodos de aproximadamente 1 día. Submuestras fueron usadas para estimar COP en un analizador de carbono (Carlo Erba 1500), usando acetanilida como estándar después de separar todos los "swimmers" usando pinzas bajo lupa estereoscópica.



VII. RESULTADOS

1. Condiciones meteorológicas y oceanográficas durante el crucero RECLAN 9801.

1.1. Viento

Los vientos medidos en las estaciones durante el desarrollo del crucero correspondieron principalmente a vientos del 3^{er} cuadrante con una intensidad media de 4,47 m/s y una máxima de 9,26 m/s (18 nudos), siendo el 52,78% de los vientos menores o iguales a 5 m/s (**Fig. 2a**). Las mayores intensidades se observaron entre Mejillones y Antofagasta, presentándose una zona de vientos débiles entre las transectas 43 y 55 (norte de Tocopilla al norte de Mejillones).

El índice de turbulencia tuvo una intensidad media de $172 \text{ m}^3/\text{s}^3$ y un valor máximo de $794 \text{ m}^3/\text{s}^3$ frente a la península de Mejillones. El 52,78% de los valores observados están entre 0 y $125 \text{ m}^3/\text{s}^3$, y al norte de la península (**Fig. 2b**). En tanto que el índice de surgencia presentó una intensidad media de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ por 1000 m de costa, un valor mínimo de $-355 \text{ m}^3/\text{s}$ por 1000 m de costa y un máximo de $1243 \text{ m}^3/\text{s}$ por 1000 m de costa, el mínimo se presentó frente a Arica en la estación 1 y el máximo en las estaciones frente a la península de Mejillones. En ocho de las 72 estaciones (11,11%) el índice de surgencia tuvo valores negativos, y el 80,56% (53 estaciones) entre 0 y $1200 \text{ m}^3/\text{s}/1000 \text{ m}$ de costa (**Fig. 2c**).

1.2 Temperatura

La temperatura superficial presentó valores entre 21,67 y 26,09°C, con las aguas más frías en el área costera, incrementando hacia el área oceánica. Las zonas con



más bajas temperaturas se observaron en la península Mejillones, frente al río Loa e Iquique ($< 23^{\circ}\text{C}$), en tanto que las más altas temperaturas se encontraron al sur de Tocopilla ($> 25^{\circ}\text{C}$), estando el máximo en la estación 58 (**Fig. 3**).

La anomalía de la temperatura superficial respecto al promedio histórico del mes de enero, calculado a partir de los cruceros realizados en el área por el IFOP desde la década de los 60, fluctuó entre $0,96$ y $6,45^{\circ}\text{C}$, estando las mayores anomalías entre Tocopilla y Mejillones a las 10 mn (**Fig. 3**).

La isoterma de 15°C , característica de la base de la termoclina en períodos normales, se encontró bastante profunda, entre 122 m en la estación 53 a 10 mn de la costa a la cuadra de Punta Grande y a 184 m en la estación 5 a 40 mn de la costa de Arica. Las mayores profundizaciones de la isoterma de 15°C se encontraron frente a Iquique y a Antofagasta (≥ 170 m). Es importante notar que en varias estaciones la temperatura cerca del fondo era superior a los 18°C (**Fig. 4**).

El gradiente vertical de temperatura fue de $0,49^{\circ}\text{C}/\text{m}$, con $0,17$ y $1,18^{\circ}\text{C}/\text{m}$, como mínimo y máximo respectivamente, ubicados entre 2 y 44 m de profundidad. El perfil vertical de temperatura entre la costa y las 40 mn desde la superficie hasta los 500 m en Arica, Pisagua y Antofagasta muestra una isoterma de 15°C profunda (bajo los 170 m) más o menos paralela a la superficie, con la excepción de la Transecta de Antofagasta, en la cual hacia la costa se encontraba a mayor profundidad (**Fig. 5**).

Latitudinalmente, a las 5 mn, la isoterma de los 15°C disminuyó su profundidad de norte a sur (180 a 160 m), mientras que a las 10 mn la isoterma mantuvo más o menos el mismo nivel de profundidad (160 m), con ascensos frente a Iquique y a



Tocopilla. Tanto a las 5, como a las 10 mn, bajo la isoterma de 15°C la temperatura decreció en forma paulatina hasta los 7°C y sobre la isoterma de 15°C hay un rápido incremento hasta alcanzar los 25°C superficiales (**Fig. 7**).

1.3 Salinidad

La salinidad superficial estaba entre 35,294 y 35,670 psu, con los menores valores frente a la península de Mejillones, el río Loa e Iquique ($< 35,4$ psu) y los mayores al sur de Tocopilla ($> 35,6$ psu). Como tendencia general se observa un aumento de la psu desde la costa hacia el área oceánica (**Fig. 3**).

La anomalía de la salinidad de acuerdo con el promedio histórico del mes de enero estuvo entre 0,35 y 0,95 psu, y al igual que la anomalía de temperatura las mayores anomalías estaban entre Tocopilla y Mejillones a las 10 mn (**Fig. 3**).

La estructura vertical de los primeros 500 m de la columna de agua entre la costa y las 40 mn, presenta los mayores valores en superficie, sobre los 35,4 psu. Valores mayores o iguales a 35 psu se encontraron desde la superficie hasta 200 m en el área costera y hasta los 110 m a las 40 mn. Presentándose en la zona costera algunos núcleos con salinidad mayor de 35 psu bajo esta capa superficial (**Fig. 5**).

Latitudinalmente a las 5 mn la isohalina de 35 psu estuvo por sobre los 200 m, con excepción en la estación 7 en la cual se profundiza hasta unos 250 m aproximadamente. A las 10 mn de la costa la isohalina en general se mantuvo a los 150 m (**Fig. 8**).



1.4 Densidad

La densidad disminuye desde la costa hacia el área oceánica, teniendo valores entre 23,51 y 24,57. Las mayores densidades se midieron en la península Mejillones, el río Loa e Iquique (> 24) y las menores al sur de Tocopilla ($< 23,6$) (**Fig. 4**).

Las transectas costa–océano de Arica, Pisagua y Antofagasta muestran tres situaciones, en la de Arica se aprecia una columna de agua estratificada, con niveles más o menos horizontales y paralelos entre ellos. En la de Iquique se aprecia el hundimiento del agua, siendo más evidente en la isopícnica de 25,5, mientras que en la transecta de Antofagasta se observó además del hundimiento señalado, un ascenso hacia la costa de la isolínea de 26,5, también se ve un núcleo superficial a las 20 mn de agua con una densidad menor a 25,3 (**Fig. 6**).

Latitudinalmente la densidad se comporta en forma semejante a la temperatura, con algunas variaciones producto de los cambios en salinidad (**Fig. 9**).

1.5 Oxígeno

La concentración superficial de oxígeno disuelto (**Fig. 4**) incrementa desde la costa a las 40 mn, el menor valor superficial fue de 4,87 ml/l y se encontró en la estación 52 ubicada al sur de Tocopilla, y el máximo se encontró en las estaciones 31 y 36 con 6,58 ml/L ubicadas entre Iquique y punta Lobos. La concentración promedio fue de 5,52 ml/L.

Entre la costa y las 40 mn en los primeros 500 m de la columna de agua se observa que las isolíneas tienden a ser horizontales disminuyendo la concentración de



oxígeno desde superficie, alcanzando sus menores valores alrededor de los 200 m ($< 0,25$ ml/L). Desde Arica al sur bajo la profundidad donde se midió la menor concentración incrementa hasta alcanzar valores sobre los 2,0 ml/L (**Fig. 6**).

Latitudinalmente el comportamiento del oxígeno es semejante al que tiene en las transectas costa–océano, isolíneas más o menos paralelas a la superficie, con ascensos y descensos, y bajas concentraciones por debajo de los 200 m, incrementando posteriormente (**Fig. 10**).

1.6 Masas de Agua

En la columna de agua se identificaron cuatro masas de agua (**Fig. 11**). Estas son: masa de agua Subtropical costera (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). Además se aprecia en toda la zona la influencia en los primeros cincuenta metros de la AST oceánica, que es más salina y cálida que la costera.

En la mezcla de agua entre la costa y las 40 mn hubo un predominio de la AST y AESS, además de la masa de agua más salina y temperada de los primeros cincuenta metros, seguido por la AIAA. La influencia de la masa de agua ASAA en toda la zona fue casi nula por lo cercano de las estaciones a la zona costera. En las estaciones en que se realizaron mediciones hasta o cerca de los 1000 m se aprecia la influencia de la masa de agua APP.

Este comportamiento se presenta en toda el área de estudio de norte a sur, como se aprecia en los diagramas T/S (**Fig. 11**).



1.7 Distribución de la biomasa fitoplanctónica durante el crucero RECLAN 9801.

1.7.1 Distribución de clorofila-a y feopigmentos superficiales e integrados

La distribución de los pigmentos vegetales clorofila a (cloa) y feopigmentos (feop) superficiales (**Fig. 12**) indica la presencia de un área de alta concentración, entre Punta Gruesa (transecta 25, Lat. 20°25'S) y sur de Caleta Chipana (transecta 37, Lat. 21° 25'S). La concentración más alta de cloa superficial, equivalente a 5,3 µg/L, se localizó en la transecta 25 a 1 mn de la costa, en las transectas intermedias (i.e. 28, 31 y 34), la concentración de cloa estuvo en el rango 1 a 3 µg/L, habitualmente en las inmediaciones de la zona costera.

Entre la zona costera y las 5 mn, la cloa integrada indica valores en el rango de 100 a 240 mg/m². El gradiente observado tiende a formar un patrón de dilución hacia el sur de la zona de mayor concentración (i.e. transectas 25 a 31), producto del desplazamiento de la isolínea de 100 mg/m² y que se alejó de la costa, llegando hasta las inmediaciones de las 10 mn.

En las transectas comprendidas entre Arica (Lat. 18° 23'S) y norte de Iquique (Lat. 20°10'S) y la zona entre sur de Caleta Chipana (Lat. 21°40'S) y Antofagasta (Lat. 23° 40'S), la concentración de cloa y feop superficiales se mantuvo en valores inferiores a 0,5 µg/L en alrededor de un 90 % de las estaciones. Las pocas estaciones con valores superficiales superiores a 1 µg/L se situaron a 1 mn de distancia de la zona costera, en las transectas 55 (Lat.22°55'S) y 58 (Lat. 23°10'S).



Respecto de los feop la distribución de éstos no formó un patrón de distribución claro, observándose que las mayores concentraciones están situadas a 1 mn en prácticamente toda el área costera, con valores inferiores a 80 mg/m² de feop integrados y 0,7 µg/L de feop superficiales. Como será observado más adelante los feop tampoco presentaran un patrón de distribución batimétrico.

En la **Figura 12**, es posible observar como la cloa superficial deja de describir adecuadamente la estructura biológica de la columna de agua, entre las 5 y 10 mn de distancia de la costa. Toda vez que, aunque la cloa superficial llegó a niveles típicos de sistemas oligotróficos en la superficie, la cloa integrada se mantuvo con valores superiores a 100 mg/m², típicos de zonas de concentraciones relativamente altas de cloa y que indican la existencia de máximos subsuperficiales. Esta misma situación será discutida con mayor detalle cuando se analice la información de la distribución batimétrica de los pigmentos.

1.7.2 Distribución batimétrica de los pigmentos

La distribución batimétrica de la cloa y los feop (**Figs. 13 a la 17**), indica que las mayores agregaciones se observan entre las transectas 22 (Lat. 20° 10'S) y 37 (Lat. 21° 25'S). En la transectas 22, 25 (Lat. 20° 25'S) y 31 (Lat 20° 55'S) la cloa estuvo en el rango más alto encontrado (i.e. 4 a 6,9 µg/L) y se distribuyó entre la superficie y los 25 m. Pasadas las 5 mn la biomasa pigmentaria se profundizó llegando la isolínea equivalente a 1 µg/L hasta los 60 m de profundidad, en las transectas 28 (Lat. 20° 40'S) y 31.



Posteriormente en las transectas 34 (Lat. 21° 10'S) y 37 (Lat 21° 25'S) los máximos se profundizaron, formando núcleos entre los 10 y 25 m de profundidad y alejados de la zona costera, en las estaciones ubicadas entre 5 y 10 mn. En la zona costera sólo se encontró valores inferiores a 1 µg/L.

En las transectas al sur de punta Arenas y hasta Antofagasta, vale decir desde las transectas 40 (Lat. 21 ° 40'S) a la 64 (Lat. 23° 40'S), los niveles de cloa superan levemente el valor de 1 µg/L, con un solo caso mayor de 2 µg/L a una mn de distancia de la costa en la zona de Antofagasta (transecta 64). En esta área de muestreo, la cloa tendió a formar diferentes tipos de agregación, tales como un núcleo menor de 1 µg/L pegado a la zona costera en la transecta 46 (Lat. 22 ° 10'S). En las transectas 49 (Lat. 22° 25'S) a la 58 (Lat. 23° 10'S), la cloa tendió a formar bandas que cubren toda la extensión de la transecta y cuyos valores de cloa están en el rango de 0,5 a 1 µg/L.

En las transectas 61 (Lat. 23° 25'S) y 64 (Lat. 23° 40'S), la cloa aumentó de concentración solamente en las estaciones ubicadas a 5 mn de distancia de la costa, con distribuciones homogéneas entre la superficie y los 25 m, en el rango 0,9 a 2 µg/L. Esta distribución peculiar de la cloa en un parche continuo induce la formación de una zona de concentración superior a 1 µg/L en toda la transecta.

Los feop tienden a formar un patrón parecido al descrito para la cloa pero con magnitudes diferentes, siendo en general los valores de este producto de degradación inferiores a 1 µg/L. Desafortunadamente en el estado actual de este análisis, no es posible deducir si este valor se debe a pigmentos de este tipo o a



pigmentos de otras características y que el método fluorimétrico no es capaz de diferenciarlos.

1.7.3 Distribución de los pigmentos en forma paralela a la costa

La distribución de la cloa y feop en forma paralela a la costa (**Figs. 18, 19 y 20**), es muy parecida a la descrita anteriormente para las transectas perpendiculares a la costa. Esta representación permite observar como la biomasa pigmentaria que se generó en la zona costera, con un núcleo de 6 $\mu\text{g/L}$, provocó que la isolínea de 1 $\mu\text{g/L}$ se ubicara a una profundidad de 50 m y la isolínea de 0,5 $\mu\text{g/L}$ se distribuyera en forma homogénea en toda el área muestreada.

A las 5 mn la isolínea de 0,5 $\mu\text{g/L}$ se discontinuó, tanto en las cercanías de la superficie como a 50 m, por la presencia de masas de agua con valores inferiores a 0,25 $\mu\text{g/L}$. Al mismo tiempo el núcleo de alta concentración (i.e 4-5 $\mu\text{g/L}$) comienza a hundirse y a aumentar su área de distribución hacia la zona sur.

A 10 mn de distancia el núcleo anteriormente descrito, comenzó a disminuir en intensidad y está deslocalizado respecto de los núcleos, situándose más al sur, más profundo y restringiendo significativamente su cobertura espacial. Notándose como las masas de agua con valores inferiores a 0,25 $\mu\text{g/L}$, típicas de sistemas oligotróficos, dominan prácticamente toda la zona.

1.7.4 Distribución de los frentes costeros y la fluorescencia in vivo

Como ha sido descrito anteriormente para la zona, los frentes costeros están asociados casi exclusivamente a la estructura térmica de las masas de agua. Por lo



que solamente esta información será utilizada para describir este proceso para las transectas seleccionadas.

En términos globales, la estructura térmica del sistema permitió la acumulación de biomasa fitoplanctónica, al utilizar la fluorescencia in vivo (fliv) expresada en unidades relativa (UR) como un indicador de ésta, entre la costa y aproximadamente 5 mn (**Figs. 21 a la 23**). Esta situación se pudo observar especialmente en las transectas 4 (Lat. 18° 40'S), 16 (Lat. 19° 40'S), 28 (Lat. 20° 40'S), 35 (Lat. 21° 10'S) y 49 (Lat. 22° 25'S).

1.7.5 Funcionalidad entre la fliv y la temperatura

Para calcular si existió algún grado de funcionalidad entre la fliv y la temperatura se agrupó la información en transectas con y sin frentes costeros, dentro de la categoría con frente costero quedaron las transectas 1, 4, 16, 22, 25, 28, 31, 35, 46, 49 y 52 (**Fig. 24**) y en la categoría sin frente costero quedaron las transectas 1, 7, 10, 13, 19, 37, 40 y 43 (**Fig. 25**).

Al agrupar las transectas, se puede observar que la información tiende a separarse en dos grupos de datos (**Fig. 24**). Al separar estos grupos de datos es posible observar que las transectas 4, 16, 22 y 25 conformaron un grupo de datos, un segundo grupo de datos estuvo constituido por las transectas 28, 31 y 35 y un último conjunto de datos estuvo constituido por las transectas 46, 49 y 52. El aspecto más relevante de esta información es que a temperaturas inferiores de 23°C la fliv aumentó de intensidad en forma exponencial, al mismo tiempo disminuyó en



intensidad a temperaturas mayores de 24°C. A temperaturas mayores de 24°C la curva tiende a comportarse en forma asintótica.

Los mayores registros de fliv se registraron entre las transectas 28, 29 y 35, en las mismas en las que se observó las mayores concentraciones de cloa.

En las transectas en las que no se observó frentes costeros el ajuste de las curvas (**Fig. 25**) es significativo, especialmente en las transectas 1, 7, 10, 13 y 19, aunque el campo de fliv es inferior a las 2 UR y los niveles de cloa son típicos de sistemas poco productivos, tendiendo en general a estar en alrededor de las 1,5 UR. En las transectas más hacia el sur, 37, 40, 43 y 55, no se observó ningún grado de ajuste entre ambas variables.

La funcionalidad entre la fliv y la temperatura en transectas vecinas y con frentes bien desarrollados, y el comportamiento asintótico de la información cuando el campo térmico pasa los 24 °C, indica el efecto significativo de los frentes en la mantención de parches de biomasa fitoplanctónica en la zona. Con un alto grado de predicción, para esta época del año y bajo estas condiciones oceanográficas, del campo térmico sobre la fliv.

Las asociaciones entre las variables oceanográficas de temperatura y salinidad y la biomasa fitoplanctónica se pueden reforzar utilizando la información de cloa versus la temperatura y la salinidad en cada una de las estaciones realizadas (**Fig. 26**). En estas asociaciones puede ser observado que solamente la temperatura superficial es un buen predictor de la biomasa fitoplanctónica superficial, pero no de la cloa integrada, reforzando el concepto que las estructuras superficiales no siempre



corresponden a la estructura biológica de la columna, especialmente cuando en la zona se detectan máximos subsuperficiales de cloa producto de la intrusión de masas de agua cálida. La salinidad no presentó asociaciones significativas con la cloa en ninguno de los planos analizados.

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. 1**. En el área de estudio (Arica-Antofagasta) se efectuaron un total de 67 lances de pesca, obteniéndose en 39 de ellos (58%) 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 y pesos a la talla, sexo y estado de madurez, además de extraer otolitos a aproximadamente un 10% del total muestreado (6.662 ejemplares). 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 se entrega en la **Tabla 2**. Al respecto, la captura total alcanzó los 9.282 kg, de los cuales 7.573 kg (82%) correspondieron a



anchoveta y el resto a otros recursos . En los lances exitosos, la captura de anchoveta por lance presentó una alta variación, fluctuando entre los 0,33-1.495 kg/lance.

Los lances de pesca tuvieron una duración entre los 25-75 minutos (48 minutos como promedio) y se efectuaron en su mayoría entre la superficie y los 50 metros de profundidad (**Tabla 2**), aunque en áreas próximas a Mejillones se debió trabajar con la red hasta profundidades de 160 metros. El esfuerzo total desplegado fue de 53,6 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 9 lances de los cuales 7 fueron exitosos (78%), 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 (58% en número y 23% en peso), aunque también hubieron lances con predominancia de individuos adultos (lances N° 1, 6, 7 y 9) (**Fig. 27 y 30**).

En esta zona se presentó una distribución total polimodal, con ejemplares entre los 5,5-18,0 cm y grupos principales centrados entre los 7,0-8,0 cm (21%); los 13,0-13,5 cm (16%) y los 16,0-16,5 cm (13%) (**Fig. 30**). La mayor parte de los lances se efectuaron entre los 0-15 m profundidad (referida a la posición de relinga superior de la red); el peso promedio para el total de individuos fue de 11,6 g y para la fracción recluta fue de sólo 4,7 g.



En la zona de Iquique se efectuaron 26 lances de pesca entre los 0-30 m de profundidad, 13 de los cuales fueron exitosos (50%) (**Tabla 2**). Los tamaños fluctuaron entre los 6,0-18,5 cm, presentándose dos grupos diferenciables: uno principal entre los 12,5-13,0 cm (18%) y otro secundario entre los 16,0-16,5 cm (17%) (lances N° 23 al 35 para ambos), aunque también hubo una alta presencia de reclutas entre los 9,0-11,5 cm (33%) (lances N° 12, 16, 18 y 19) (**Fig. 27, 28 y 30**). El porcentaje de reclutas en número y peso fue de 48 y 24%, respectivamente; el peso promedio del total de ejemplares fue de 14,5 g y el de los reclutas de 7,2 g.

En Antofagasta se realizaron 32 lances de pesca entre los 0-160 m de profundidad, de los cuales 19 fueron exitosos (59%) (**Tabla 2**). Los tamaños presentaron una amplitud entre los 6,0-18,0 cm y también una distribución polimodal, destacándose nuevamente el grupo de ejemplares adultos entre los 16,0-16,5 cm (28%), un grupo de reclutas entre los 9,5-10,5 cm (20%) y un grupo intermedio entre los 12,0-12,5 cm (11%) (**Fig. 28, 29 y 30**).

El porcentaje de reclutas fue de un 48 % en número y de un 22 % en peso y el peso promedio para el total de ejemplares y para los reclutas fue de 15,6 y 6,8 g, respectivamente, valores similares a los observados en la zona de Iquique.

En términos generales, en el área de estudio (Arica-Antofagasta) se realizaron 67 lances de pesca, capturándose en 39 de ellos (58%) anchoveta, cuyos tamaños fluctuaron entre los 5,5-18,5 cm (**Fig. 30**). Se presentó una distribución de frecuencias polimodal, con un grupo principal situado entre los 16,0-16,5 cm (22%) y dos grupos secundarios: uno entre los 12,0-13,0 cm (18%) y otro entre los 9,5-10,5 cm (18%). El



porcentaje de reclutas fue de 49% en número y 23% en peso. El peso promedio de los reclutas fue de 6,8 g y del total de ejemplares de 14,7 g.

2.3 Determinación de la proporción sexual

En la zona de Arica, se registró como promedio un 47% de hembras, con una presencia mayoritaria en los adultos mayores a los 16,0 cm y minoritaria en los ejemplares de tamaño menor a los 14,0 cm (**Fig. 33**).

En la zona de Iquique, se presentó una mayoría de hembras (53%), excepto en los ejemplares entre los 12,0-12,5 cm y los 15,0-16,0 cm, en que predominaron los machos (**Fig. 33**).

En la zona de Antofagasta, predominaron las hembras (52% como promedio), excepto en los tamaños entre los 15,0-16,0 cm. La tendencia de la proporción sexual por tamaños, fue bastante similar a la observada en la zona de Iquique (**Fig. 33**).

En términos globales, la proporción sexual del stock desovante señala un equilibrio general por sexo en área de estudio, con una leve predominancia de hembras sobre machos en el espectro de longitudes (53% y 48%, respectivamente), diferencia que se acentuó en los adultos entre los 14,0-14,5 cm y los mayores de 16,0 cm. En los tamaños entre los 12,0-12,5 cm y los 15,0-16,0 cm predominaron los machos (**Fig. 33**).

2.4 Determinación de los estados de madurez

En la zona de Arica, el 54% de las hembras adultas se encontró en estado 5 (desove) y el 36% en estado 2, en tanto que en los machos, el 38% y el 41% estaban en



estados 5 y 2, respectivamente. Para machos y hembras en conjunto, se determinó el 45% en estado 5 (desove) y el 39% en estado 2 (**Fig. 32**).

En la zona de Iquique, la mayor parte de las hembras se encontraron en estado 5 (40%) y estado 2 (36%) y, en machos, se observó una total ausencia de ejemplares en estado 5, pero un alto porcentaje en estados 2 y 4 (59 y 35%, respectivamente). En conjunto, predominaron los estados 2 (47%) y 4 (28%) (**Fig. 32**).

En la zona de Antofagasta, las hembras se encontraron mayoritariamente en estados 2 y 5 (76 y 22%, respectivamente) al igual que los machos (74 y 17%, respectivamente). En conjunto, predominaron los estados 2 (75%) y 5 (19%) (**Fig. 32**).

En el área de estudio, el 56% de las hembras se encontraban en estado 2 y el 32% en estado 5 (desove) al igual que los machos (64 y 13%, respectivamente). En conjunto, sólo el 23% de los ejemplares se encontraron en desove, predominando en estado el estado 2 (60%) (**Fig. 32**). 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.

2.5 Determinación de los pesos medios

En la **Figura 31** 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, a igual longitud, los ejemplares presentaron un peso promedio menor a los observados en 1995 y 1996, lo cual es más notorio a tamaños mayores. Dicha situación podría asociarse con cambios en el medio ambiente que hayan afectado la oferta alimenticia, con efectos de densodependencia en el crecimiento somático o con ambos factores en su conjunto (Barría, 1997).

3. Estimación del reclutamiento de anchoveta en peso y número mediante métodos hidroacústicos.

3.1 Calibración del sistema acústico

3.1.1 Calibración electroacústica

La calibración electroacústica del sistema EK-500 del B/I "Abate Molina", se realizó utilizando blancos estándar de cobre de 60 mm de diámetro diseñada para la frecuencia de trabajo de 38 Khz.

Las mediciones se efectuaron en Mejillones el 18 y 19 de noviembre de 1996, midiéndose la frecuencia de 38 en pulsos corto, medio y largo (**Tabla 5**).



Los resultados históricos de las calibraciones presentan variaciones inferiores a $\pm 0,5$ dB, indicando un adecuado nivel de estabilidad y normalidad en el funcionamiento del sistema acústico.

3.1.2 Determinación de la relación funcional de la intensidad de blanco (TS) respecto a la talla de anchoveta.

De los 66 lances en que se recolectó datos de TS, sólo en 11 fue posible discriminar los ecos de anchoveta en la frecuencia 38 khz, se realizaron 3 experiencias con el barco a baja velocidad posteriormente a los lances de pesca y 3 experimentos con el barco fondeado.

Los intervalos de clase considerados para los histogramas de las intensidades de blanco y las tallas de anchoveta fueron 0,5 dB y 0,5 cm, respectivamente. Las modas de los TS variaron entre -49,5 y -51,0 dB, valores que se modificaron entre -0,03 y 1,21 dB al aplicarles la función PDF. Las modas de las tallas de peces variaron entre 10 y 16,5 cm. En las **Figs 34 a 36**, se presentan los histogramas de los TS y de las respectivas tallas de los peces, utilizados en el ajuste de la ecuación de regresión final. En la **Tabla 6** se presentan los resultados de los TS modales con las respectivas modificaciones por la aplicación de la función PDF.

Con los datos recolectados durante los lances de pesca se ajustó la ecuación de regresión entre los TS filtrados por el método del PDF y las tallas de los peces para el pulso medio, los experimentos efectuados con el barco detenido o posteriormente a los lances de pesca permitieron ajustar la relación funcional. Dada la similitud entre



ambas ecuaciones, se ajustó una regresión común con los pulsos corto y medio y con ambas condiciones experimentales (**Fig. 37**).

La regresión ajustada para la condición experimental denominada “lances” y pulso medio fue:

$$\begin{aligned} TS &= 18,66 \text{ LOG L} - 72,09 \\ r^2 &= 0,95 \\ n &= 8 \end{aligned}$$

La ecuación para la condición experimental “barco parado o baja velocidad” con pulso corto fue:

$$\begin{aligned} TS &= 19,35 \text{ LOG L} - 72,78 \\ r^2 &= 0,88 \\ n &= 4 \end{aligned}$$

La ecuación común para las dos condiciones experimentales y ambas longitudes de pulso fue:

$$\begin{aligned} TS &= 18,81 \text{ LOG L} - 72,23 \\ r^2 &= 0,94 \\ n &= 12 \end{aligned}$$

La ecuación estandarizada al modelo general fue:

$$TS = 20 \text{ LOG L} - 73,55$$



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 (**Tabla 7 y 8**).

Los antecedentes de TS "**in situ**" para peces pelágicos pequeños son escasos a nivel mundial y mas aún en las especies presentes en el Pacífico sur, existiendo sólo algunos resultados informados para la anchoveta (**Engraulis ringens**) por Córdova **et al.** (1995) que evidentemente fueron sobrestimados por la detección de ecos múltiples, Castillo **et al.** (1996), informa una ecuación que probablemente estuvo subestimada debido a un ángulo corporal de los peces provocado por el escape de los peces al paso del barco. Castillo **et al.** (1996) informa una ecuación de TS/L para la sardina común (**Strangomera bentincki**) que se ajusta bastante bien a los resultados alcanzados en el hemisferio norte, latitudes para el arenque y clupeidos en general.

Castillo **et al.** (1997) , informan una ecuación de regresión para anchoveta en la zona norte de $TS=20\text{LOG } L - 73,739$, ecuación que despues de un retroanálisis se modificó a $TS=20 \text{ LOG } L - 73,47$, ambas ecuaciones se encuentran dentro del orden de magnitud y son muy comparables a la obtenida en el presente trabajo, difiriendo solamente en 0,08 dB.

Al comparar los resultados alcanzados en el presente estudio con los informados por Foote (1987); Foote **et al.** (1986) ; Dengol (1985) en mediciones nocturnas de Herring (**Clupea harengus**) se registran diferencias entre 4,05 y 0,95 dB, siendo menor para el caso de la anchoveta, pero con diferencias menores a 0,05 dB respecto a lo informado por Forbes (1985). Halldorsoon (1983), señala para el herring una ecuación $TS=21,7 \text{ LOG } L - 75,5$, la que indica un $TS=-51,7$ dB para un pez de 12,5 cm,



mientras que la ecuación ajustada en el presente trabajo determina un $TS = -51,6$ dB, resultando prácticamente iguales (**Tabla 9**). Foote (1986), recopiló todos los trabajos de medición del TS disponibles a la fecha y determinó para fisóstomos o clupeidos una ecuación $TS = 20 \text{ LOG } L - 71,9$, que es alrededor de 1,6 dB mayor que la alcanzada en el presente trabajo.

Barange (1994) informa para la anchoveta del Cabo (**Engraulis capensis**) TS de -57,84 y -57,73 dB para peces de tallas 7,5 y 7,34 cm, respectivamente, valores que son alrededor de 1,7 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 2,5 dB menor al alcanzado en el presente estudio.

El análisis anterior indica que la ecuación TS/L de anchoveta obtenida en el presente estudio, se encuentra entre las ecuaciones obtenidas para el arenque en el mar del norte y la anchoveta del Cabo en sudáfrica., sugiriendo diferencias biológicas entre las especies que motivan las diferencias en la respuesta acústica. En este sentido, la comparación debe ser realizada respecto a los resultados presentados por Barange (1994) y Barange **et al.** (1996), puesto que es el único autor, de la bibliografía disponible, que ha logrado realizar calibraciones en engráulidos.

Las altas coincidencias entre los resultados alcanzados en el presente trabajo, con los registrados por Castillo **et al.** (1997) ($TS = 20 \text{ LOG } L - 73,47$) en el desarrollo del proyecto FIP 96-02 y los obtenidos después de un nuevo análisis con datos recolectados en el proyecto FIP 95-01 (RECLAN 9601) ($TS = 20 \text{ LOG } L - 73,55$), valida las ecuaciones ajustadas.



Por otra parte, al contrastar los TS_{kg} de la anchoveta obtenidos en el presente estudio con los informados por Barange **et al.** (1996) ($TS_{kg} = -12,15 \text{ LOG } L - 21,12$) para peces de 12 cm, se aprecia que las diferencias son cercanas a 1,3 dB, reduciéndose las diferencias de 2,5 dB observado al comparar las relaciones TS/L , sugiriendo diferencias en las relaciones de crecimiento en peso para las dos especies, factores que podrían explicar las divergencias en ambas relaciones funcionales del TS y L .

3.2 Estimación de la biomasa de anchoveta

3.2.1 Método tradicional

De acuerdo a los resultados antes expuestos y discutidos, la biomasa de anchoveta fue estimada mediante la ecuación $TS = -73,55 + 20 \text{ LOG } L$.

Se determinó un TS de - 51,68 dB, correspondiente a la talla media general ponderada por la frecuencia de todos los lances (12,4 cm). De acuerdo a la relación peso-longitud determinada para la anchoveta en el presente crucero, el peso correspondiente a la talla fue, 13,59 g, resultando finalmente un $TS_{kg} = -33,02 \text{ dB/kg}$.

La biomasa de anchoveta alcanzó a 647.760 t (**Tabla 10**), con una densidad promedio de 202,7 t/mn².

Las mayores concentraciones de biomasa de anchoveta se presentaron entre las transectas 3 - 4; 55 - 56; 63 - 64 y las intertransectas costeras 132 a 135, 150 y 165-167 (**Fig. 38**), sectores que corresponden a las zonas Arica a norte de punta Argolla (18 50'S); en las cercanías de Pisagua; desde Iquique a caleta Patillos (20 40'S);



desde punta Lobos (21 00'S) a punta Arenas (21 40'S); y en las cercanías de Mejillones, en estos sectores se concentró el 16,6% de las lecturas acústicas totales del crucero, valor que resulta bajo si se compara con los altos niveles de agregación detectados en otras oportunidades, como ejemplo se puede citar el resultado registrado en el crucero RECLAN 9611, en que el 35,1% de la biomasa detectada estuvo concentrada en 3 transectas (Castillo *et al.* 1997). Lo anterior sugiere una reducción en el grado de contagio de la especie, respecto a otros cruceros.

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 22,6%, estimándose en consecuencia una biomasa de reclutas de 146.394 t.

La talla promedio determinada para toda la zona de estudio fue 12,4 cm, valor que determinó un peso promedio, en base a la relación L-Peso ajustada para el presente crucero ($\text{Peso} = 0,00664 L^{3,02828}$), de 13,59 g. De este modo, la biomasa total expresada en número de ejemplares, fue de 44.065,30612 millones de ejemplares. La fracción de reclutas en número fue de 48,8%, determinándose en consecuencia una biomasa de reclutas en número de 21.592 millones de ejemplares (**Tabla 11**).

3.2.2 Biomasa por talla (método acústico)

La biomasa de anchoveta por talla, calculada según el método acústico, fue de 728.117 t, con una densidad total de 235,2 t/mn², la biomasa correspondiente a los ejemplares con tallas inferiores a 12 cm (reclutas) alcanzó a 156.103 t (**Tabla 12**). La abundancia en número para el total y los reclutas fue de 44.208,377 y 21.506,953 millones de ejemplares, respectivamente



La distribución por tallas de la abundancia de anchoveta en número, es claramente polimodal, con una moda principal centrada en los 16 cm y dos secundarias en 10,5 y 12,5 cm. La expresión en peso de la biomasa por talla para las transectas e intertransectas también presenta una distribución bimodal, con una moda secundaria en 12,5 cm y la principal en 16 cm, en este caso, se sugiere la formación de una tercera moda en 10,5 cm (**Fig. 39**).

3.2.3 Estimación de la biomasa mediante geoestadística y descripción de las estructuras

El área prospectada presentó un 77% de valores con IBM cero. Por lo que el polígono de distribución de la anchoveta consideró el 51% de las IBM's totales del crucero. El área de distribución considerada alcanzó a 1.836 mn², reduciéndose a un 59,3% respecto al valor considerado en el procedimiento anterior.

El variograma isotrópico ajustado presenta un 72% de efecto pepita, no presentando macroestructuras significativas (**Fig. 40**). Los variogramas anisotrópicos en dirección norte-sur y este-oeste tampoco presentan macroestructuras significativas.

La biomasa total de anchoveta estimada con el método intrínscico de covarianza no centrada de la teoría de las variables regionalizadas, restringido al polígono de distribución del recurso fue de 664.628 t (**Tabla 12**), valor que de acuerdo a la talla promedio total (12,4 cm) y al peso medio deducido de la relación L-Peso (13,59 g), representó 48.905,6659 millones de individuos.

La biomasa en peso y número de la fracción reclutas se estimó en 150.206 t y 23.865,965 millones de individuos, respectivamente.



3.2.4 Precisión de los estimados de biomasa de anchoveta

Los coeficientes de variación (CV) de los estimados de la biomasa total de anchoveta variaron entre 0,15 y 0,21 según el método de estimación utilizado, (**Tabla 10 a 12**), registrándose la mayor precisión con el método de Estratos Agrupados, lo que se expresó en un error del 29,1 a 35,6 % , siendo de similar nivel para el método de los conglomerados y bootstrap.

La fracción reclutas presentó coeficientes de variación (CV) entre 0,32 y 0,34, siendo menor para el método de los estratos agrupados, en la **Tabla 10** 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 12**. En este caso el CV fue 0,152, 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 24,9%.

3.3 Distribución espacial de la anchoveta

La distribución espacial de la anchoveta (**Fig. 41**) se caracterizó por su presencia permanente en toda la zona de estudio, en el sentido latitudinal; su alta asociación con la franja costera, en el sentido longitudinal, ubicándose hasta las 4 mn de la costa y su alto nivel gregario, registrándose importantes concentraciones en áreas relativamente pequeñas. En este último 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 5 mn desde Iquique a



caleta Patillos (20°40'S); entre la costa y el límite occidental de la prospección (10 mn); desde punta Lobos (21°00'S) a punta Arenas (21°40'S); entre la costa y las 10 mn desde punta Grande (22°28'S) a Mejillones y a la cuadra de Antofagasta . Las mayores concentraciones de anchoveta se presentaron en el sector ubicado al sur de Iquique y en las cercanías de Mejillones.

Considerando los resultados alcanzados en los lances de pesca y la distribución geográfica de la anchoveta, es posible diferenciar dos sectores desde el punto de vista de dominio de los reclutas, es así como se puede calificar como de dominio de reclutas, a los sectores ubicados entre Arica y punta Argolla; al sector cercano a Pisagua ; al sector ubicado entre Iquique y caleta Patillos y desde punta Grande a Antofagasta. Mientras que entre punta Patache y Punta Grande es posible calificarlo como de baja presencia o ausente de reclutas (**Fig. 42**).

Batimétricamente, la anchoveta se ubicó entre los 10 y 120 m (**Fig. 43**), registrándose el mayor número de agregaciones entre los 20 y 30 m. Esta distribución estuvo asociada a las isotermas de 18 a 25° C, ubicándose preferentemente entre los 21 y 23 °C y salinidades entre 34,9 y 36,9, con las mayores frecuencias de cardúmenes entre 35,4 y 35,9 psu. Es importante destacar la profundización de la especie a niveles que son absolutamente inusuales, éste fenómeno ya había sido detectado en la primavera de 1996 (RECLAN 9611) por Castillo *et al.* (1997) en que se registró a la anchoveta entre 10 y 30 m, estratos que son mayores que en otras ocasiones pero que en ningún caso alcanzó los niveles del presente crucero.

En todo caso los rangos de distribución de la temperatura y salinidad son extremadamente altos e inusuales para esta especie.



3.4 Índices de cobertura y densidad de anchoveta

Los Índices 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 29,44 % del área prospectada (**Tabla 13**), mientras que el ID alcanzó a 640,9 t/mn².

4. Análisis histórico de las condiciones climáticas y oceanográficas que afectan al reclutamiento de anchoveta en la zona norte.

4.1 Estaciones Costeras

4.1.1 Viento

La serie de tiempo de promedios mensuales de la intensidad del viento en Arica muestran un predominio de la componente V (norte-sur) en el período de 1971 a 1997, 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 1991 la intensidad fluctuó entre 1,5 y 8 m/s, posteriormente disminuyó a valores entre 1 y 5 m/s. En la componente V se aprecia el ciclo anual, es decir máximas intensidades en verano y menores en invierno, ésto no ocurre en la componente U, en donde no se ve un ciclo anual hasta 1992, año en que éste aparece claramente. El ciclo anual en la componente V en los años 72-73 y 77-78 se ve modificado, llegando a ser menores las intensidades del verano respecto al invierno (**Fig. 44**).

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. 47**). Ambos índices presentaron una disminución cercana al 50% en sus valores a partir del año 1992. Respecto al número de elementos Lasker se ve un aumento en el tiempo, hasta tener el máximo de eventos posibles por mes (**Fig. 44**).

En Iquique la serie de tiempo (1982-1997) 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 7 m/s, a diferencia de la componente U que lo hace entre 0 y 5 m/s (**Fig. 45**). 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. 47**). Respecto al número de eventos Lasker se aprecian meses en que no se presentó ninguno hasta meses en que se tuvo el máximo de eventos posibles. 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. 45**).

En Antofagasta 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, 83 y 87 presento



disminuciones más fuertes en su intensidad, además desde 1992 en adelante se ve una mayor fluctuación desde valores cercanos a 0 hasta 5 m/s (**Fig. 45**). La componente U tuvo mayores intensidades en el verano 73-74 y el invierno del 76, posteriormente a 1992 las intensidades en verano han aumentado hasta 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**).

El ciclo anual de los índices de surgencia y turbulencia muestra que los promedios mensuales de la estación meteorológica de Antofagasta son más altos que los de Iquique y Arica, siendo los de esta última localidad los más bajos. 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 (**Fig. 47**).

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. 48**), 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. 49**). Desde 1971 a fines de 1976 de acuerdo con las anomalías acumuladas se estuvo en 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 inicio de nuevo el calentamiento producto del fenómeno de El Niño (**Fig. 50**).



El ciclo anual 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 (**Fig. 47**).

Al comparar la temperatura superficial del mar en Arica, Iquique y Antofagasta durante los últimos eventos El Niño (71-72, 82-83, 86-87, 91-92 y 97-98) se ve como durante el invierno del primer año el promedio mensual está por debajo del promedio histórico (Arica y Antofagasta) y que desde la primavera empieza a subir la temperatura por sobre el promedio histórico, alcanzando su máximo valor entre diciembre y marzo. Durante el invierno del segundo año la TSM se mantiene por sobre el valor histórico. Los valores muestran que el evento del 82-83 ha sido el más intenso hasta la fecha, y que el evento actual presentó una fuerte anomalía positiva durante el invierno del primer año (1997), incluso en Arica esta anomalía se observó meses antes (febrero 1997) (**Fig. 51**).

4.2 Condiciones hidrográficas durante los cruceros del periodo 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 muestra 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 último invierno la temperatura estuvo entre los 18 y 20°C, siendo el



invierno más cálido del período (**Fig. 52**). Las imágenes de las anomalías de temperatura indican que respecto a los valores históricos la temperatura superficial del mar generalmente presenta anomalías entre $-0,5$ y $0,5^{\circ}\text{C}$, con las mayores anomalías positivas sobre un grado Celcius en los años 1987, 1992, 1993 y 1997 (años cálidos), y las mayores anomalías negativas bajo de -1°C en 1991, 1995 y 1996 (años fríos) (**Fig. 53**).

La distribución temporal en la columna de agua (**Fig. 54**) a 5 millas náuticas de la costa muestra la variabilidad anual e interanual de las isotermas en los primeros 500 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. También se ve que a las 5 millas las isotermas de 12 y 13°C se profundizan durante los años cálidos en casi 200 m (82-83, 87, 92, 94 y 97), lo cual se puede asociar al paso de una onda Kelvin, la que tiene su mayor amplitud en el sector costero.

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. 55**). Las anomalías están en el rango de $-0,5$ a $0,5$ psu, con predominio de anomalías entre $-0,1$ y $0,1$ psu. Los años con anomalías positivas por sobre los $0,1$ psu fueron 1984, 85, 92, 93 y 97, en este último se alcanzaron las mayores anomalías positivas del período ($>0,2$ psu). Mientras que los años con anomalías por debajo de $-0,1$ psu fueron 1986, 91, 95 y 96, este último presenta las máximas anomalías negativas del período ($< -0,2$ psu) (**Fig. 56**).



4.3 Distribución geográfica de la anchoveta y las condiciones bio-oceanográficas

4.3.1 Densidad de anchoveta

Los mapas de distribución de la anchoveta están basados en 9900 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. 57**).

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 (**Fig. 58**).

En términos de importancia, el mayor aporte es realizado por el sector llamado costero, donde el área costera-norte contribuye con el 36%, el área 2 costera-sur



aporta el 33%, mientras que el área 3 (oceánica-norte) realiza una contribución del 21% y el área oceánica-sur contribuye con sólo el 10% 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 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. Los mayores valores de IDA se estimaron para los años 1986 con $64,65 \text{ t/mn}^2$ y 1994 con $34,42 \text{ t/mn}^2$. 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 (**Fig. 57**). En el período 1989 a 1993 la anchoveta presentó en general una baja densidad, con un valor promedio de IDA que fluctuó entre $1,31 \text{ t/mn}^2$ en 1989 a $4,08 \text{ t/mn}^2$ 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.60**). 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 mn^2 con una desviación estándar de 4.718 mn^2 . En los dos primeros años del estudio alcanzó niveles de 25.756 mn^2 en 1985 y las 26.368 mn^2 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 mn^2 . 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 mn^2 .

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 (**Fig. 58**). 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 (**Fig. 57 y 60**).

4.3.3 Larvas

Los mapas de abundancia de larvas de anchoveta indican una distribución agregada (**Fig. 61**), 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 mg/m³ con una desviación estándar de 1,481 mg/m³.

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 mg/m³ respectivamente, mientras que en los años 1994 y 1995 los valores son significativamente más bajos con sólo 0,876 y 1,007 mg/m³, respectivamente. Las condiciones eutróficas se presentan preferentemente en la zona costera (**Fig. 62**).



En efecto, en la zona norte-costera en el año 1989 la cloa-a promedio alcanza los 4,948 mg/m³ y la zona sur-oceánica los 3,56 mg/m³. 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 (**Fig. 62**).

4.3.5 Condiciones bio-oceanográficas y la distribución de la anchoveta

4.3.5.1 Presencia 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 18°C, con la mayor abundancia asociada a las TSM de 16 y 17°C (**Fig. 63**).

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 1992, 1993 y 1995, donde además se presenta la anchoveta en aguas de 13°C, asociada a la zona costera.

Por otra parte, en los años cálidos 1987, 1992, 1993 y 1994 la anchoveta se presenta también en aguas de 18°C, aunque con una escasa presencia, en efecto 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. 52 y 57**).



Los índices de asociación de Cr, entre la temperatura y la distribución del recursos 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 34,3 psu a los 35,1 psu, con las mayores abundancias asociadas a valores de 34,7 y 34,8 psu (**Fig. 64**).

En los períodos 1985 a 1988 y 1994 a 1995 la anchoveta se presenta preferentemente en la moda de 34,7 psu. Mientras que en los años 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 1994 (**Fig. 65**), 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° y 17°C, aunque con variaciones interanuales (**Fig. 66**).

Al inicio del período de estudio, en los años 1985 y 1986 y además en el año 1992 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 el año 1993 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, 3 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 0,4% 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 (**Fig. 67**), 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 y cerca del 30% de las celdas con aguas eutróficas, especialmente en los años 1989 y 1995, mientras que en los años 1990 y 1994 existe una mayor distribución de huevos en celdas de condiciones oligotróficas (**Fig. 65**).

Los índices de Cr indican una asociación moderada entre la distribución de los huevos de anchoveta y la cloa **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 (**Fig. 68**).

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 35,3 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 más salinas en el período cálido 1992 a 1994, hecho particularmente notorio en el año 1993 (**Fig. 69**).

Los índice 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 (**Fig. 65**).

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**).



4.3.5.4. Modelo

Para el período de estudio considerado se ajusta un modelo que permite estimar la densidad de anchoveta de un año t a partir de los índices de densidad de huevos y de las larvas de anchoveta y la TSM y la salinidad del año $t-1$. El modelo se ajusta con $F(4,35) = 8,74$, donde $p < 0,005$, en error estándar del estimado es 19,13, R^2 multiple es 0,50 y R^2 ajustado es 0,442. Los parámetros son:

- intercepto: -1172,07
- IDH: -0,003
- IDL:: 0,01
- salinidad: 38,15
- TSM: -9,17

Considerando la totalidad del área, el modelo explica el 44,2% de la varianza del índice de densidad. Las pruebas de significancia de la regresión indican para IDH el test $t = -2,11$ con $p < 0,05$, para IDL el test $t = 4,26$ con $p < 0,05$, para la salinidad el test $t = 1,32$ con $p > 0,05$ y para la TSM el test $t = -1,132$ con $p > 0,05$. Este modelo indica la alta dependencia entre la densidad de la anchoveta y los índices de densidad de huevos y larvas, además muestra la baja dependencia entre el índice de densidad de la anchoveta y la salinidad y la temperatura superficial del mar.

El modelo descrito puede presentar ciertas limitaciones en su ajuste porque en el área oceánica-sur la presencia de anchoveta es escasa, y la de los huevos y larvas es baja. Se ajustó entonces un modelo que considerara en forma conjunta el área oceánica-norte y las áreas costeras norte y sur. El resultado muestra que se mejora



el ajuste de la regresión, obteniéndose un $F(4,28) = 15,11$ con $p < 0,005$ y un error estándar estimado de 16,465, con parámetros del modelo de:

- intercepto: -1148,355
- IDH: 0,0037
- IDL: -0,0007
- salinidad: 37,2107
- TSM: -8,8094

El modelo explica el 63,8% de la varianza de la densidad de la anchoveta y muestra una dependencia entre el índice de densidad de la anchoveta y el índice de densidad de los huevos ($t=5,600$).

Los resultados encontrados con los ajustes de los modelos son concordantes con los encontrados en la comparación entre la distribución de la anchoveta y las condiciones bio-oceanográficas, donde los índices de Cramer más altos se obtienen entre la distribución de la densidad y los huevos y las larvas (**Tabla 14**).

5. Caracterización los procesos oceanográficos de pequeña escala que influyen directamente sobre la tasa de producción biológica que se generan en una zona de reclutamiento de anchoveta y que afectan el hábitat de la especie.

5.1 Variables físicas y distribución de nutrientes

En las tres zonas de estudio, Océano, Frente y Costero la hidrografía estuvo dominada por la presencia del fenómeno de El Niño; existiendo una fuerte presencia en superficie de Agua Subtropical (AST), con una acentuada salinidad y



altas temperaturas. En la zona Costera la temperatura superficial del mar (TSM) fue de 21,2°C mientras que en la zona Oceánica la TSM fue de 24,3°C. En la zona del Frente la TSM fue de 22,7°C. En la zona Costera la columna de agua se presentó débilmente estratificada con un quiebre en el gradiente térmico aproximadamente a los 10 metros de profundidad (**Fig. 70**). La zona Oceánica presentó una termoclina muy débil aproximadamente a los 28 m (**Fig. 71**) y en la zona del Frente una termoclina débil se ubicó aproximadamente a los 20 m (**Fig. 72**). Lo anterior evidencia una profundización de la termoclina desde los sectores costeros hacia mar afuera.

La fluorescencia mostró marcadas diferencias entre las estaciones Costeras, las estaciones Oceánicas y las estaciones del Frente. En la zona costera se registraron altos valores de fluorescencia en la capa de mezcla (**Fig. 70**), siendo casi un orden de magnitud menor bajo la termoclina. Por otra parte, tanto en la zona del frente como en la zona Oceánica se registraron peaks sub-superficiales de clorofila **a** en y debajo de la termoclina; hay que señalar, sin embargo, que los niveles de fluorescencia de los peaks subsuperficiales fueron aproximadamente un orden de magnitud inferior que los niveles de fluorescencia encontrados en la capa de mezcla de la zona Costera.

Los nutrientes inorgánicos en la capa superficial oceánica se mantuvieron por debajo de 0,5 $\mu\text{mol l}^{-1}$. El rango de nitrato en la superficie fue de 0 - 0,26 $\mu\text{mol l}^{-1}$, el de nitrito de 0- 0,37 $\mu\text{mol l}^{-1}$ el de fosfato de 0,12- 0,54 $\mu\text{mol l}^{-1}$ y el de silicato de 0- 0,39 $\mu\text{mol l}^{-1}$. En la capa superficial costera se obtuvo para el nitrato un rango entre 0- 3,45 $\mu\text{mol l}^{-1}$, para el nitrito de 0,04- 0,21 $\mu\text{mol l}^{-1}$, el silicato de 0 - 1,5 $\mu\text{mol l}^{-1}$ y para el fosfato valores entre 0,2- 0,63 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Para la capa superficial de la estación



frente, los valores de nitrato fluctuaron entre 0- 0,41 umol l^{-1} , para el nitrito de 0,02- 0,08 umol l^{-1} , el fosfato de 0,16- 0,84 umol l^{-1} y el silicato entre 0- 0,39 umol l^{-1} .

El promedio integrado de los nutrientes inorgánicos en la capa de mezcla (28 m) de la estación oceánica para nitrato, nitrito, fosfato y silicato fueron de 1,219, 0,458, 1,491, 2,037 $\text{umol l}^{-1} \text{ m}^{-2}$; respectivamente. Para la capa de mezcla de la estación costera (10 m), los valores que se obtuvieron fueron 13,4 $\text{umol l}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para el nitrato, 1,4 $\text{umol l}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para el nitrito, 3,8 $\text{umol l}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para el fosfato y 4,9 $\text{umol l}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para el silicato. La estación Frente con una profundidad de capa de mezcla de 20 m presentó valores integrados de 0,346; 0,3145; 1,968; 0,8275 $\text{umol l}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para nitrato, nitrito, fosfato y silicato respectivamente.

Los valores de clorofila- a integrados para la zona fótica se muestran en la **Fig. 73**. Los valores más altos se registraron en la estación costera con un rango de 23,74- 190,84 mg m^{-2} . Durante los dos últimos muestreos, a las 22:37 y 02:37 hrs de día 28 y 29 de enero se obtuvieron los valores más altos; 178,724 y 190,84 ug m^{-2} ; respectivamente. El promedio integrado de las clorofilas de la capa fótica en la zona costera fue de 366,98 mg m^{-2} . En la estación oceánica el rango de valores integrados fue de 13,95 - 25,3 mg m^{-2} , obteniéndose los valores más altos correspondientes a 25,3 y 23,3 UNIDADES entre los días 27 y 28 de enero a las 22:41 y 02:35 hrs respectivamente. El promedio de la clorofila-a integrada en la capa fótica de la estación oceánica fue de 105,308 mg m^{-2} . Para la estación frente el rango de los valores obtenidos fluctúa entre los 20 a 30,74 mg m^{-2} , registrando valores más altos el día 26 de enero correspondientes a 30,74 a la 07:41 hrs y de 29,35 mg m^{-2} a la 13:42 hrs. El promedio integrado de las clorofilas en esta estación corresponde a 154,17 mg m^{-2} .



En la estación costera se registró un aumento en la clorofila **a** integrada durante el día de muestreo, mientras que en la estación del frente existió una disminución progresiva de los valores de clorofila-a. En la zona oceánica los valores (a excepción de una medición a las 18:03 horas) de clorofila a integrada se mantuvieron relativamente constantes (**Fig. 73**).

5.2 Producción Primaria bruta PPB y Respiración comunitaria (RC)

La producción primaria bruta se estimó a partir del método Winkler de las botellas claras y oscuras y en dos ocasiones a modo de comparación, se incubaron en forma concurrente muestras con ^{14}C para verificar la exactitud de los métodos utilizados. Los valores de PPB y RC obtenidos están resumidos en la **Tabla 15**. Los valores más altos de producción primaria bruta se registraron en la estación costera ($3,03 - 5,1 \text{ gC m}^2 \text{ d}^{-1}$), mientras que los valores más bajos se registraron en la zona del Frente ($0,8 - 1,3 \text{ gC m}^2 \text{ d}^{-1}$). La zona oceánica registró un rango de valores de $0,86 - 2,63 \text{ gC m}^2 \text{ d}^{-1}$. La respiración comunitaria (RC), la cual mide el consumo total de la materia orgánica por toda la comunidad microplanctónica, fue de $1,7 - 2,63 \text{ gC m}^2 \text{ d}^{-1}$ en la zona costera y de $1,2 - 2,63 \text{ gC m}^2 \text{ d}^{-1}$ y $2,2 - 2,83 \text{ gC m}^2 \text{ d}^{-1}$ en la zona oceánica y del frente respectivamente.

5.3 Producción Secundaria (Zooplancton)

El peso seco del zooplancton fue mayor en la estación Frente (promedio (desviación estándar) $2,8 (2,1 \text{ g m}^{-2}, n=6)$) que en las estaciones Oceánica ($1,5 (0,5 \text{ g m}^{-2}, n=4)$) y Costera ($1,8 (0,9 \text{ g m}^{-2}, n=6)$).



Las abundancias de zooplancton distribuidas en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150 m de profundidad) evidenciaron que, en general, tanto especies claves como grupos mayores, se distribuyen preferentemente en el estrato superior (0-50 m) en las estaciones costeras y oceánicas (**Fig. 74 y 76**). Esto contrasta con la distribución vertical de zooplancton en la estación frente, donde mayores abundancias fueron encontradas en el estrato 50-150 m (**Fig. 75**).

Las abundancias integradas para los primeros 150 m de la columna de agua (en las tres estaciones de muestreo) indicaron que el grupo dominante del zooplancton estuvo constituido por los copépodos calanoídeos de pequeño tamaño (promedio (desviación estándar) (24296 (5187 ind. m⁻²), seguido de los copépodos ciclopoídeos (14381 (5002 ind. m⁻²), los quetognatos (6914 (4206 ind. m⁻²) y las apendicularias (4296 (1774 ind. m⁻²).

Los copépodos de pequeño tamaño (0,7-1,2 mm) son los que contribuyen mayoritariamente a la tasa de ingestión total del zooplancton quitinoso, con valores que fluctuaron entre 27% en la estación Costera hasta 40% en la estación Frente. Los eufáusidos también contribuyen en forma significativa a la tasa de ingestión total del zooplancton quitinoso con valores que fluctuaron entre 12% en la estación frente hasta 36% en la estación costera (**Tabla 16 y 17**).

Las tasas de ingestión del zooplancton no mostraron un patrón con valores significativamente más altos durante la noche. En la estación costera el valor promedio y desviación estándar fue de 68 (13 mgC m⁻² d⁻¹, lo que equivale aproximadamente a 1,3% de la producción primaria en esa estación. Similares estimaciones para las estaciones Frente y Oceánica fueron 69 (19 mgC m⁻² d⁻¹, con un



8,7% de la PP y 52 ($2 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, con un 4,7% de la PP, respectivamente (**Tablas 18, 19 y 20**).

Las **Fig. 77, 78 y 79** utilizan los datos de Producción primaria bruta y respiración comunitaria obtenidas con las incubaciones **in situ** y las mediciones de tasas de pastoreo estimadas de los estudios sobre el zooplancton.

En la estación costera la tasa de producción de materia orgánica fue casi el doble ($5,13 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) que la tasa de consumo por toda la comunidad microplanctónica ($2,6 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); produciéndose un excedente neto diario de $2,53 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, en esta estación el zooplancton utilizó sólo una pequeña fracción de la materia orgánica producida ($0,07 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). En la estación oceánica la tasa de producción primaria ($1,1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se mantuvo en balance con la tasa de respiración $1,23 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y la tasa de pastoreo fue de nuevo relativamente pequeña ($0,05 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). En la estación frente se registró una utilización mayor de materia orgánica ($2,8 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) que la producida ($0,8 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y la tasa de pastoreo fue similar a la registrada en la estación costera ($0,07 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Condiciones oceanográficas asociadas al proceso de reclutamiento de anchoveta, medidos durante el crucero RECLAN 9801.

1.1 Surgencia

De acuerdo con el criterio que establece 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 calma, ya que el 52,78% de los vientos fueron menores o iguales a 5 m/s, y por lo tanto no se observaron zonas de surgencia costera en los perfiles verticales de temperatura ni en la distribución superficial de la temperatura. Las bajas intensidades del viento se reflejaron en los índices de surgencia y turbulencia que tuvieron como promedio 400 m³/s por 1000 de costa y 172 m³/s³, respectivamente (**Fig. 2**).

Al inicio del crucero el sistema de presiones estaba de tal forma que en la transecta frente a Arica el viento era del norte con bajas intensidades, reflejándose en índices de surgencia negativos bajos, indicando que el sistema costero estaba en una fase de relajación, mientras que el aumento de la intensidad del viento y su dirección S-SW al final del período de estudio coincidente con la toma de muestras desde la península de Mejillones al sur generó mayores valores de los índices y un leve enfriamiento del agua superficial en la zona costera (**Fig. 2**).

Al comparar las observaciones de viento del crucero con la información histórica de las estaciones meteorológicas, se aprecia que a pesar de haber un período de calma



durante la mayor parte del crucero, se observó que las mayores intensidades se presentaron en Antofagasta respecto a Iquique y Arica. En enero, el transporte y la turbulencia en la zona de estudio alcanzaron o estuvieron por alcanzar sus máximos valores, con la excepción de Antofagasta que usualmente ocurre en diciembre (**Fig. 80**), situación no observada este año, producto del evento ENSO.

De acuerdo al número de eventos Lasker, el área de Arica es una zona de calma durante casi todo el año (92% de los días), seguido por Iquique con un 52% de los días del año y finalmente Antofagasta con 47%, lo que es coincidente con lo encontrado por Cubillos y Fuenzalida (1994) para Iquique y Antofagasta. En Arica durante los años 72-73 y 76-77 el total de eventos disminuyó a menos del número normal de eventos (300).

1.2 Temperatura y Salinidad

Las observaciones de temperatura del crucero presentaron en superficie valores entre 21,7 y 26,1°C e históricamente los valores en superficie entre la costa y las 40 mn han estado entre 13,7°C en la zona costera producto de procesos de surgencia y los 25°C hacia el área oceánica. Al comparar la temperatura superficial del mar contra el promedio mensual histórico de los cruceros realizados por el IFOP se determinó que la anomalía de la TSM fluctuó entre 0,9 (a la cuadra del río Loa) y 6,5°C (entre Tocopilla y Mejillones), siendo este último valor una de las más altas anomalías observadas (**Fig. 3**). Respecto al crucero de diciembre de 1997 (MONOR9712) la temperatura superficial aumentó en promedio en cerca de 2°C.



La isoterma de 15°C fue registrada entre los 122 y 180 m de profundidad y de acuerdo con los datos históricos de los cruceros realizados en los meses de enero, la isoterma se encuentra como mínimo a 4 m y como máximo a 61 m de profundidad, estando más profunda normalmente hacia las 40 mn (30 a 50 m de profundidad) y más somera cerca de la costa (4 a 10 m de profundidad). En este crucero las mayores profundidades de la isoterma de 15°C se observaron en el área costera, incluso en las estaciones a 1 mn de la costa la temperatura fue superior a 18° C en toda la columna de agua muestreada, y las menores a las 40 mn (**Fig. 4, 5 y 7**). Las profundidades alcanzadas por esta isoterma en este crucero son menores a las medidas en el crucero de diciembre de 1997 del proyecto MONOR, en donde la máxima profundidad encontrada fue de 275 m frente a punta Lobos (Braun **et al.**, 1998).

Lo antes dicho es coincidente con lo informado por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) para el mes de enero, es decir, anomalías altas de TSM que variaron entre 6 y 8°C, y la termoclina permanente más profunda que su promedio al norte de los 12°S (BAC, 1998).

Los valores altos de salinidad (> 35 psu) en superficie entre la costa y las 40 mn no es una situación normal (**Fig. 3**), de acuerdo con la información de los cruceros realizados por el IFOP en igual período del año desde los años 60 a la fecha, sólo en 11% del total de estaciones realizadas, sin contar las estaciones de este crucero, presentaron salinidades por sobre los 35 psu. Este once por ciento de las estaciones corresponde a años Niño, en los cuales lenguas de agua con mayor salinidad se acercaron a la costa desde el oeste, sin abarcar toda el área, a diferencia de este crucero en que todas las muestras superficiales estuvieron sobre 35 psu. El espesor



de la columna de agua con salinidades mayores de 35 psu estuvo entre 110 y 200 m de profundidad (**Fig. 4 y 8**).

La anomalía superficial de salinidad, referida a los promedios históricos del mes de enero del área de estudio, fluctuó entre 0,35 psu en el sector costero y de 0,95 psu en el área oceánica (**Fig. 3**). Mientras que al comparar la salinidad superficial con las mediciones realizadas en diciembre de 1997 en el crucero MONOR, se aprecia un aumento máximo de 0,2 psu en menos de un mes en el área oceánica y cercano a 0,1 psu en el área costera

1.3 Masas de agua

En la columna de agua se identificaron 4 masas de agua (AST, ASAA, AESS y AIAA), predominando la AST, seguido por AESS y AIAA, con una influencia muy baja de ASAA.

Debido a que durante el período de muestreo se estaba bajo la influencia de un evento ENSO, en los primeros 200 m de la columna de agua se tuvo el aporte de la AST oceánica, la cual modificó el patrón normal de las masas de agua presentes en el área. Este patrón, se caracteriza por temperaturas y salinidades de los primeros 200 m menores que los de la masa de agua AST y un mayor aporte de ASAA, el cual va incrementando de norte a sur, en cambio en este crucero se ven temperaturas y salinidades mayores que los de la AST y un leve aporte de ASAA, manteniéndose el mismo patrón de norte a sur (**Fig. 11**).



1.4 Análisis de la distribución de la biomasa fitoplanctónica

No obstante la existencia de altas temperaturas en la zona con anomalías de hasta +4 °C, no inhibió la formación de frentes costeros y que éstos permitieran la acumulación de biomasa fitoplanctónica en la zona. Aún cuando la magnitud y distribución espacial de ésta, fue mucho más baja que la informada para esta área en años considerados normales.

La presencia de estas masas de agua cálida provocó que la cloa superficial estuviera cuantitativamente por valores inferiores a 1 µg/L en el 86 % de todos los datos analizados y sólo un 13,8 % sobre 1 µg/L. De este total, valores típicos de sistemas altamente oligotróficos (i.e. < 0,5 µg/L) constituyeron el 68% de las muestras analizadas. Cuando se agrupan todos los datos analizados, la situación es básicamente la misma, los valores de cloa inferiores a 1 µg/L son un 83 % de todas las muestras analizadas y las mayores de 1 µg/L son un 17 %. De este total los valores mayores de 2 µg/L corresponden a solamente un 7 % del total analizado.

Esto significa que la biomasa de pequeños pelágicos cuantificada en la zona estuvo asociada a concentraciones muy bajas de cloa, aún cuando se mantuvieron algunos centros de alta concentración de cloa, cuyos efectos llegaron hasta las proximidades de las 10 mn. Esto significó que a pesar de las altas temperaturas se mantuvieron algunas zonas de la costa con concentraciones significativas de cloa para esta época del año. A juzgar por la intensidad del campo de fluorescencia **in vivo**, esta biomasa fitoplanctónica estaba en óptimas condiciones fisiológicas, debido a que bajas concentraciones de cloa correspondían a señales altas de fliv.



Esto será reafirmado o descartado por las mediciones de tasa de fijación de carbono que fueron realizadas en un sector con frentes costeros.

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, 1982). 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, 1982; 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, 1992).

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. 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), lo cual no está en contradicción con los resultados obtenidos.

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, los ejemplares adultos en la península de Mejillones. Al igual que el crucero



RECLAN9501, los reclutas se encontraron en zonas en las cuales existen frentes bien delimitados, y se observaron frentes costeros intensos y la cloa estuvo en el rango a mg/m³.

Respecto a la comparación de los resultados de este crucero con el RECLAN 9501, las distribuciones de tamaño de las anchovetas por zona de pesca, se puede observar que en Arica disminuyó la proporción de reclutas en número de un 85% a un 58,5 %. Sin embargo, en este último crucero se registró una distribución polimodal diferencia del año anterior.

Para la zona de Iquique también existen diferencias significativas en las longitudes de los ejemplares capturados en ambos cruceros, caracterizándose este año por el incremento del número de reclutas de un 28,0% a un 91,5%. Sin embargo el rango de longitudes de las anchovetas capturadas fue mayor de 5,5 a 19,0 cm de longitud total.

En términos generales se puede apreciar un reclutamiento equivalente en ambas zonas de pesca en relación a 1995.

Durante la época del crucero, las anchovetas adultas se encontraban en estados 2 y 5 (pre-desove y desovadas), a diferencia del crucero RECLAN 1995 en que el 90 % de las hembras se encontraron en ese estado. Sin embargo el grado de desarrollo de los ovarios de las anchovetas indica que el proceso reproductivo estuvo sincronizado para desovar de acuerdo al patron histórico descrito en la **Fig. 82**



La Zona de Arica ha sido descrita por Braun (1995), como un foco importante de desove es un área con altas densidades de fitoplancton, esta condición bio-oceanográfica fue encontrada en este último crucero.

Respecto a la proporción sexual de las anchovetas se observó un marcado predominio de las hembras a longitudes de 14,0-14,5 y mayores a los 16,0 cm, de manera similar al RECLAN 9611, lo que estaría asociado a una menor evasión del arte de pesca por su estado de gravidez, esta situación es equivalente a lo observado en la pesquería de cerco por Aranís (1986).

En relación a la comparación de los pesos medios por zona de pesca se encontraron diferencias significativas en la tasa de crecimiento relativo, lo cual permite inferir que existen diferencias en la oferta de alimentos en estos hábitat. La comparación de las pendientes de las regresiones longitud-peso se observan diferencias significativas entre las zonas de pesca así como también entre los cruceros de reclutamiento de 1995, 1996 y fines de 1996. Estas diferencias en los pesos promedios por clase de longitud son más evidentes en anchovetas mayores a los 13,0 cm, infiriéndose que la menor abundancia de anchoveta (Barriá, 1997) 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.

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

3.1 Estimados de biomasa de la fracción recluta de anchoveta

Los tres estimados de biomasa de anchoveta obtenidos en el presente crucero presentan diferencias inferiores al 11% , siendo el método tradicional el valor más



conservador con 647.760 t, diferenciando en un 2,5% respecto al estimado con el método geoestadístico (664.628t) y 11,0% respecto al de las tallas que es el valor más alto, entre el geoestadístico y el de las tallas se aprecia una diferencia de 8,7%.

La explicación para las diferencias se relaciona con el procedimiento de cálculo de la razón, puesto que en el caso del método tradicional se reduce la influencia de las lecturas altas al considerar todos los datos obtenidos, incluyendo los cero, que usualmente en el caso de los recursos pelágicos tienen una fuerte influencia, en el presente caso constituyeron el 77% de los datos considerados. En el método geoestadístico, el valor central, se restringe sólo al área de distribución del recurso, excluyendo gran parte de las lecturas nulas, incrementando de este modo la influencia de las densidades mayores. El método de las tallas es altamente sensible al éxito de pesca, en el presente caso y debido al alto número de lances de pesca realizados en la zona, su resultado es comparable con los otros dos procedimientos. 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 el presente crucero, respecto a los alcanzados en las temporadas primavera-verano de los años 1995 y 1996 (RECLAN 9501, 9601 y 9611) indican que en el presente crucero se registró un incremento cercano al 67,8% respecto a la primavera de 1996 (RECLAN 9611), en el que se estimó una biomasa de 385.881 t, valor que en su oportunidad había representado un importante incremento respecto a los cruceros anteriores. En relación al verano de 1996 (RECLAN 9601), en que se registraron 102.010 t, el presente estimado representa un incremento superior al 630 %.



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) y; 22,6% en el verano de 1998 (RECLAN 9801), observándose al igual que en los estimados de adultos, un importante incremento en los últimos años con un 32,6%, respecto a la primavera de 1996 (RECLAN 9611), que ya había representado un incremento respecto al año anterior y sobre el 1500% respecto al verano de 1996 (RECLAN 9601), siendo comparable al valor alcanzado en el verano de 1995 (143.139 t).

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 y 9611, 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 6,2% entre los casos más extremos (Tallas respecto al tradicional).

Las diferencias se pueden explicar en las características polimodales de las distribuciones de tallas, siendo notable la situación registrada en el crucero 9611 respecto al 9601 y que es bastante importante 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 estas son distintas a la normal o son polimodales como usualmente acontece.

El patrón de distribución de los reclutas observado en el presente caso es un tanto diferente a lo observado en el verano de 1995 (RECLAN 9501), primavera de 1996



(RECLAN 9601) y primavera de 1996 (RECLAN 9611) en que se registró una mayor concentración de los reclutas en torno al río Loa, motivo por el cual Castillo **et al.**, 1997 lo calificaron como una zona de crianza.

Al igual que en los indicadores de la biomasa, el Índice de Densidad (ID) también registró un incremento en los últimos años, siendo 7,1%, 88,8 y 36,2% superiores a los obtenidos en la primavera de 1996 (RECLAN 9611, con un ID de 640,9 t/mn²), al verano de 1996 (RECLAN 9601, con un ID 77,2 t/mn²) y al verano de 1995 (RECLAN 9501, con un ID 440,3 y 334,8 t/mn², para las subzonas I y II), respectivamente (Córdova **et al.**, 1995; Castillo **et al.**, 1996; Castillo **et al.**, 1997). El análisis del IC indica la mayor cobertura espacial de la anchoveta en el presente caso, respecto a lo observado en RECLAN 9611 (18,9%), puesto que esta especie ocupó un 30,3% de las observaciones, siendo comparable a lo registrado en los veranos de 1996 (28,3%) y 1995 (19 y 34%, para las subzonas I y II, respectivamente)

3.2 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 y no obstante la alta incidencia de los cero en los datos (77%), se alcanzaron Coeficientes de Variación menores (entre 0,17 y 0,21, dependiendo del método) con errores del 29,1 y 35,6%, respecto a otros cruceros (p.ej. RECLAN 9611) en que se obtuvo un CV de 0,25 y Error de 41,9%, alcánzandose 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 aprecia una reducción en los errores y CV a 24,9 y 0,15, respectivamente, 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 sugiere la validación de los resultados obtenidos con este método, en desmedro de los otros.

Con el fin de analizar el efecto de la separación entre transectas sobre los estimados de la precisión, en los cruceros RECLAN 9601, 9611 y 9801, 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.

Se aplicó el mismo criterio para analizar los cambios en los estimados de biomasa.

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 verano de 1996 (9601) y el actual (9801) son comparables, registrándose una pendiente levemente menor en el crucero de primavera de 1996 (9611), indicando cambios menores en los CV frente a un aumento de la distancia entre transectas (**Fig. 83**).

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. 84**).



4. Análisis de la caracterización de los procesos oceanográficos de pequeña escala que influyen directamente sobre la tasa de producción biológica que se generan en una zona de reclutamiento de anchoveta y que afectan el hábitat de la especie.

El muestreo se llevó a cabo mientras la zona estaba siendo afectada por El Niño 1997-98, uno de los más intensos que se ha registrado. La zona muestreada fue elegida en base a la detección de un sector de reclutamiento con equipos acústicos y muestreo con pesca de media agua y con la presencia de frentes oceanográficos. Las variables oceanográficas asociadas confirman a la zona muestreada como una zona costera con elevados índices de producción primaria, asociada al enfriamiento de la superficie y a una mayor concentración de nutrientes en la capa de mezcla con relación a las zonas oceánicas adyacentes. Los valores de producción primaria observados en la zona costera durante este estudio, son característicos de sistemas eutróficos lo que indicaría que en la zona; a pesar de la ocurrencia de el evento El Niño se mantuvo una alta producción biológica. En general se ha postulado que durante los eventos El Niño el sistema de la corriente de Humboldt tiende a la oligotrofia, al descender la productividad global del sistema.

En la zona costera el balance entre las tasas de producción (PPB) y utilización de la materia orgánica (RC) se inclinó a favor de los procesos productivos lo que, a no mediar por una elevada tasa de sedimentación y/o altos grados de utilización de la materia orgánica por el bacterioplancton, debería verse traducido en una acumulación de biomasa fitoplanctónica. Esto se pudo confirmar con los datos de clorofila que muestran un incremento paulatino durante el día en la zona costera (Fig.79).



En la zona del Frente, por otra parte se registró una mayor tasa de consumo de materia orgánica con relación a su producción. Lo anterior se vio reflejado en una disminución gradual de la clorofila-a integrada en esta estación durante el período de muestreo.

En la zona oceánica en cambio el balance casi perfecto entre las tasas de producción y consumo de la materia orgánica se tradujo en una mantención de los niveles de clorofila-a integrada durante el período de muestreo (**Fig. 78**).

En la zona del Sistema de Corrientes de Humboldt se acostumbra a asociar altos valores de producción primaria con la ocurrencia de eventos de surgencia costera, forzados por los vientos, los que hacen aflorar aguas subsuperficiales (AESS) ricas en nutrientes. Esta visión del comportamiento global del sistema es claramente deficiente y los resultados obtenidos durante este crucero reafirman el planteamiento de un nuevo paradigma para la corriente de Humboldt, donde las variaciones espacio-temporales de la productividad biológica del sistema obedecen a un mayor y más complejo número de forzantes.

Respecto a la producción secundaria (Zooplancton) la estación Frente tuvo un comportamiento diferente a las otras estaciones muestreadas. Esta estación presentó la mayor biomasa (promedio 2,8 g m⁻²), pero ésto estuvo relacionado con la presencia de una gran cantidad de eufáusidos que fueron colectados en la muestra nocturna (00:30 h) del 27 de enero (**Tabla 16**). Los eufáusidos usualmente muestran activas migraciones, por ejemplo durante enero y julio de 1997, se determinó mediante ecosonda, que los eufáusidos comenzaban un ascenso desde profundidades de aproximadamente 300 m de profundidad hasta los primeros 50 m de la columna de



agua en un tiempo de alrededor de una hora, lo que equivale a una velocidad estimada en 8 cm s^{-1} (González *et al.* en preparación). Esta velocidad es menor a la máxima velocidad que puede desarrollar el krill antártico (***Euphausia superba***) sin exceder su metabolismo estándar (13 cm s^{-1}) (Hamner, 1984).

Los eufáusidos juegan un rol pivotal en las tramas tróficas de la Corriente de Humboldt, siendo el alimento preferido de muchas especies de peces, ballenas y pájaros (Antezana, 1970). La anchoveta adulta de la zona sur de Perú se alimenta principalmente de ***Euphausia mucronata***, ***Calanus chilensis***, ***Centropages*** spp. y ***Oncaea*** spp. (Rojas de Mendiola, 1980)

Por otro lado, la estación Frente, fue la única estación donde se registró una abundancia mayor de individuos en el estrato 50-150 m, que en el estrato 0-50 m (**Fig. 74, 75 y 76**). Es probable que en este frente térmico, ocurra un hundimiento de las aguas costeras más frías, transportando consigo parte del zooplancton desde esas zonas.

Los frentes son áreas de activa producción biológica, que en el caso de este estudio, demostró las mayores estimaciones de producción primaria en el lado costero del frente y una mayor biomasa de zooplancton en el frente mismo, lo cual puede estar asociado a una acumulación de organismos en esa área.

En general, tanto en la estación oceánica como costera la mayor abundancia de individuos estuvo en el estrato 0-50 m. Los copépodos en el área de estudio han sido descritos como más abundantes en los primeros 50 m de la columna de agua, donde la concentración de oxígeno sobrepase los 0.5 ml l^{-1} (González *et al.* 1998).



Este patrón ha sido descrito también en copépodos de los géneros **Calanus** y **Centropages** en áreas de surgencia de Perú, donde ocupan estratos de la columna en que el oxígeno disuelto sobrepasa los 0,8 y 0,2 mlO₂ l⁻¹, respectivamente (Boyd **et al.** 1980).

En el presente estudio se pudo comprobar una gran dominancia de copépodos de pequeño tamaño (0,7-1,2 mm de longitud), apendicularias y quetognatos. Esto coincide con lo reportado para regiones de la plataforma peruana durante el evento El Niño 1982-83 (Carrasco & Santander, 1987). El éxito de estos grupos del zooplancton puede estar relacionado a su habilidad para explotar eficientemente detritus y fitoplancton de pequeño tamaño (pico- y nano-fitoplancton, <23(m)).

Durante los períodos pre-El Niño (enero 1997) y El Niño (julio de 1997), el fitoplancton del área de estudio estuvo dominado por fitoplancton <23(m), el cual fue responsable de >65% de la producción primaria (Iriarte **et al.**, en preparación). Las apendicularias podrían mediar el flujo de energía desde materia orgánica disuelta directamente hasta peces clupeiformes (anchoveta). Esto, debido a que son capaces de retener hasta partículas coloidales (0,2(m) en su fino sistema de filtración (Flood **et al.** 1992) y son de un tamaño adecuado para ser ingeridos por peces pequeños, sin la consiguiente pérdida de energía a través de los varios niveles del anillo microbiano.

Los copépodos de pequeño tamaño (0,7-1,2 mm) y eufáusidos son los que contribuyen mayoritariamente a la tasa de ingestión total del zooplancton quitinoso, con valores promedios para el área de estudio de 35 y 25%, respectivamente. Durante períodos pre-El Niño (enero 1997) y El Niño (julio 1997) 1997-98, ha sido



reportado que tanto copépodos de gran tamaño como eufáusidos no alcanzarían a satisfacer sus requerimientos metabólicos a través del consumo de solamente fitoplancton (González *et al.*, en revisión). Estos autores realizaron análisis de contenido estomacal y contenido de heces en eufáusidos encontrando una gran cantidad de restos de crustáceos, tintínidos, foraminíferos y dinoflagelados.

5. Análisis histórico de las condiciones oceanográficas que afectan el reclutamiento de la anchoveta en la zona norte. Período 1984 – 97

5.1 Estaciones Costeras

5.1.1 Viento

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. Durante el invierno el índice de surgencia presenta valores negativos por efecto de los vientos del norte, indicando que se producen procesos de descensos de agua en la zona costera. La componente U (este–oeste) normalmente es menos intensa que la componente V, y con excepción de Arica también presenta un ciclo anual claro (**Fig. 44, 45 y 46**).

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 se presenta 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.

En la señal promedio se aprecia claramente la disminución tanto del índice de surgencia como de la turbulencia en los meses de agosto, siendo máximos entre noviembre y febrero. Se observa además que Antofagasta tiene los mayores valores de turbulencia e Iquique los menores, que el índice de surgencia o transporte fuera de la costa es mayor en Iquique entre enero y mayo; 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. 47**). 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, 1980). Por su parte lo encontrado en este trabajo para el número de eventos Lasker es coincidente con lo encontrado por Cubillos y Fuenzalida (1994).



5.1.2 Temperatura superficial del mar

Los promedios mensuales de temperatura superficial del mar muestran una gran variabilidad anual e interanual en Arica, Iquique y Antofagasta, con las mayores anomalías estandarizadas positivas durante los años 72-73, 82-83, 92 y 97-98 todos los cuales corresponden a años Niño (**Fig. 48 y 49**). Los ciclos anuales de 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. 47**).

De la comparación hecha de eventos El Niño, se desprende que usualmente la TSM en el invierno del año previo a las máximas anomalías, está por debajo del promedio histórico (Arica y Antofagasta) y que desde la primavera la temperatura empieza a ser más alta que la señal histórica, alcanzando su máximo valor entre diciembre y marzo y que durante el invierno siguiente (segundo año) la temperatura se mantiene por sobre el histórico. En términos de intensidad, el evento 82-83 fue el que alcanzó las mayores temperaturas en la época de verano respecto a la señal histórica, mientras que el evento 1997-98 ha sido el segundo.

La particularidad del evento 1997-98 se relaciona con el inicio de la anomalía positiva, puesto que a diferencia de los otros eventos, ésta se presentó durante el invierno de 1997 (primer año), situación que sugiere que los efectos sobre la comunidad pelágica pueden ser más intensos que en otras oportunidades, dado que afectó a la zona en el período crucial para el desove de éstas especies (**Fig. 51**).



5.2 Condiciones oceanográficas medidas durante los cruceros de invierno del período 1984-1997

De acuerdo a las imágenes de temperatura y salinidad superficial así como las respectivas imágenes de anomalías, se puede decir que normalmente el período de desove de la anchoveta se caracteriza porque la temperatura de la superficie del mar varía entre 14 y 17°C, con gradientes costa–océano e incrementando la temperatura de sur a norte. Las anomalías de temperatura han fluctuado entre -1 y 1°C.

La salinidad se ha registrado entre 34,8 y 35,0 psu, incrementando de sur a norte hacia el área oceánica y anomalías entre -0,2 y 0,2 psu.

Respecto al invierno de 1997, es posible calificarlo como el más anómalo del período, dado que se registraron las más altas temperaturas y salinidades, con anomalías de 2 a 5°C y 0,1 a 0,5 psu, respectivamente.

5.3 Análisis de la distribución y abundancia de los huevos y larvas de anchoveta en los inviernos del período 1984-1996.

En los cruceros de invierno para el período 1984/1996, el desove de anchoveta de acuerdo a lo señalado por la fase de huevos se distribuyó de manera bastante homogénea ocupando el rango latitudinal comprendido entre Arica y Antofagasta a excepción de los años 1984, 1987 y 1991 donde se registró una menor cobertura latitudinal, asociada a condiciones oceanográficas desfavorables para la sobrevivencia de huevos de esta especie (**Fig. 60**). En sentido longitudinal y de manera excepcional los huevos de anchoveta se distribuyen hasta las 100 mn frente a Arica y el río Loa,



exhibiendo en términos generales dos modalidades de postura. Entre Arica e Iquique, el desove se caracteriza por presentar una modalidad más oceánica con una mayor cobertura longitudinal. Desde Iquique al sur el patrón de distribución se torna más costero y en forma ocasional colonizan hasta las 100 mn.

La tendencia histórica del patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta señala que el desove ocupa preferentemente la franja costera que no excede las 40 mn, concentrándose en ella más del 80% de este estadio de desarrollo.

Con respecto a la fase de larvas y como habitualmente acontece, colonizan una mayor área con respecto a los huevos tanto en sentido latitudinal como longitudinal, asociándose también su distribución a las primeras 40 mn de la costa, zona donde se concentra más del 80% de las larvas de anchoveta, y como se aprecia en la **Fig 61**, las áreas de mayor abundancia corresponden a las ubicadas entre Arica y Punta Madrid, al oeste de Pisagua, Punta Chipana e inmediaciones del río Loa.

Con respecto a la relación de la abundancia de huevos de anchoveta y los promedios ponderados de temperatura entre 0 y 50 m de profundidad, señala que en términos generales los huevos de anchoveta para el período de invierno de los años 1984/1996, se distribuyen en aguas cuyas temperaturas fluctúan entre los 13 y los 15°C. En cuanto al patrón de distribución de las fases larvarias no se logra apreciar una relación con respecto a la temperatura dado los procesos advectivos y de transporte a que están expuestas las larvas de anchoveta.



6. Análisis de los factores que afectan el reclutamiento de anchoveta, modelo de Ricker

Para analizar los factores que inciden en el reclutamiento de la anchoveta, se seleccionaron las siguientes variables climático-oceanográficas: temperatura superficial del mar; índice de turbulencia y transporte Ekman. Los datos utilizados en éste análisis corresponde a la zona de Iquique; área donde se concentra el desove de la anchoveta.

En ésta área geográfica se estimaron estos índices correspondiente al mes de agosto, período donde ocurre la mayor proporción de la producción anual de huevos. El índice gonadosomático de la anchoveta presenta un patrón histórico para el periodo 1987-1997, en el cual se constata el valor máximo durante el mes de agosto (**Fig. 82**). 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 en los meses de mayo a julio. La anchoveta presenta variaciones del índice gonadosomático durante su período 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. 82**).

Respecto a los cambios interanuales de las variables ambientales involucradas en el análisis; la temperatura superficial del mar en el mes de agosto presenta niveles altos en 1997 y en el periodo 1992-93, registrando niveles superiores a los 17° C. Durante agosto de 1996 se registró la temperatura más baja del período con 15,5°C.



El índice de turbulencia presenta variaciones interanuales con máximos superior a los 200 m³/s³ en el período de 1992-95 y el transpote Ekman presenta un incremento importante en 1990-1992 con un descenso significativo para el mes de agosto de 1996.

El modelo de Ricker que se ajustó a la relación stock-recluta tuvo un coeficiente de determinación r²=0,60 (**Fig. 81A**); cabe mencionar que para 1995 la estimación de reclutamiento por el ADAPT, se obtuvo un nivel de biomasa desovante crítica cercano a los 3 millones de toneladas. Se pueden observar grandes variaciones interanuales en el reclutamiento y una tendencia declinante del stock desovante, el cual se acerca en el penúltimo año al valor crítico SD= 3,0 millones de toneladas.

El ajuste de la relación stock-reclutamiento dio como resultado la siguiente ecuación:

$$R = 0,33557 * S * e^{(-1,31 * 10^{-7} * (S) + 0,33539 * (T) + 0,00692 * (IS) - 0,00378 * (IT))}$$

Donde

- R : reclutamiento de anchoveta expresado en número
S : stock desovante (t)
T : temperatura promedio entre las 0 y 20 m de profundidad (°C)
IS : índice de surgencia (m³ / s³ *1000m de costa)
IT : índice de turbulencia (m³ / s³)

Los mayores niveles de reclutamiento se registraron en los años 1991 y 1992 a tamaños intermedios de stock desovante. No obstante, los reclutamiento de 1993 y



1994 tienen magnitudes similares, a pesar de la gran discrepancia en los tamaños de los stock desovante.

Al incorporar las variables ambientales descritas en la relación stock desovante-reclutamiento, el modelo señala que existe un 40% de la varianza total que no es explicado por el modelo. Sin embargo es necesario analizar esta relación debido a que el logaritmo de la tasa de reclutamiento, se describe como una sumatoria de mortalidades independientes. Esta condición puede ocurrir en forma simultánea en el mar y los efectos combinados, constituirse en una fuente de mortalidad densoindependiente. En esta relación, la variable ambiental con mayor peso es la temperatura y la de menor incidencia en las variaciones del reclutamiento es el índice de turbulencia.

En la relación de producción anual de huevos-reclutamiento, con variables ambientales se observa un patrón idéntico, sin embargo el coeficiente de determinación es levemente inferior ($r^2=0,59$). 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:

$$R = 0,00015 * PAH * e^{(-3,94 * 10^{-11} * (PAH) + 0,30720 * (T) + 0,00659 * (IS) - 0,00301 * (IT))}$$

Donde

- R : reclutamiento de anchoveta expresado en número
PAH : Producción anual de huevos (número)
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)



También es posible determinar el tamaño crítico de la producción anual de huevos que genera el mayor reclutamiento, este nivel es $PAH_{m\acute{a}x}=1E+13$.

Cuando se analiza el logaritmo de la tasa reclutamiento-producción anual de huevos, se observa que en el modelo disminuye el coeficiente de determinación a $r^2=0,59$. Lo cual implica que existe 41% de varianza total no explicada; a pesar del comportamiento es similar a la aproximación anterior, no obstante la temperatura sigue manteniendo un mayor ponderador y el índice de turbulencia tiene un impacto menos importante en la variación del reclutamiento.

Cabe mencionar que estos análisis tienen restricciones debido al número de variables ambientales, puesto que no puede ser mayor a la cantidad de observaciones (13 años) y por otra parte puede existir colinealidad entre las variables, es decir no permite efectuar la inversa de la matriz de correlación. Sin embargo, una alta correlación entre variables ambientales implica que su incorporación en el modelo reduce muy poco la varianza total.



IX. CONCLUSIONES

Los resultados analizados permiten concluir que:

1. De la información oceanográfica del período 1984 a 1996 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.
 - salinidades superficiales entre 34,8 y 35,0 psu, con anomalías entre -0,2 y +0,2 psu.
2. El invierno de 1997 es el que presenta las mayores anomalías en temperatura y salinidad (2 a 5°C y 0,1 a 0,5 psu, respectivamente) de todos los cruceros que se tiene registro, generando condiciones adversas durante el desove de la anchoveta.
3. Durante el crucero (9801), la zona de estudio (período del máximo reclutamiento de la anchoveta) se caracterizó por presentar condiciones anómalas propias de períodos cálidos:



- predominio de vientos débiles (≤ 5 m/s) con índices bajos de surgencia y turbulencia.
 - temperatura y salinidad superficial alta, 21,67 - 26,09°C y 35,294 - 35,670 psu, respectivamente.
 - isoterma de 15°C profundizada, ubicada entre 122 y 184 m. En los primeros 200 m de profundidad en el sector costero, se registraron salinidades mayores o iguales a 35 psu y a las 40 mn estos niveles se presentaron hasta los 110 m.
 - predominio de las masas de agua AST y AESS y escasa influencia de ASAA.
4. En el período de estudio, no se observó una fuerte segregación espacial de la anchoveta por tamaños como en el crucero anterior (RECLAN9611), ya que en las tres zonas hubo presencia de reclutas y adultos en proporciones similares, aunque en la zona de Arica se tuvo la mayor proporción de reclutas del área.
 5. En relación a la fortaleza de la clase anual, se aprecia una disminución en el reclutamiento en comparación con los resultados del crucero anterior y una notoria presencia de ejemplares adultos entre los 16,0-16,5 cm (entre 3-4 años).
 6. Los pesos promedio de los ejemplares presentaron diferencias significativas por zonas de pesca, situación que también se observó en los cruceros de años anteriores (1995, 1996 y 1997), lo cual implicaría la existencia de efectos densodependientes.
 7. Adicionalmente, los pesos medios por tamaño del área de estudio, disminuyeron incluso por debajo de los valores registrados en 1995, lo cual podría suponer una disminución en la oferta alimenticia causada por alteraciones del medio ambiente.



8. En relación a los estados de madurez, sólo el 23% de los ejemplares se encontraron en estado 5 (desove) y un alto porcentaje (60%) 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.
9. El análisis de los factores que inciden en el reclutamiento señala que las variables ambientales utilizadas son poco 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.
10. El modelo ajustado con los datos georeferenciados, indica dependencia moderada entre la densidad de la anchoveta y los índices de densidad de huevos de anchoveta (explica un 63,8% de la varianza), además muestra la baja dependencia entre el índice de densidad de la anchoveta y la salinidad y la temperatura superficial del mar.

Los parámetros del modelo son:

- intercepto: -1148,355
- IDH: 0,0037
- IDL: -0,0007
- salinidad: 37,2107
- TSM: -8,8094



11. No obstante la presencia del evento El Niño 1997-98, el sistema presentó una alta producción primaria.
12. En las aguas costeras se encontraron elevados índices de producción primaria (PP) ($> 5\text{gC m}^2 \text{d}^{-1}$) los cuales fueron superiores a los niveles de respiración comunitaria (RC), lo que significó un aumento paulatino de los valores de clorofila **a** integrada en la capa fótica.
13. En la zona oceánica en cambio, el balance casi perfecto entre las tasas de producción y consumo de la materia orgánica, se tradujo en una mantención de los niveles integrados de clorofila-a durante el período de muestreo. La concentración de nutrientes en la capa de mezcla fue mayor en la zona costera.
14. La mayor biomasa de zooplancton se registró en el frente mismo (promedio $2,8 \text{g m}^{-2}$). La mayor abundancia de individuos se registró en el estrato de 50 a 150 m, lugar donde es posible ocurra un hundimiento de las aguas costeras más frías, transportando consigo parte del zooplancton.
15. Se reafirma el planteamiento de un nuevo paradigma para la corriente de Humboldt, donde las variaciones espacio-temporales de la productividad biológica del sistema obedecen a un mayor y más complejo número de forzantes que los considerados hasta la fecha.
16. La existencia de altas temperaturas en la zona, con anomalías de hasta $+4 \text{ }^\circ\text{C}$, no inhibió la formación de frentes costeros y que éstos permitieran la acumulación de biomasa fitoplanctónica en la zona. En estas zonas la cloa alcanzó valores superiores a $1 \mu\text{g/L}$ en la superficie y cercanos a $6 \mu\text{g/L}$ en la columna.



17. Los valores más altos de cloa detectados, se generaron en la zona costera formando un gradiente de cloa que se profundizó y se desplazó hacia el sur a 5 mn. A 10 mn se observó que toda la columna estuvo dominada por valores de cloa típicos de sistemas oligotróficos.
18. La fluorescencia **in vivo** indica que la biomasa fitoplanctónica estaba en óptimas condiciones fisiológicas, debido a que bajas concentraciones de cloa se asociaron altos registros fliv. En aquellas las zonas en las que se detectó frentes costeros, la funcionalidad entre la fliv y la temperatura superficial era exponencial e inversamente proporcional.
19. Respecto de la biomasa de anchoveta ésta se presentó en aquellas áreas que presentaban un nivel de cloa promedio mayor de 1 $\mu\text{g/L}$, esto indica que el recurso se agregó en aquellas zonas en las que la producción biológica del área se mantuvo en niveles relativamente altos. Esta situación fue detectada en aquellas zonas en las que se midió frentes térmicos significativos.
20. La biomasa de anchoveta en el verano de 1998 alcanzó a 664.628 t, con un coeficiente de variación de 0,15, representando uno de los estimados más altos de los periodos estivales, siendo más del 63% mayor que los alcanzados en el verano de 1995 y primavera de 1996 (385.881 t).
21. La biomasa de los reclutas alcanzó a 150.206 t, con un Coeficiente de Variación de 0,14, valor que representa aumentos superiores al 43% respecto a la primavera de 1996, siendo comparable a los valores alcanzados en el verano de 1995.



22. La abundancia de anchoveta en número alcanzó a $4,52113 \times 10^{10}$ individuos, con un CV de 0,59 y la abundancia de los reclutas de anchoveta alcanzó a $2,2154 \times 10^{10}$ individuos.
23. La distribución espacial de la anchoveta se caracterizó por su presencia permanente en toda la zona de estudio, en el sentido latitudinal; su alta asociación con la franja costera, en el sentido longitudinal, ubicándose hasta las 4 mn de la costa y su alto nivel gregario, registrándose importantes concentraciones en áreas relativamente pequeñas.
24. Considerando los resultados alcanzados en los lances de pesca y la distribución geográfica de la anchoveta, es posible diferenciar dos sectores desde el punto de vista de dominio de los reclutas, es así como se puede calificar como de dominio de reclutas, a los sectores ubicados entre Arica y punta Argolla; al sector cercano a Pisagua; al sector ubicado entre Iquique y caleta Patillos y desde punta Grande a Antofagasta. Mientras que entre punta Patache y punta grande es posible calificarlo como de baja presencia o ausente de reclutas.
25. Batimétricamente, la anchoveta se ubicó preferentemente entre 20 y 30 m llegando hasta los 120 m. Asociada a las isotermas de 18 a 25° C, preferentemente entre los 21 y 23 °C y salinidades entre 34,9 y 36,9, con las mayores frecuencias de cardúmenes entre 35,4 y 35,9 psu.
26. Los Indices de Cobertura (IC) y Densidad (ID) fueron 29,4% y 689,9 t/mn².



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



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. & P.A. Bernal. (1993). Effects of physical and biological changes on the biomass yield of the Humboldt Current system. In: "Large Marine Ecosystems", p. 53-68. Sherman, K., Alexander, L.M., Gold, B.D. (eds). American Association for the Advancement of Science Press, Washington D.C.
- Antezana T. (1970). Eufáusidos de la costa de Chile. Su rol en la economía del mar. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso 14: 19-27.
- 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.
- 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.
- Azam F. (1998). Microbial control of oceanic carbon flux : The plot thickens. *Science* 280:694-696.
- Bakun, A. and R. Parrish. 1980. Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary current regions. *IOC Workshop Rep.* 28:67-104.



- Bakun, A and R.H. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current systems. *CaCOFI Rep.* 23: 99-112.
- Barber, T. And L. Smith. 1981. Coastal Upwelling Ecosystem. In *Analysis of Marine Ecosystem*. De. A.R. Longhurst. Academic Press 31-67.
- Barber, R.T., R.C. Dugdale, J.J. MacIsaac, R.L. Smith. (1971). Variation in phytoplankton growth associated with source and conditioning of upwelling water. *Investigación Pesquera*, 35: 171-194.
- 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. 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.
- 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 investigaciones pesqueras de recursos pelágicos - zona norte. IFOP.
- 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.
- 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.
- 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.
- Brandhorst, W. 1971. Condiciones estivales frente a la costa de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14(3): 45-84.
- 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.
- Boyd C. M., S. L. Smith & T. J. Cowles (1980). Grazing patterns of copepods in the upwelling system off Peru. Limnol. Oceanogr. 25: 583-596.
- Calienes, R., O. Guillén & N. Lostaunau. (1985). Variabilidad espacio-temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa Peruana. Boletín Instituto del Mar del Perú, OEA Volumen 10 N° 1.



- Carpenter, J. H. 1965. The chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanogr.*, 10: 141-143.
- Carrasco S. & H. Santander (1987). The El Niño event and its influence on the zooplankton off Peru. *J. Geophys. Res.* 92: 14,405-14,410.
- 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. 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., 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.. 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.



- Cruickshank, R.A., I. Hampton and M.J. Armstrong. 1990. The origin and movements of juvenile anchovy in the orange river region as deduced from acoustic surveys. *S. Afr.J. mar. Sci.* 9: 101 - 114.
- 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.
- Cubillos, L. y R. Fuenzalida. 1994. Indices de surgencia, turbulencia y ocurrencia de "eventos Laker" 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, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish reproductive success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 670-680.
- Daneri, G. 1992. Comparison between in vitro and in situ estimates of primary production within two tracked water bodies. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 37:101-109.
- Daneri, G., V. Dellarossa, R. Quiñones, B. Jacob y P. Montero. (1998a). Primary production and community respiration within the Humboldt Current system of Chile and associated oceanic areas. (Submitted to *Mar. Ecol. Progr. Ser.*)



- Daneri, G., V.A. Troncoso, S. Spitzzy, B. Jacob & P. Montero. (1998b). Dissolved organic carbon measurements and DOC utilization by bacteria in the eastern boundary current system of Chile. (Submitted to Deep Sea Res.).
- Dellarossa, V., G. Daneri, R. Quiñones & O. Ulloa. (1998). Producción primaria y biomasa fraccionada por tamaño en la zona de Coquimbo, Chile. (Submitted to the Rev. Chilena de Hist. Natural).
- Duncombe Rae, C.M., A.J. Boyd and R.J.M. Crawford. 1992. "Predation" of anchovy by Agulhas ring: A possible contributory cause of the very poor year-class of 1989. The Benguela and Comparable Ecosystem Payne, A.I.L., Gulland, J. A. and K.H. Brink (Eds). S. Afr. J. mar Sci. 12: 167 - 173.
- 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.
- Escribano R., C. Irribarren & L. Rodriguez (1997). Influence of food quantity and temperature on development and growth of the marine copepod *Calanus chilensis* from northern Chile. Mar. Biol. 128: 281-288.
- Flood P. R., D. Deibel & C. Morris (1992) Filtration of colloidal melanin from sea water by planktonic tunicates. Nature 355: 630-632.
- Fossing, H., Gallardo, V. A., Joergensen , B. B., Huettel, M., Nielsen, L. P., Schultz, H., Canfield, D. E., Forster, S., Glud, R. N., Gundersen, J. K., Kuever, J.,



- Ramsing, N. B., Teske, A., Thamdrup, B., and O. Ulloa. (1995). Concentration and transport of nitrate by the mat-forming sulphur bacterium *Thioploca*. *Nature* 374: 713-715.
- 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. 1983. *Journal of the Acoustical Society of America*, Maintaining precision calibrations with optimal cooper spheres.
- 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.
- Francis R.I.C.C. 1984. Variability in hydroacoustic biomass estimate (comment). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 825-826.
- Freon, P. y E. Yáñez. 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°45'S. Invest. Cient. y Tec., Serie: Ciencias del Mar 2:79-104.
- González H. E., G. Daneri, D. Figueroa, J. Iriarte, N. Lefevre, G. Pizarro, R. Quiñones, M. Sobarzo & A. Troncoso. (1998). Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmósfera de CO₂ en la zona norte de la Corriente de Humboldt (23°S): Posibles efectos del evento El Niño 1997-98. Rev. Chil. Hist. Nat. (en prensa).
- González H. E., M. Sobarzo, D. Figueroa & E.-M. Nöthig. The possible effects of the El Niño 1997-98 on the trophic role of chitinous and gelatinous zooplankton in the northern Humboldt Current, Chile. (Enviado a MEPS).
- Gundersen K. (1991) Sampling precision and preservation of sediment trap materias. In: Wassmann P., A.-S. Heiskanen & O. Lindahl (eds.) sediment trap studies in the Nordic Countries Vol. 2: 6-35.
- 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.



- Hamner W. N. (1984). Aspects of schooling in **Euphausia superba**. J. Crust. Biol. 4 (Sp. Issue): 67-74.
- 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.
- Harrison, G. and T. Platt. (1981). Primary Production and nutrient fluxes off the northern coast of Perú: A summary. Bol. Inst. Mar-Perú Vol. Extraordinario ICANE, pp. 130-143.
- Huyer A., R.L. Smith & T. Paluszkievicz (1987). Coastal upwelling off Peru during normal and el Niño Times, 1981-1984. Journal of Geophysical Research 92: 14297-14307
- 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.
- 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.



- Iriarte J. L., G. Pizarro & M. Sobarzo. Biomass and primary production of size-fractionated phytoplankton off Antofagasta, Chile (23-24°S) during January (summer pre-El niño) and July (winter, El Niño event) 1997. (en preparación).
- Kimura D.K. and Lemberg N.A. 1981. Variability of line intercept density estimates (a simulation study of the variance of hydroacoustic biomass estimate). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1141-1152.
- 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 condition and larval anchovy food in the California current: identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp. P-V. réún. Cons. Int. Explor. mer.* 173:212-230
- 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.
- 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).

Mackas D. & R. Bohrer (1976). Fluorescence analysis of zooplankton gut contents and an investigation of diel feeding pattern. *Journal experimental Marine Biology and Ecology* 25: 77-25.

Mac Lennan, D. and J. Simmonds. 1992. *Fisheries Acoustics*. Published by Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK. 325 p.

Martínez, C., L. Caballero y G. Böhm. 1991. Diagnóstico de las Principales Pesquerías Nacionales. Zona Norte. Flota y Actividad Extractiva. SGI-IFOP 92/1. 51 p.

Mason, R., F. Gunst and J. Hess. 1989. *Statistical Design and analysis of experiment*. John Wiley and Sons. 692 p.

Mann K. H.(1992). Physical influences on biological processes: How important are they? *S. Afr. J. Mar. Sci.* 12: 107-121.

Marín V., L Rodríguez, L. Vallejos, J. Fuenteseca & E. Oyarze (1993). Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de bahía Mejillones del Sur (Antofagasta-Chile). *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 479-491.



- Montecino, V., G. Pizarro & D. Quiroz. (1996). Dinámica fitoplanctónica en el sistema de surgencia frente a Coquimbo (30°S) a través de la relación funcional entre fotosíntesis e irradiación (P-I). *Gayana Oceanol.* 4(2): 139-151.
- Morales, C.E., J.L. Blanco, M. Braun, H. Reyes & N. Silva. (1996). Chlorophyll-a distribution and associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile during the winter and spring 1993.
- Mostert, S.A. 1988. Notes on improvements and modifications to the automatic methods for determining dissolved micronutrients in sea water. *South African Journal of Marine Science.* 7:295-298.
- 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.
- Mendelson, R. 1989. Reanalysis of Recruitement 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).



- Millero, F. and A. Poisson. 1981. International one atmosphere equation of state seawater. *Deep-Sea Res.* 28A: 625-629.
- Omori, M. & T. Ikeda. 1984. *Methods in marine zooplankton ecology*. John Wiley & Sons, New York, 232 pp.
- 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. and M. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, The Northern Anchovy (***Engraulis mordax***). *SCIENCE* 235:354-6.
- 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.
- 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.
- Robles, F., E. Alarcón and A. Ulloa. (1976). Water masses at the northern Chilean zone and their variations in the cold period (1967) and warm periods (1969, 1971-1973). *El Niño Workshop*, Guayaquil, Ecuador. December 1974. *FAO. Inf. Pesca*, 185: 94-196.
- Robles, F. (1976). Descripción general de las condiciones oceanográficas en Aguas Chilenas. Instituto de Fomento Pesquero. Santiago de Chile. 90 pp.
- 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 Ecosystems* 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. (1965). On the production composition and distribution of organic matter in the western Arabian Sea. *Deep Sea Res.* 12: 199-209.



- 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.
- Serra, J.R. y J. E. Gil. 1975. Marcación de anchoveta en la zona norte de Chile.
Metodología y resultados preliminares. Rev. Comisión Permanente de
Pacífico Sur. (3): 3-19.
- Sharp, G. 1980. report of the Workshop on effects of environmental variation on
survival of larval pelagic fishes. In: IOC Workshop report N° 28:15-59.
- Shannon L. V. & S. C. Pillar (1986) The Benguela ecosystem 3. Plankton. In:
Oceanography and Marine Biology. An Annual Review 24 M. Barnes (ed.)
Aberdeen, University Press, pp. 65-170.
- Shelton, P., L. Hutchings. 1990. Ocean Stability and Anchovy Spawning in the
Southern Benguela Current Region. Fishery Bulletin, U. S. 88:323-38.
- 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.
- 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.



- 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. (1975). Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición KRILL. Crucero 3-4 Julio-Agosto, 1974. *Rev. C.P.P.S.*, 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.
- Simpson, J.J. and T.D. Dickey. 1981. The relationship between downward irradiance and upper ocean structure. *J. Phys. Oceanogr.* 11:309.
- 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).



- 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.
- Smith , R. 1968. Upwelling. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 6:11-46.
- 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.
- 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).
- Steele J.H. (1974). The structure of marine ecosystems. Harvard University Press, Cambridge.
- Stevens C.J. & E.J.H. Head (1998) A Model of chlorophyll-a destruction by calanus spp. and implications for the estimation of ingestion rate using the gut fluorescence method. *Limnol. Oceanogr.* (in press).
- Steeman Niel sen E. (1952). The use of radiocarbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. *Journal du Conseil pour le Permanent International Exploration de la Mer* 18:117-140.



- Theilacker, G.H. 1986. Starvation-induced mortality of young sea-caught jack mackerel, **Trachurus symmetricus**, determined with histological and morphological methods. Fish. Bull. U.S 84:1-17
- UNESCO, 1981. Background papers and supporting data on the practical salinity scale 1978. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci. N° 37.
- Valderrama, J. 1977. Methods used by the Hydrographic Department of the National Board of Fisheries. Goteborg, Sweden. Manuscrito. 18 pp.
- Weiss, R.F. 1970. Solubility of nitrogen, oxygen, and argon in water and seawater. Deep Sea Research. 17(4):721-725.
- Walsh, J. J. (1981). A carbon budget for overfishing off Perú. Nature, 290: 300-304.
- Walters, C. J. 1981. Optimum escapements in the face of alternative recruitment hypothesis. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 678- 689.
- Wyrki, K. (1963). The horizontal and vertical field of motion in the Peru Current. Bull. Scripps Inst. of Ocean., 8(4):313-346.
- Zar, J. H. 1974. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

FIGURAS

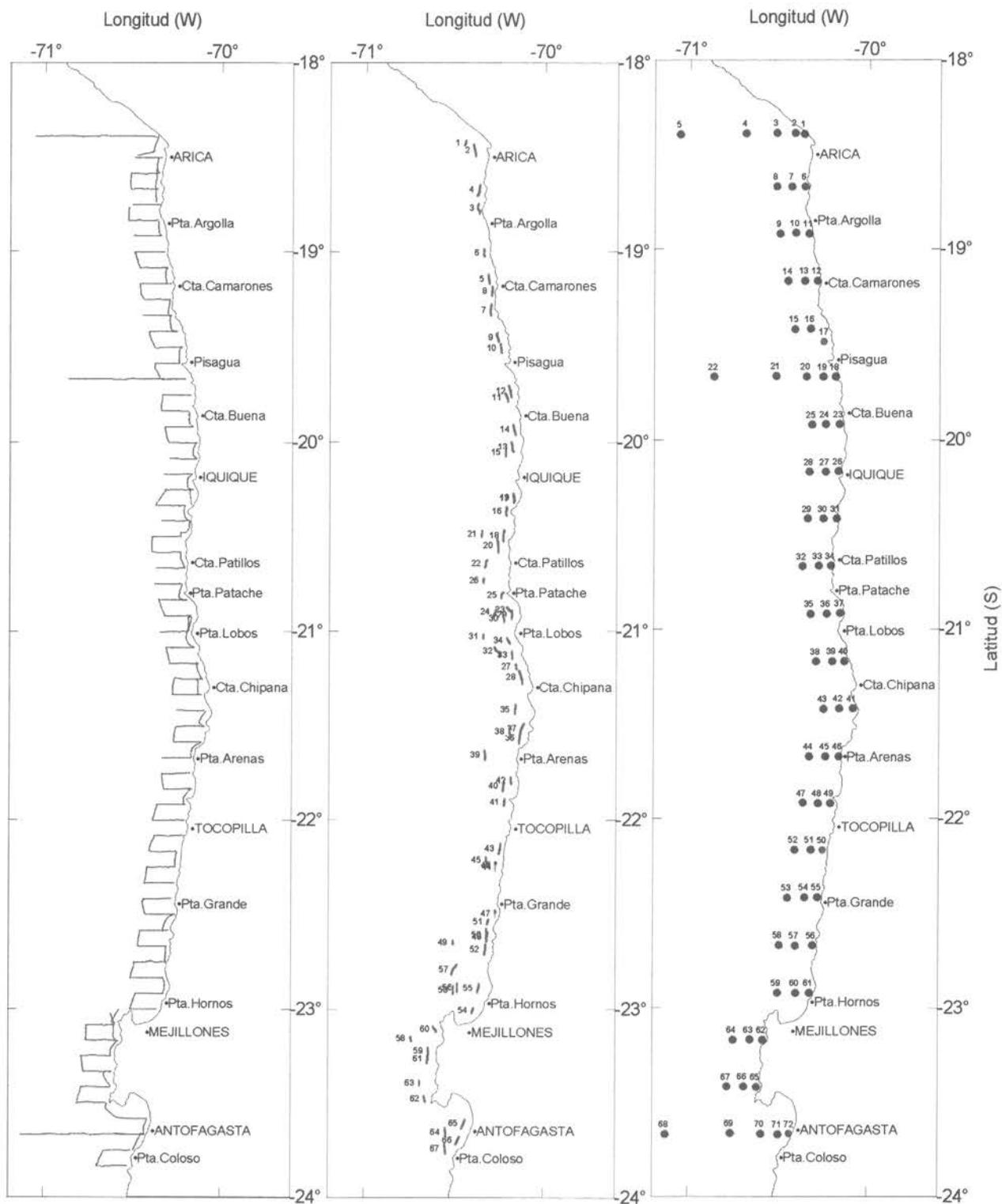


Figura 1. a) Track de navegación nocturna (acústica); b) ubicación de los lances de pesca de media agua y c) posición de las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9801. Enero de 1998.

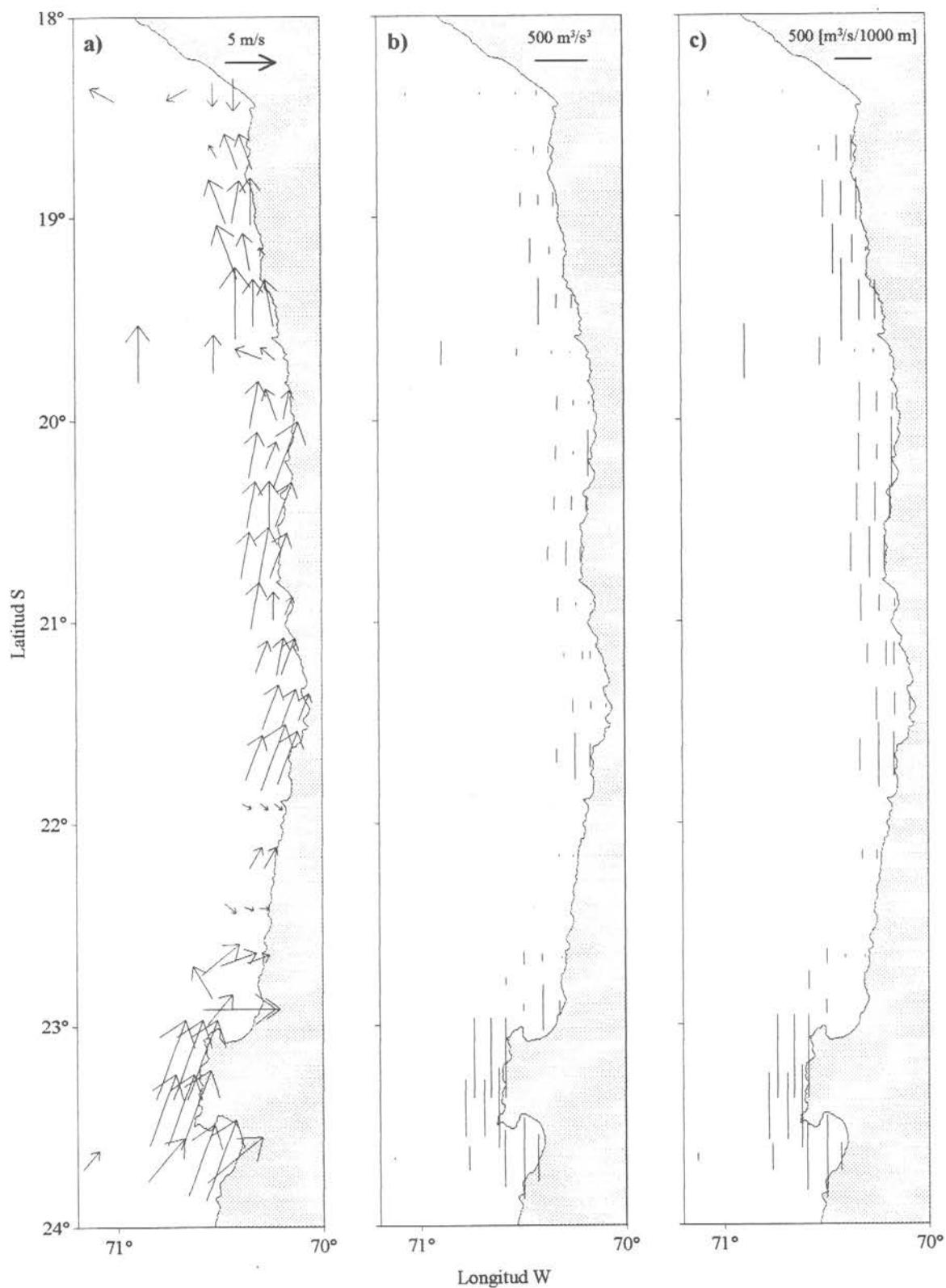


Fig. 2.- a) Dirección e intensidad del viento, b) índice de turbulencia y c) índice de surgencia en las estaciones oceanográficas. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

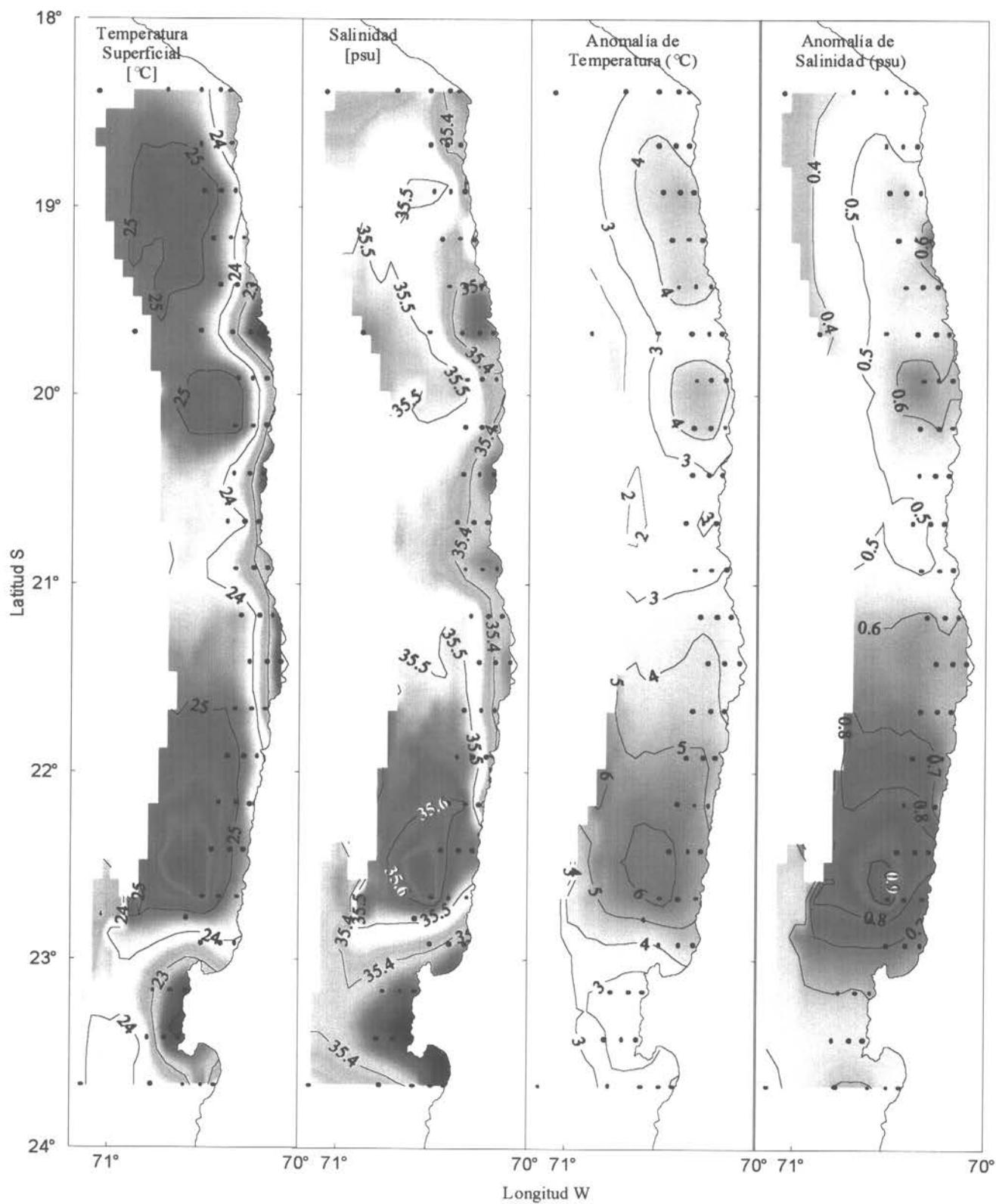


Fig. 3.- Distribución superficial de temperatura [°C], salinidad [psu], anomalía de temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

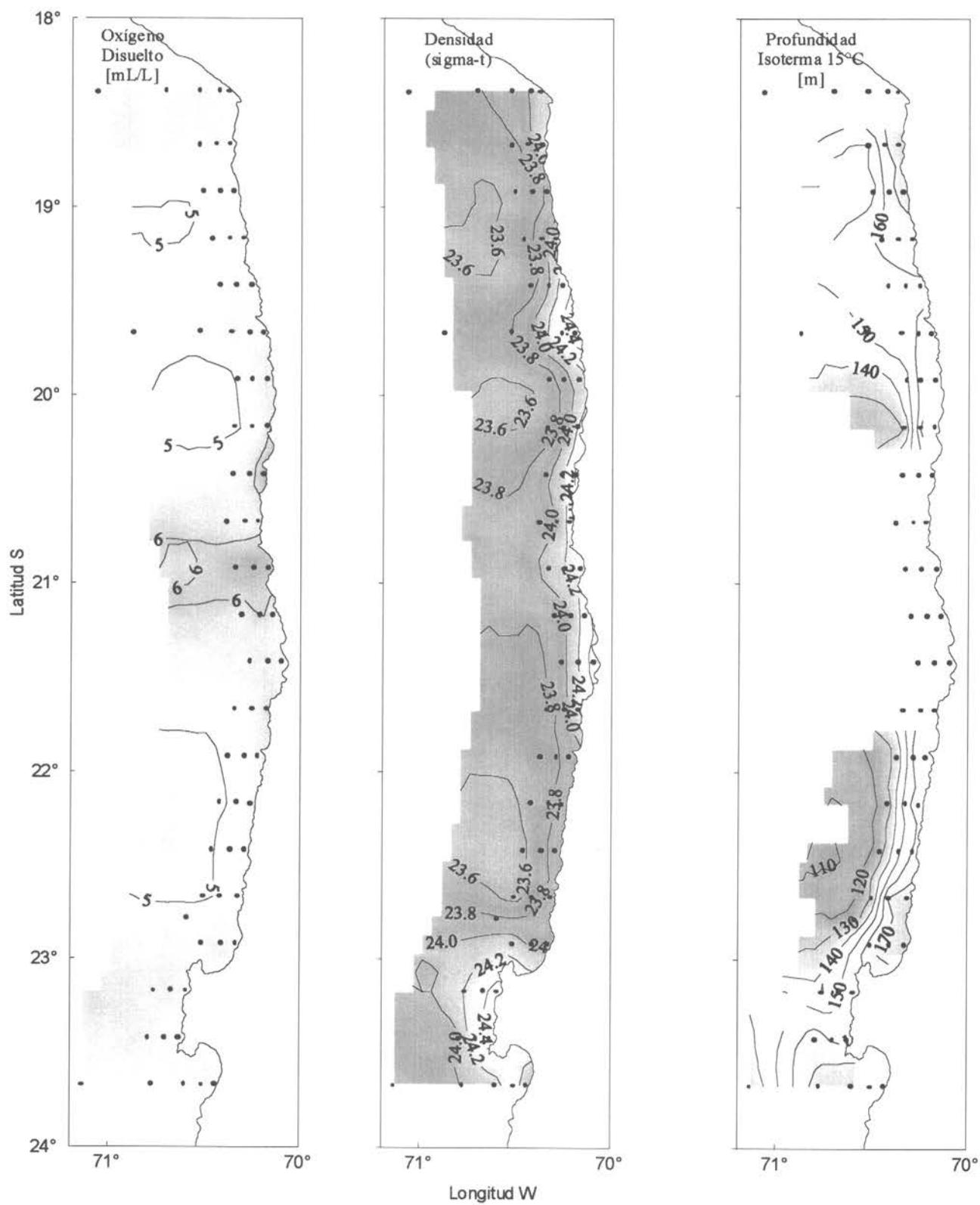


Fig. 4.- Distribución superficial de oxígeno [mL/L] y densidad (sigma-t); y profundidad isoterma 15°C [m].
 Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

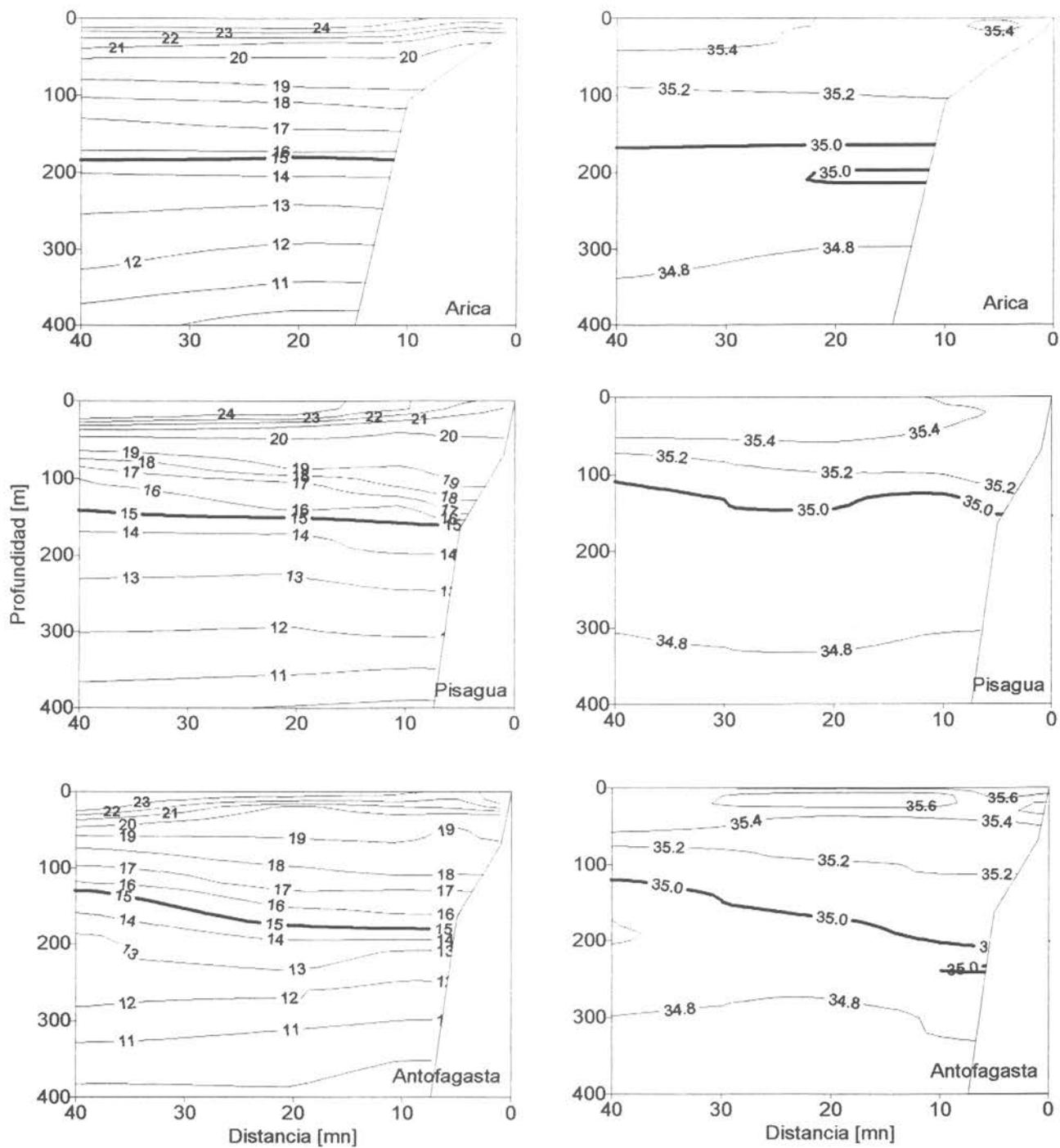


Fig. 5.- Perfiles verticales de temperatura y salinidad en las transectas de Arica, Pisagua y Antofagasta. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

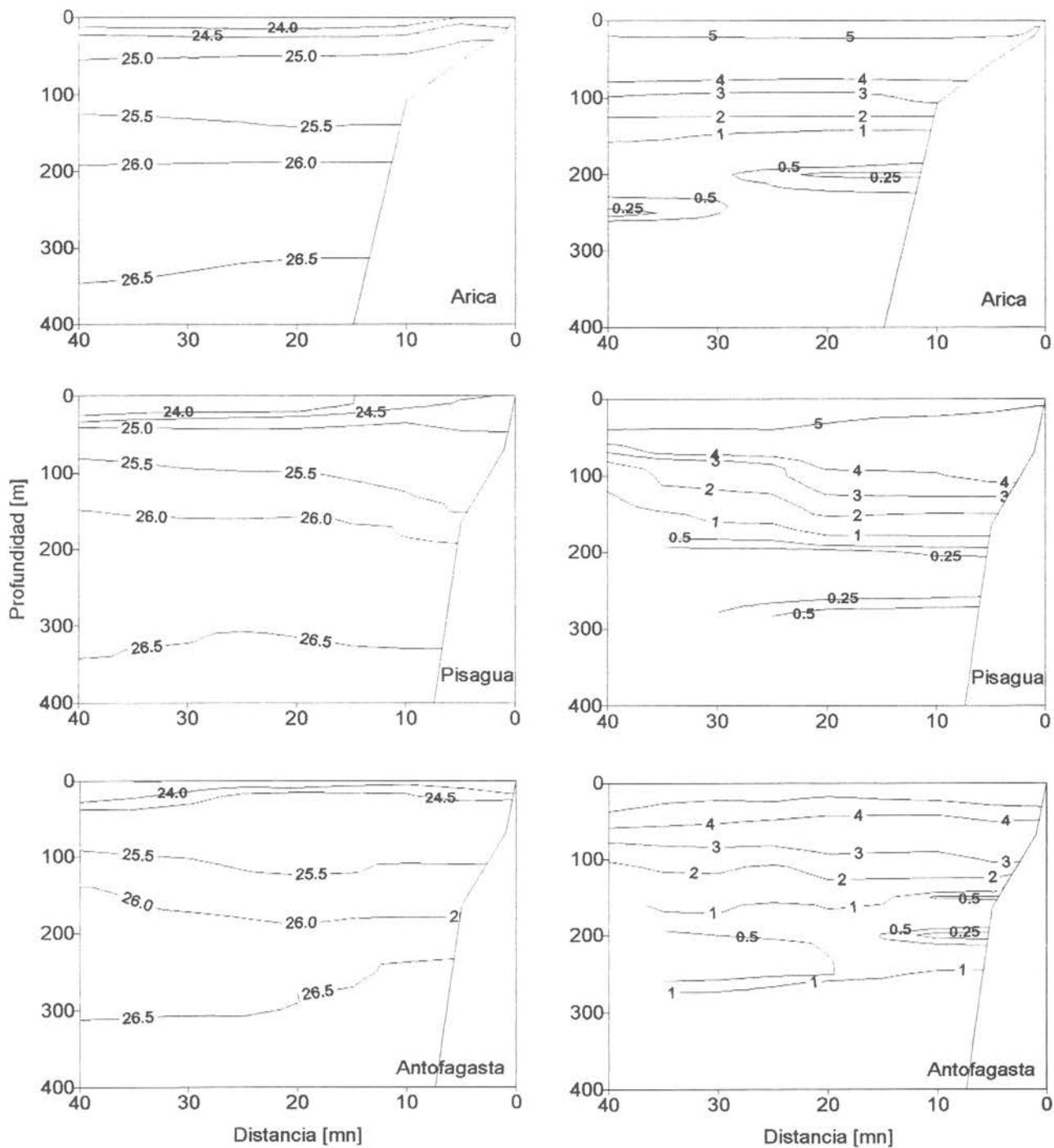


Fig. 6.- Perfiles verticales de densidad (σ_t) y oxígeno disuelto en las transectas de Arica, Pisagua y Antofagasta. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

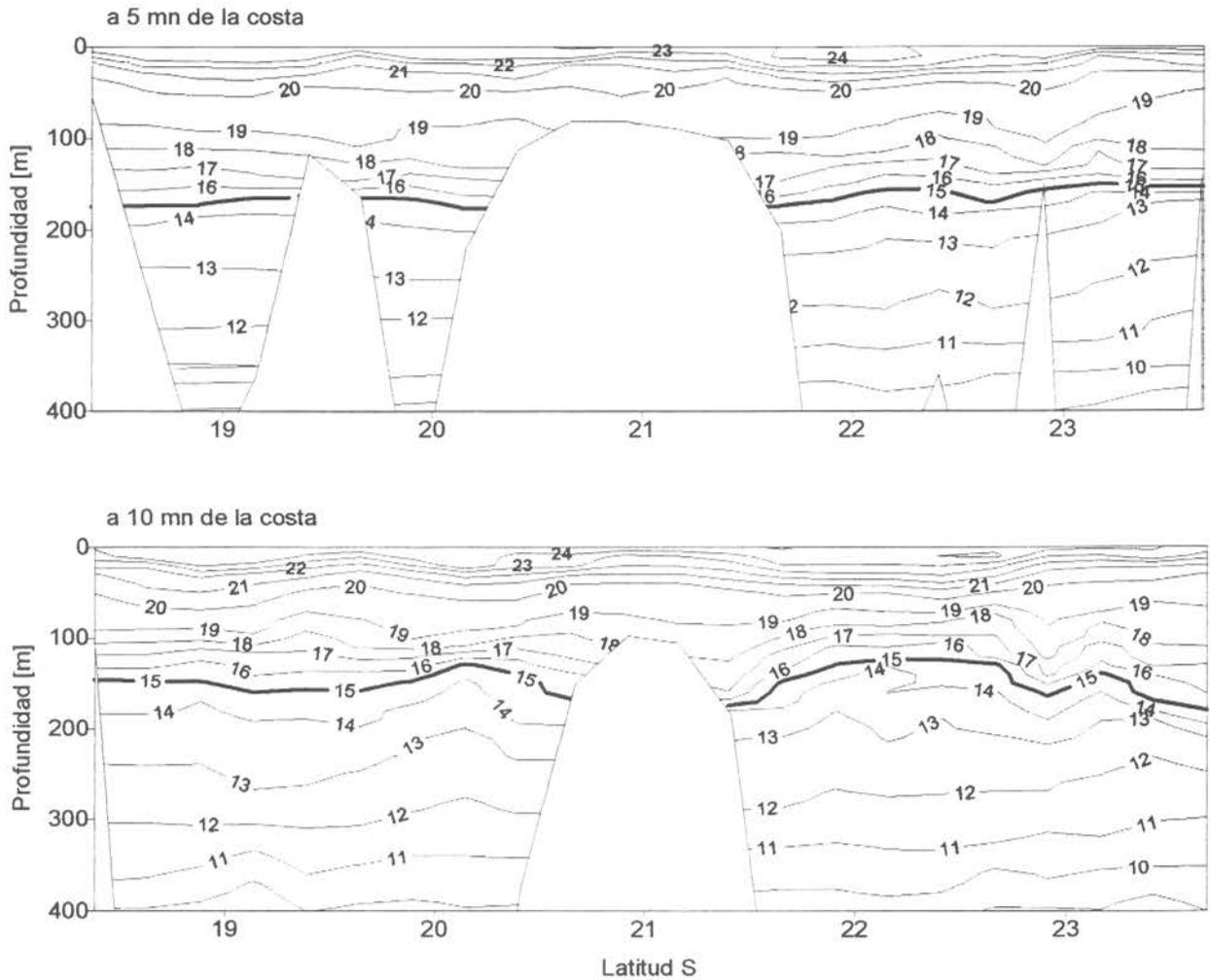


Fig. 7.- Perfiles verticales de temperatura a 5 y 10 mn de la costa. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

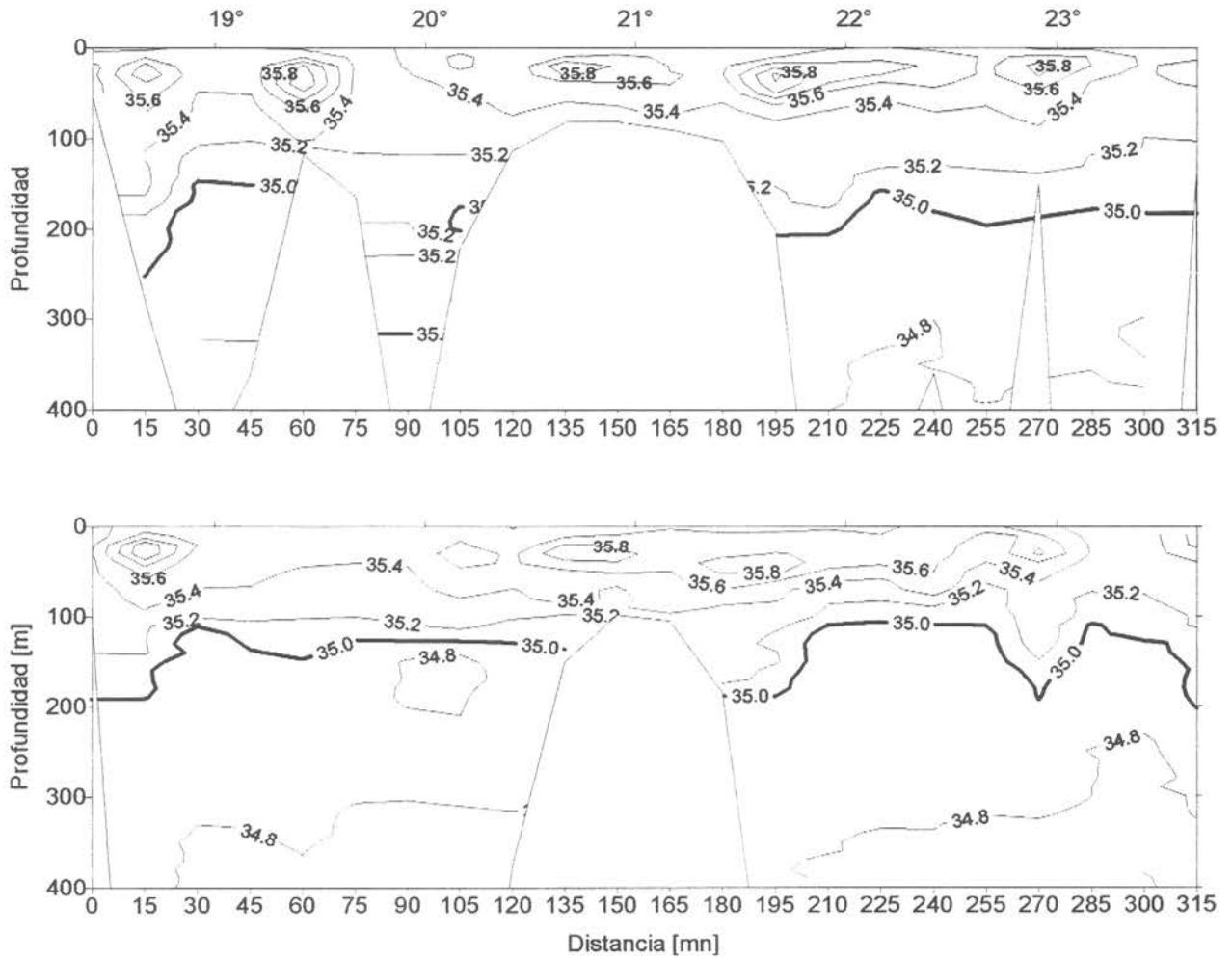


Fig. 8.- Perfiles verticales de salinidad a 5 y 10 mn de la costa. Cruce RECLAN 9801. Enero 1998.

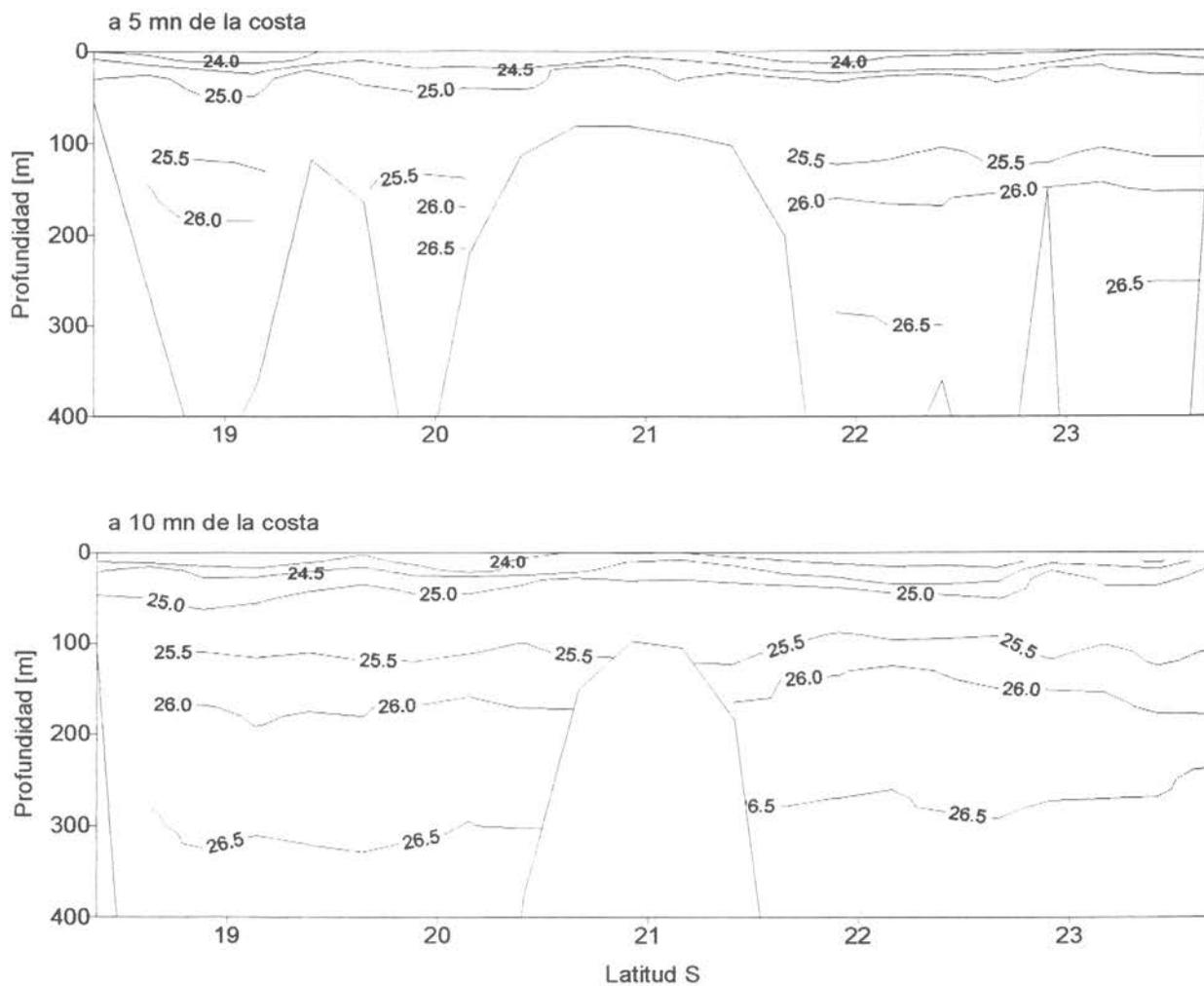


Fig. 9.- Perfiles verticales de densidad (σ_t) a 5 y 10 mn de la costa. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

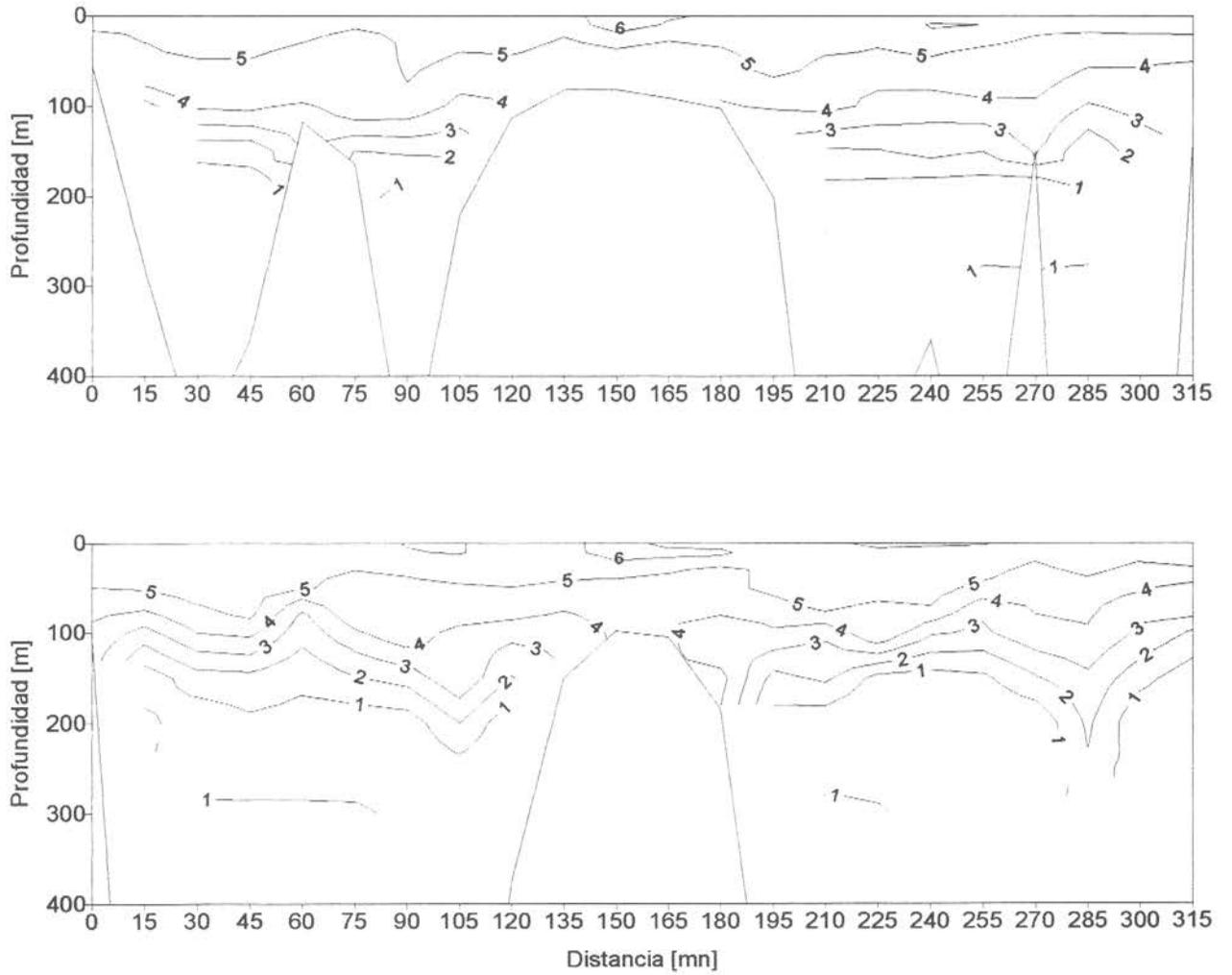


Fig. 10.- Perfiles verticales de oxígeno a 5 y 10 mn de la costa. Cruce RECLAN 9801. Enero 1998.

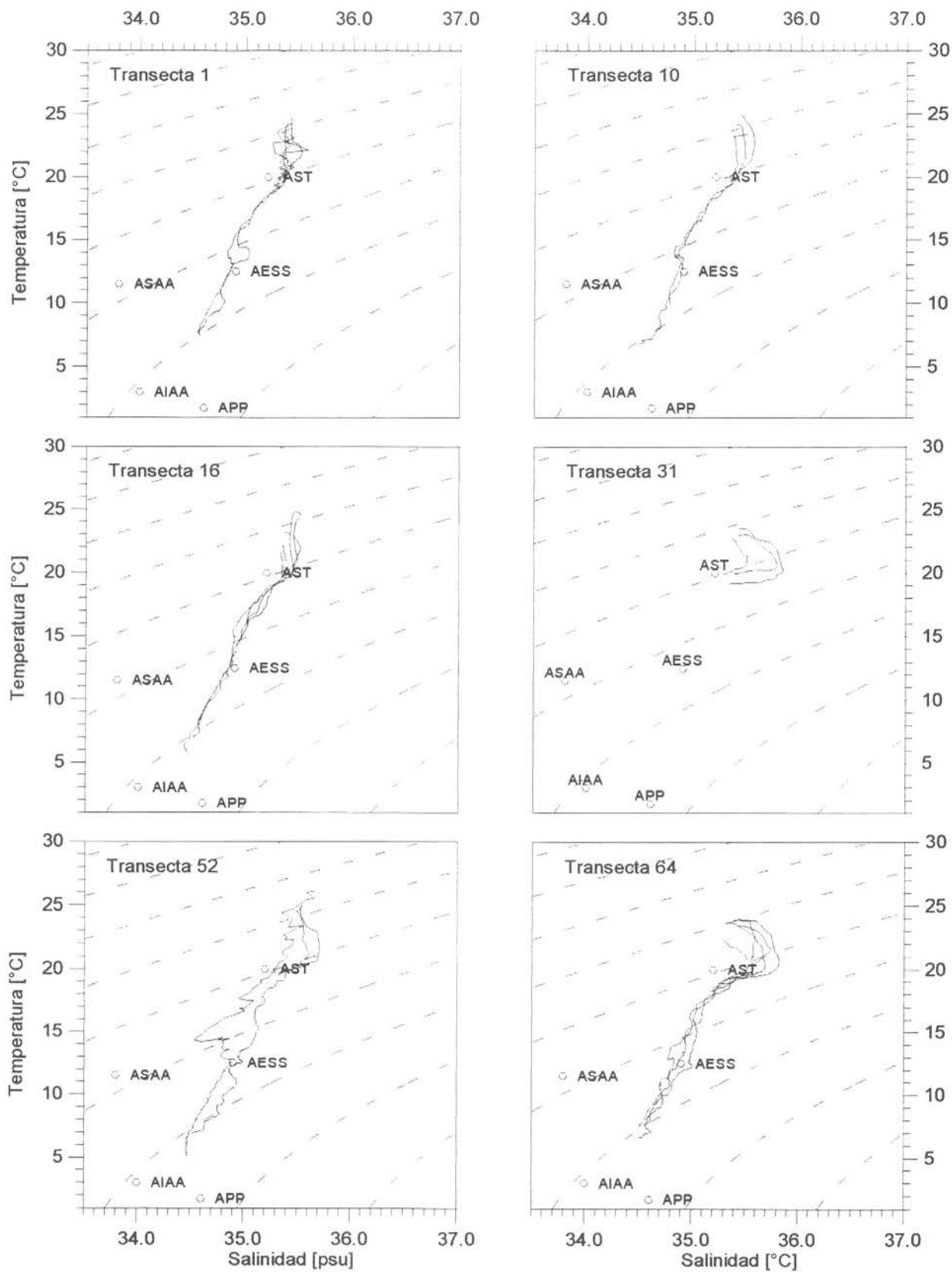


Fig. 11.- Diagrama T-S de las transectas 1, 10, 16, 31, 52, y 64. Crucero RECLAN 9801. Enero 1998.

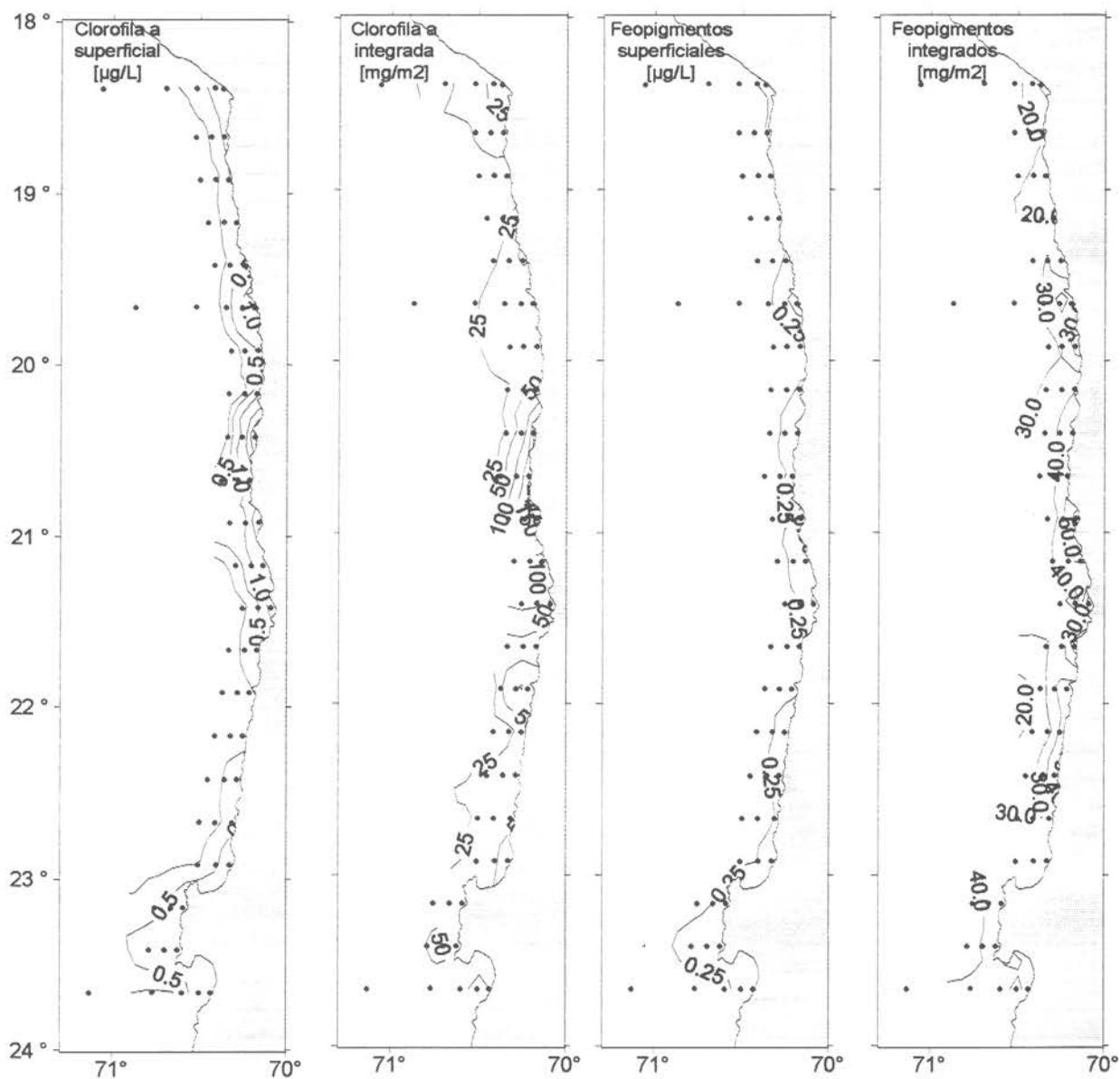


Figura 12. Distribución de clorofila a superficial e integrada y de feopigmentos superficiales e integrados.

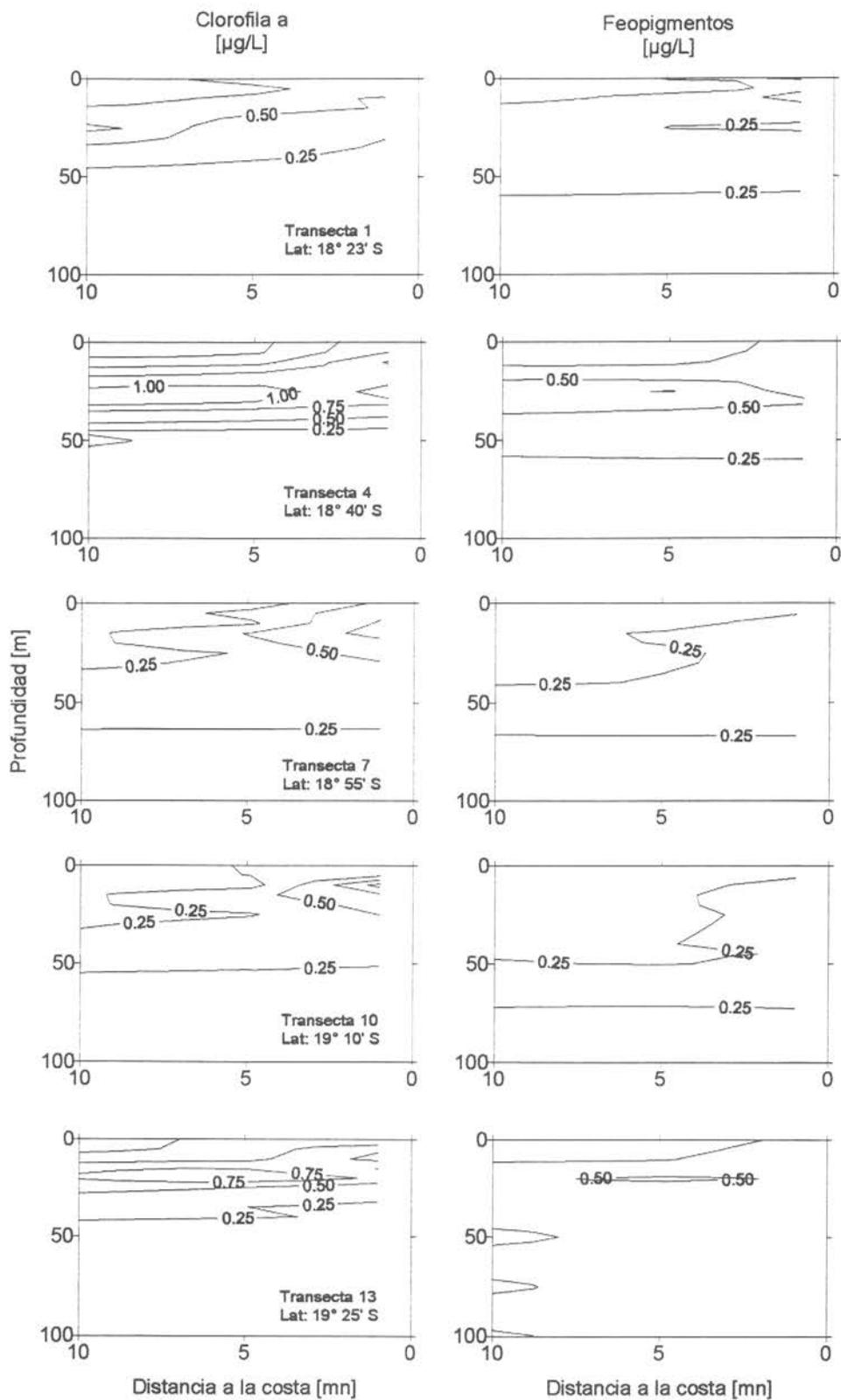


Figura 13. Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 1 a la 13.

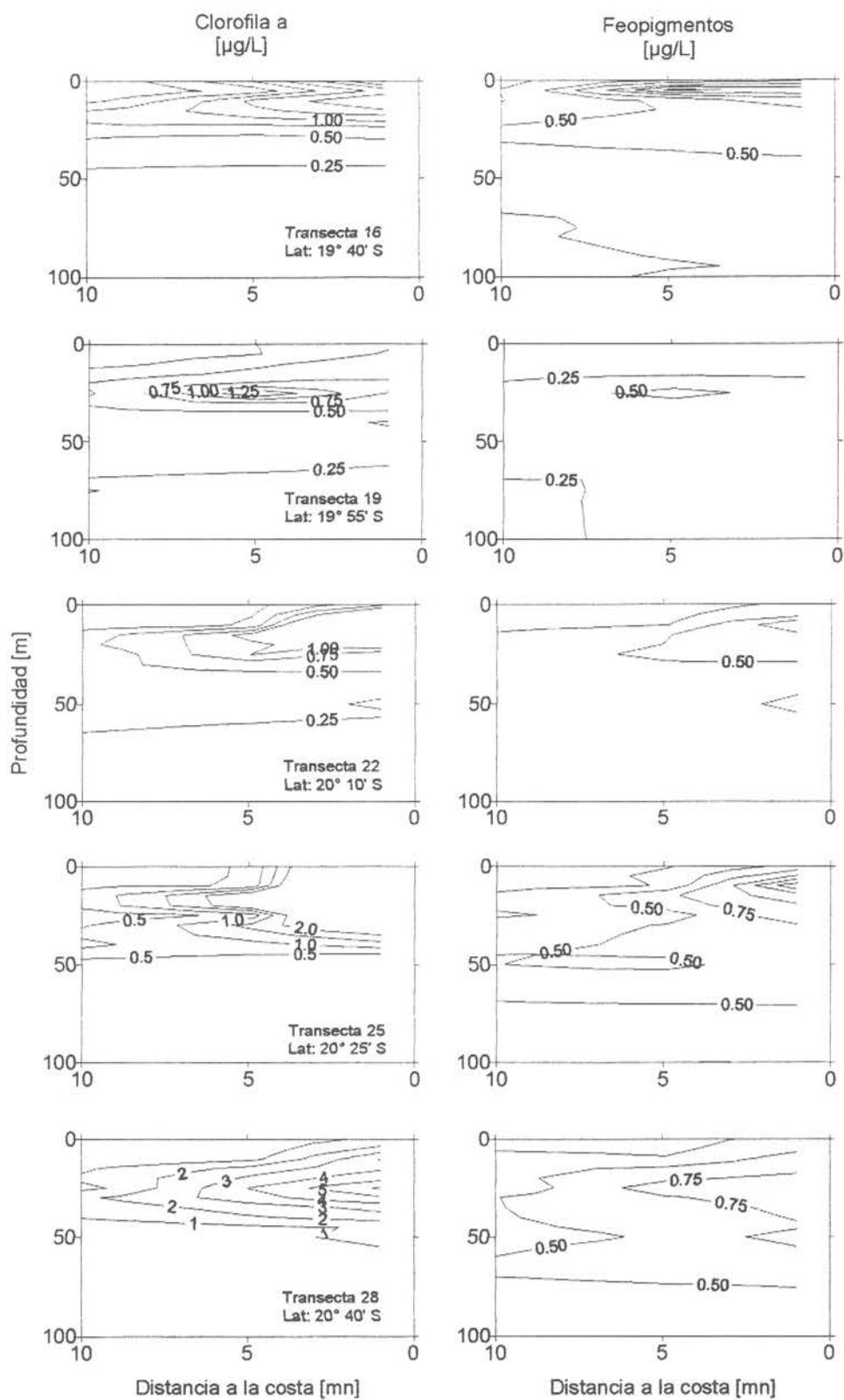


Figura 14. Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 16 a la 28.

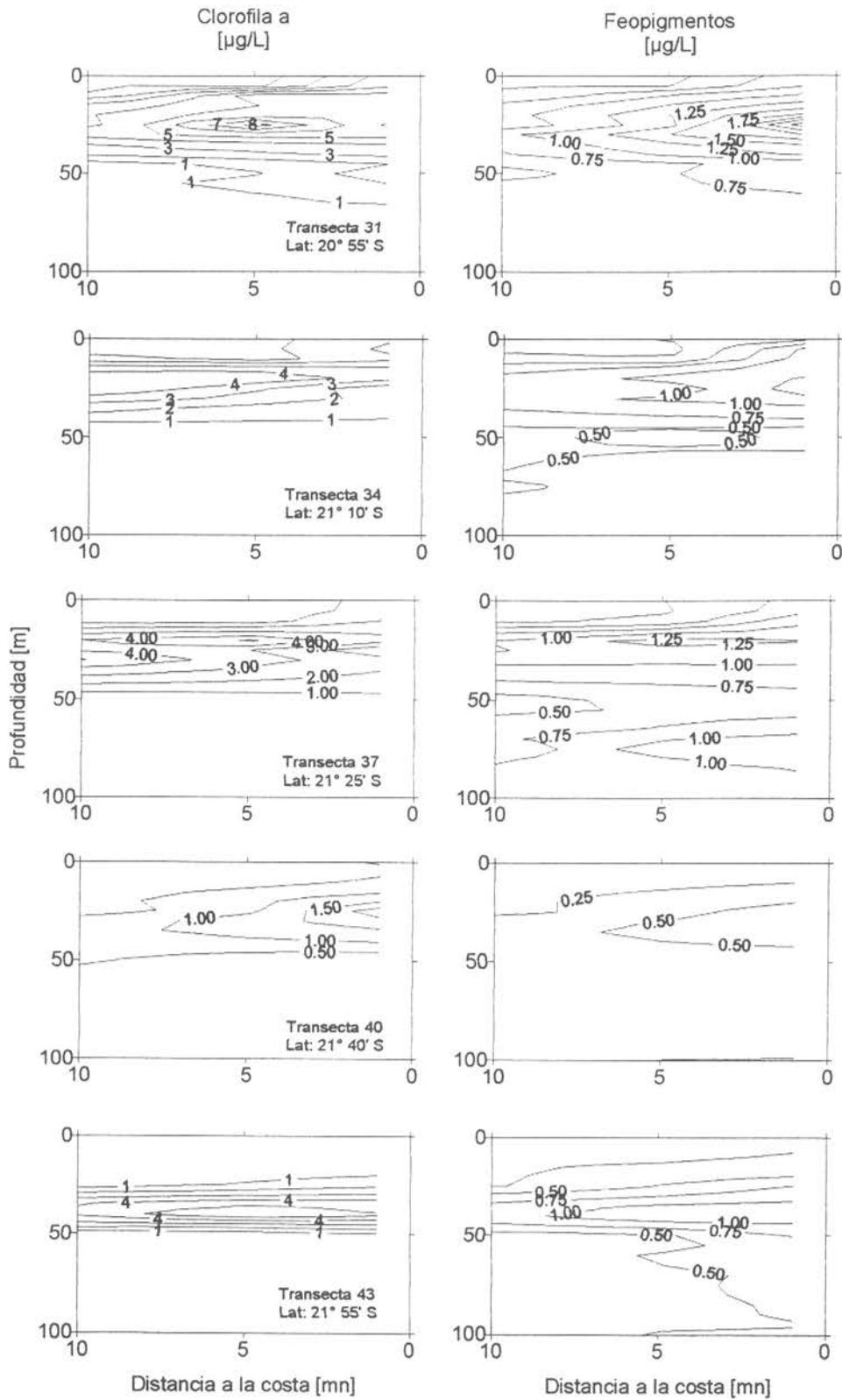


Figura 15. Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 31 a la 43.

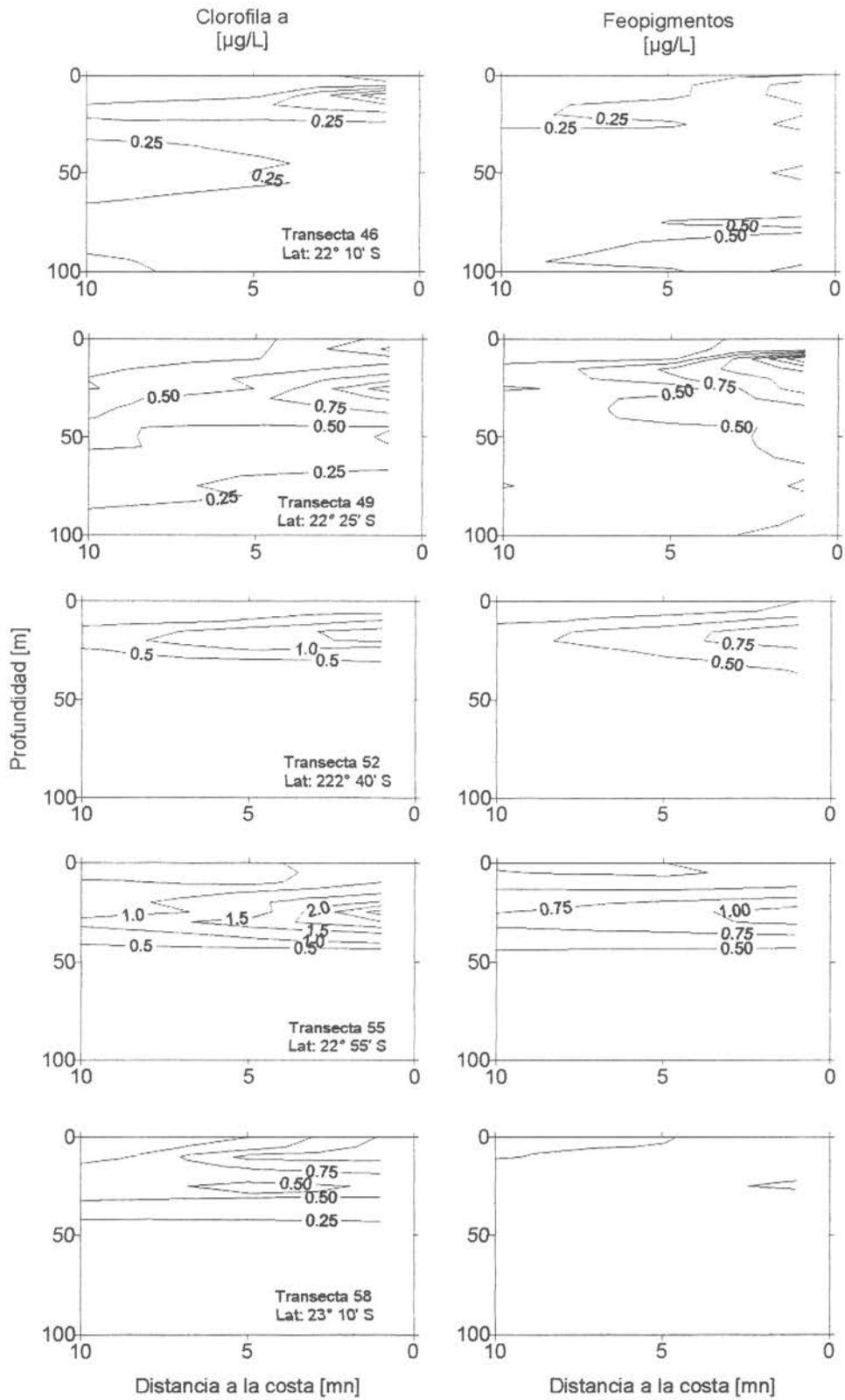


Figura 16. Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 46 a la 58.

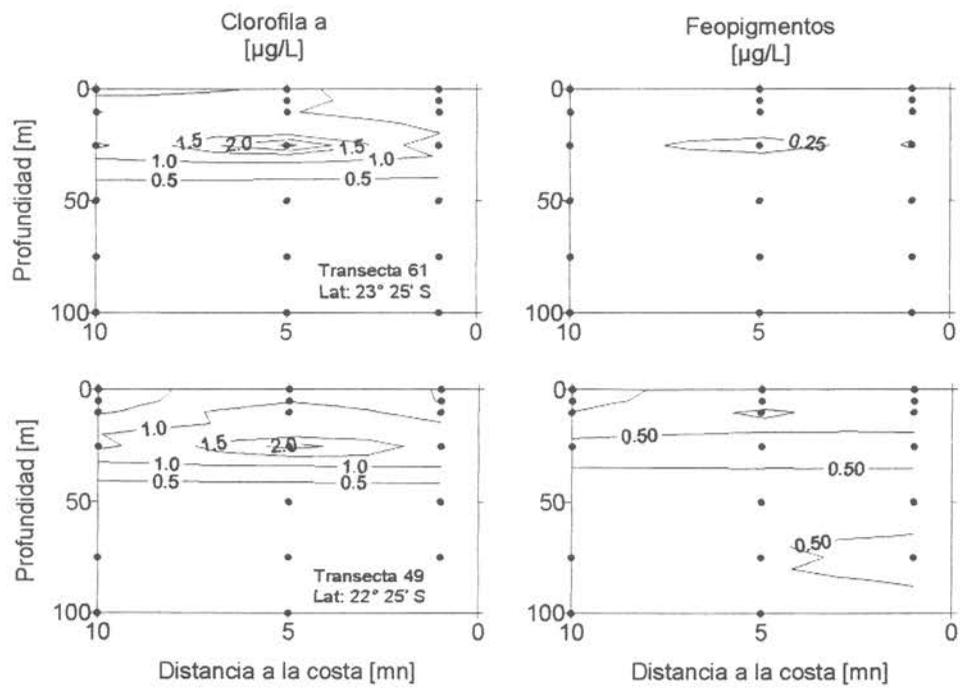


Figura 17. Distribución batimétrica de clorofila a y feopigmentos de las transectas 61 y 64.

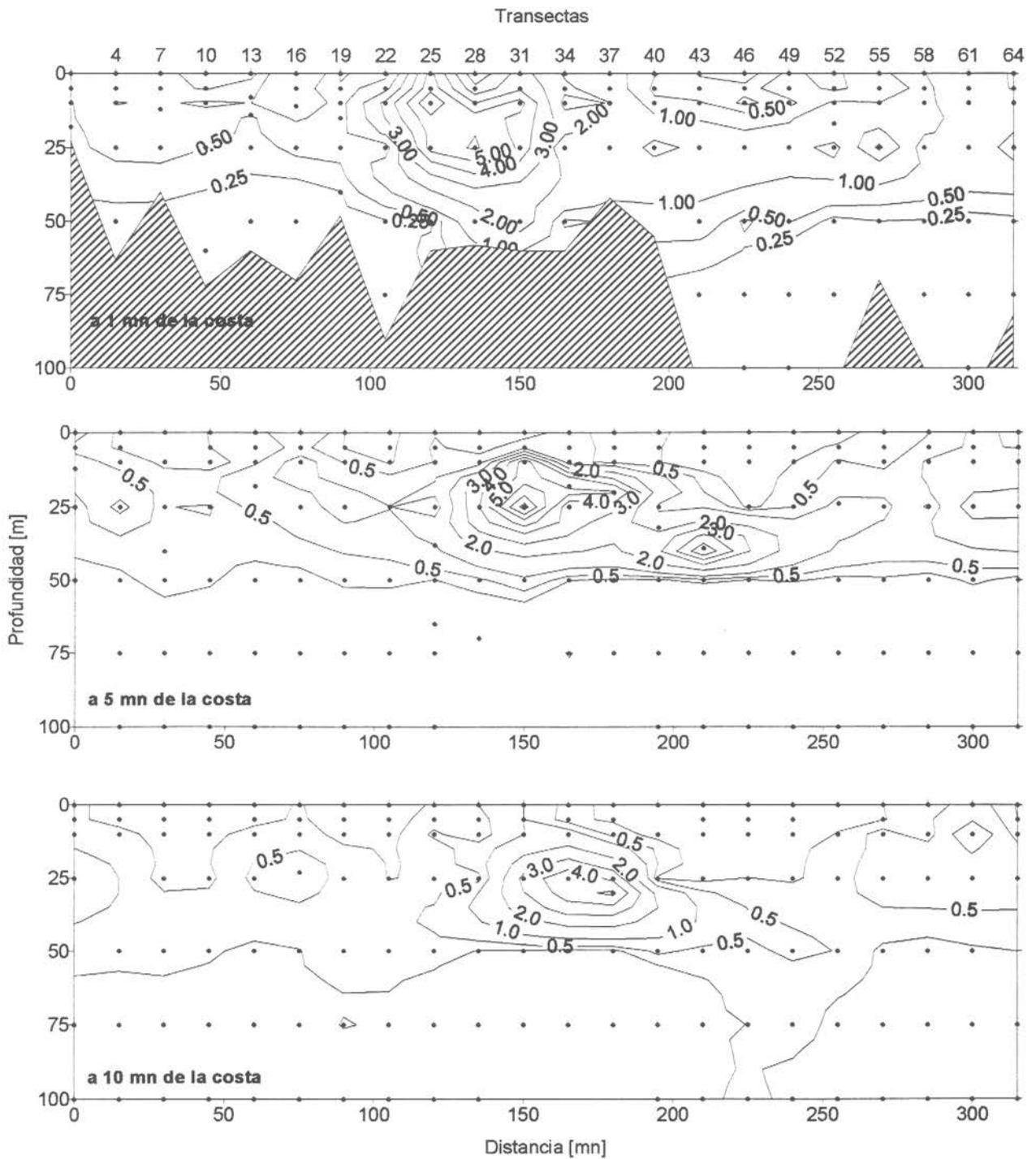


Figura 18. Secciones paralelas a la costa de la distribución batimétrica de la clorofila a

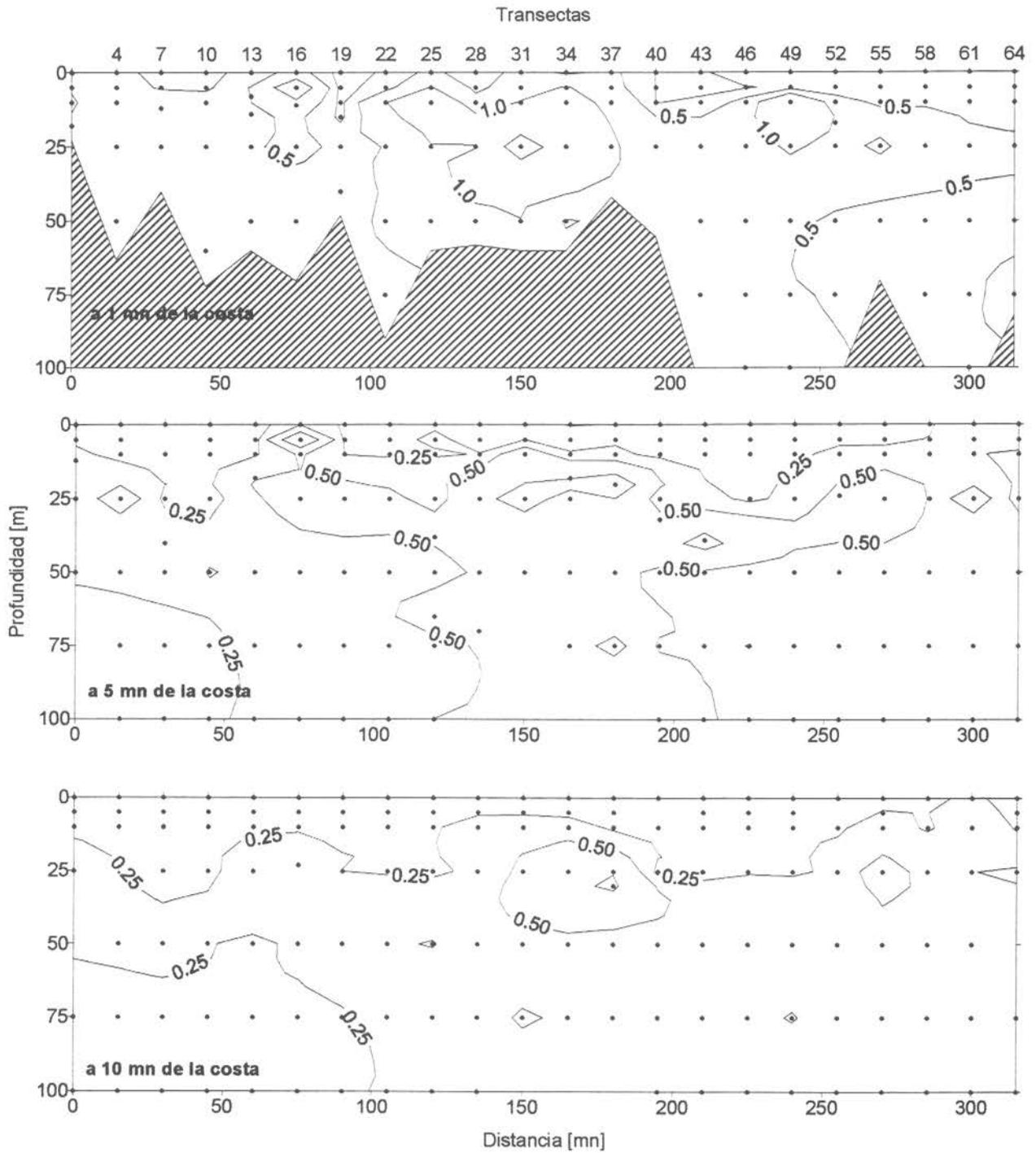


Figura 19. Secciones paralelas a la costa de la distribución batimétrica de los feopigmentos.

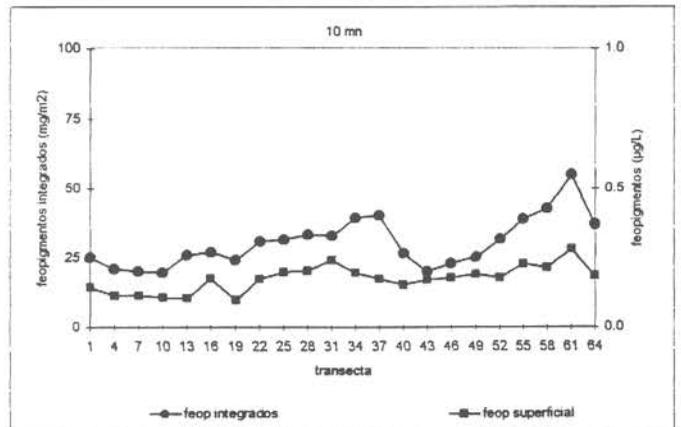
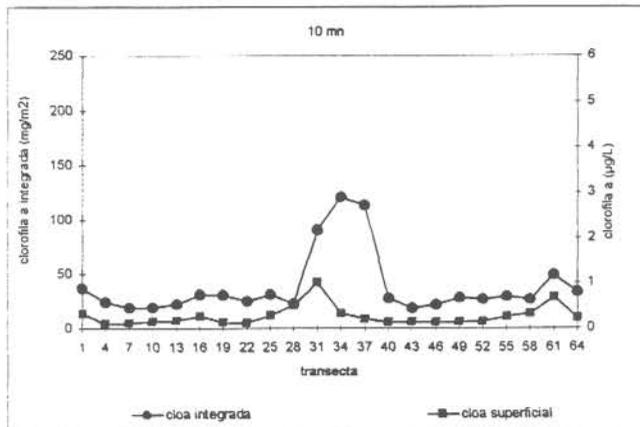
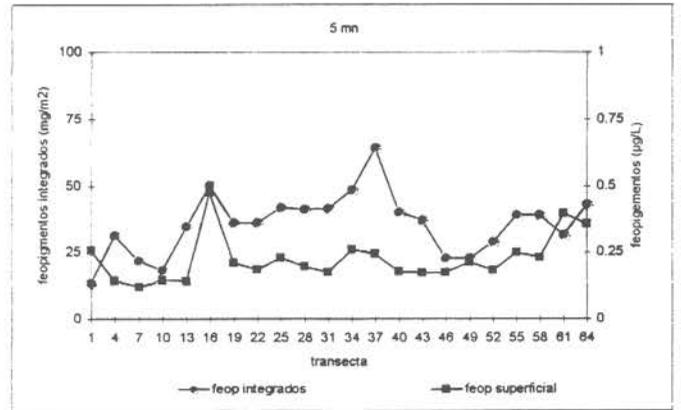
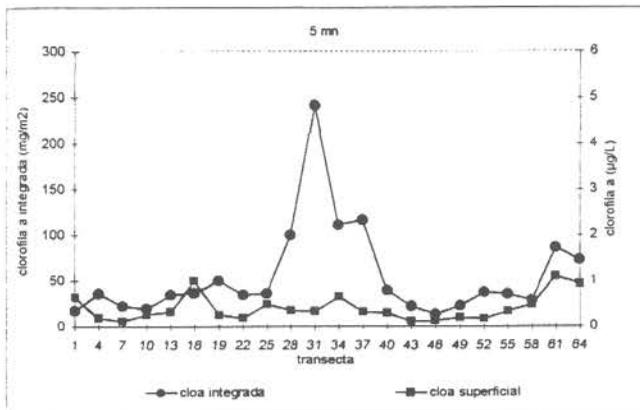
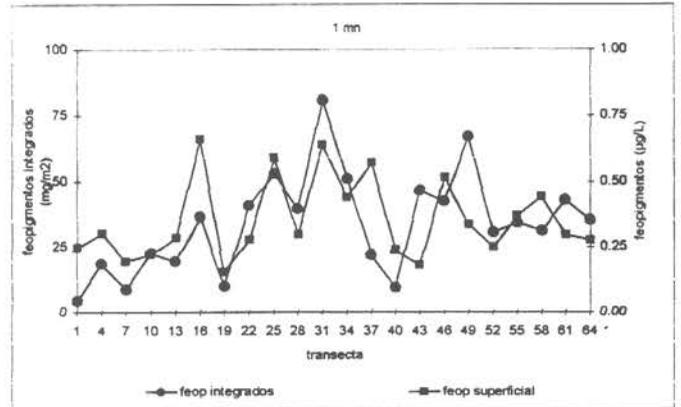
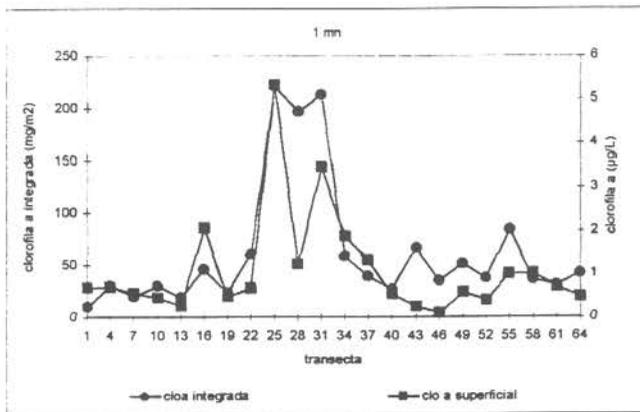


Figura 20. Distribución de la clorofila a y los feopigmentos superficiales ($\mu\text{g/L}$) e integrados (mg/m^3), desde las transecta 1 a la 64, a 1, 5 y 10 mn de distancia de la costa.

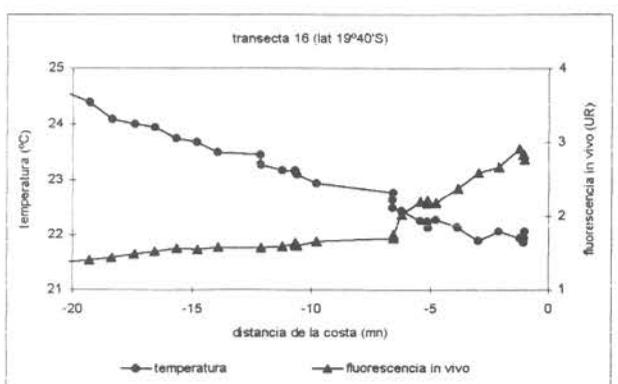
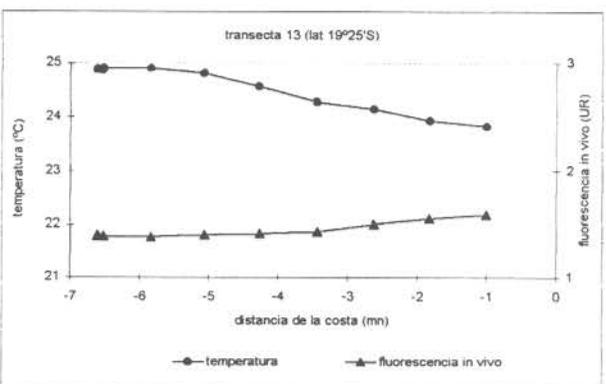
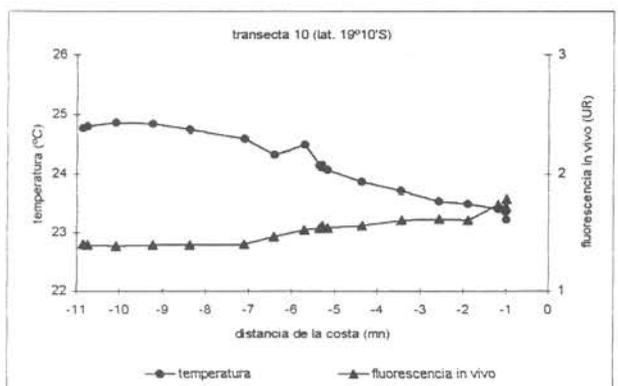
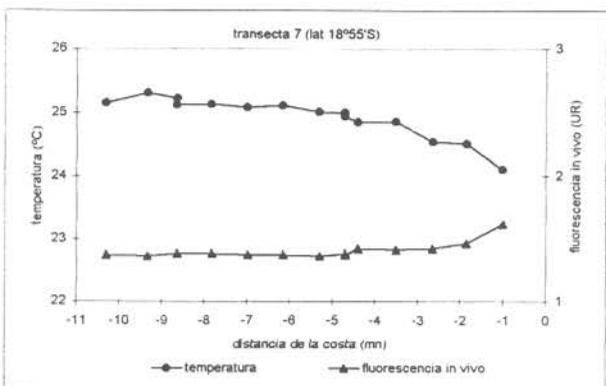
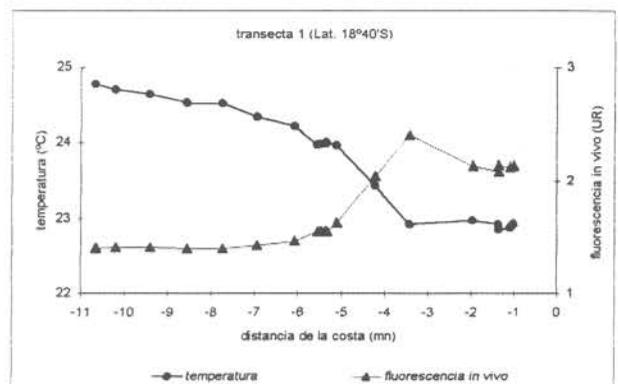
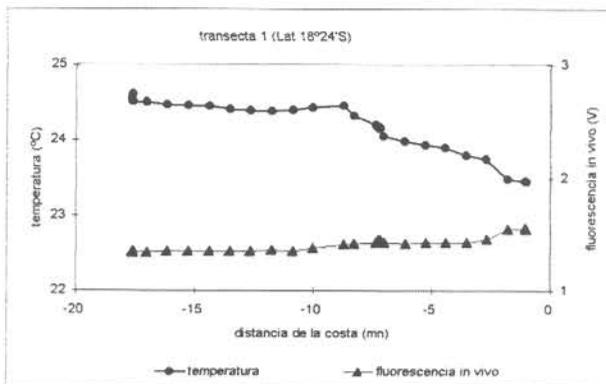


Figura 21. Perfiles horizontales de temperatura (°C) y fluorescencia in vivo (UR), en las transectas 1 a la 16.

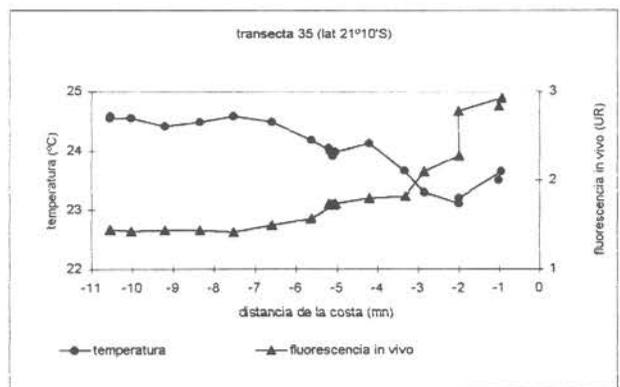
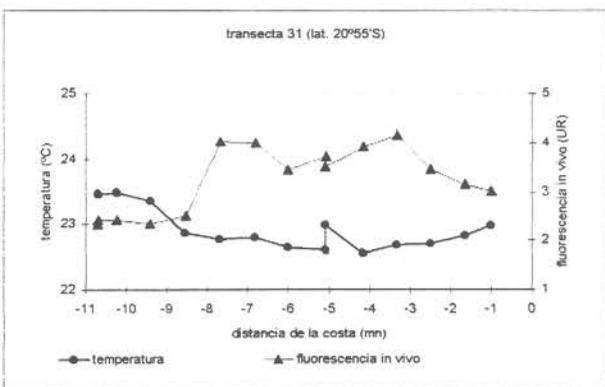
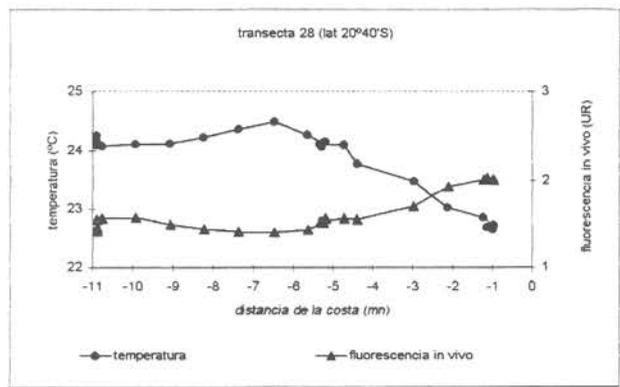
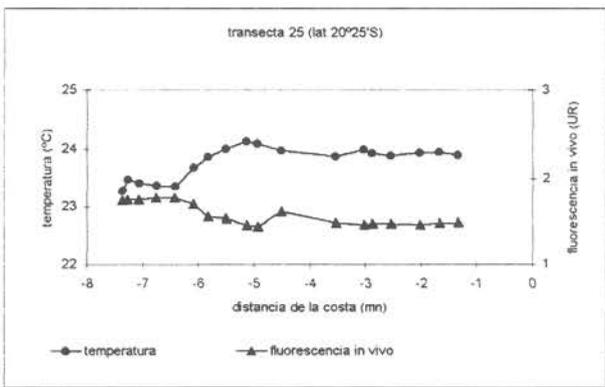
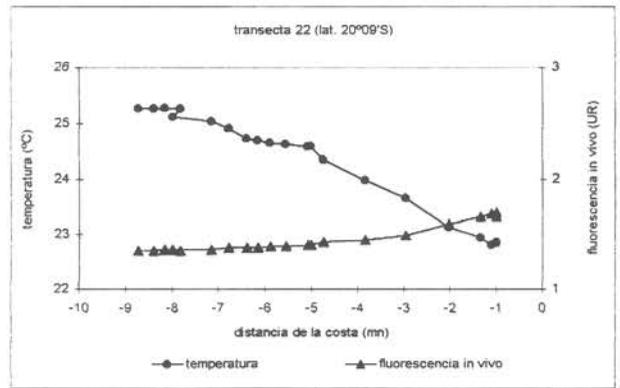
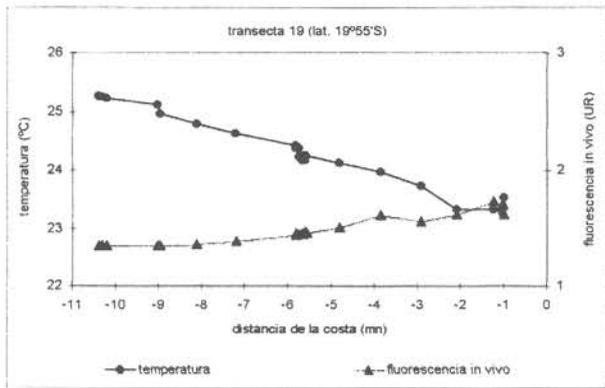


Figura 22. Perfiles horizontales de temperatura (°C) y fluorescencia in vivo (UR), en las transectas 19 a la 35.

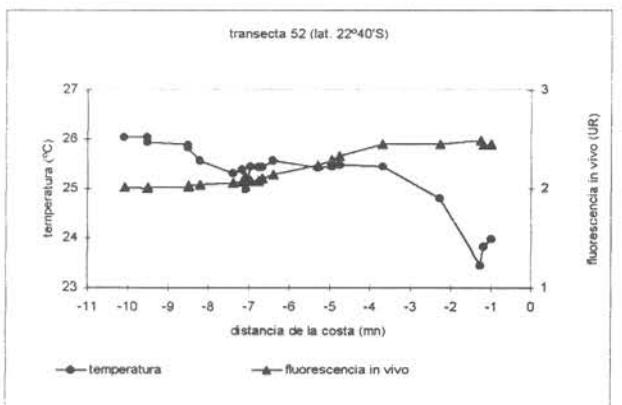
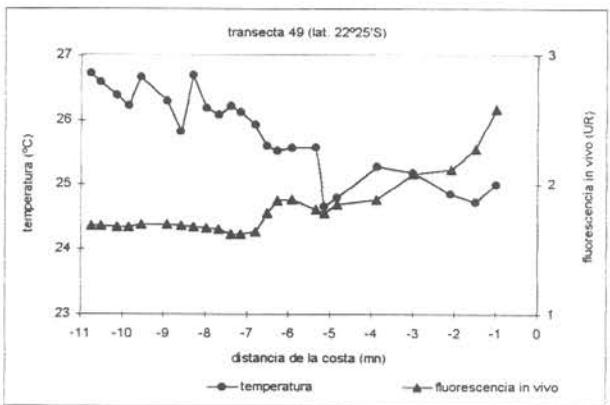
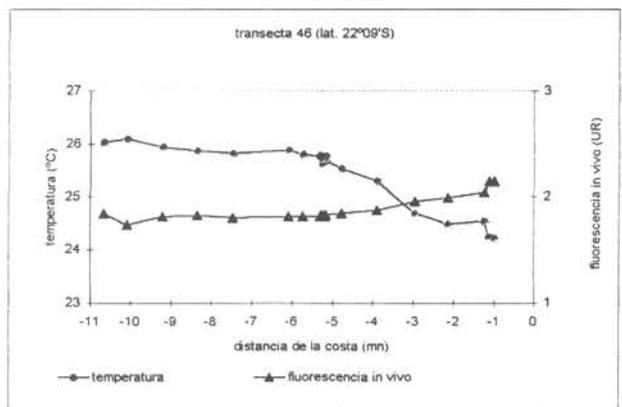
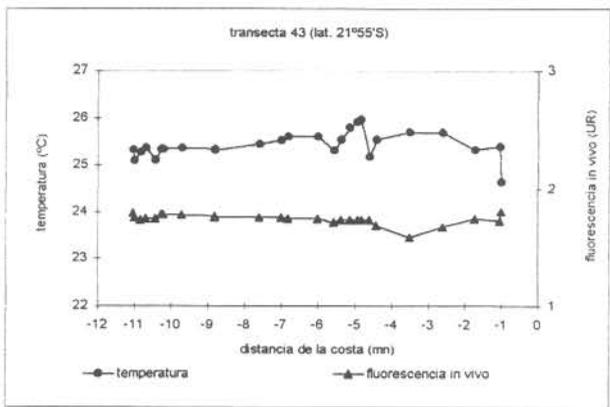
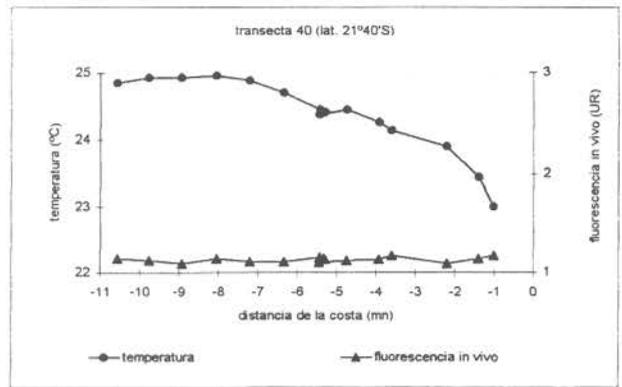
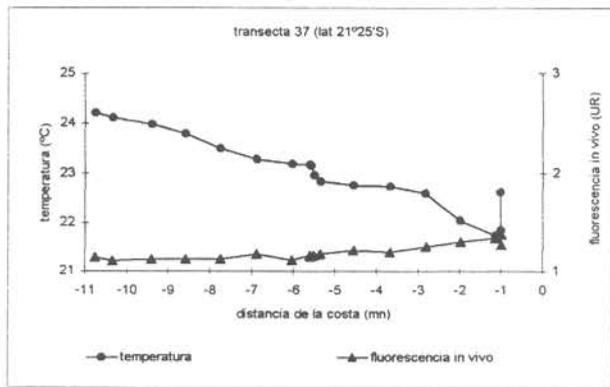


Figura 23. Perfiles horizontales de temperatura (°C) y fluorescencia in vivo (UR), en las transectas 37 a la 52.

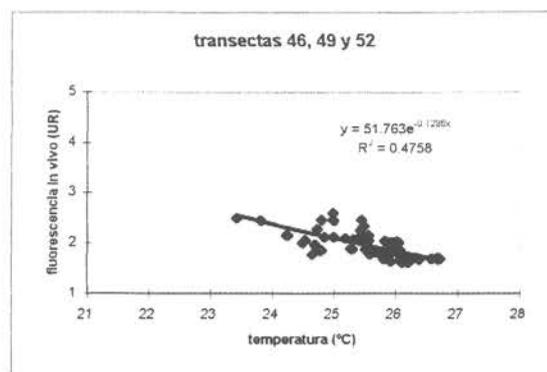
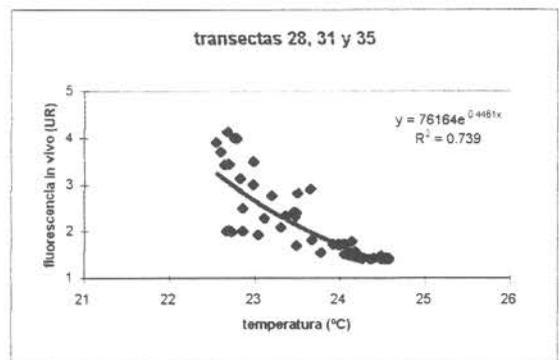
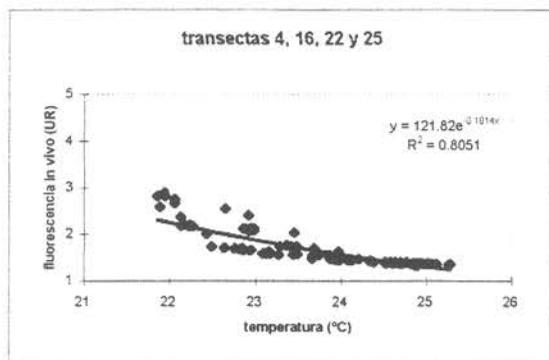
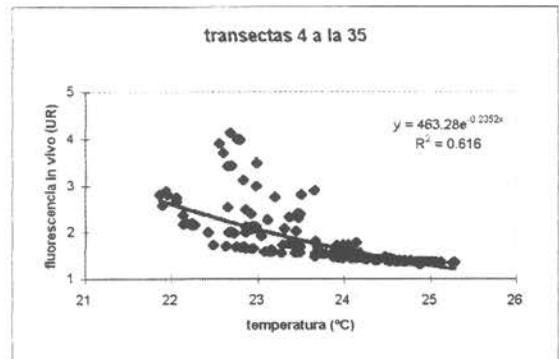
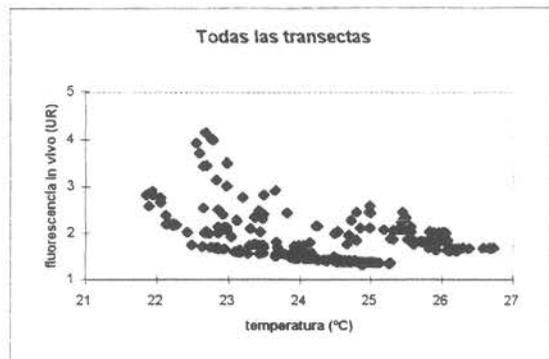


Figura 24. Relaciones funcionales de la temperatura (°C) y la fluorescencia in vivo (UR), desde las transectas 1 a la 52.

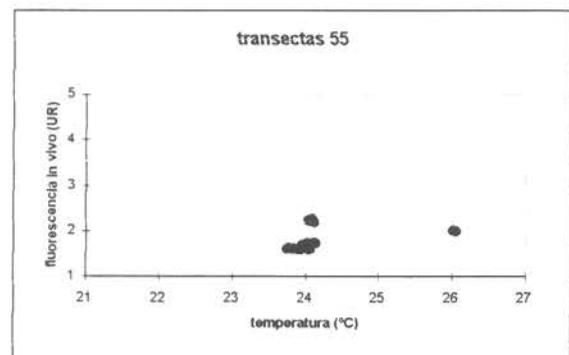
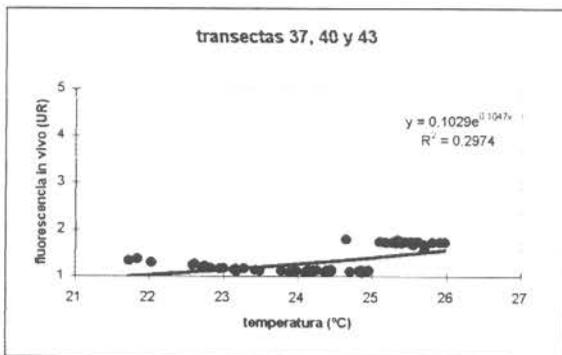
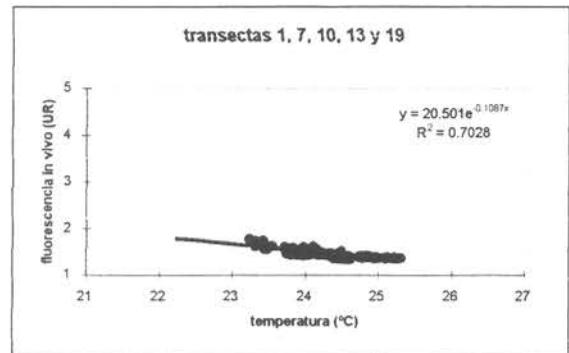
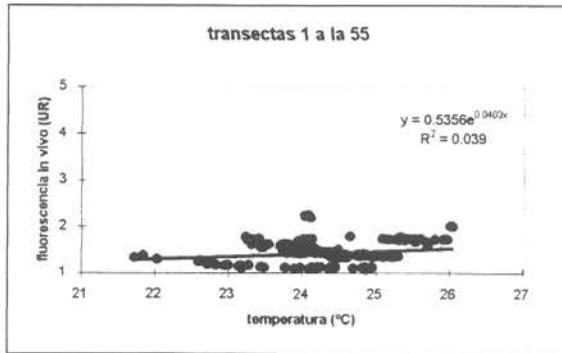


Figura 25. Diagramas de distribución funcional entre la temperatura (°C) y la fluorescencia in vivo (UR), en las transectas sin frente costero.

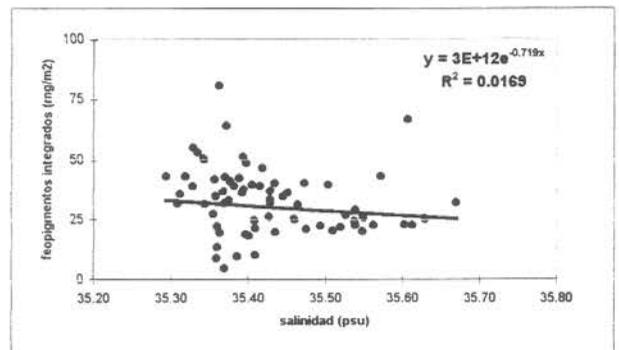
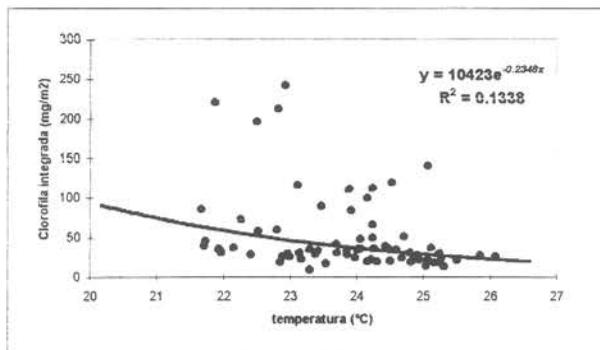
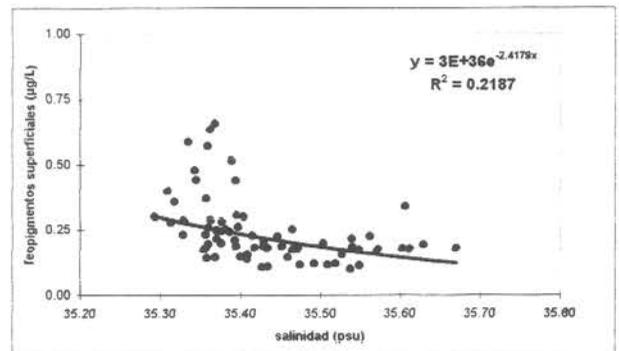
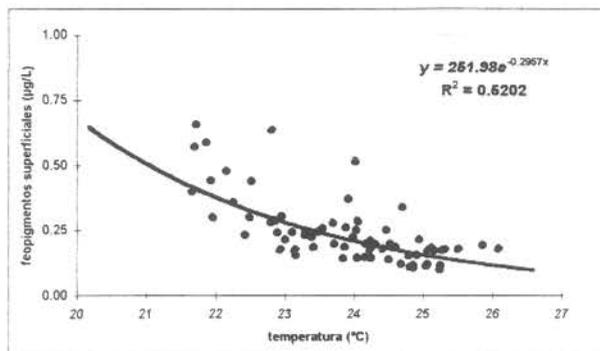
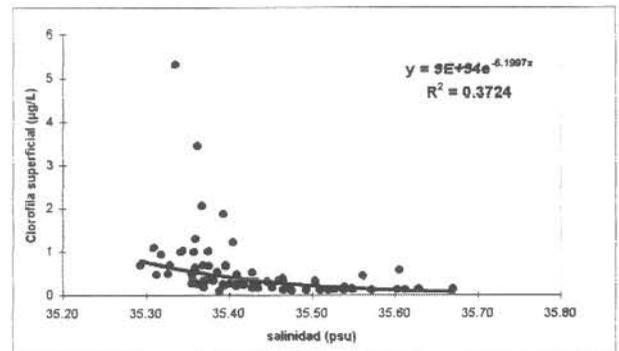
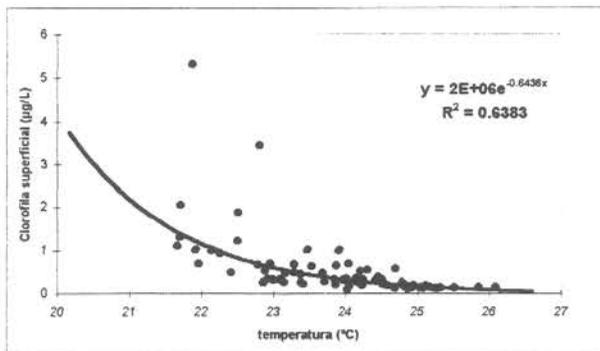


Figura 26. Relaciones funcionales entre los pigmentos vegetales superficiales ($\mu\text{g/L}$) e integrados (mg/m^3) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la salinidad (psu)

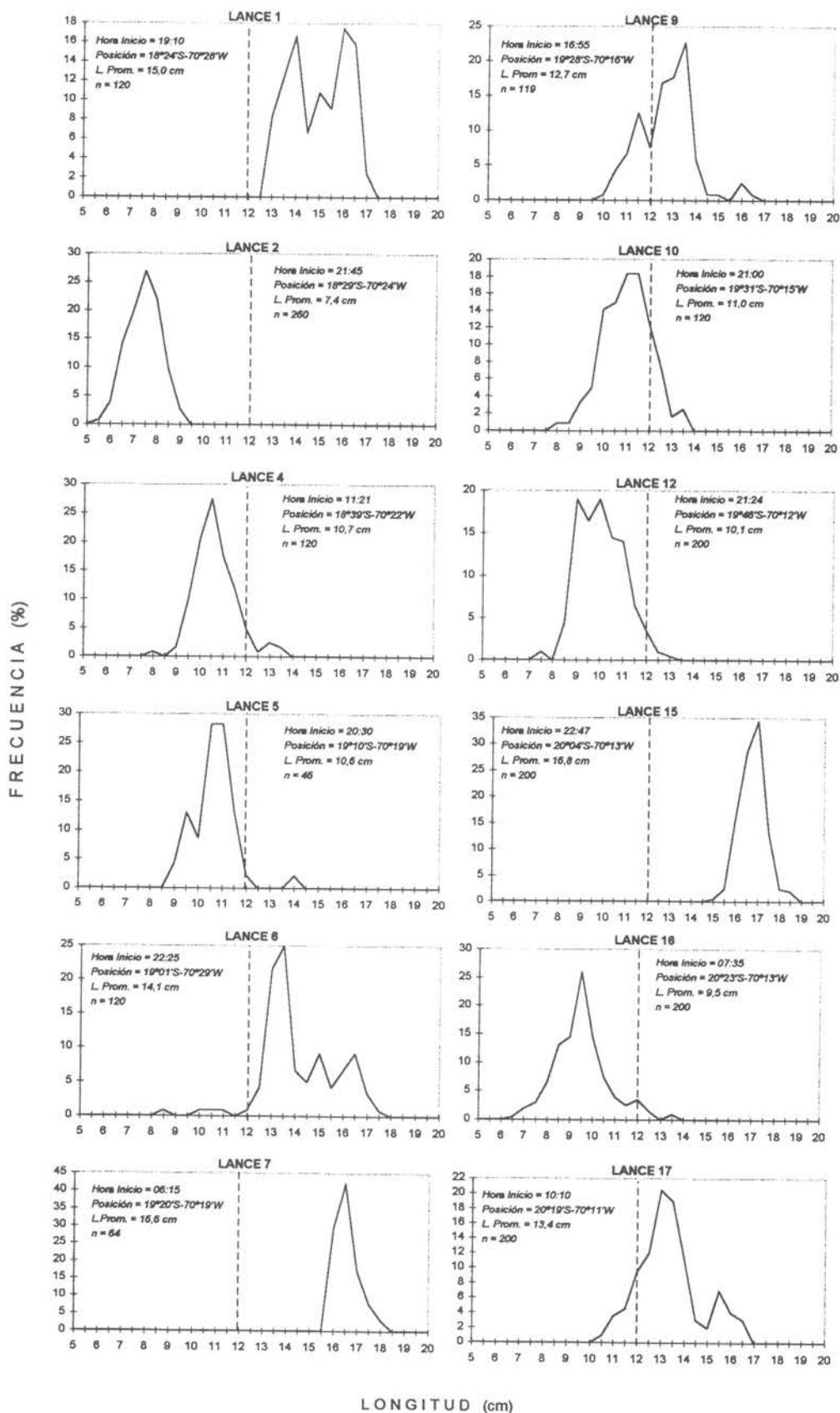


Figura 27 Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media-agua por lances de pesca en el Crucero RECLAN9801 (fracción recluta ≤ 12 cm).

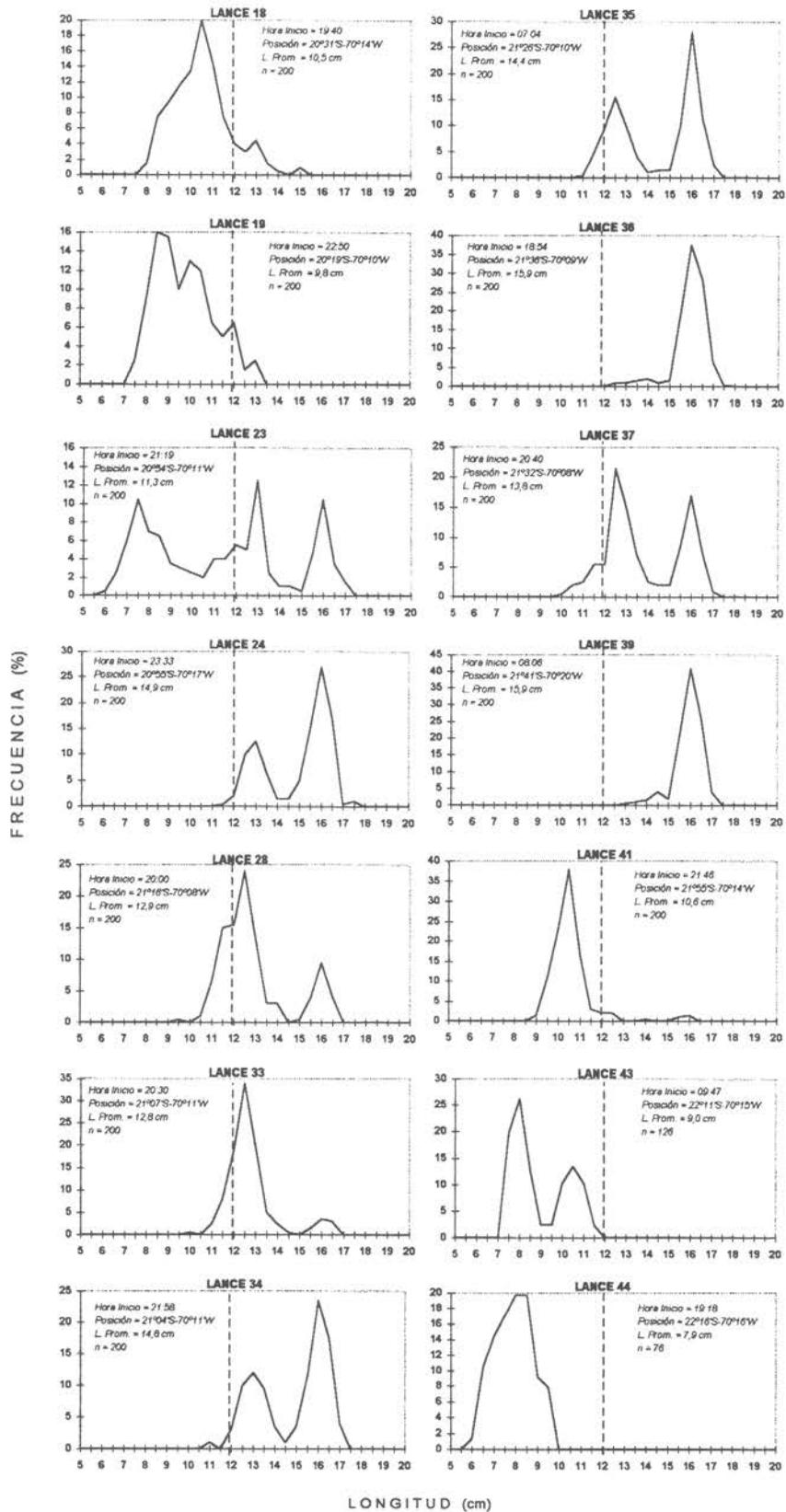


Figura 28. Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lances de pesca en el Creucero RECLAN9801 (fracción recluta ≤ 12 cm).

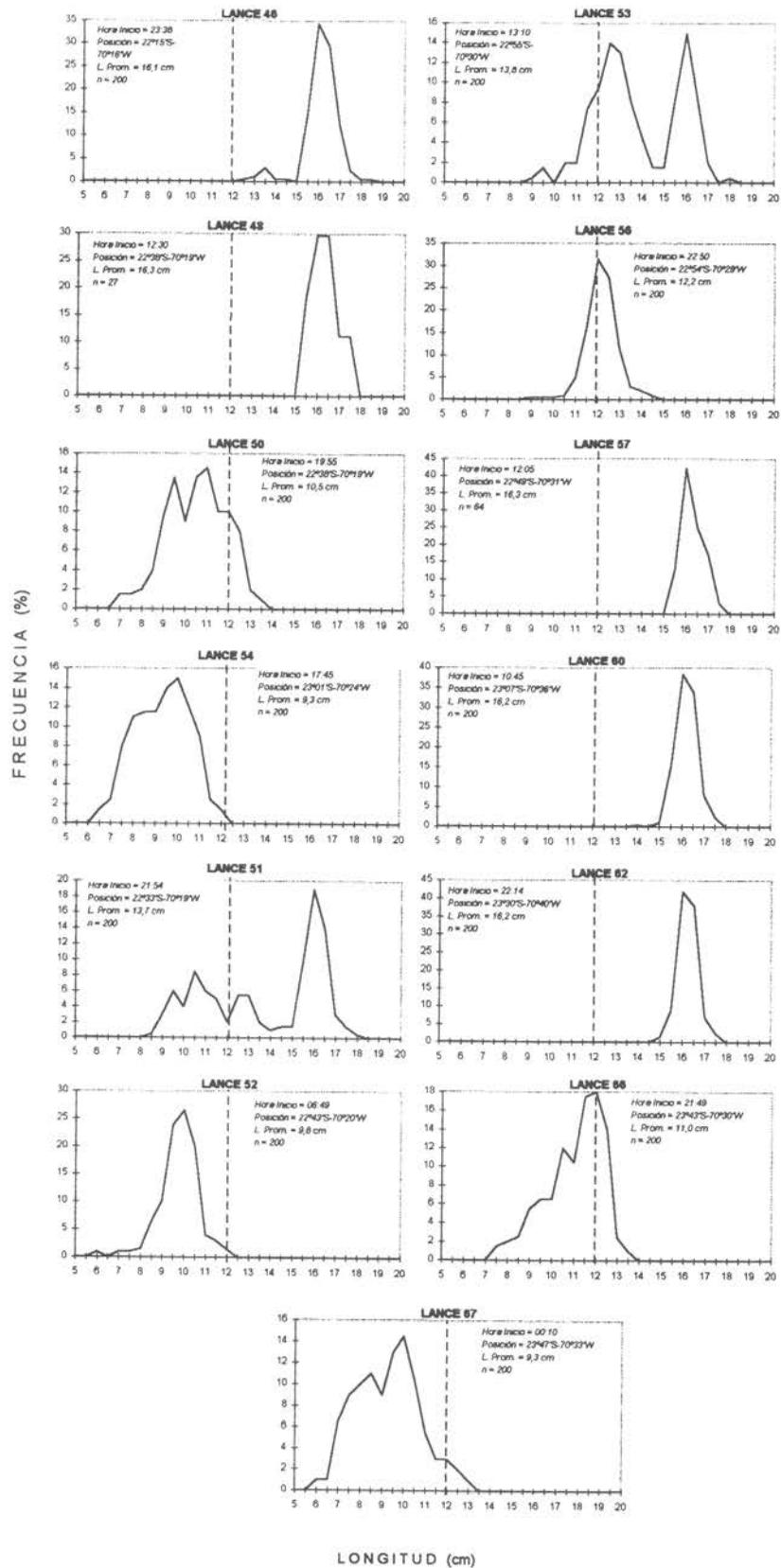


Figura 29 Distribución de frecuencia de longitud de anchoveta capturada con red de media agua por lances de pesca en el Crucero RECLAN9801 (fracción recluta $\leq 12\text{ cm}$).

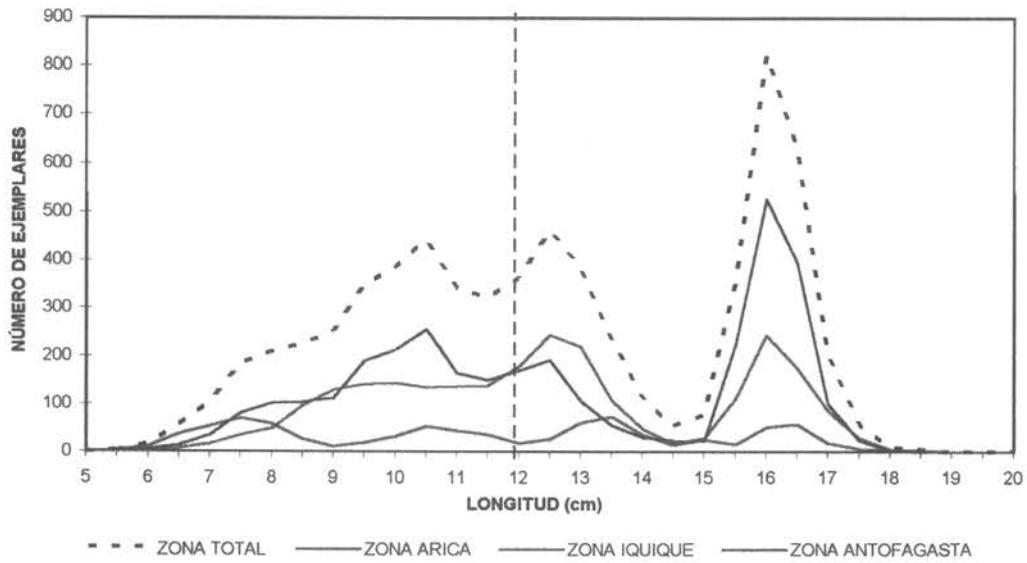


Figura 30. Distribución de frecuencias de longitud de anchoveta capturada con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN9801 (fracción recluta ≤ 12 cm).

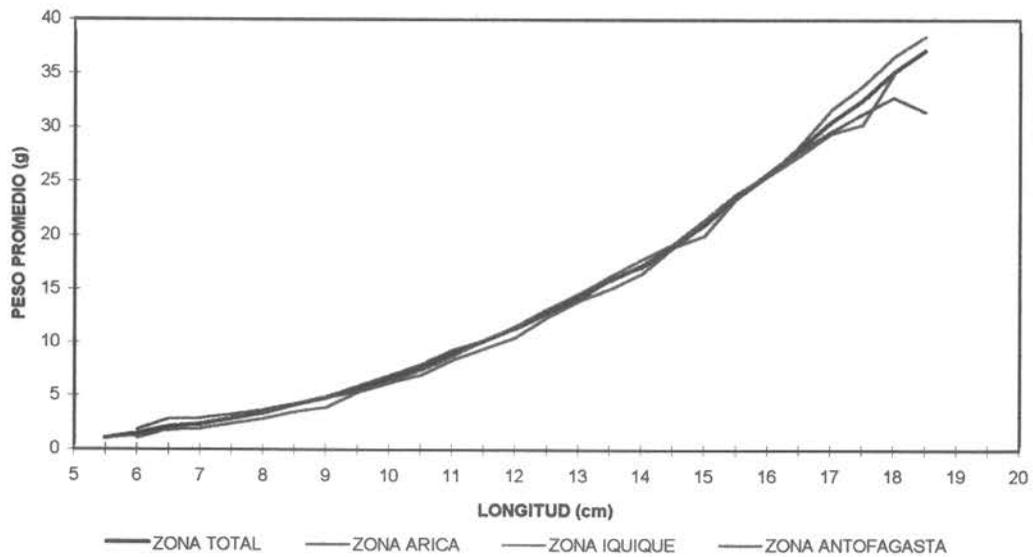


Figura 31. Pesos promedio empíricos a la talla de anchoveta obtenidos con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN9801.

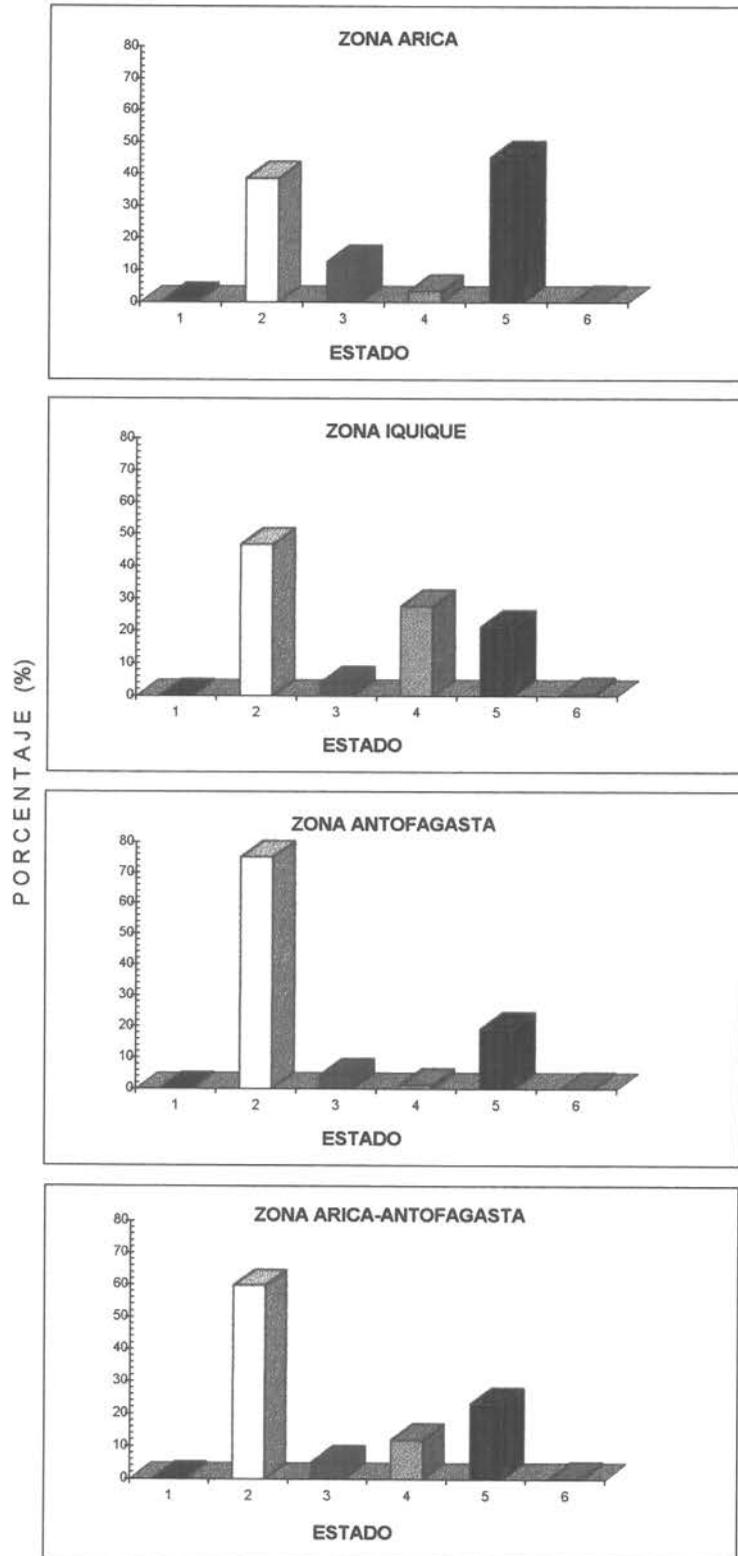


Figura 32 Estados de madurez de la anchoveta capturada con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN9801.

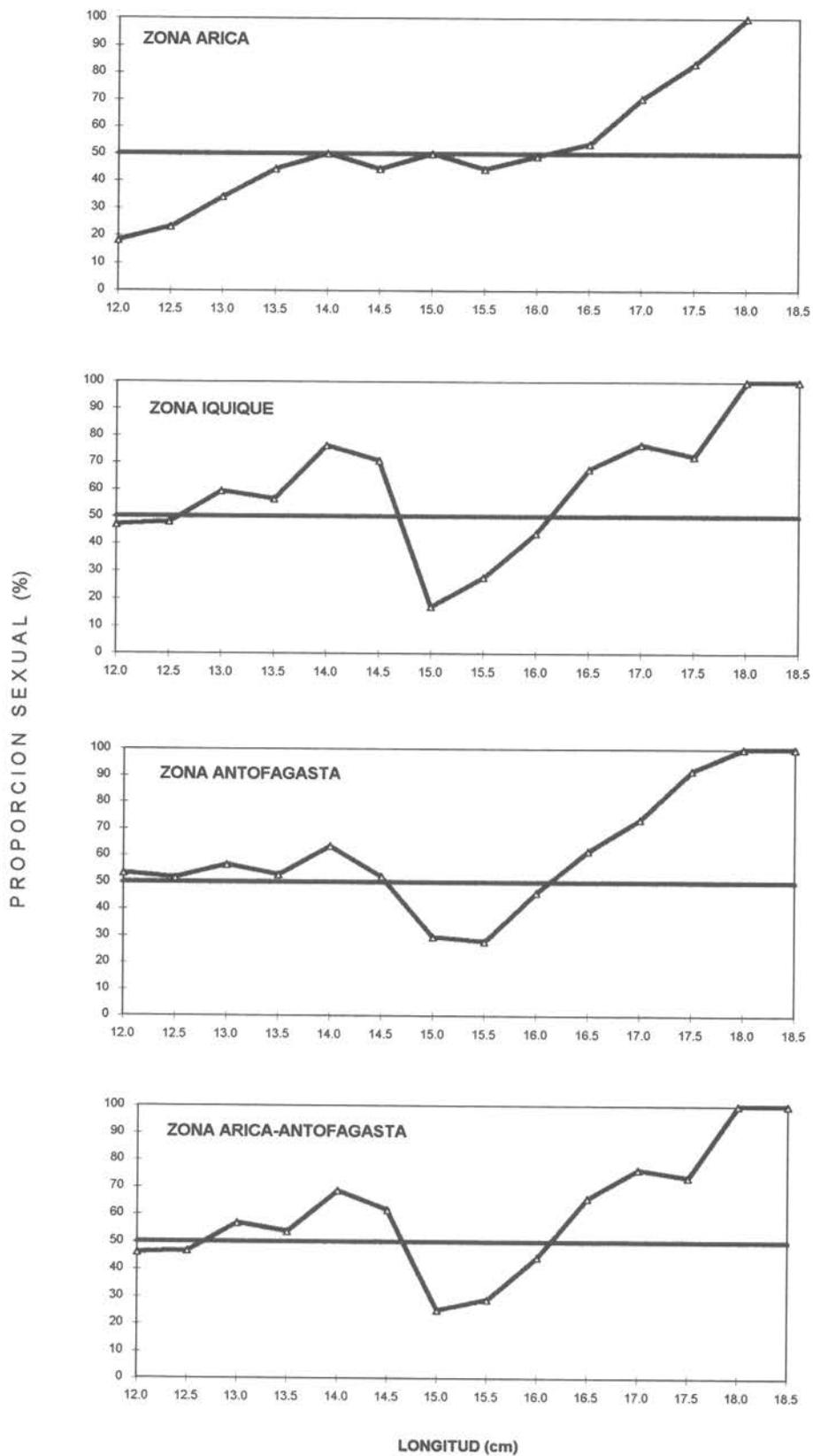


Figura 33 Proporción sexual de la anchoveta capturada con red de media-agua por zonas de pesca en el Crucero RECLAN9801.

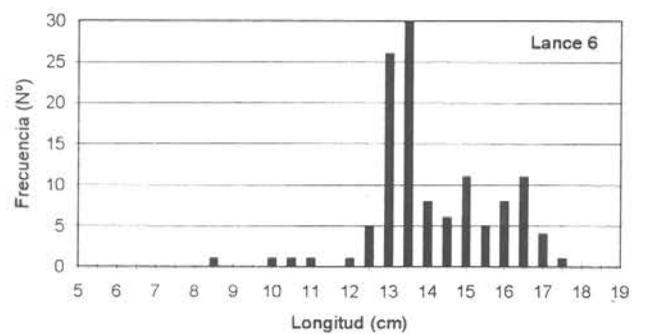
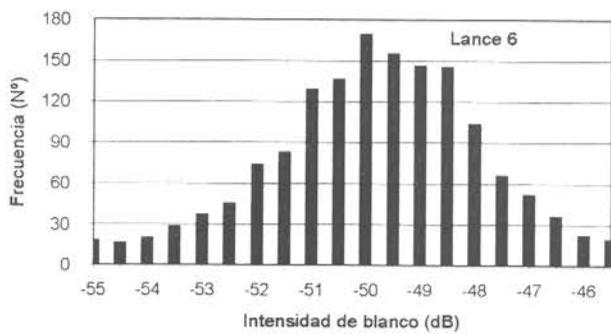
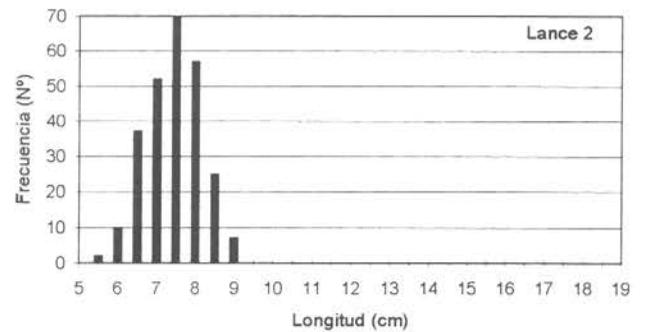
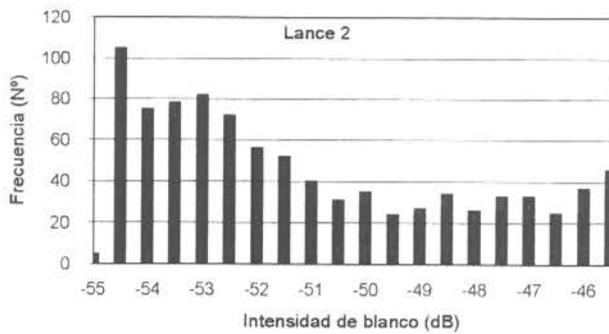
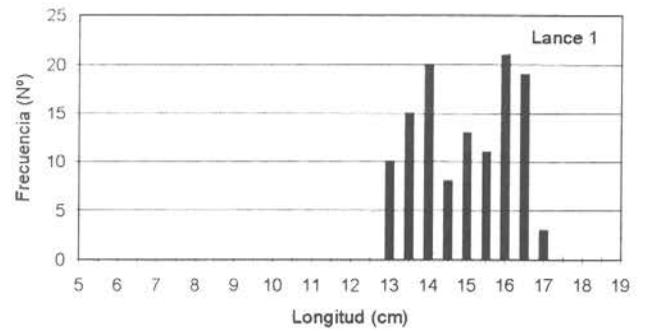
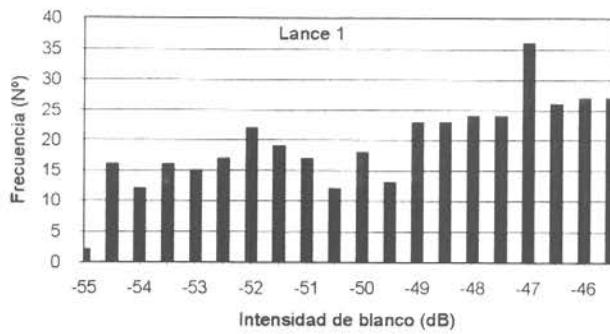


Figura 34. Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 1, 2 y 6). Crucero RECLAN 9801.

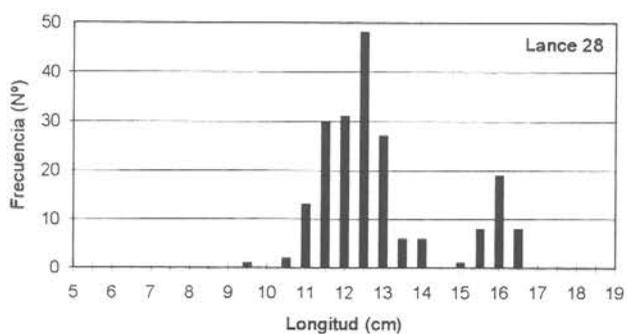
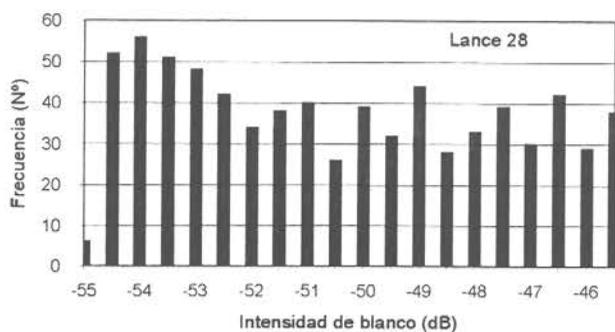
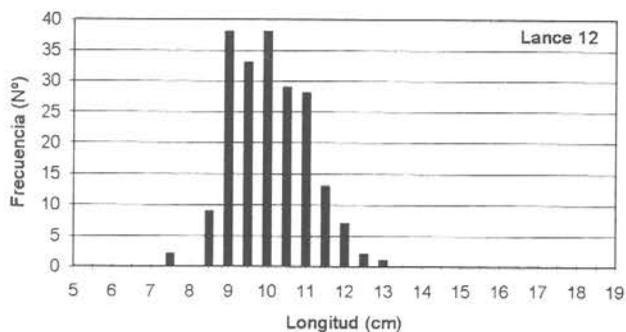
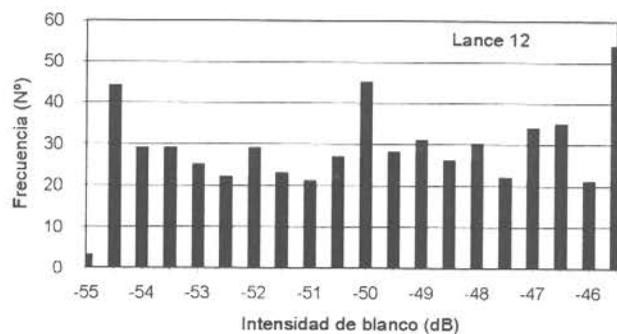
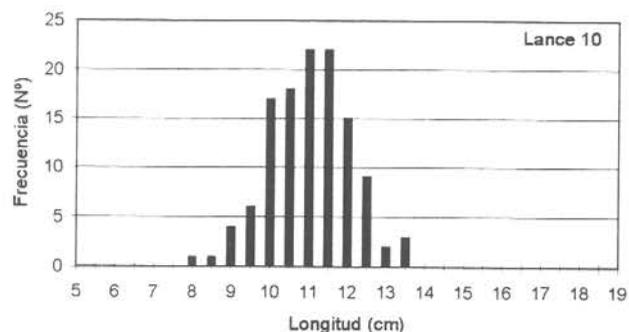
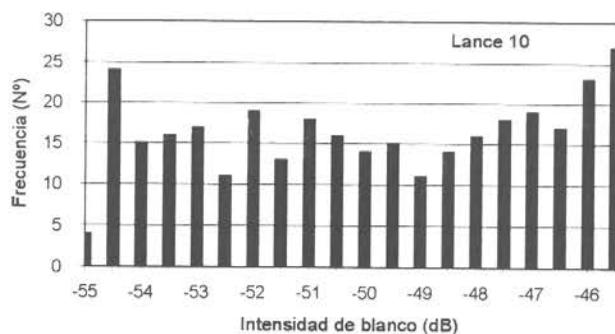


Figura 35. Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 10, 12 y 28). Crucero RECLAN 9801.

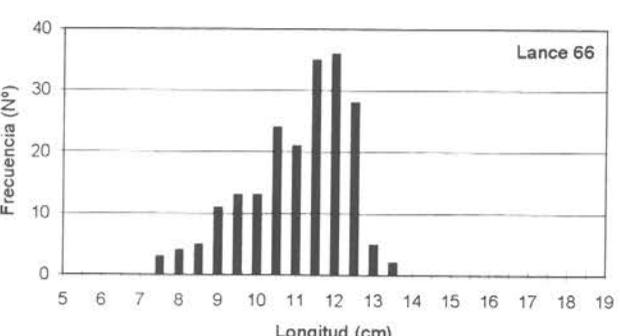
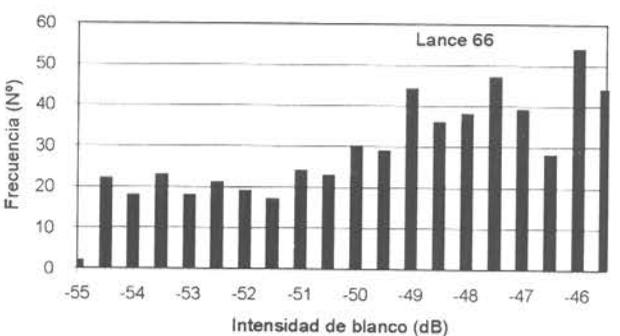
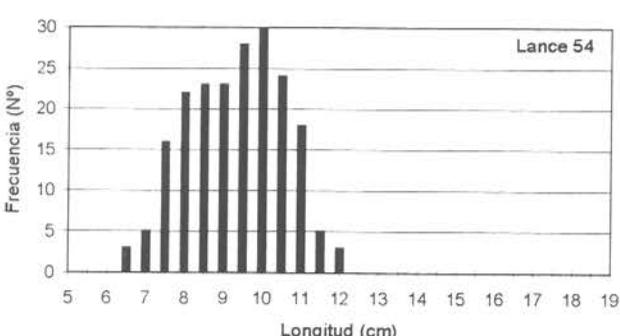
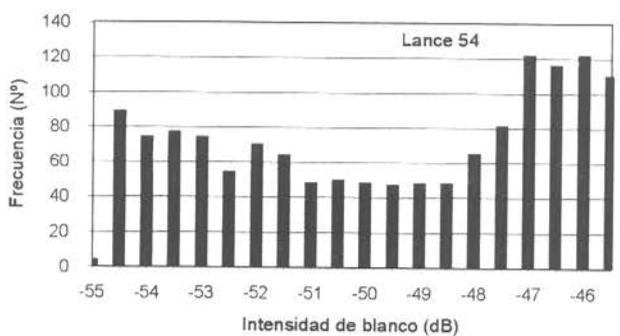
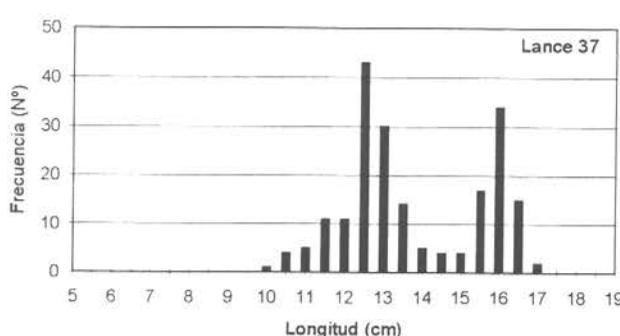
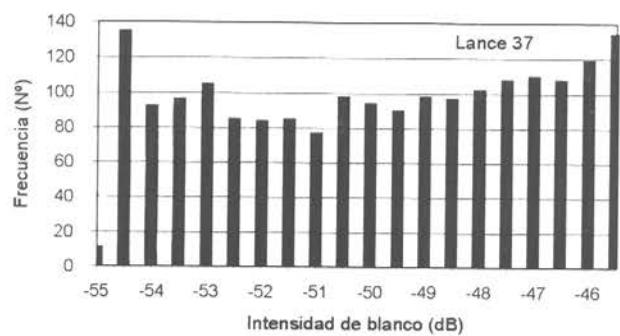


Figura 36. Histogramas de la intensidad de blanco (dB) individuales y de la distribución de tallas de anchoveta (lances 37, 54 y 66). Crucero RECLAN 9801.

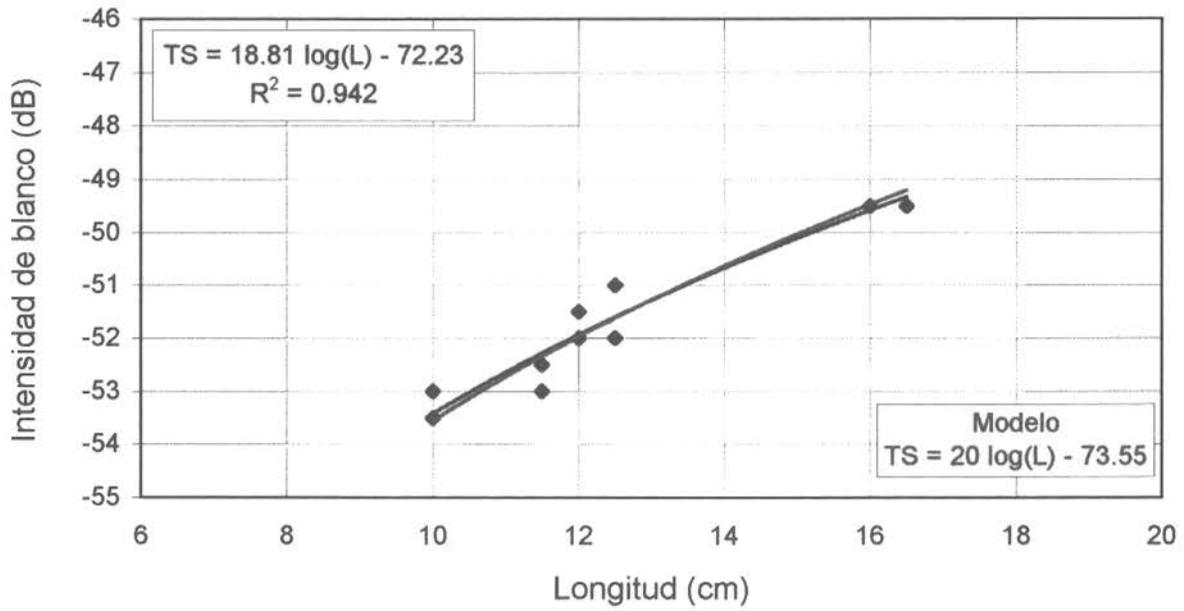


Figura 37. Relaciones funcionales de la intensidad de blanco (dB) y la longitud total (cm) de anchoveta, frecuencia 38 KHz. Crucero RECLAN 9801.

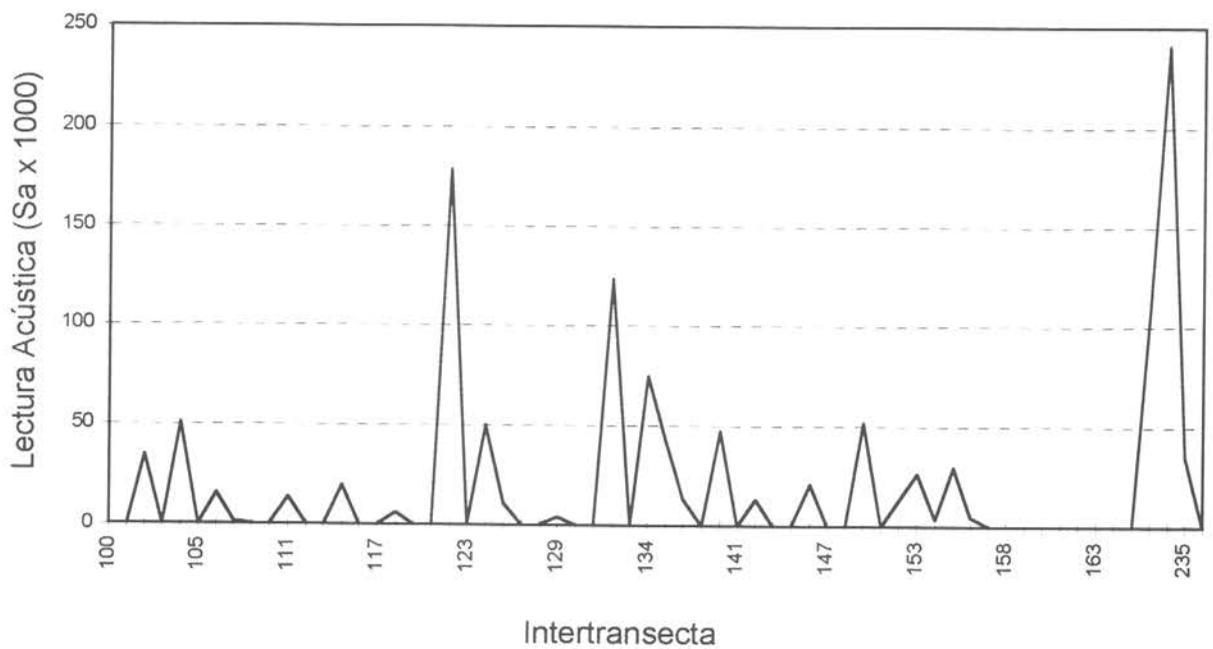
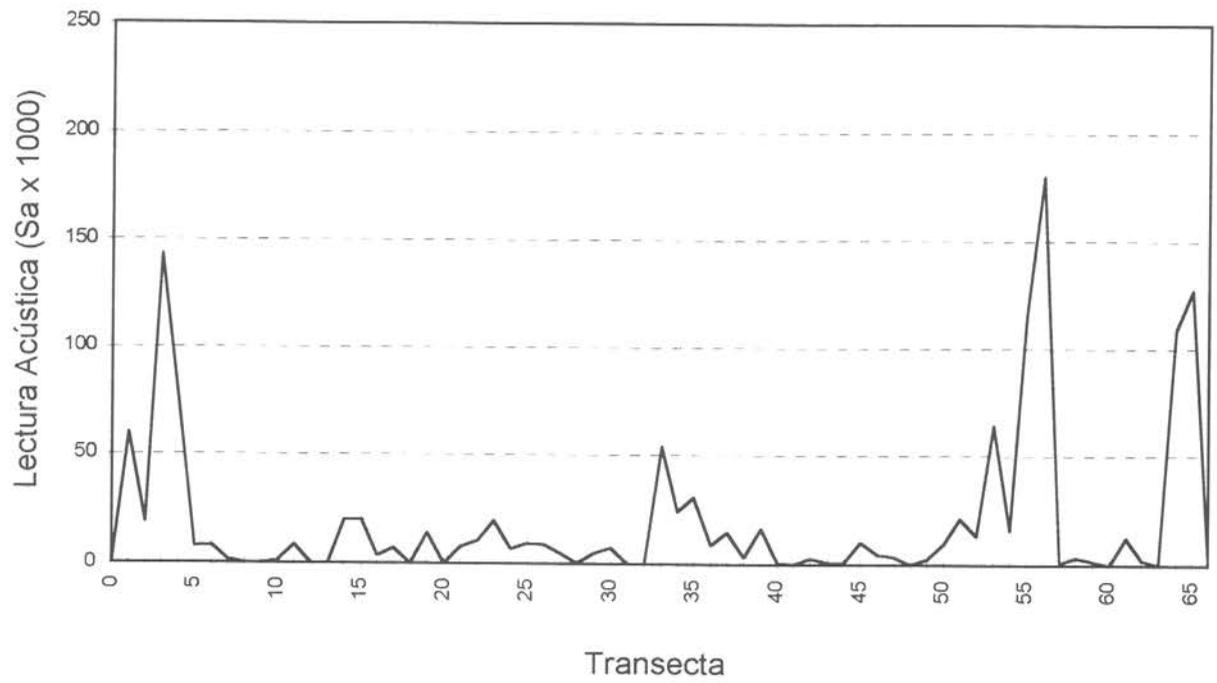


Figura 38. Lecturas acústicas (Sa) acumuladas por transecta e intertransecta. Crucero RECLAN 9801.

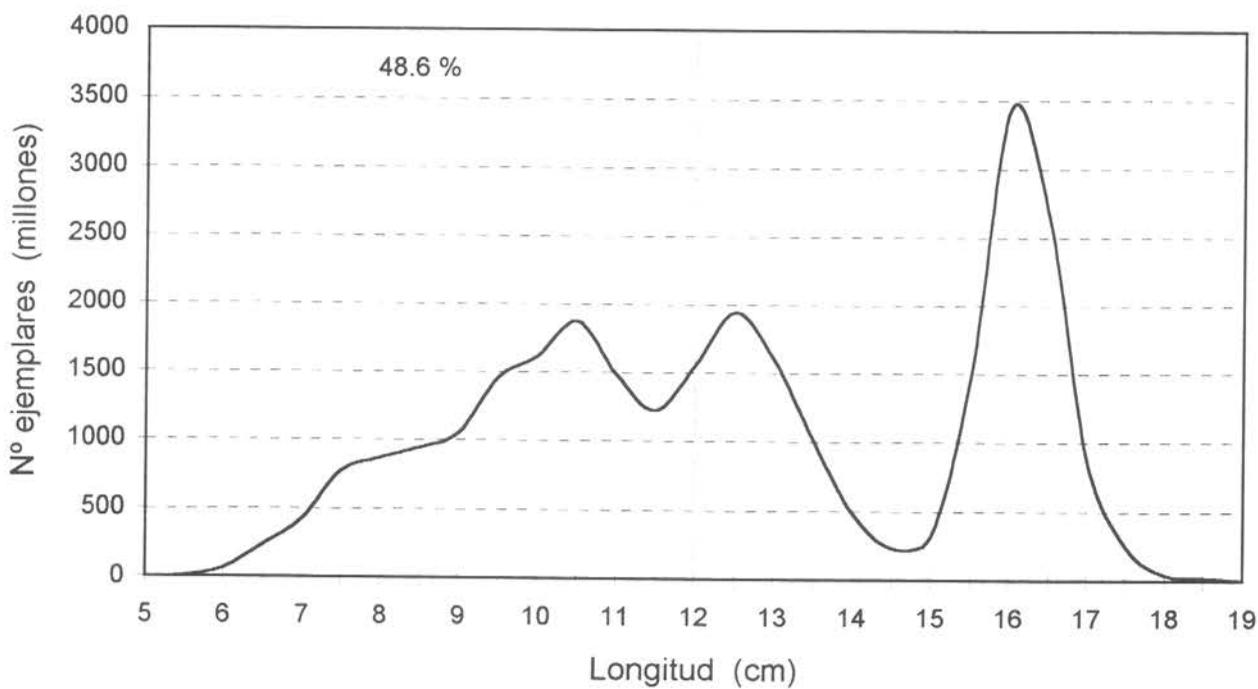
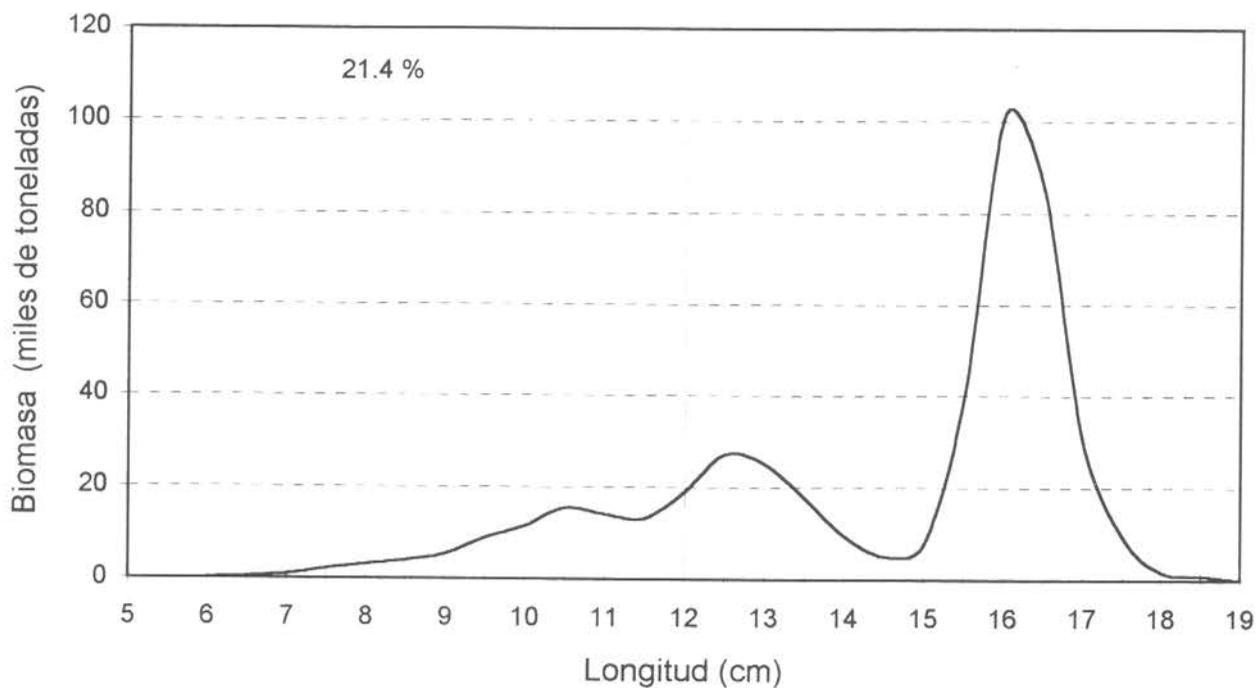


Figura 39. Biomasa en peso (t) y abundancia en número de anchoveta, según el método de las tallas. Crucero RECLAN 9801.

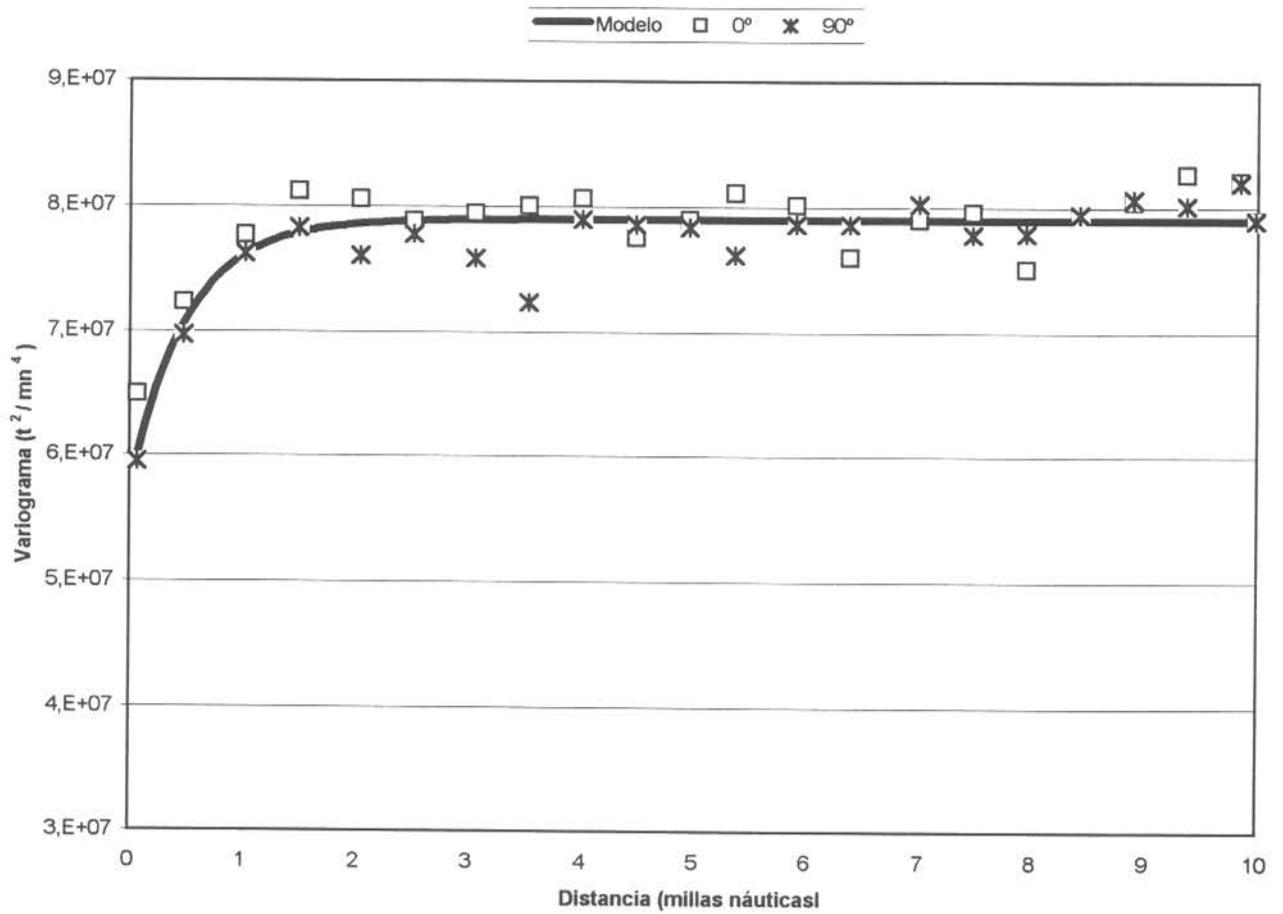


Fig. 40 Valores de los variogramas en las direcciones este-west, norte-sur y modelo ajustado

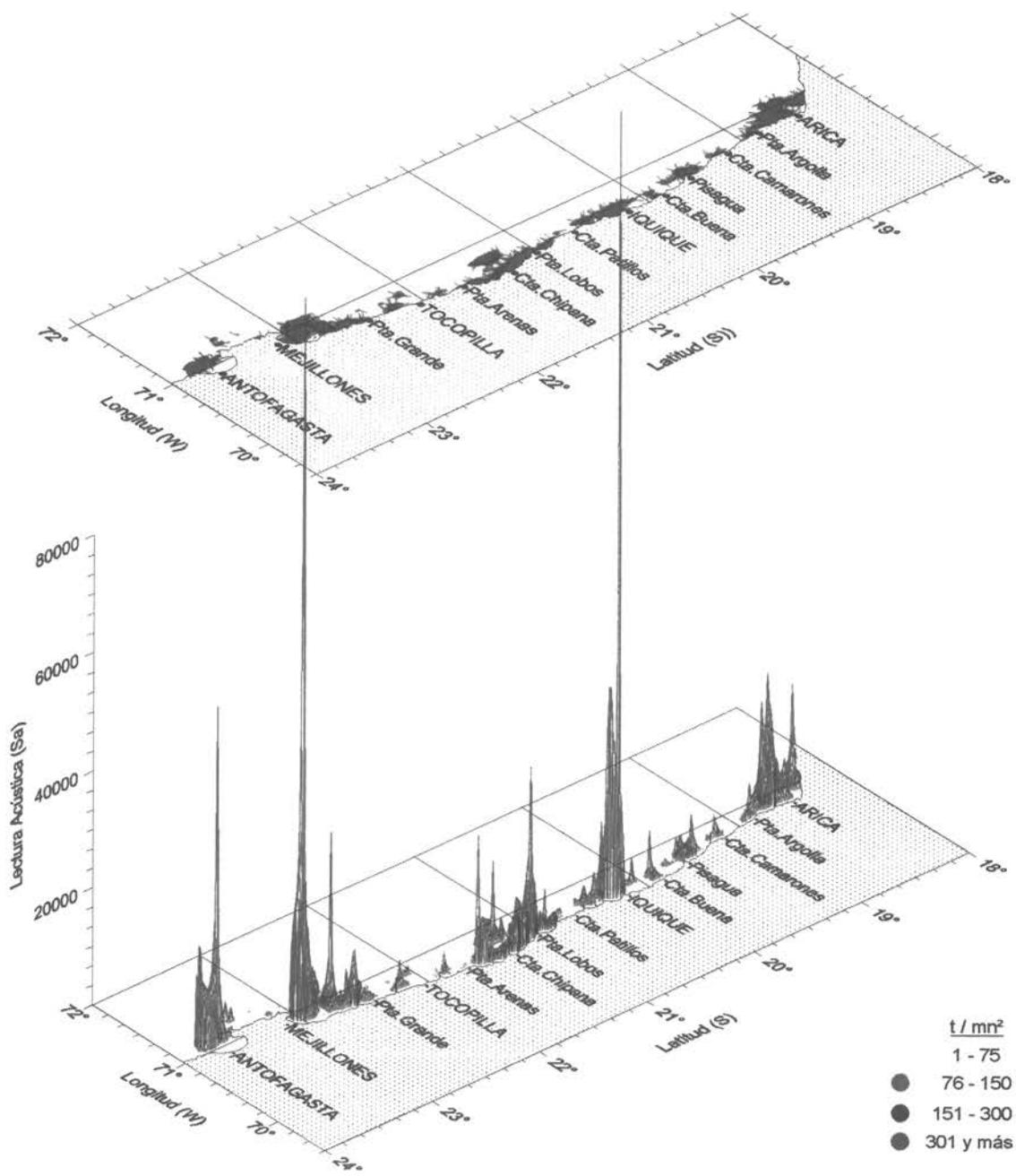


Figura 41. Distribución espacial de anchoveta. Crucero RECLAN 9801.

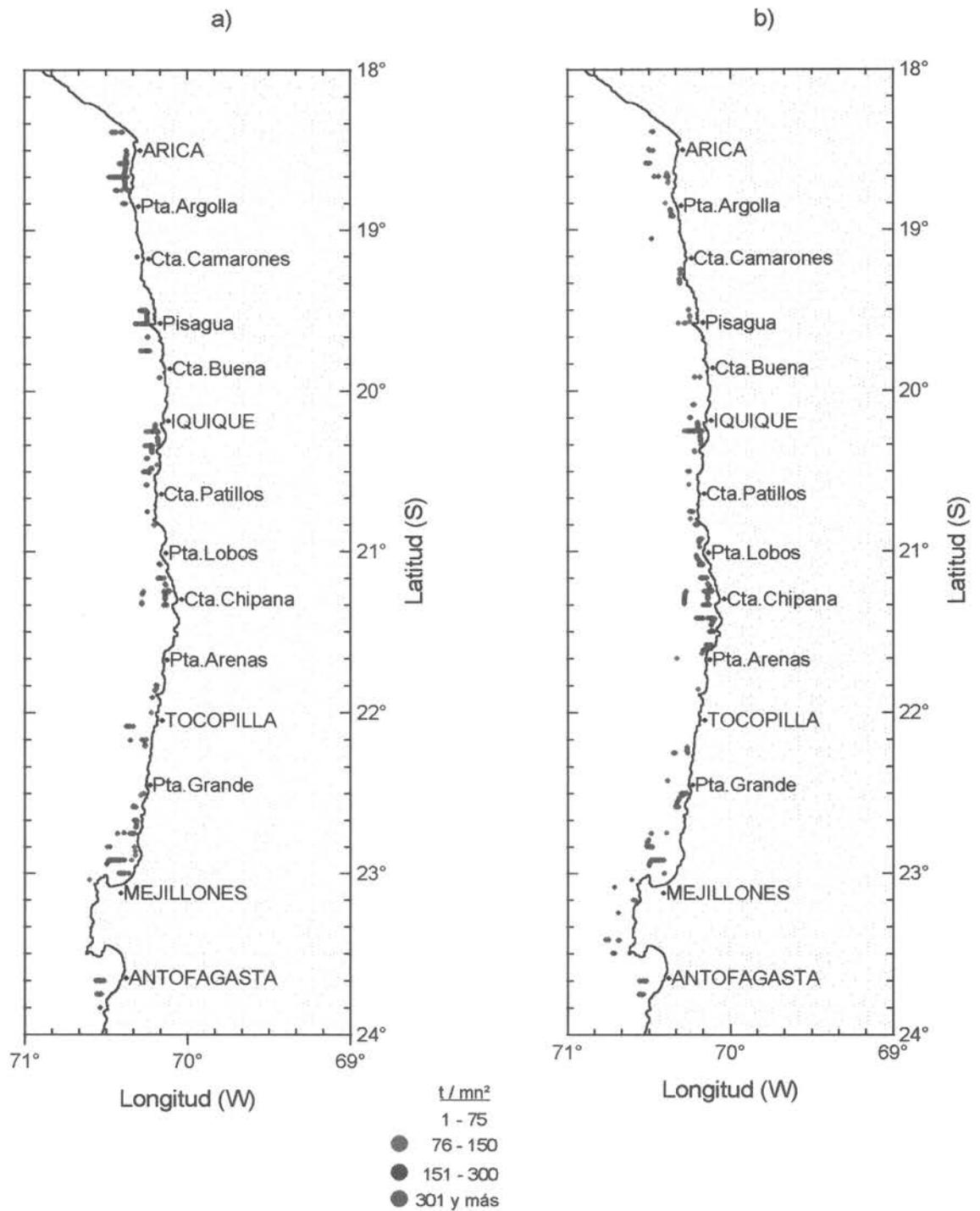


Figura 42. Distribución de la biomasa: a) reclutas b) no reclutas. Crucero RECLAN 9801.

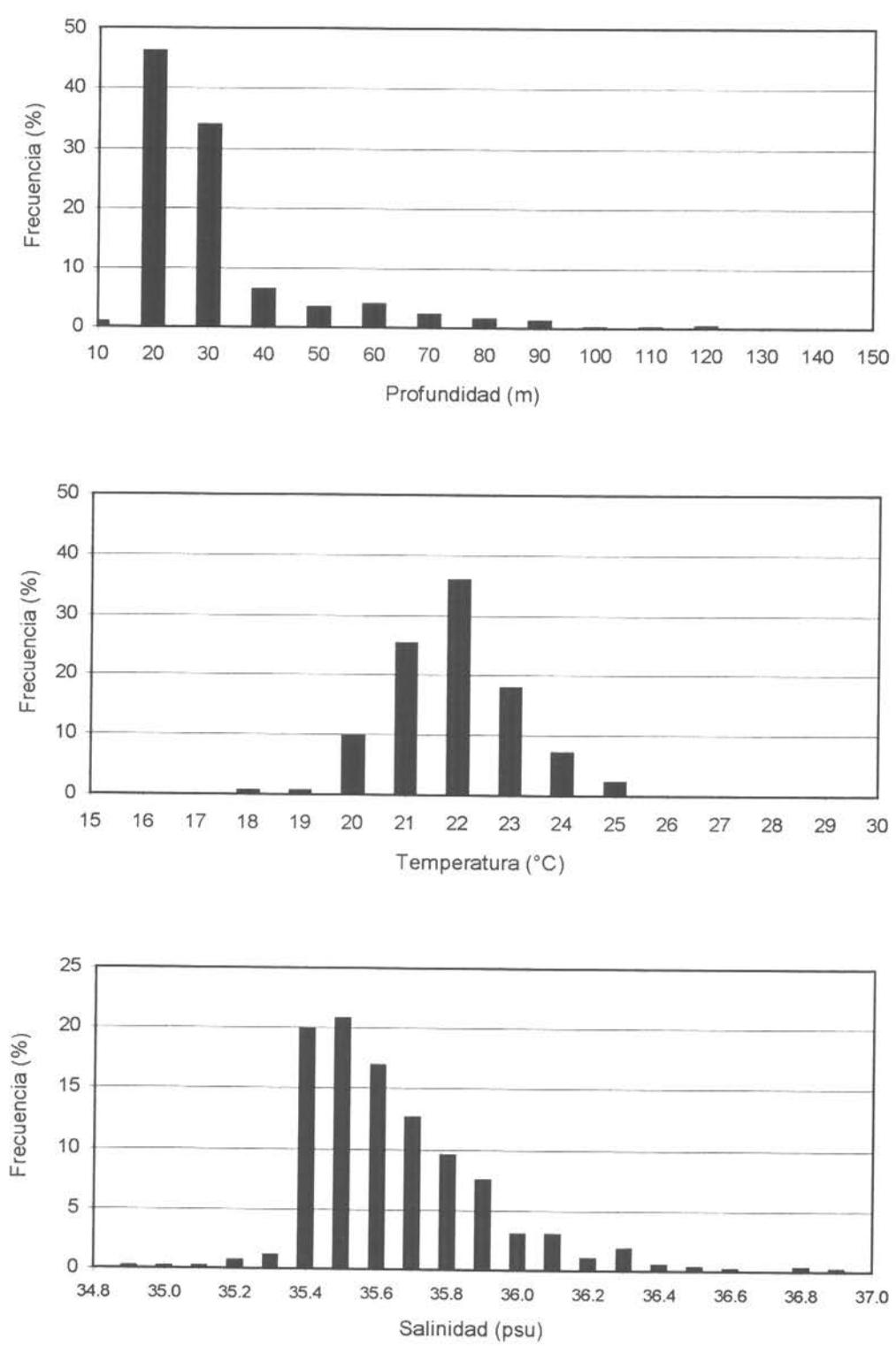


Figura 43. Distribución batimétrica de anchoveta en profundidad, temperatura y salinidad. Crucero RECLAN 9801.

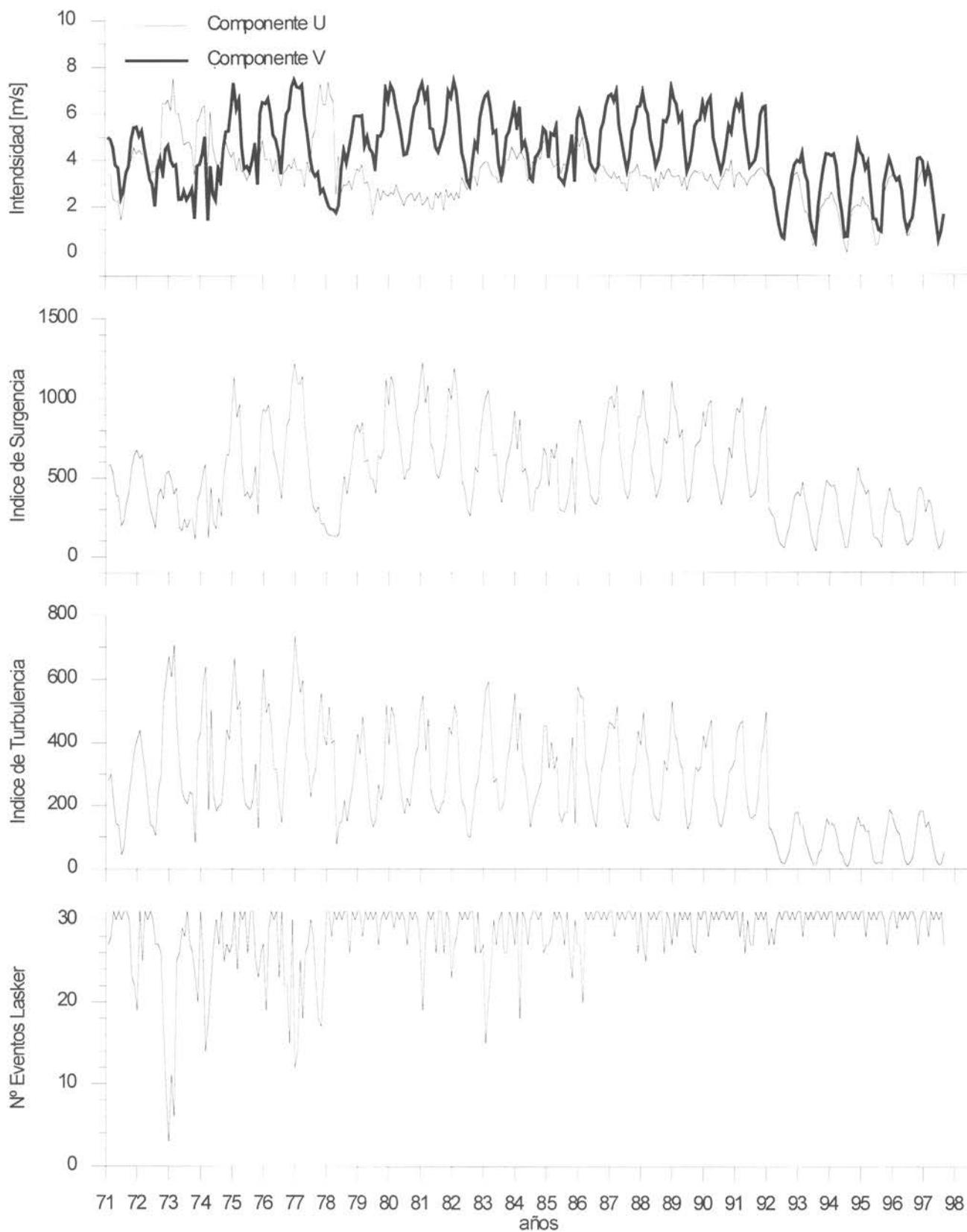


Fig. 44.- Componente U (este-Oeste) y V (norte-sur), Índice de Surgencia y Turbulencia del viento promedio diario en Arica.

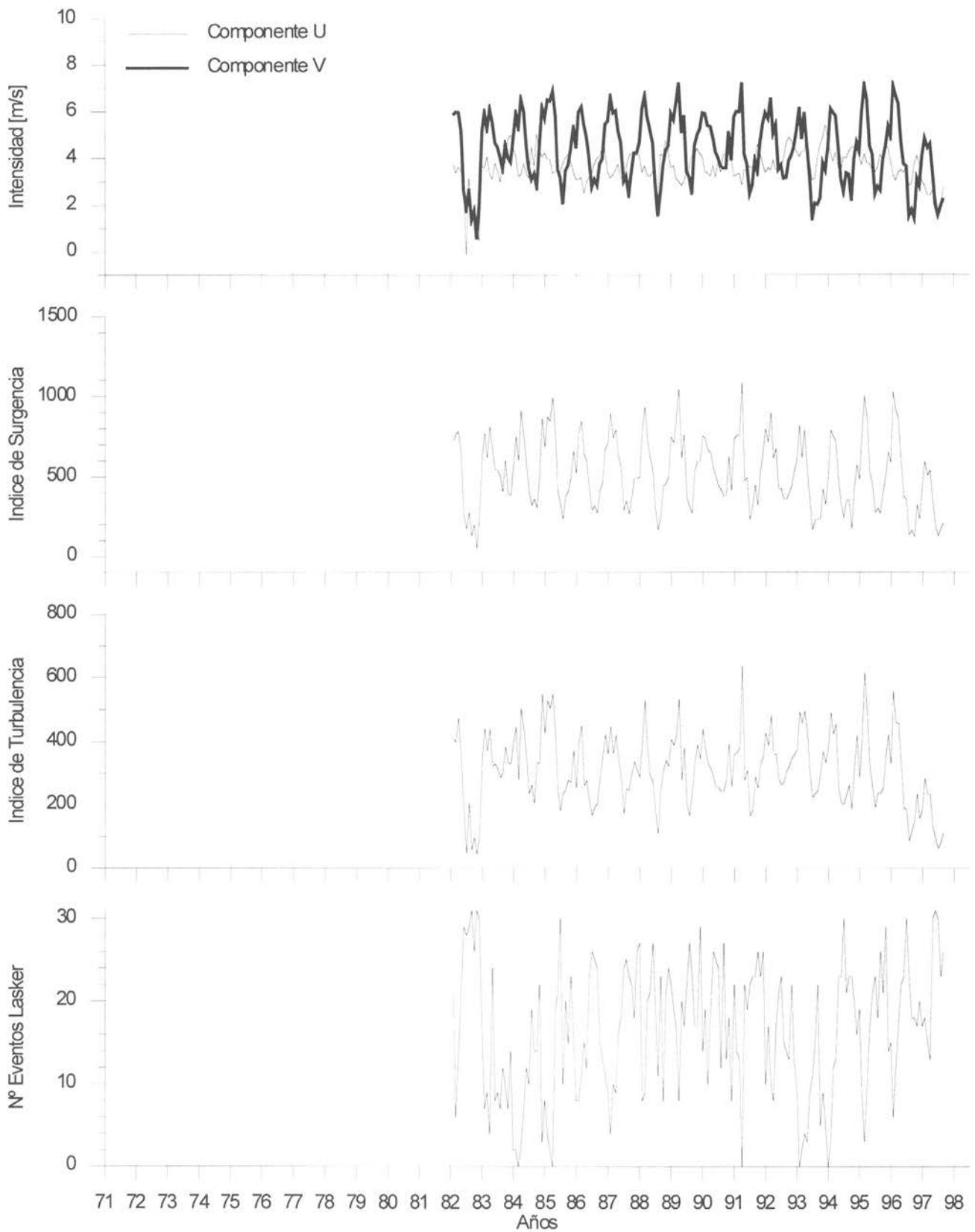


Fig.45.- Componente U (este-Oeste) y V (norte-sur), Índice de Surgencia y Turbulencia del viento promedio diario en Iquique.

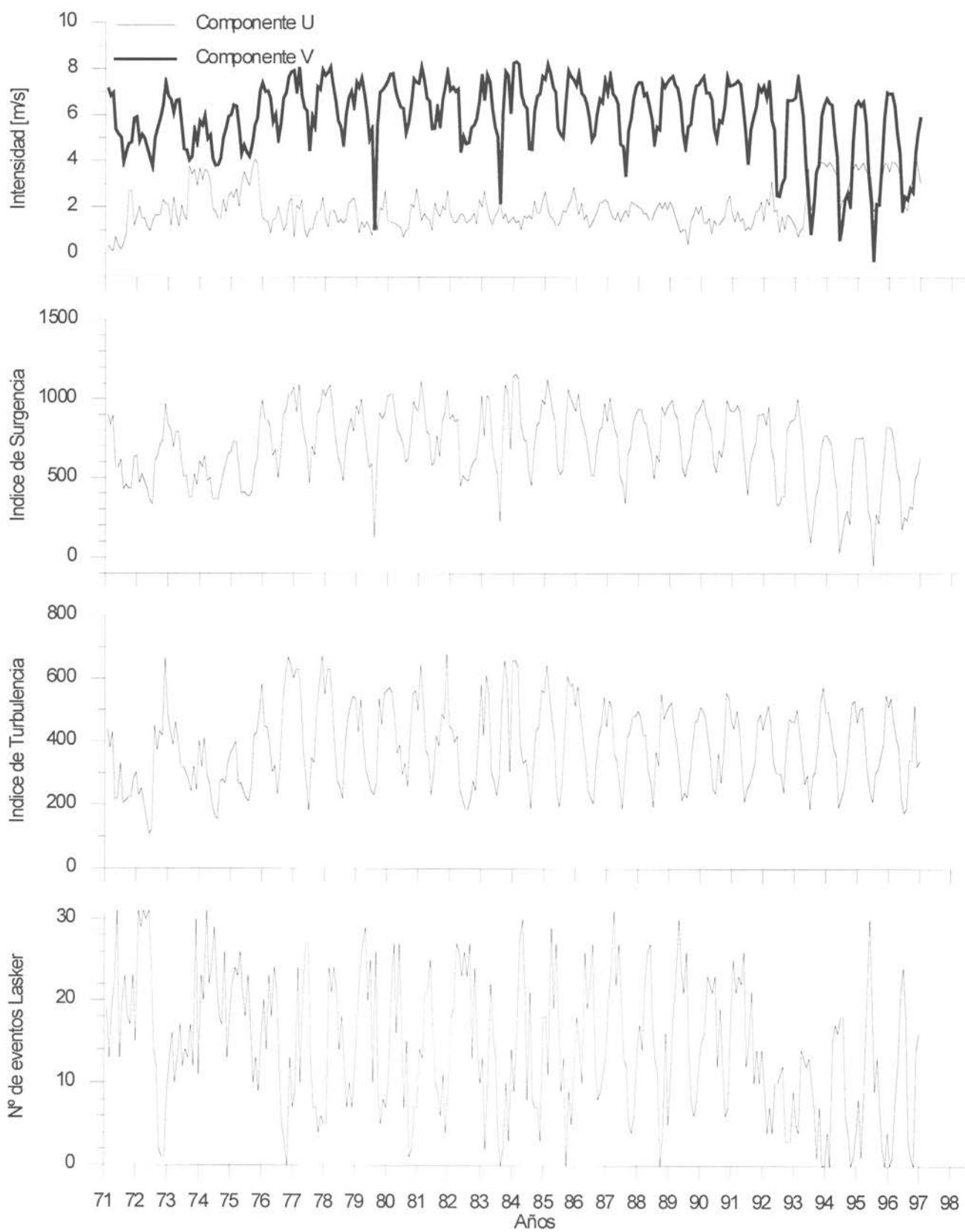


Fig.46.- Componente U (este-Oeste) y V (norte-sur), Índice de Surgencia y Turbulencia del viento promedio diario en Antofagasta.

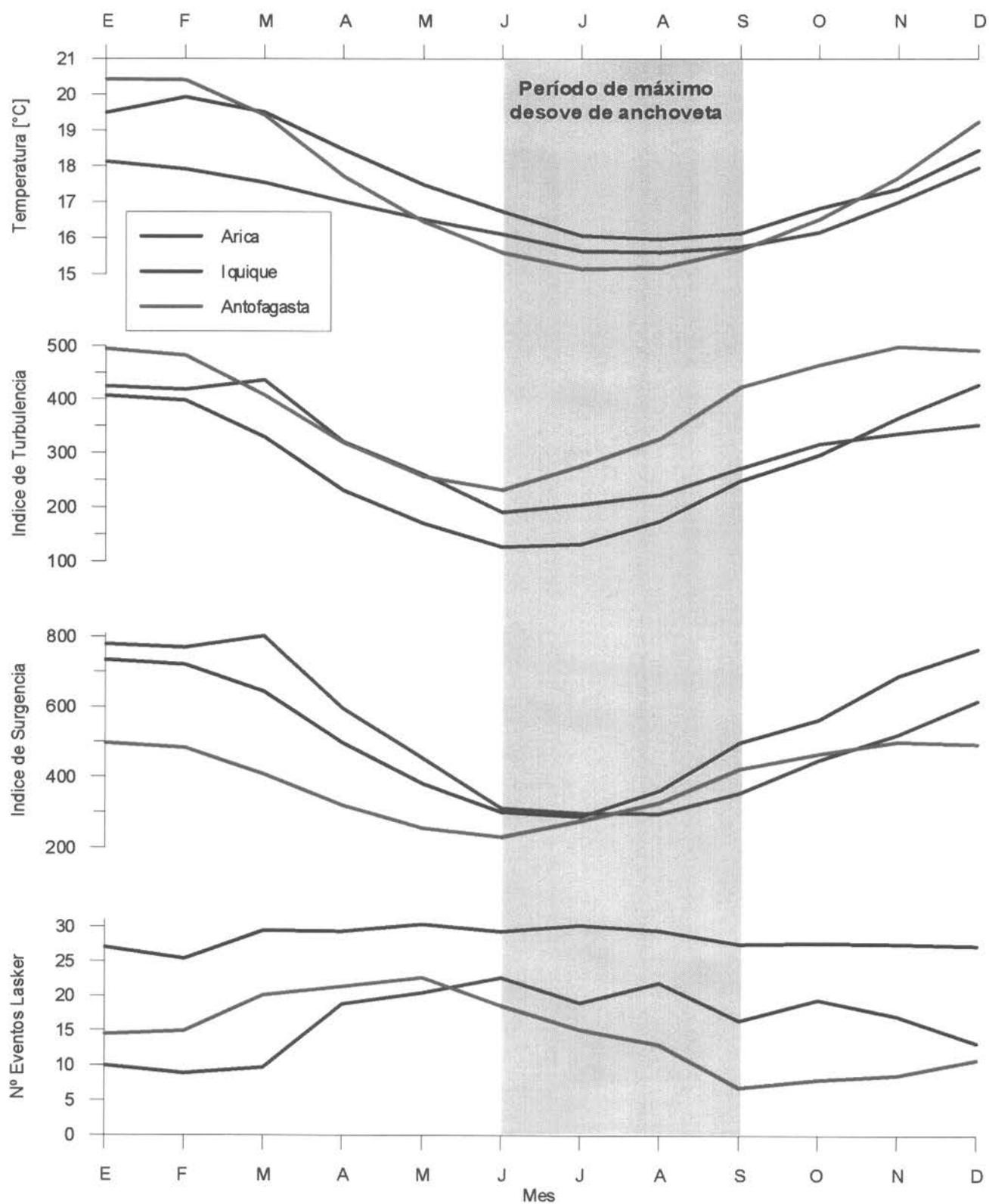


Fig. 47.- Señal anual de temperatura, índices de turbulencia y surgencia, y número de eventos Lasker en Arica, Iquique y Antofagasta. Período 1971 a 1997.

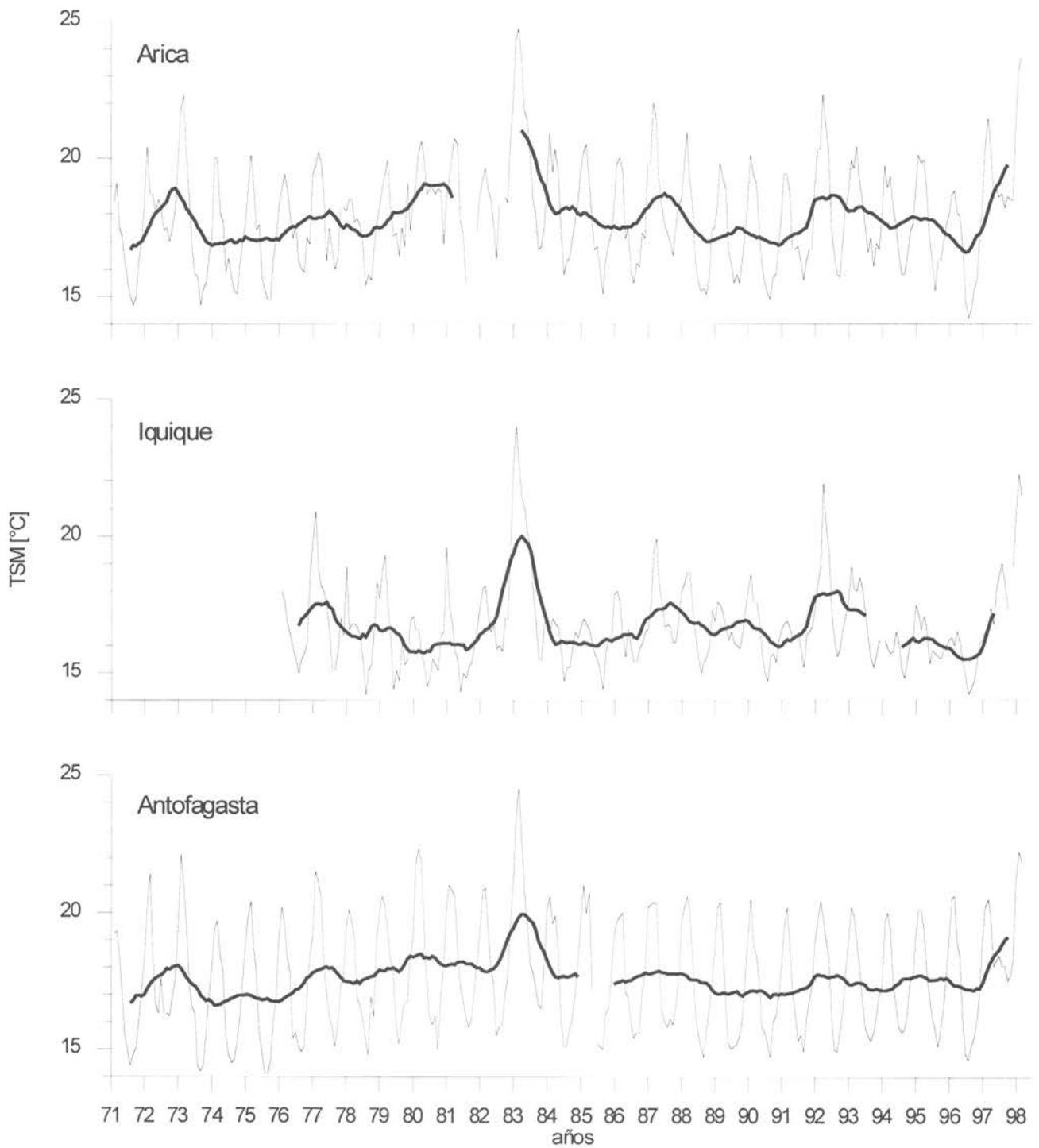


Fig. 48.- Promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) de las estaciones de marea de Arica, Iquique y Antofagasta desde enero de 1971 a febrero 1998. Línea gruesa es el promedio móvil de 12 meses.

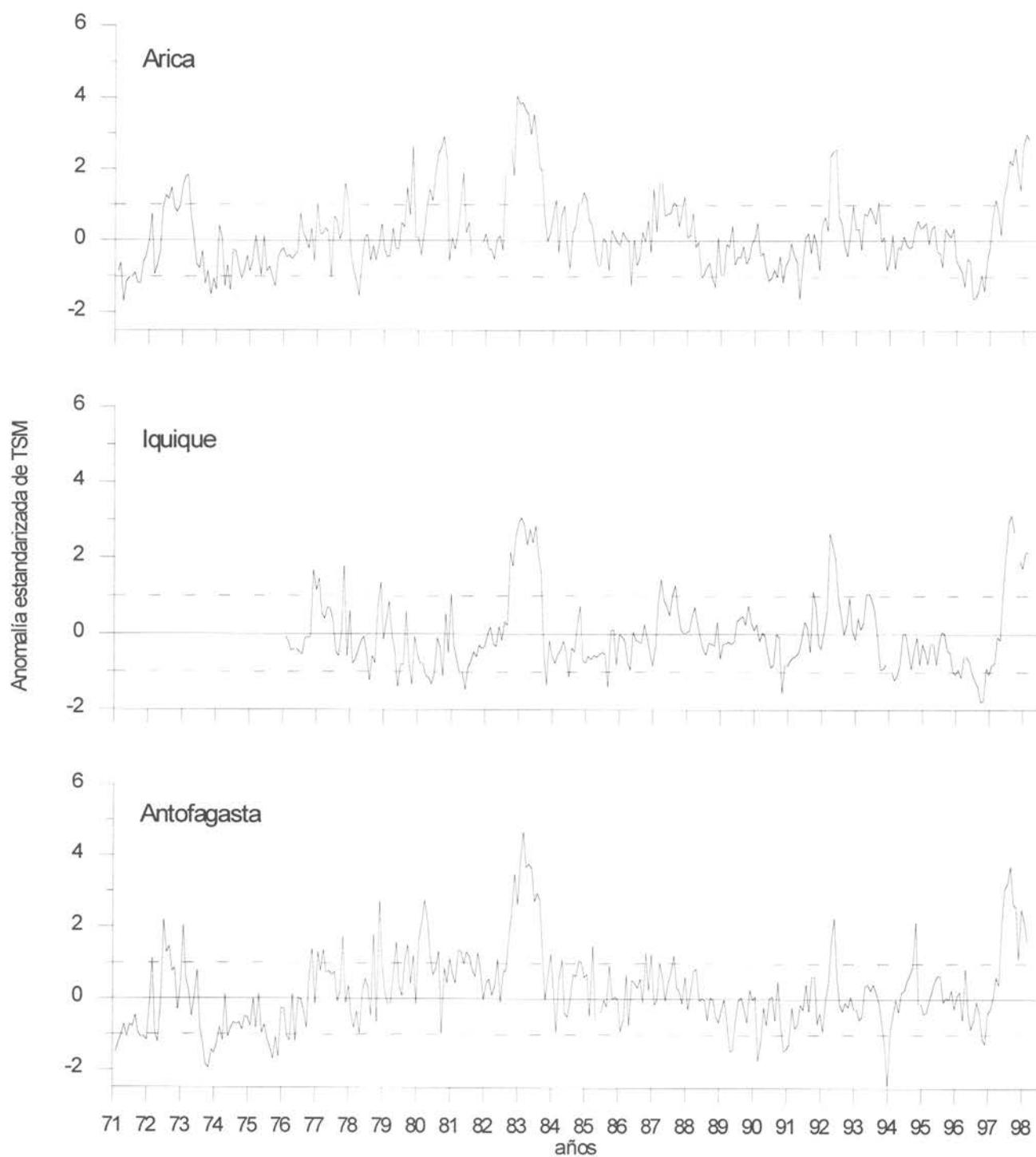


Fig.49.- Anomalia mensual estandarizada de la temperatura superficial del mar (TSM) de las estaciones de marea de Arica, Iquique y Antofagasta desde enero de 1971 a febrero 1998.

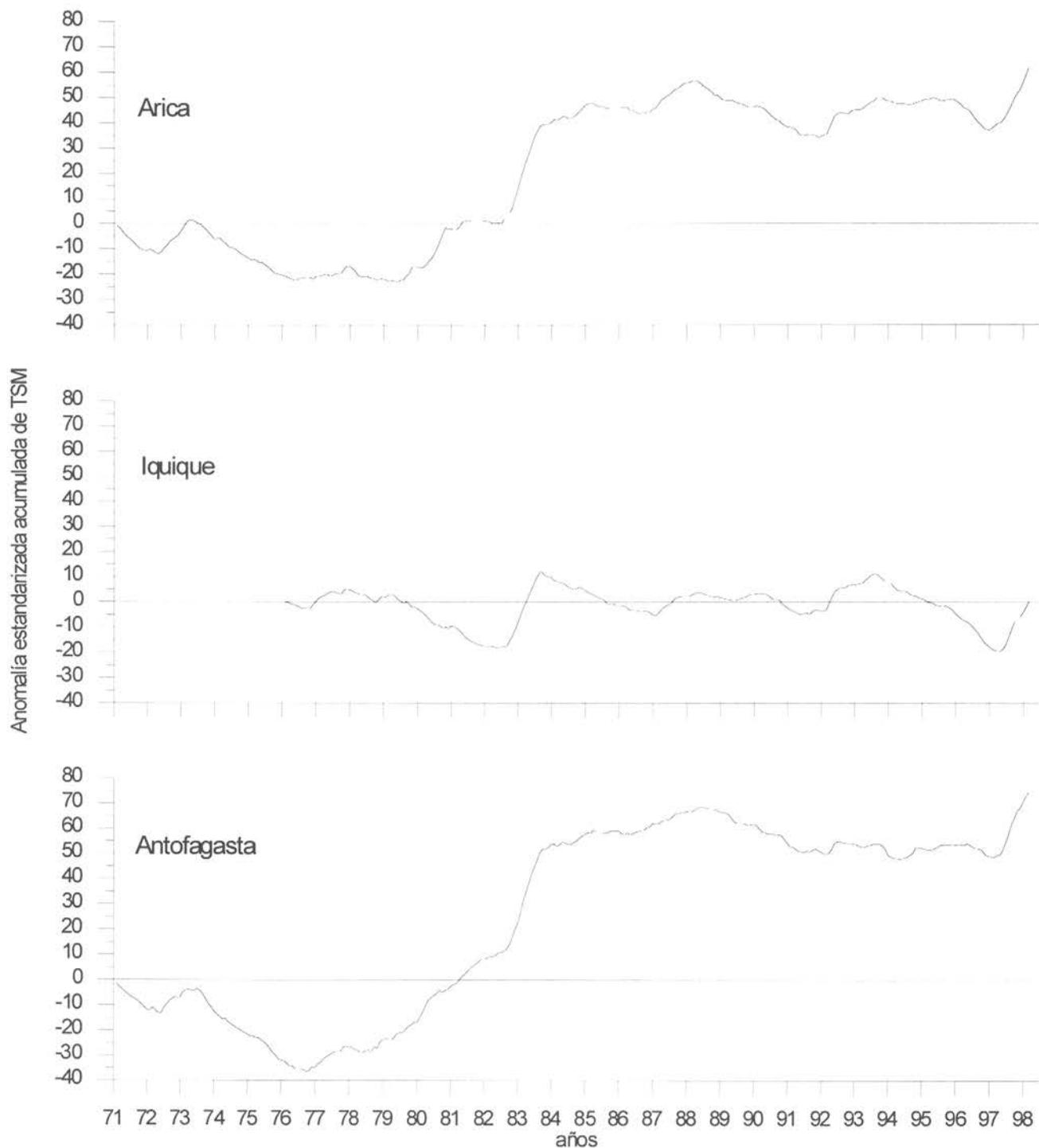


Fig. 50.- Anomalia mensual acumulada de la temperatura superficial del mar (TSM) de las estaciones de marea de Arica, Iquique y Antofagasta desde enero de 1971 a febrero 1998.

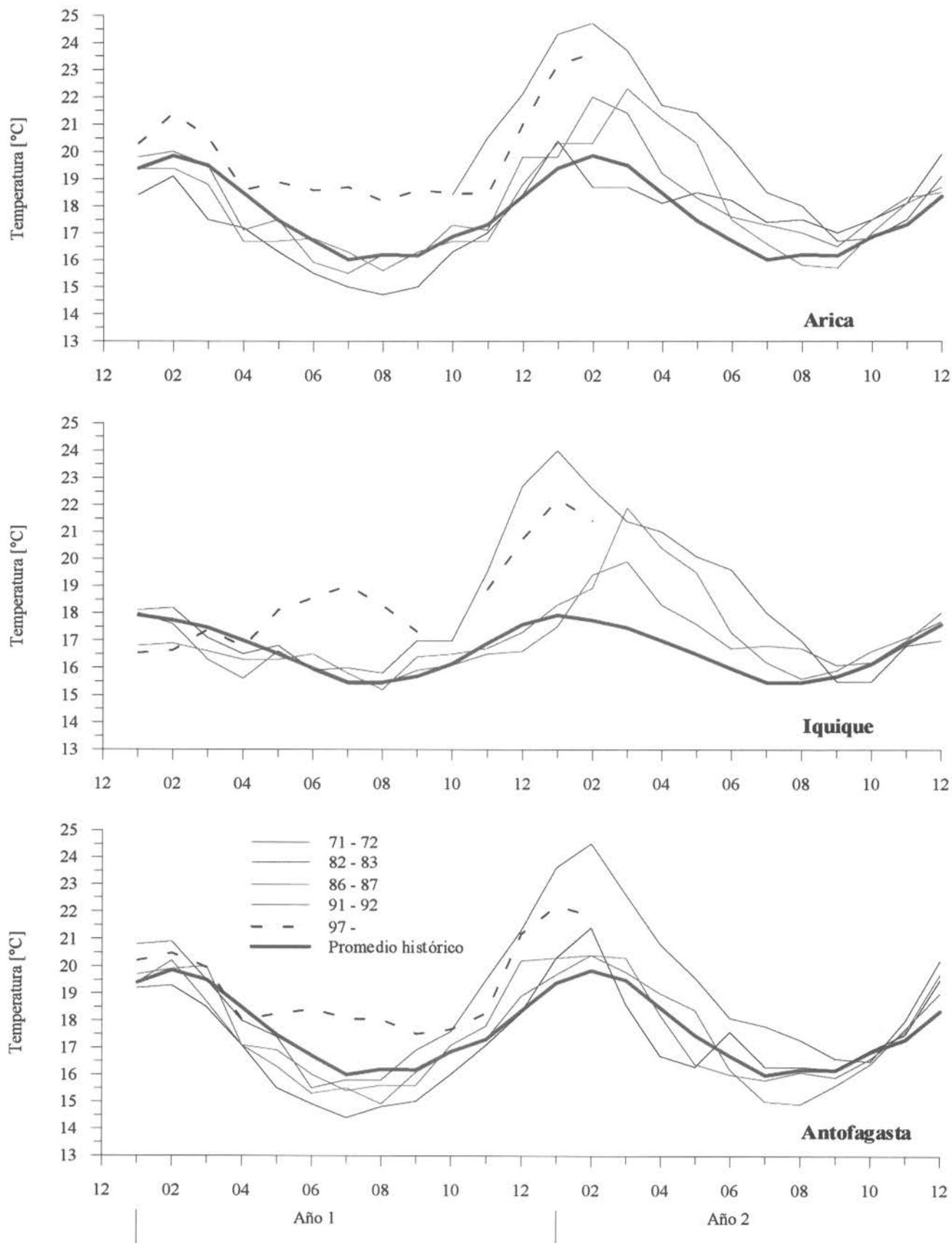


Fig. 51.- Comparación de la temperatura superficial del mar en Arica, Iquique y Antofagasta durante los últimos eventos El Niño.

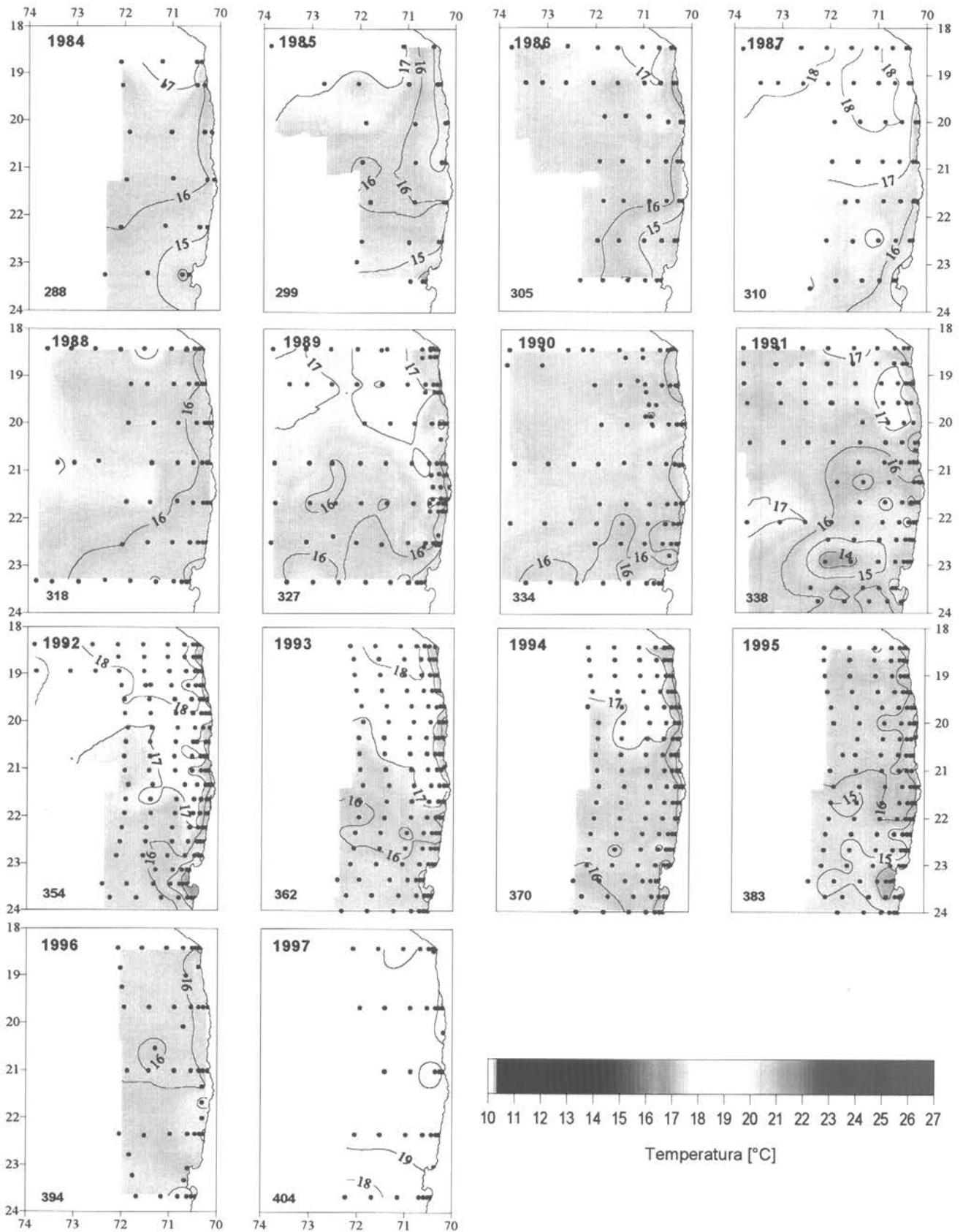


Fig. 52.- Temperatura superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Período 1984 a 1997.

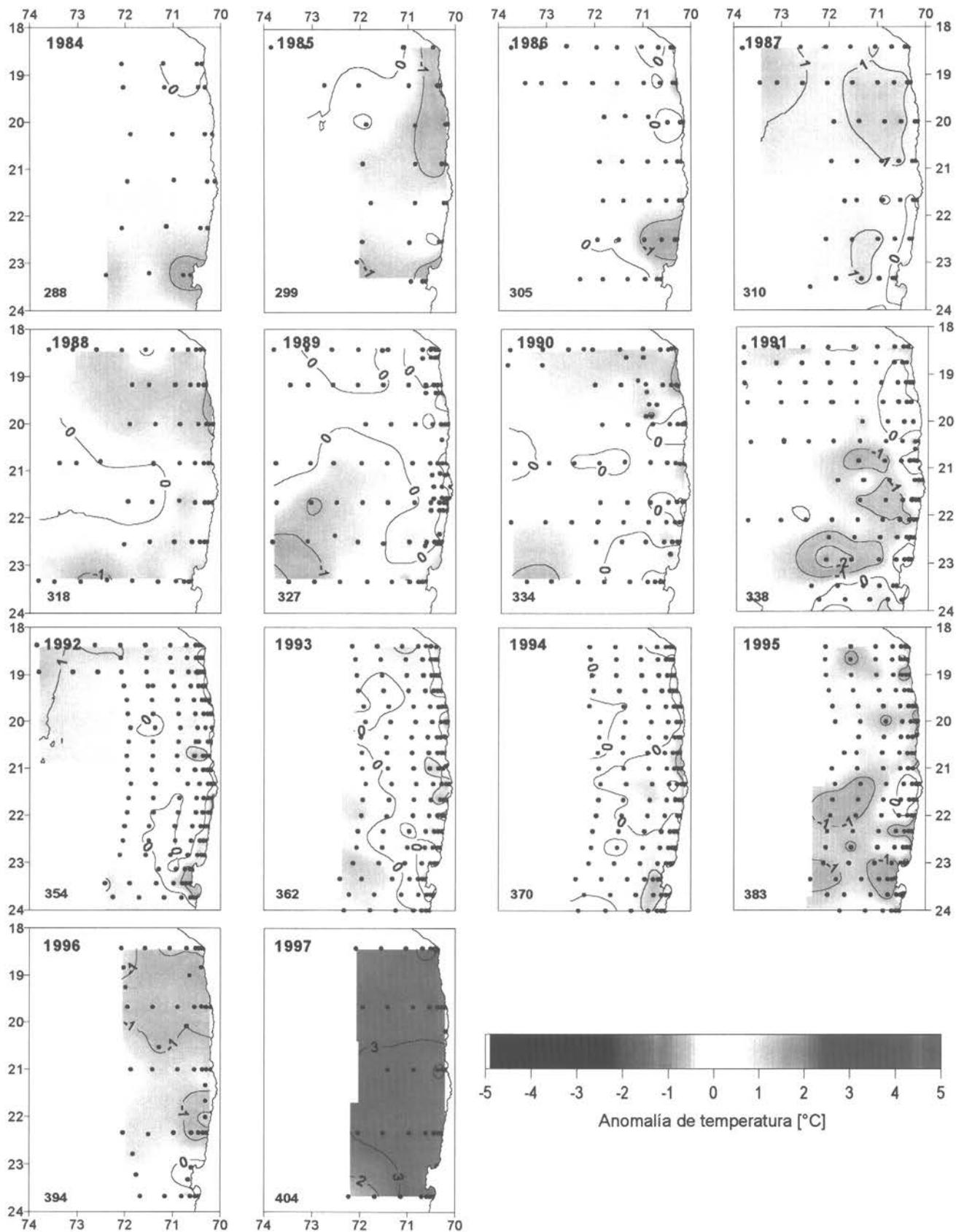


Fig. 53.- Anomalia de temperatura superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Período 1984 a 1997.

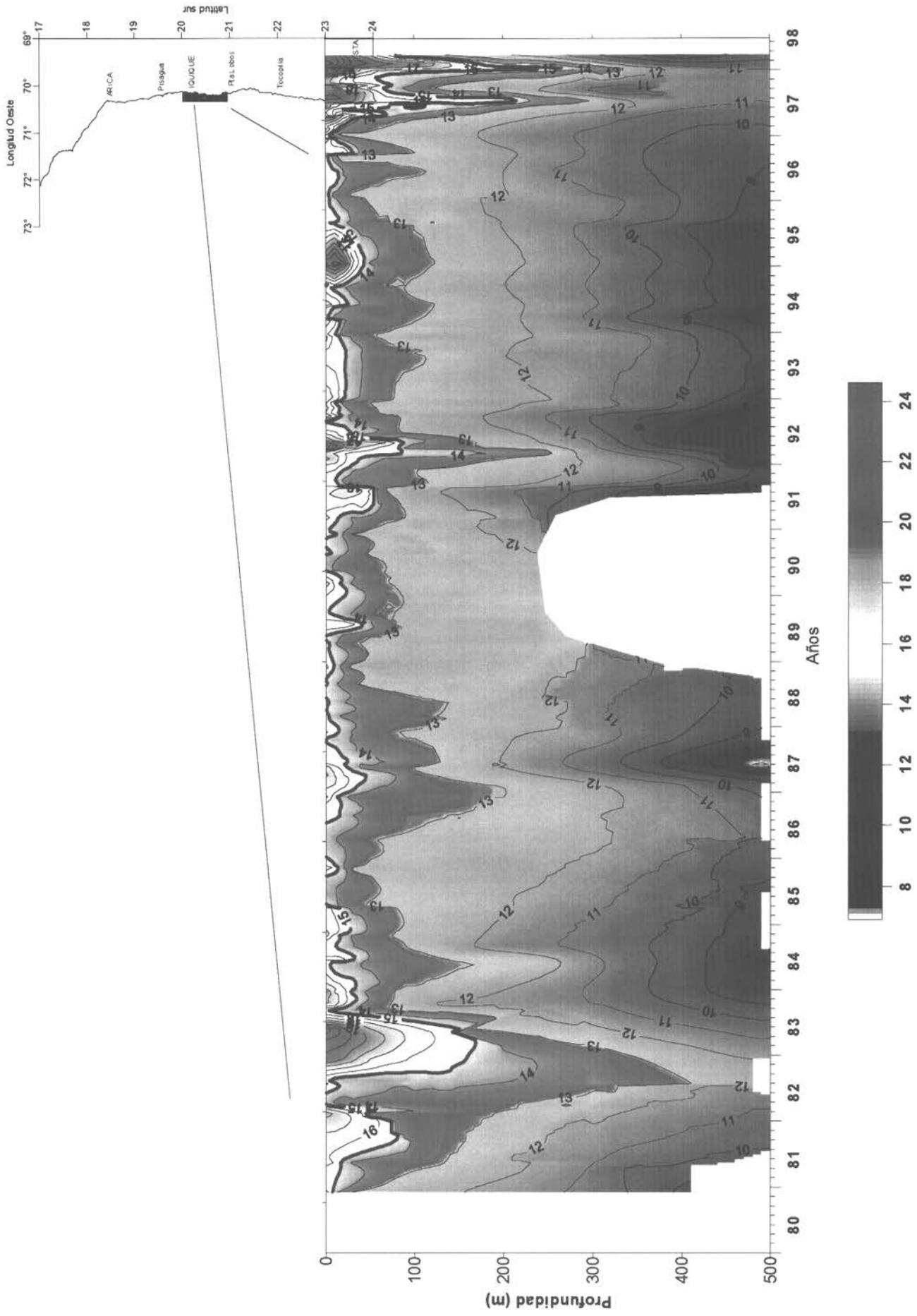


Fig. 54.- Distribución temporal de la temperatura con profundidad a 5 millas de la costa frente a Iquique.

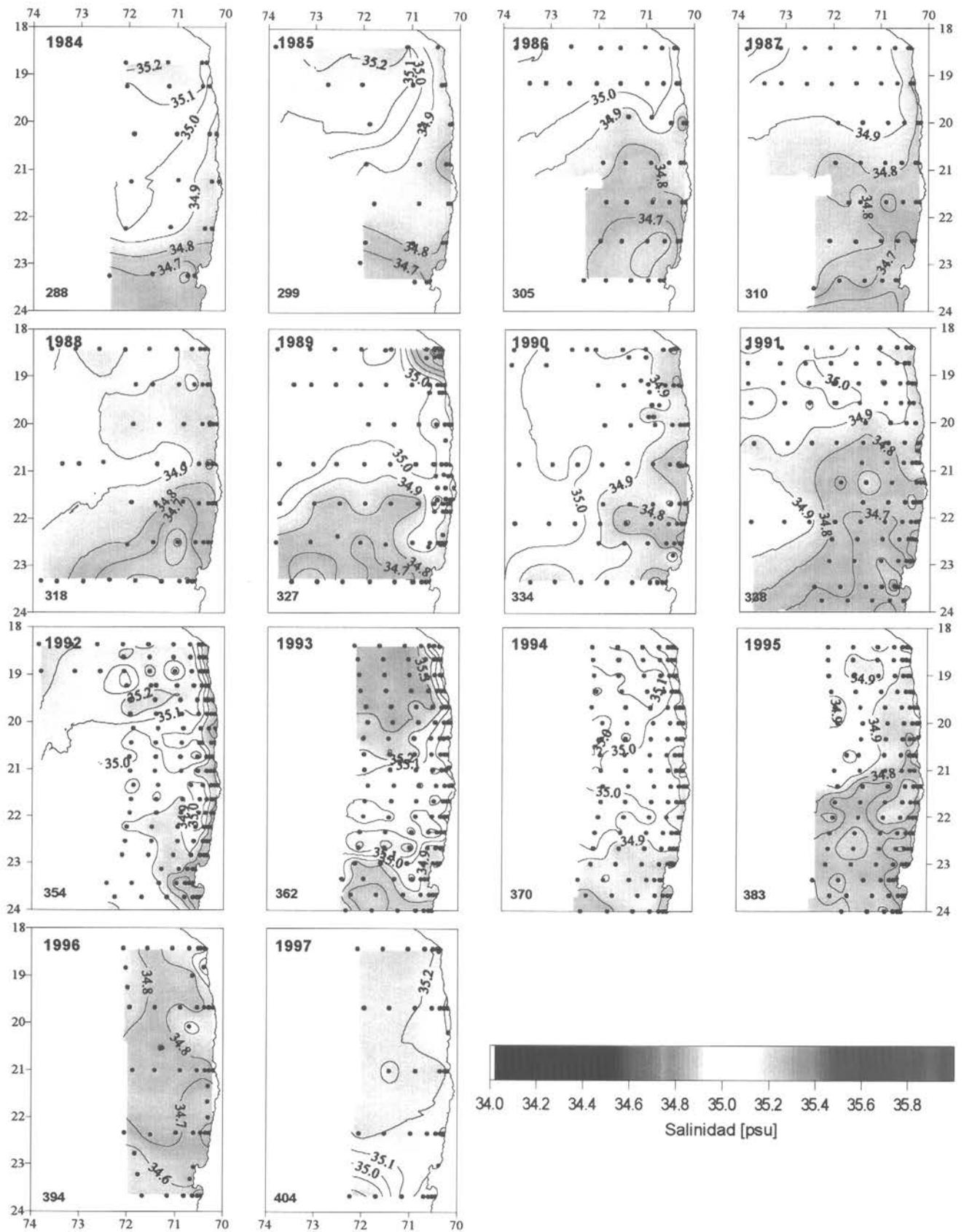


Fig. 55.- Salinidad superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre). Período 1984 a 1997.

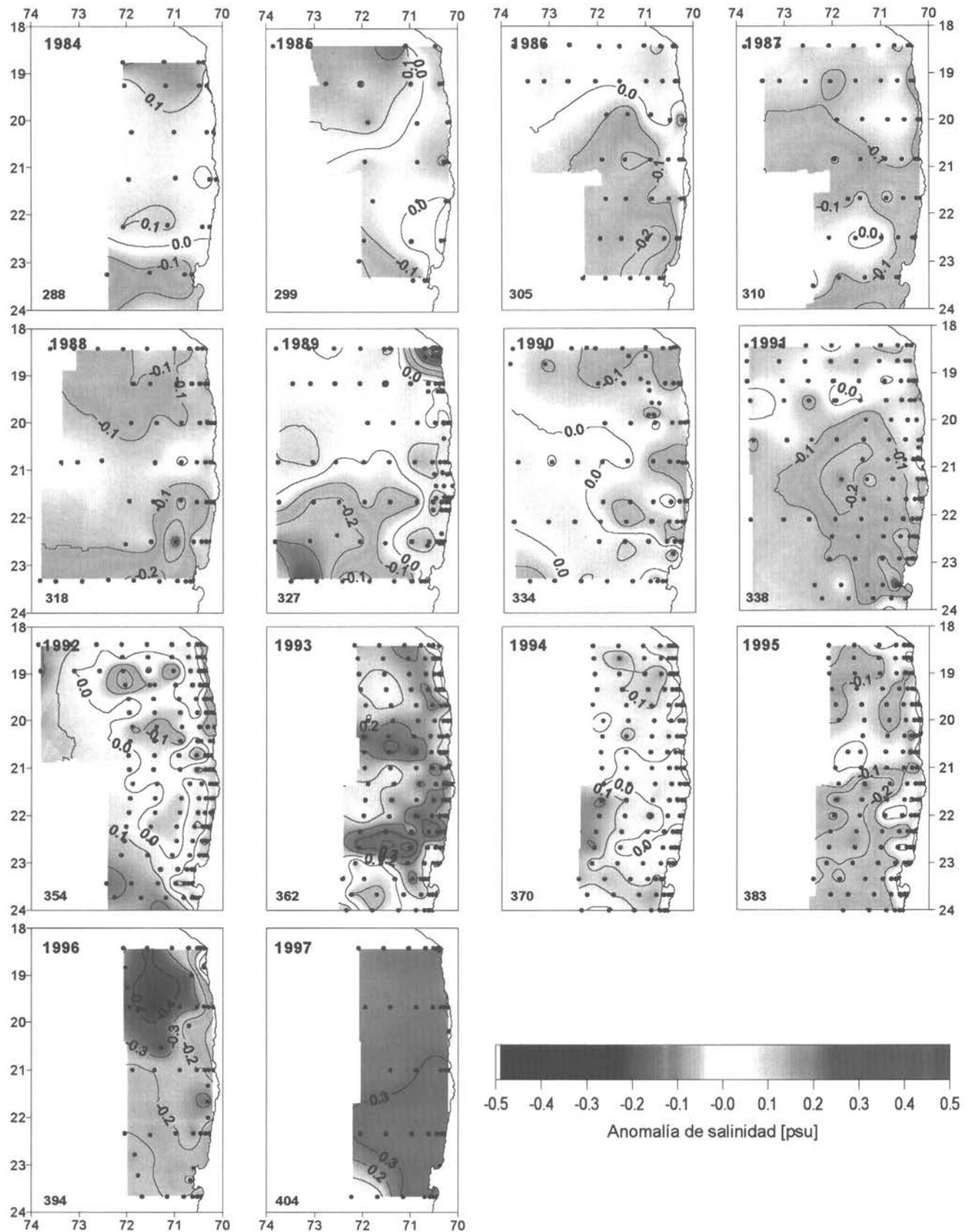


Fig. 56.- Anomalia de salinidad superficial de los cruceros de invierno (julio a septiembre).
Período 1984 a 1997.

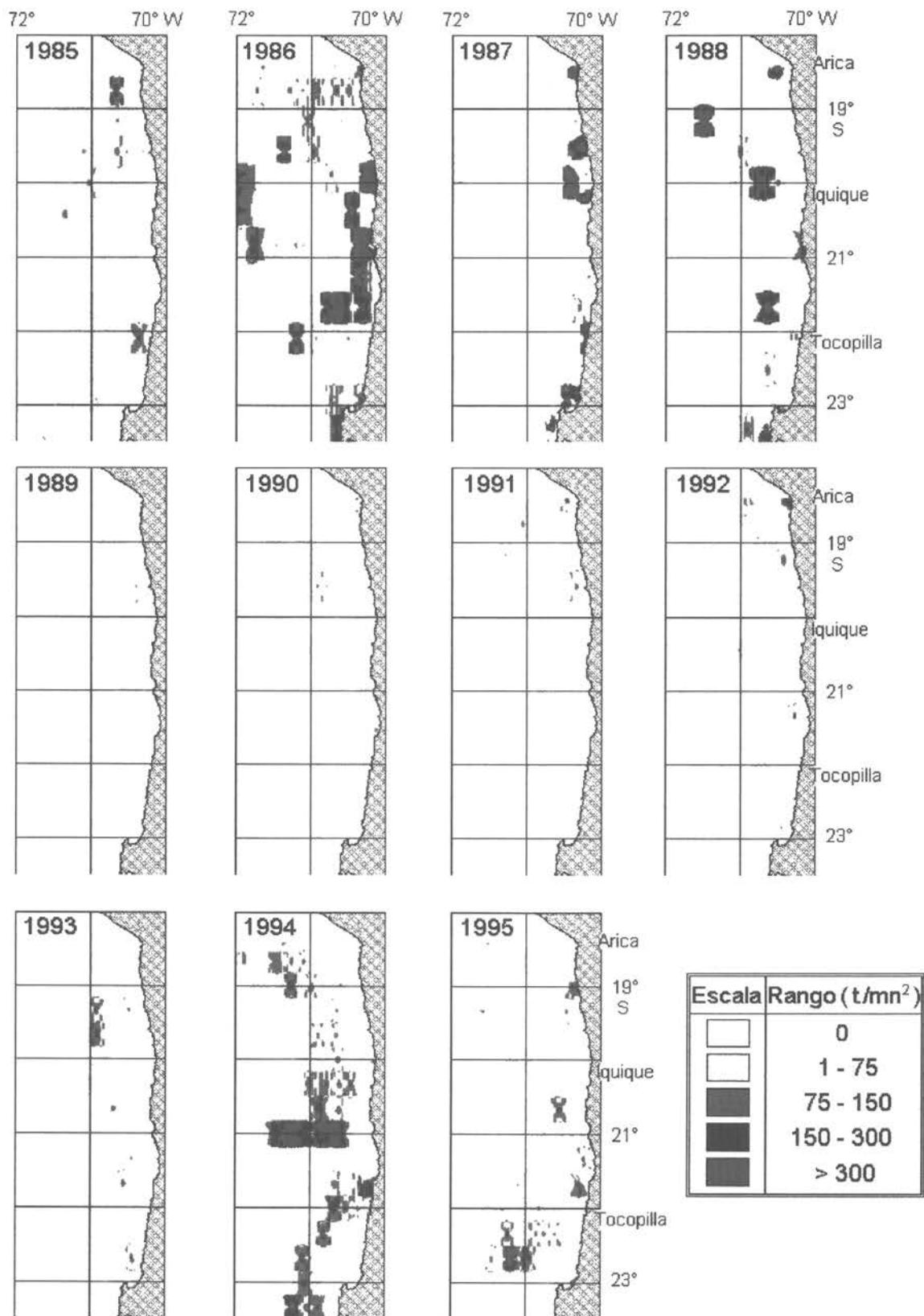


Fig. 57. Mapas de distribución espacial de la densidad acústica de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.

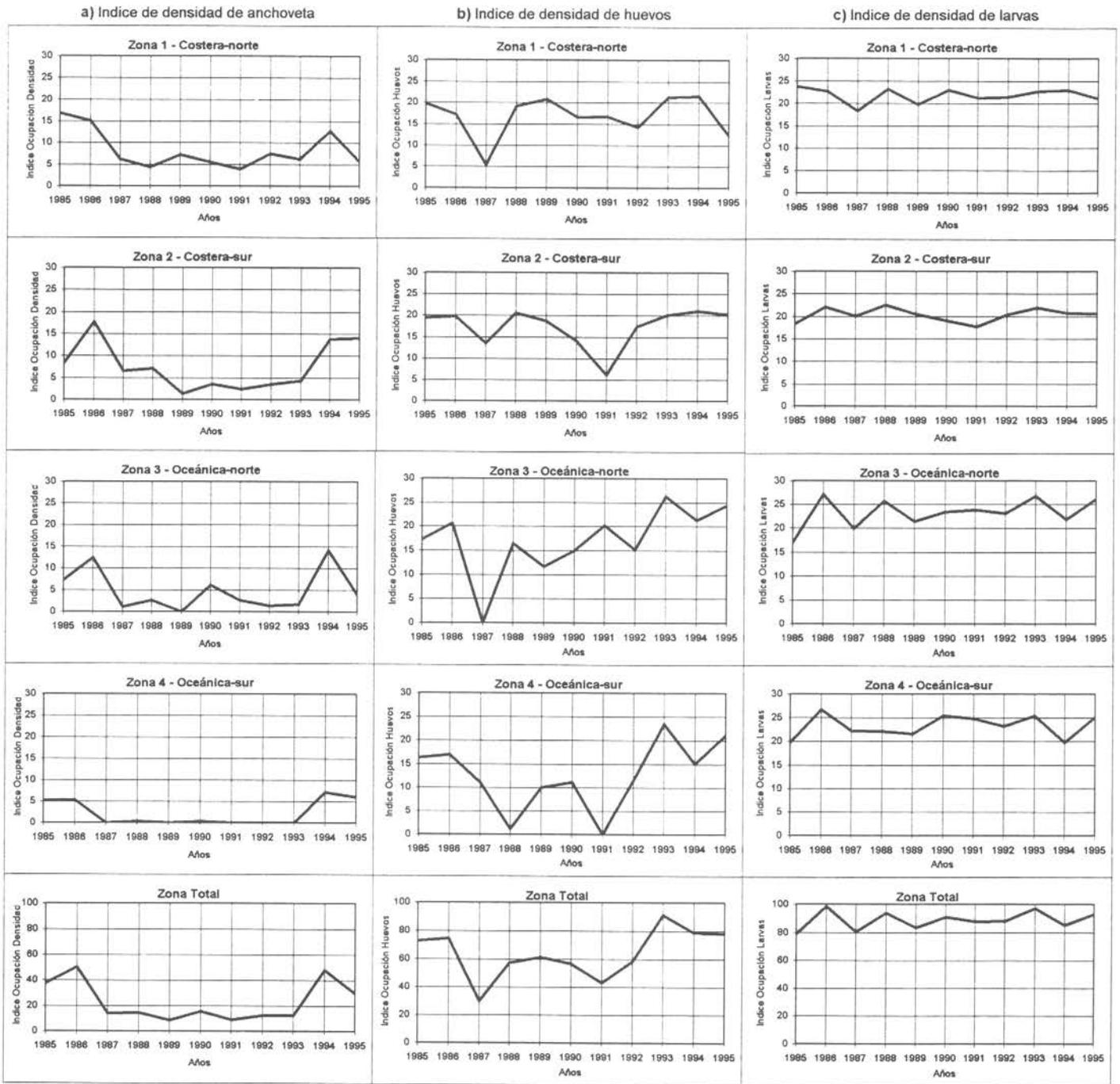


Fig. 58 . Índice de ocupación por áreas de: a) densidad acústica de anchoveta, b) huevos de anchoveta y c) larvas de anchoveta.

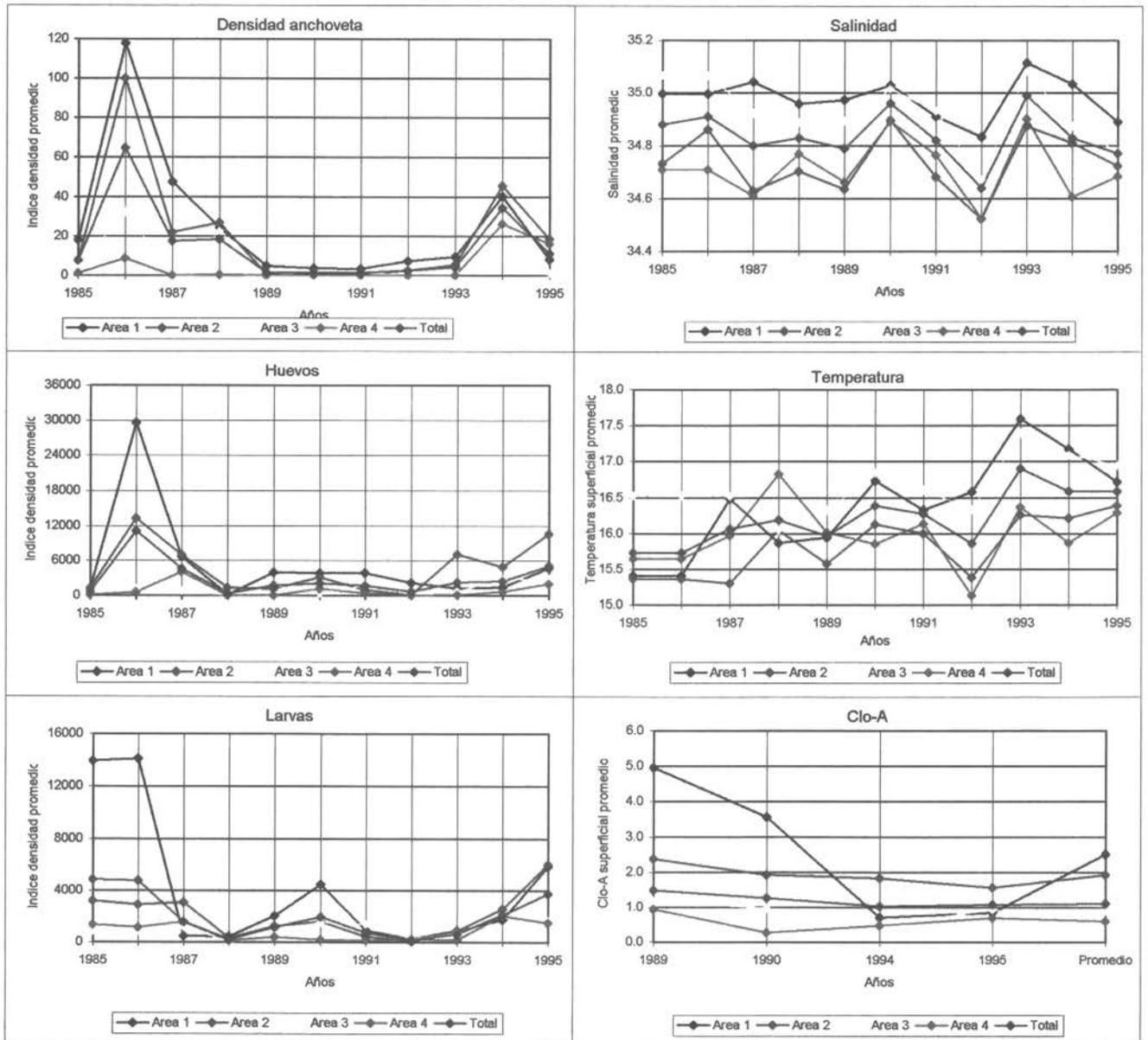


Fig. 59. Índices de densidad promedio de adultos, huevos y larvas de anchoveta, temperatura, salinidad y clo-a, por área en el período 1985-95.

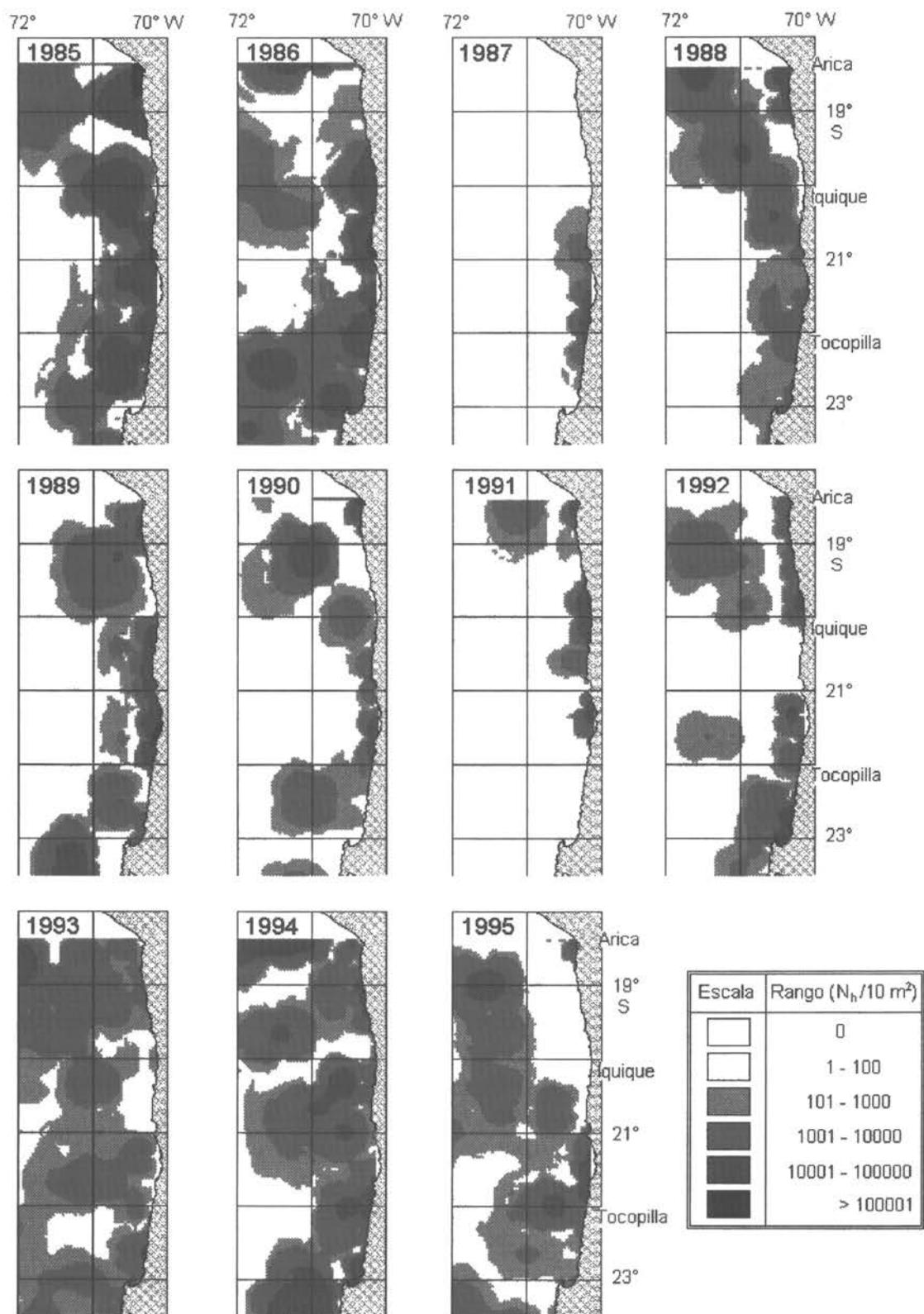


Fig. 60. Mapas de distribución espacial de huevos de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.

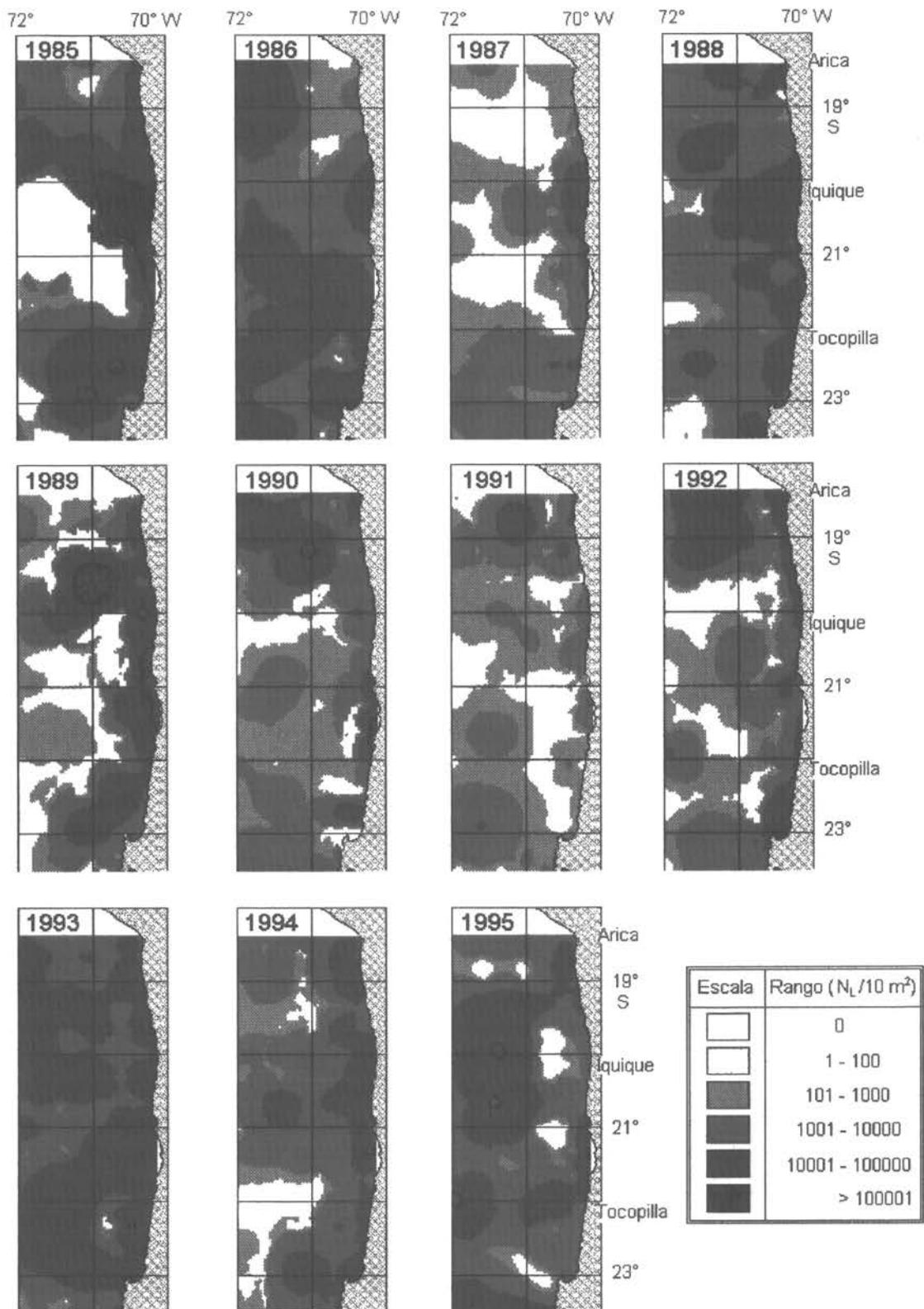


Fig. 61. Mapas de distribución espacial de larvas de anchoveta en cruceros invernales, período 1985-95.

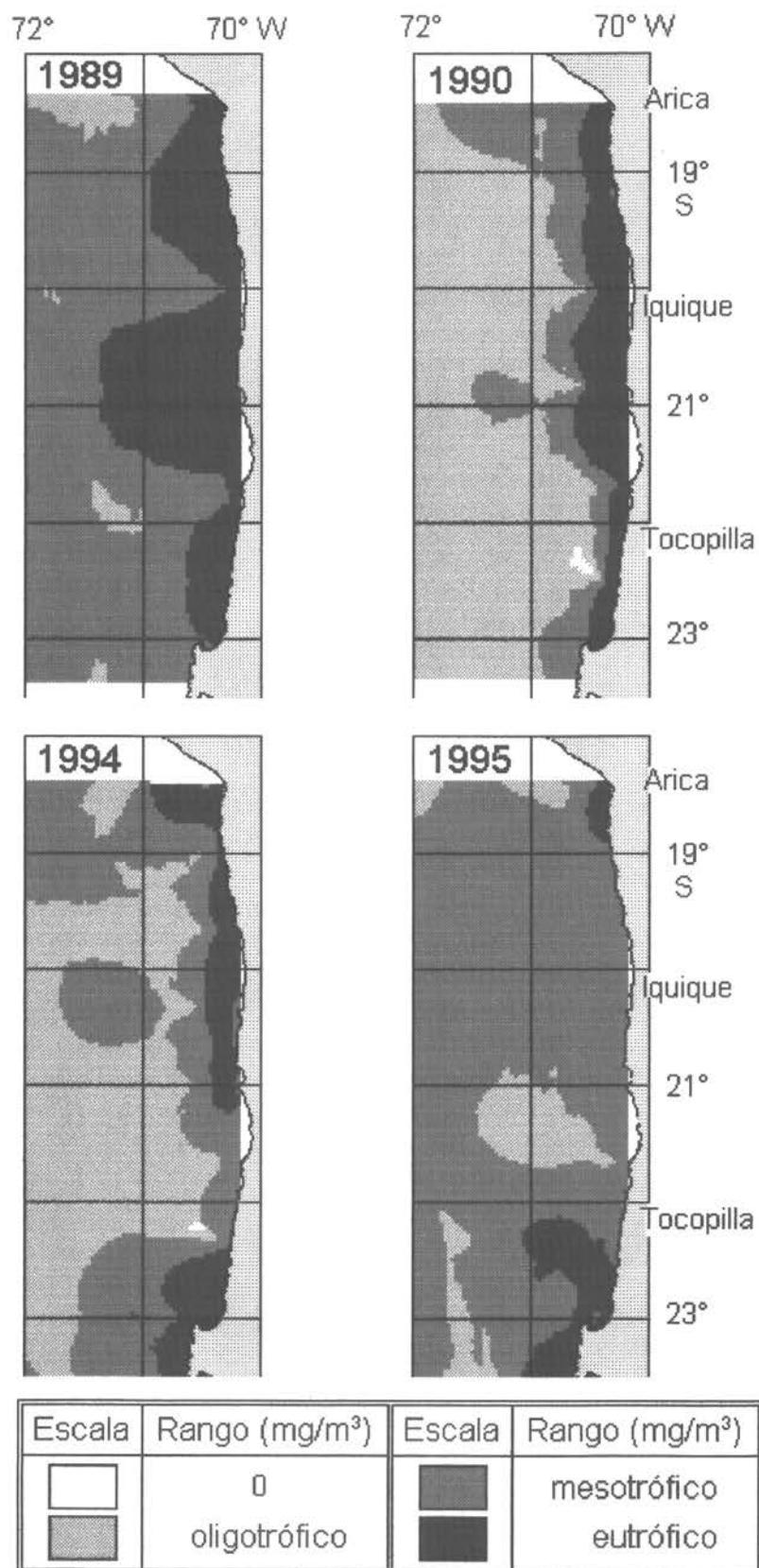


Fig. 62. Mapas de distribución espacial de cloa-a en cruceros invernales, período 1989-95.

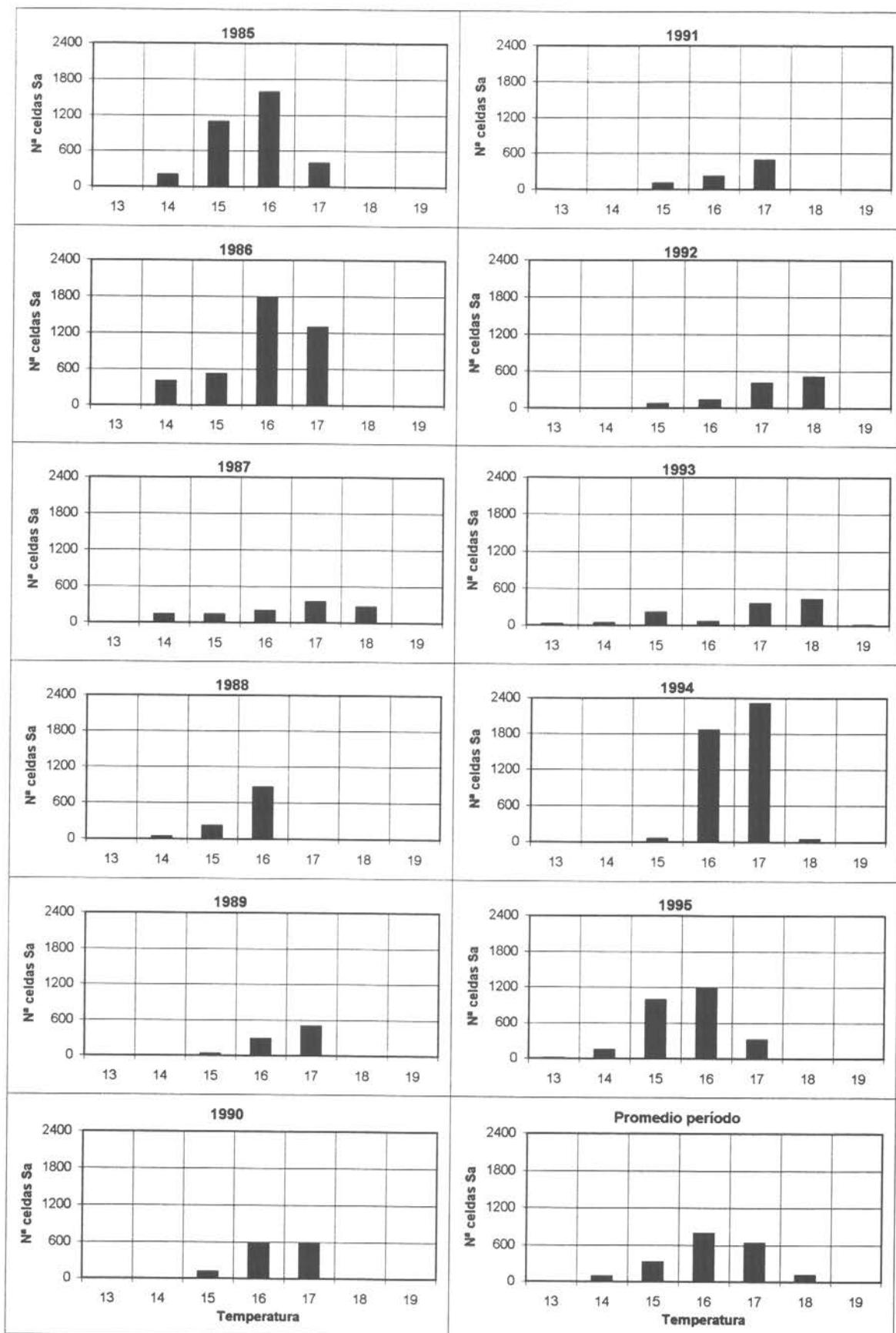
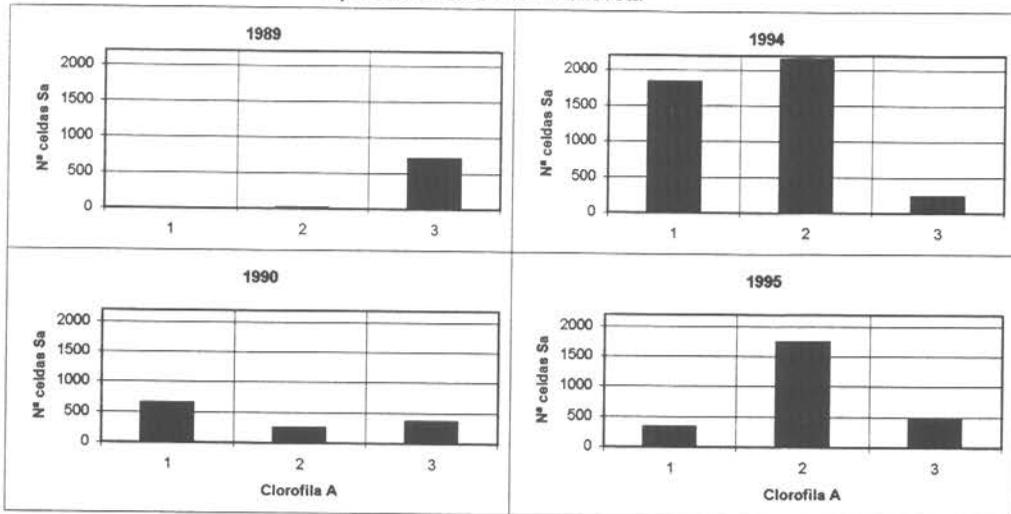
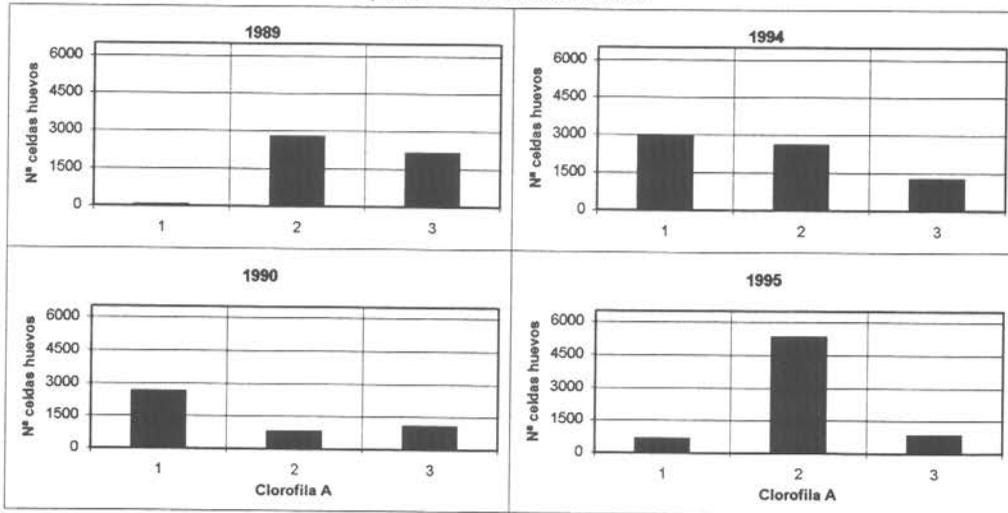


Fig. 63. Número de celdas con presencia de anchoveta en relación a la temperatura

a) Índice densidad de anchoveta



b) Índice densidad de huevos



c) Índice densidad de larvas

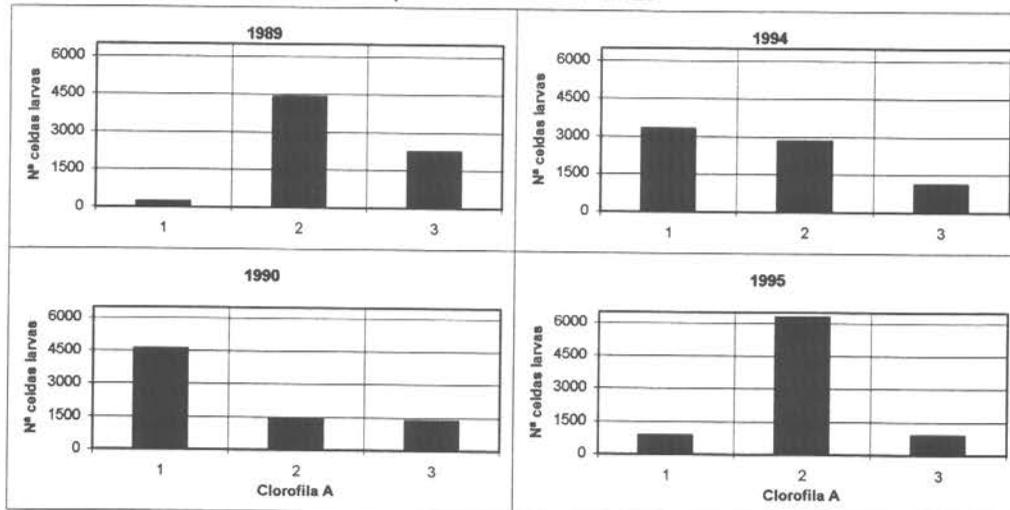


Fig. 65. Índice de densidad de adultos, huevos y larvas de anchoveta respecto a la concentración de clo-a en períodos invernales de 1989-95.

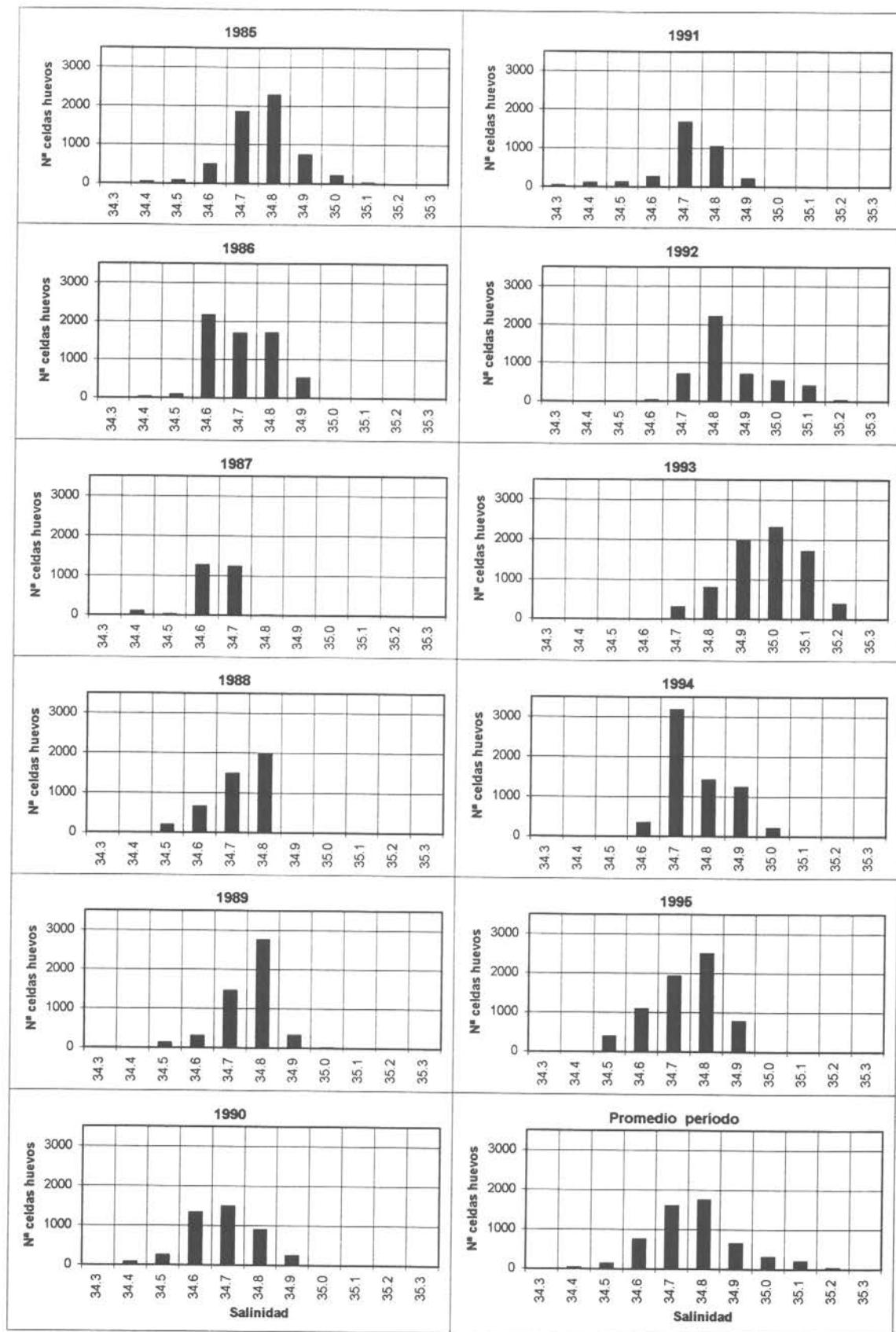


Fig. 67. Número de celdas con huevos de anchoveta en relación a la salinidad.

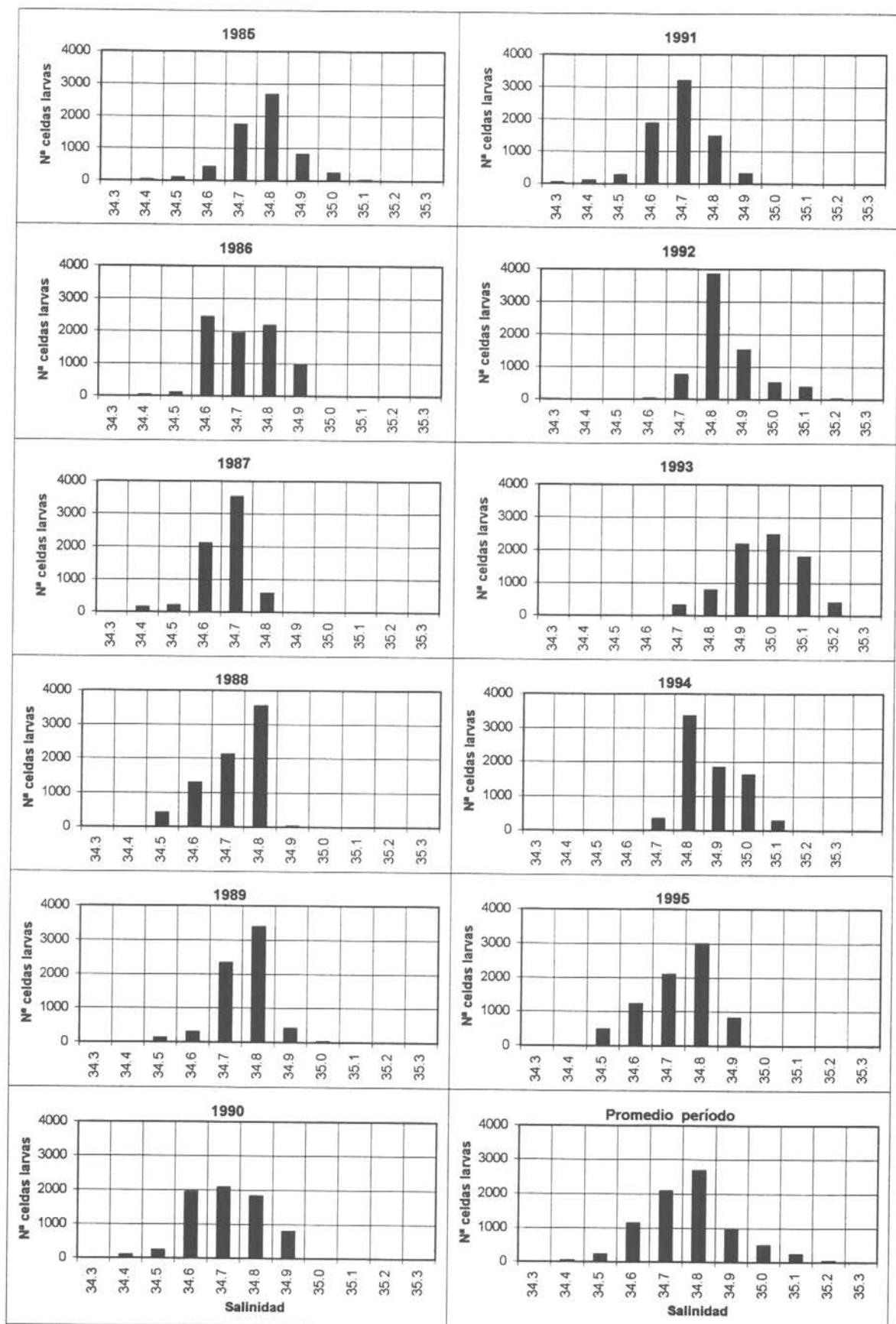


Fig. 69. Número de celdas con larvas de anchoveta en relación a la salinidad

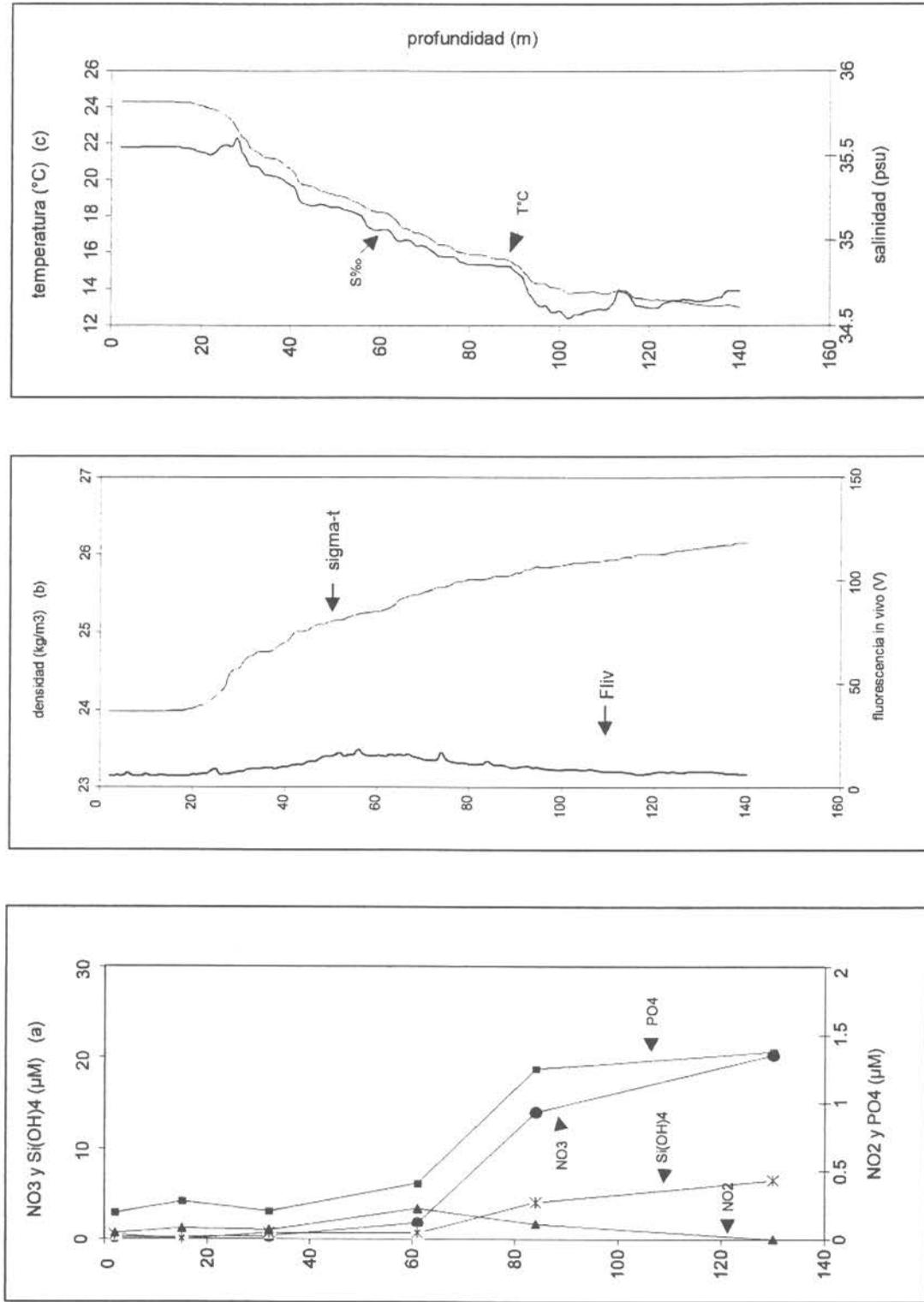


Fig. 71. Distribución vertical de nutrientes (a), densidad y fluorescencia in vivo (b) y temperatura y salinidad (c), en la estación oceánica.

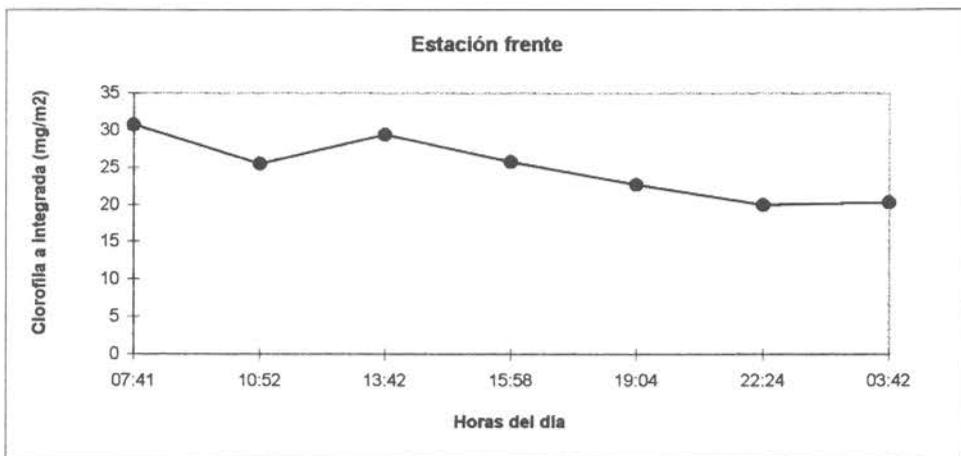
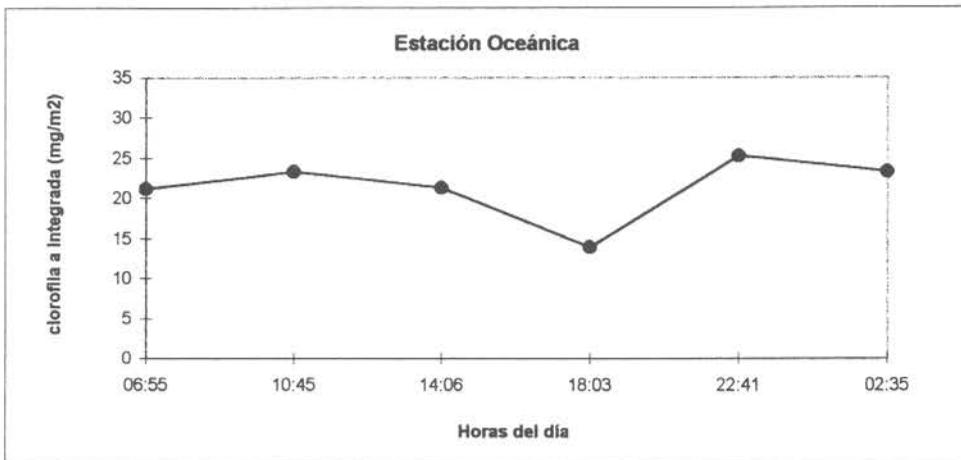
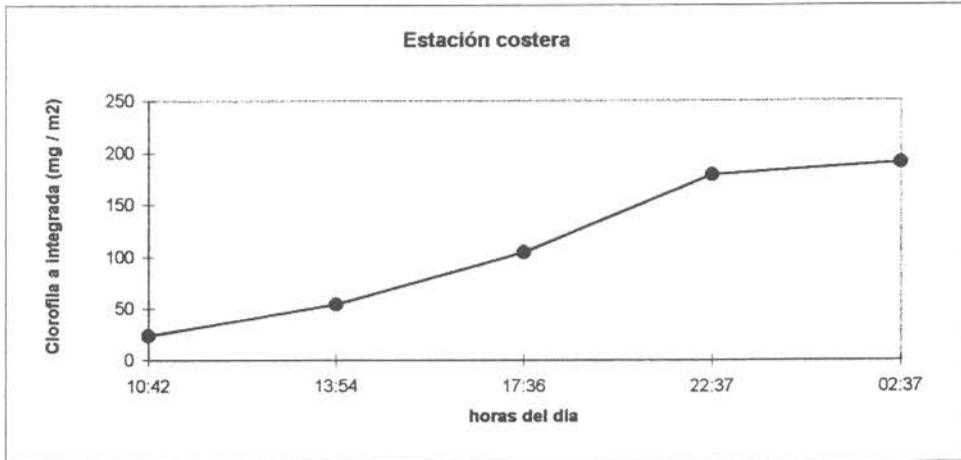


Fig. 73. Variabilidad temporal de la clorofila a integrada en el frente costero, en las estaciones realizadas en la zona costera, oceánica y frente.

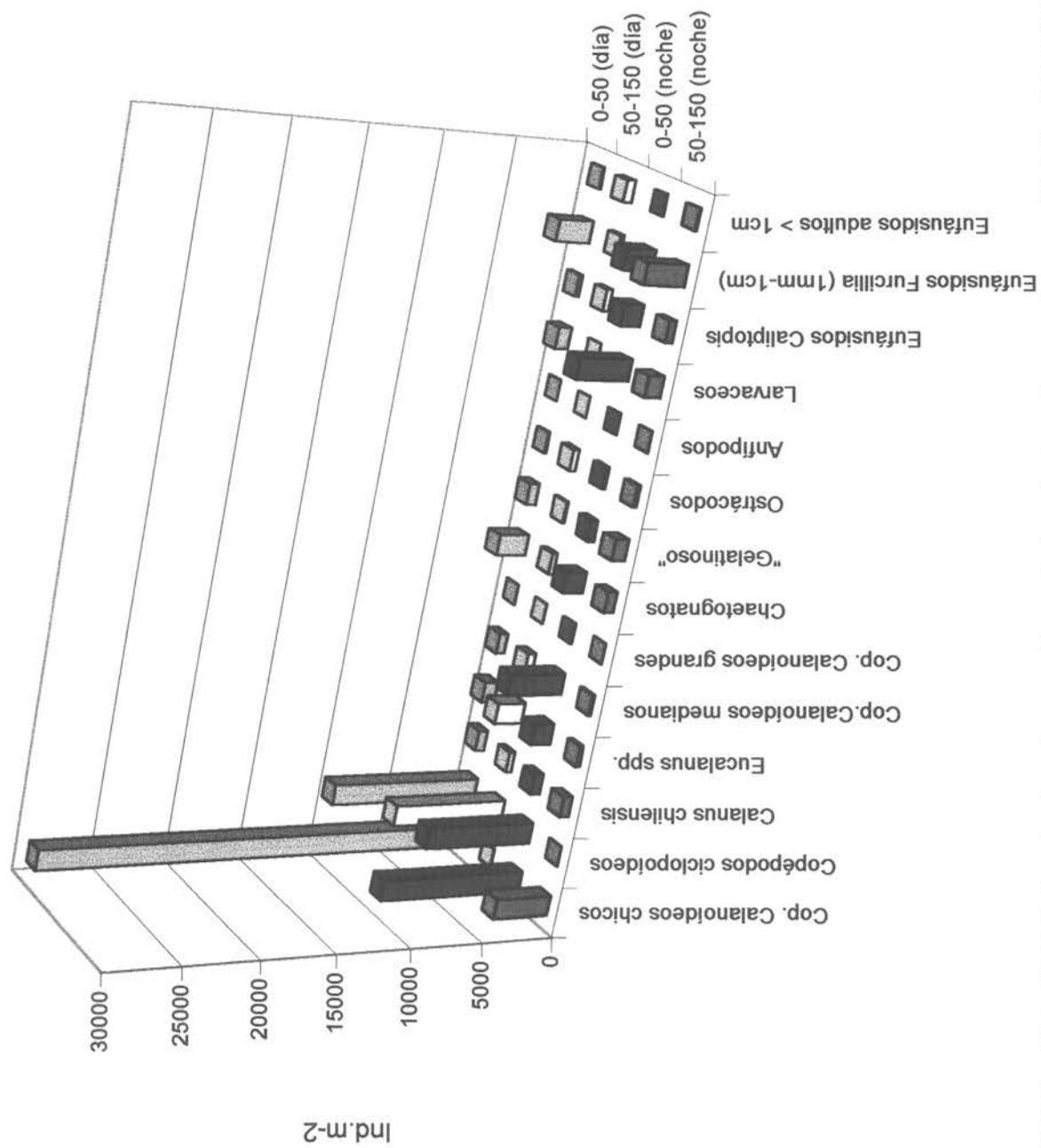


Figura 74 . Abundancia de zooplankton en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150) en muestreos diurnos y nocturnos en la estación Costera (29/1/98)

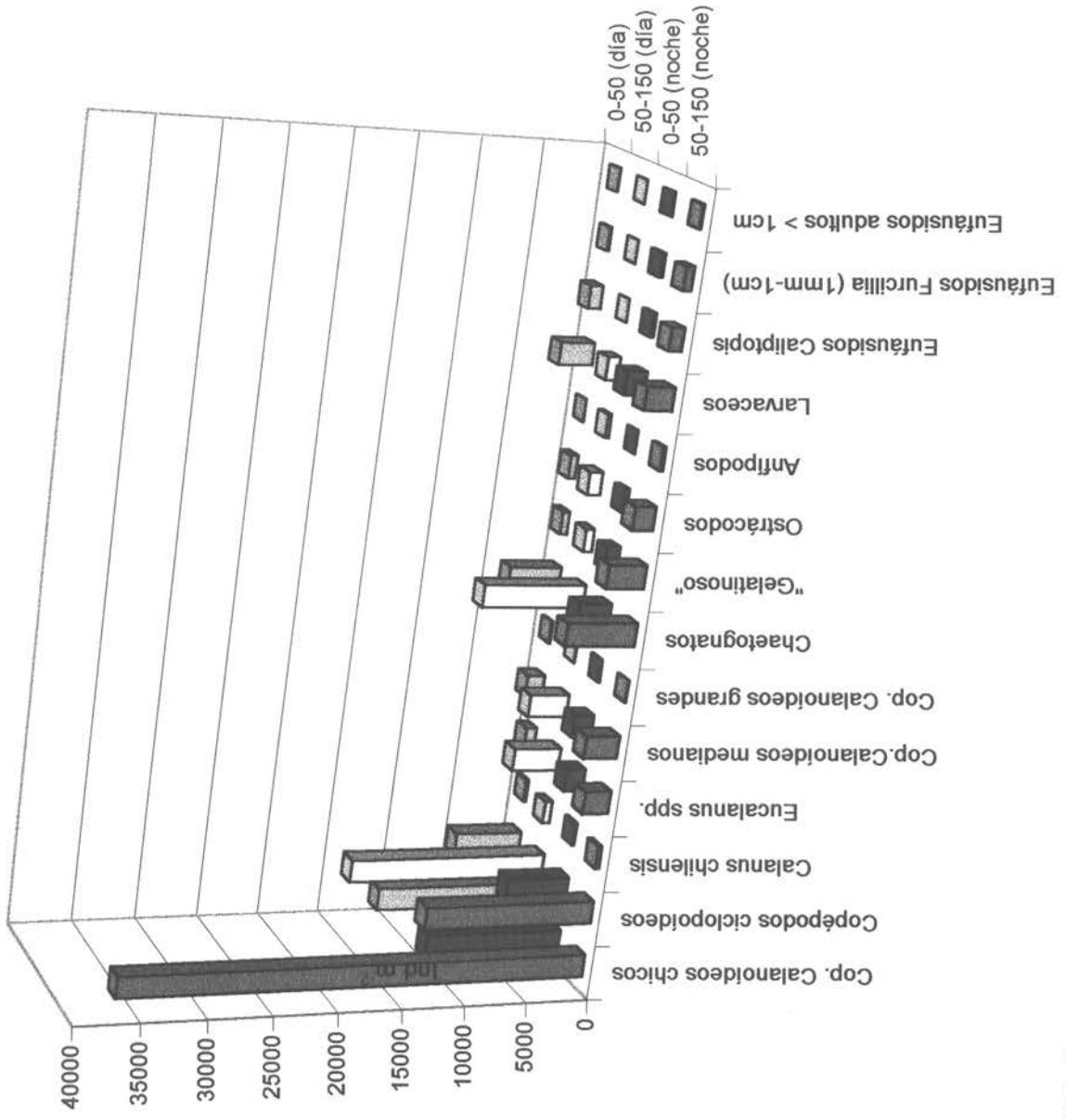


Figura 75. Abundancia de zooplancton en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150m) en muestreos diurnos y nocturnos en la estación Frente (26/1/98)

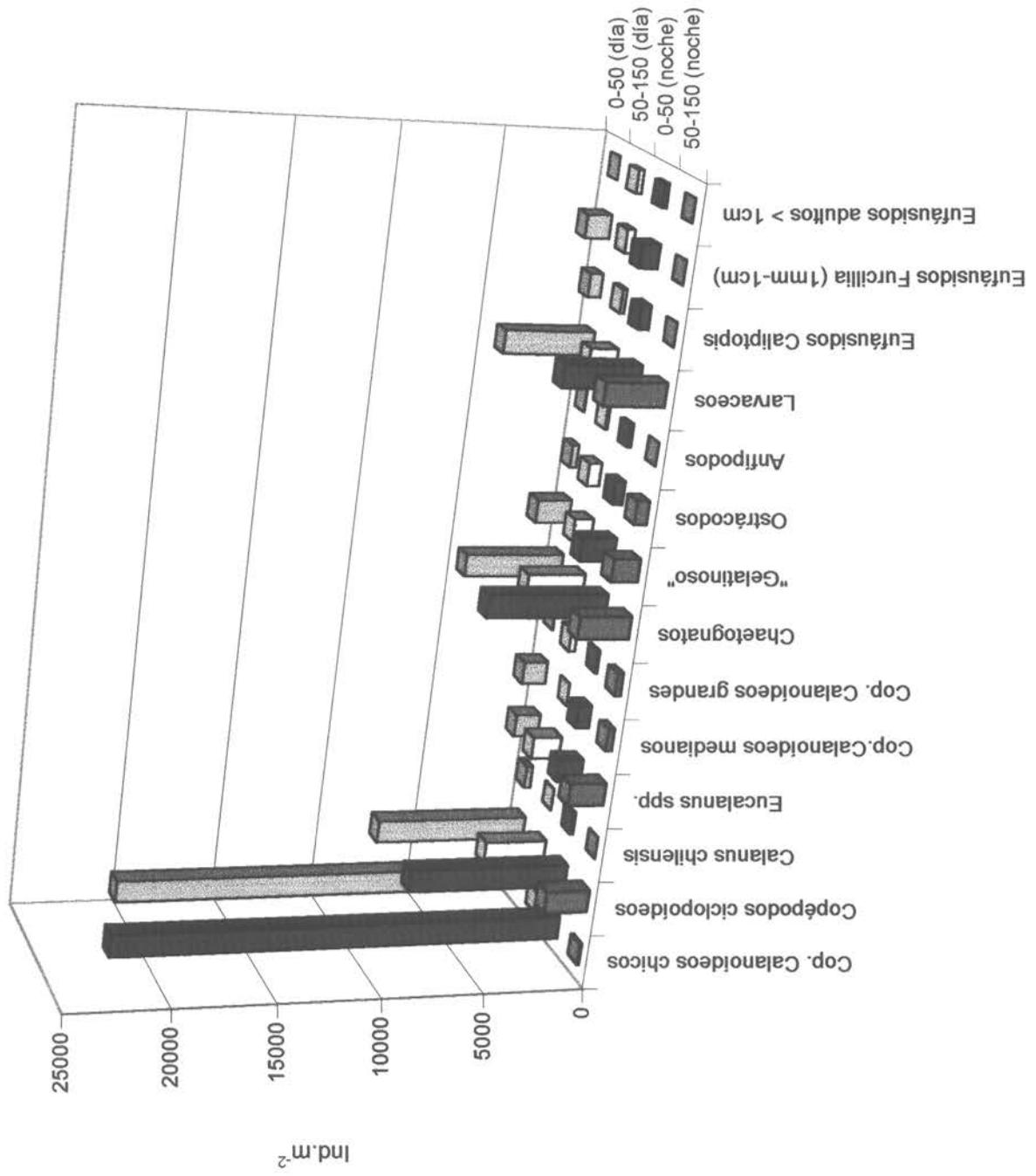


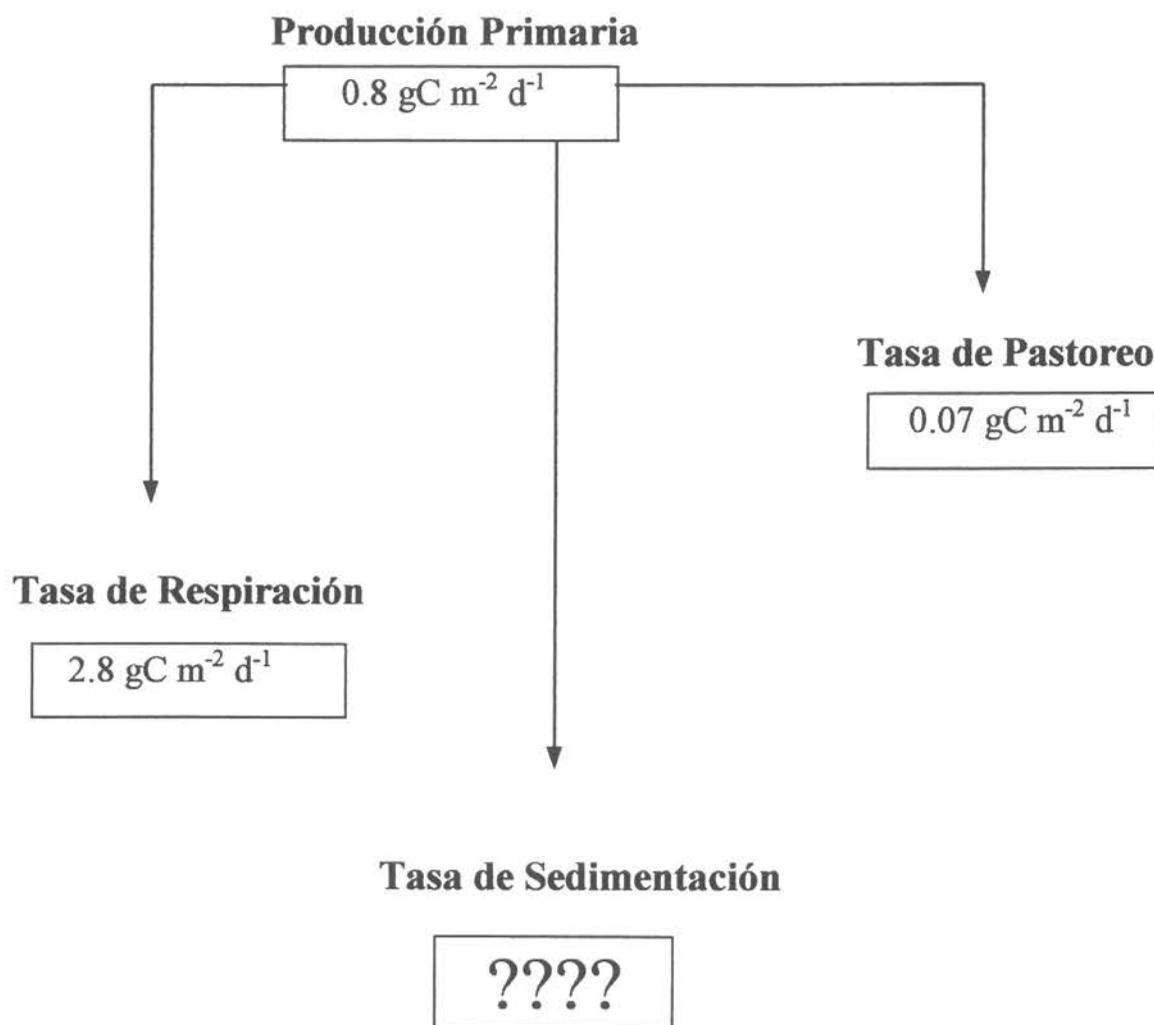
Figura 76. Abundancia de zooplancton en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150 m) en muestreos diurnos y nocturnos en la estación Oceanica (27/1/98).

**ESTACION FRENTE
1998**

26 Enero

Latitud 22° 47' 20" S.

Longitud 70° 32' 38" W.



Biomasa total de zoo	1.75 gC
Clorofila integrada	30.7 mg m ⁻²
1 % de luz	130 m

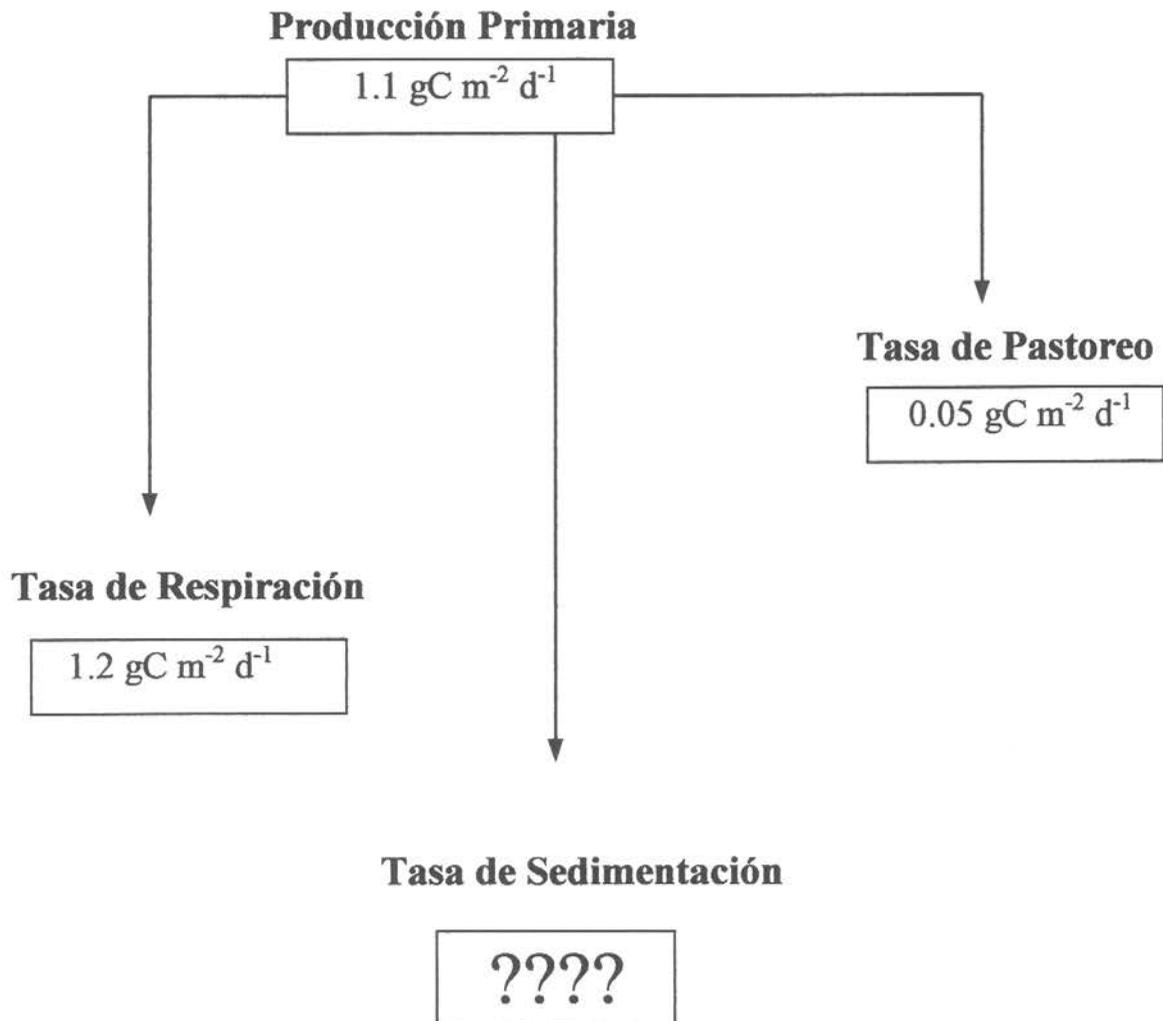
Fig. 77. Diagrama de flujo de la producción primaria en la estación realizada en la zona costera.

**ESTACION OCEANICA
1998**

27 Enero

Latitud 22° 42' 95" S.

Longitud 70° 36' 48" W.



Biomasa total de zoo	0.91 gC
Clorofila integrada	20.41 mg m ⁻²
1 % de luz	130 m

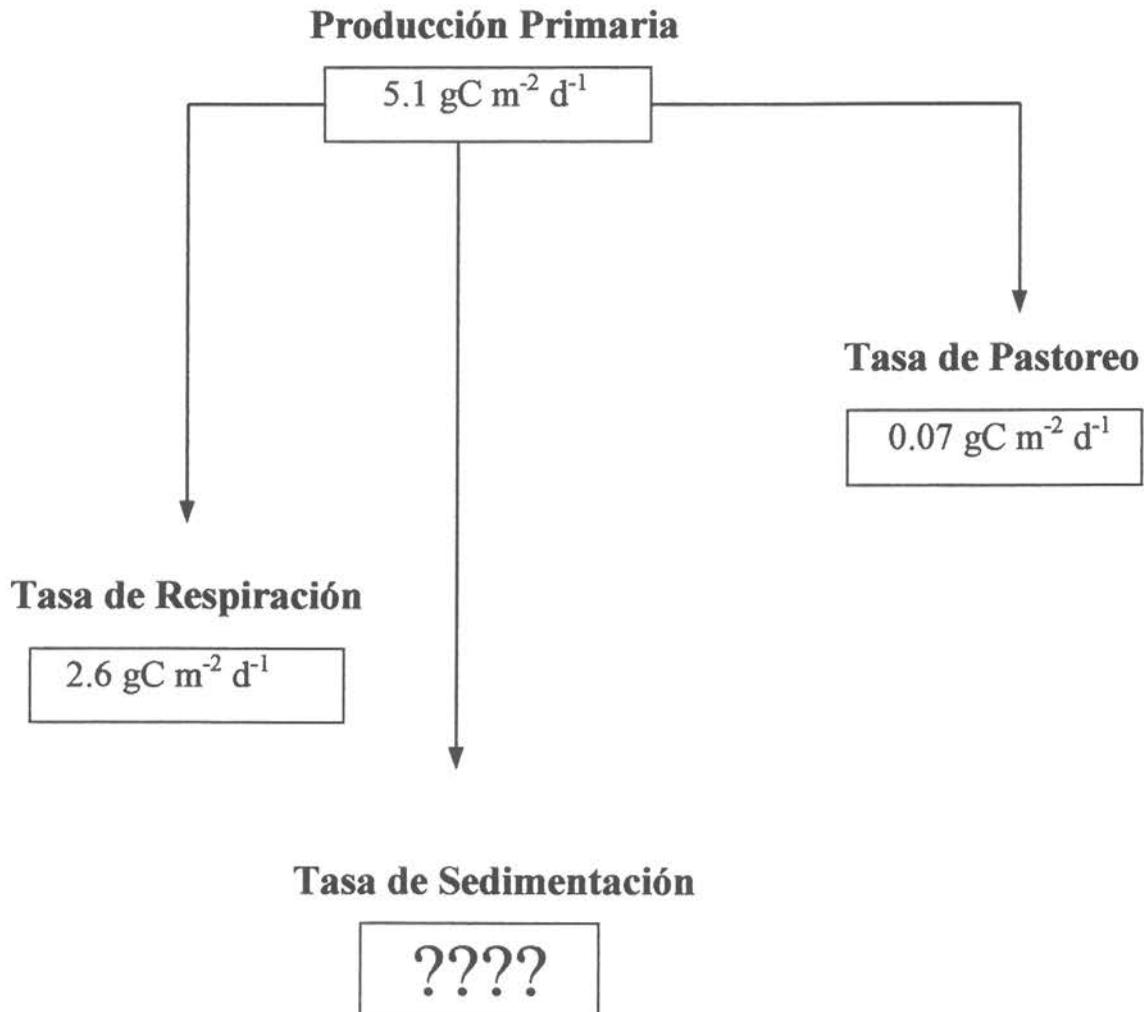
Fig. 78. Diagrama de flujo de la producción primaria en la estación realizada en la zona oceánica.

**ESTACION COSTERA
1998**

28 Enero

Latitud 22° 47' 64" S.

Longitud 70° 24' 83" W.



Biomasa total de zoo	1.25 gC
Clorofila integrada	54.82 mg m ⁻²
1 % de luz	39 m

Fig. 79. Diagrama de flujo de la producción primaria en la estación realizada en la zona costera.

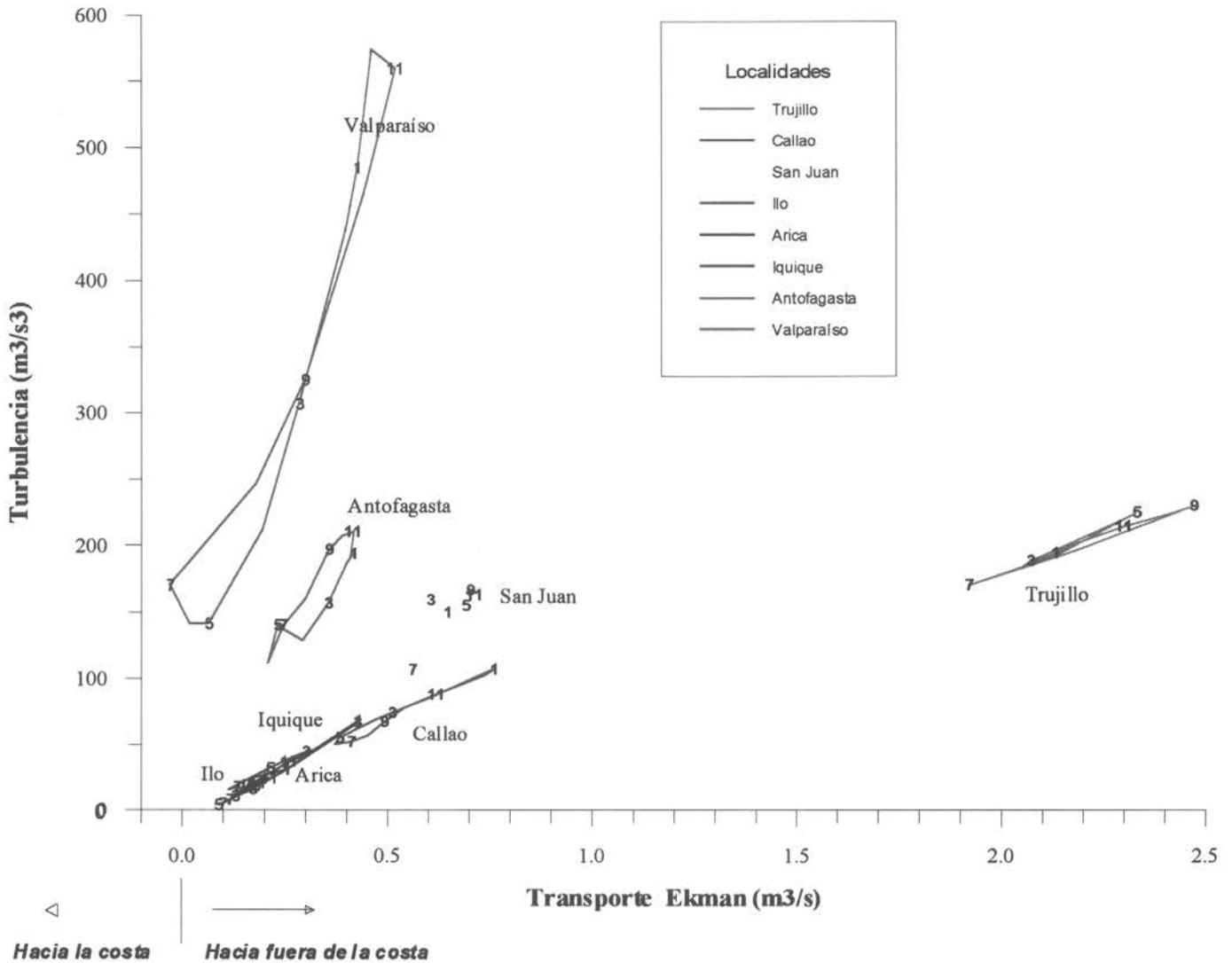


Fig. 80.- Ciclo estacional de turbulencia y surgencia. Períodos y/o áreas con baja turbulencia y transporte fuera de la costa se pueden asumir como apropiados para la sobrevivencia de las larvas. (Callao y Trujillo con datos de Mendo et. al. 1987)

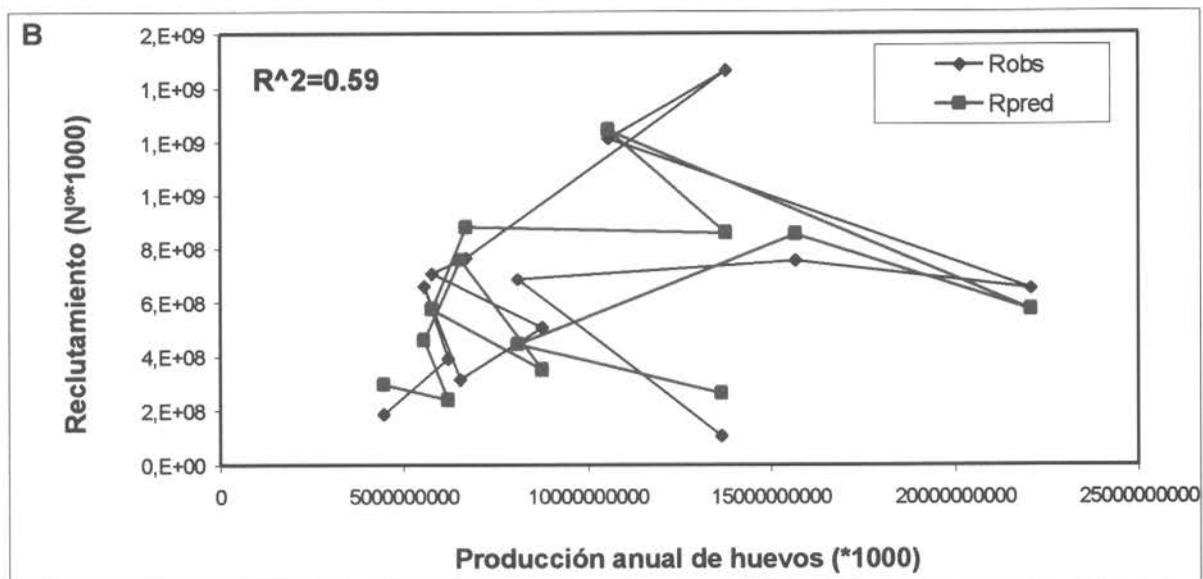
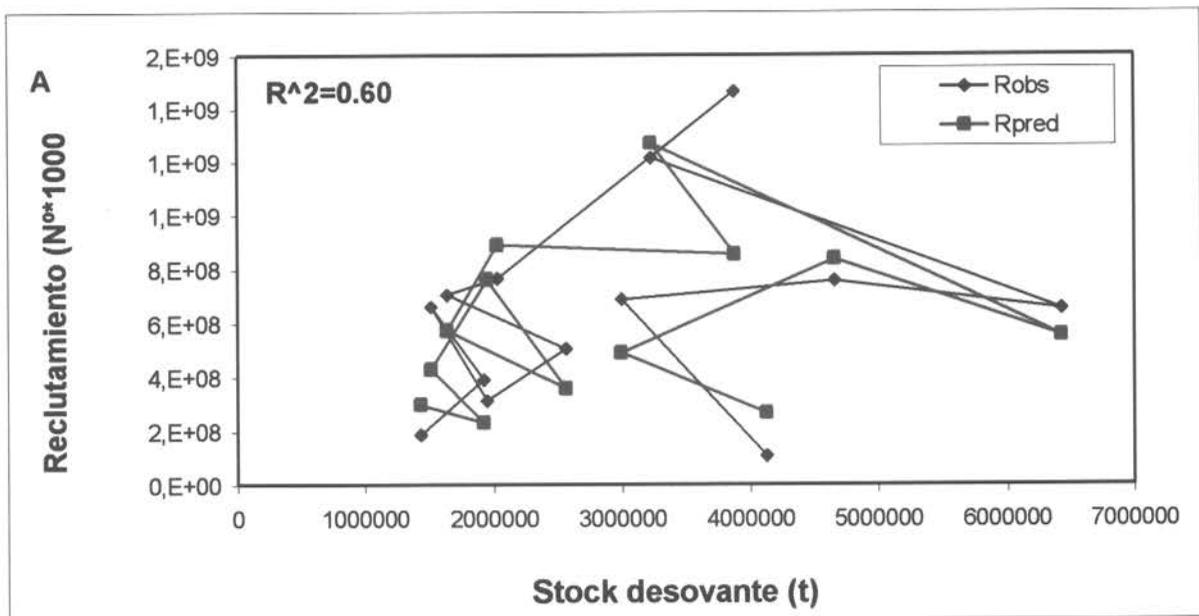


Figura 81: A: Relación stock-recluta de anchoveta incorporando variables ambientales.
 B: Relación producción anual de huevos-reclutamiento de anchoveta incluyendo variables ambientales.

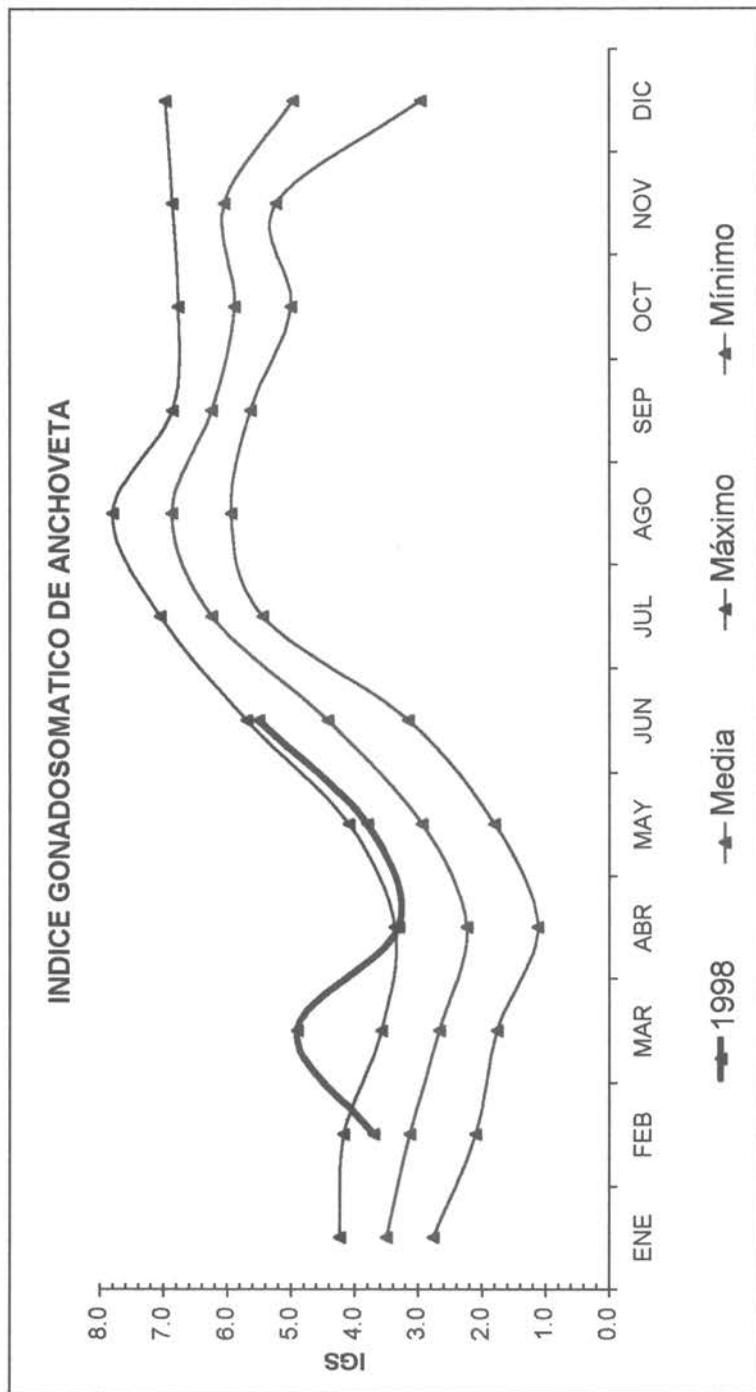


Figura 82. Patrón del índice gonadosomático de las hembras de anchoveta de la Zona Norte de Chile, período 1987-97 y 1998. Los valores representan el promedio más o menos una desviación estándar.

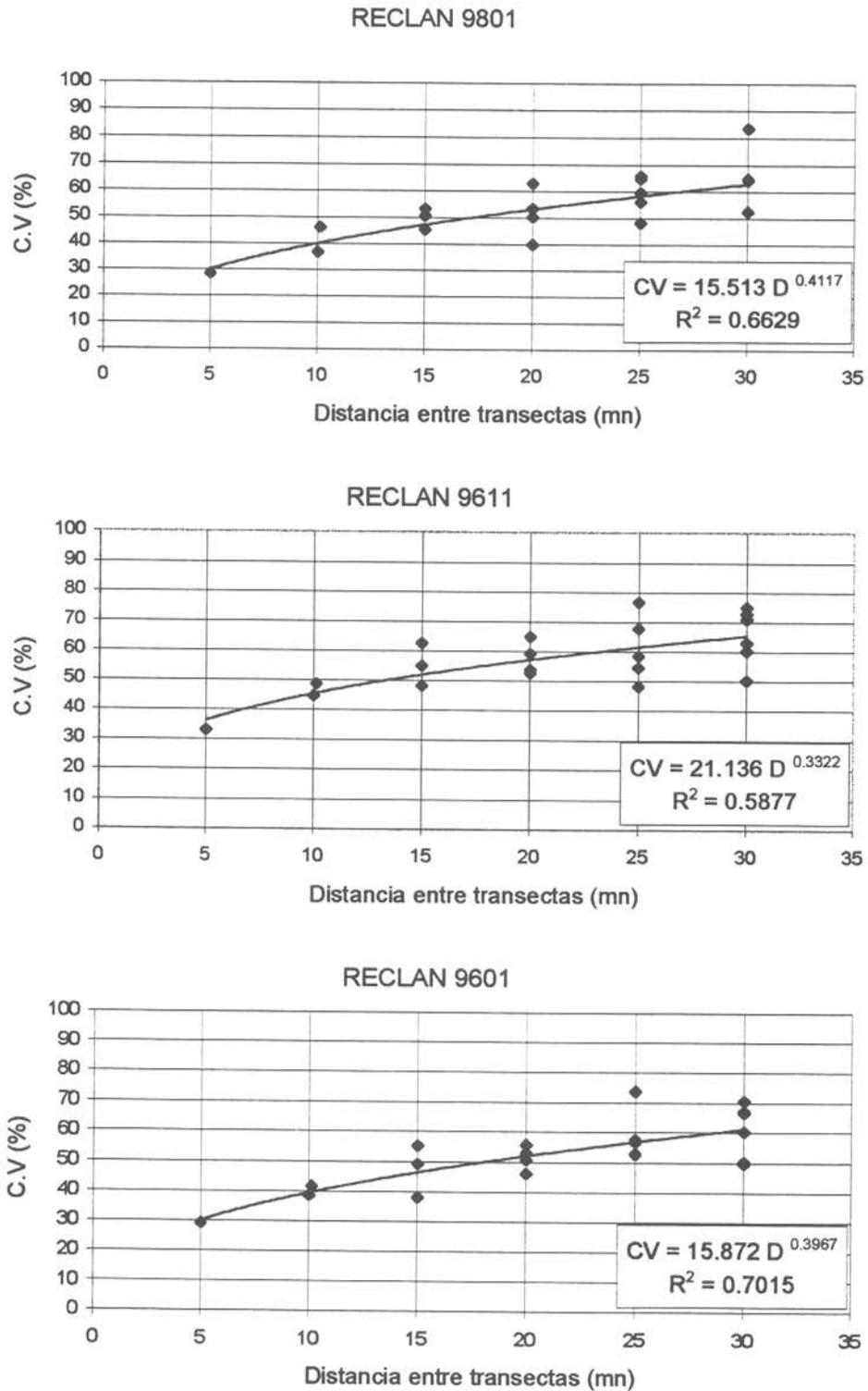


Figura 83. Relación entre los coeficientes de variación (CV) de las estimaciones acústicas de la biomasa de anchoveta a distintas distancias entre transectas. Cruceros RECLAN 9801, 9611 y 9601.

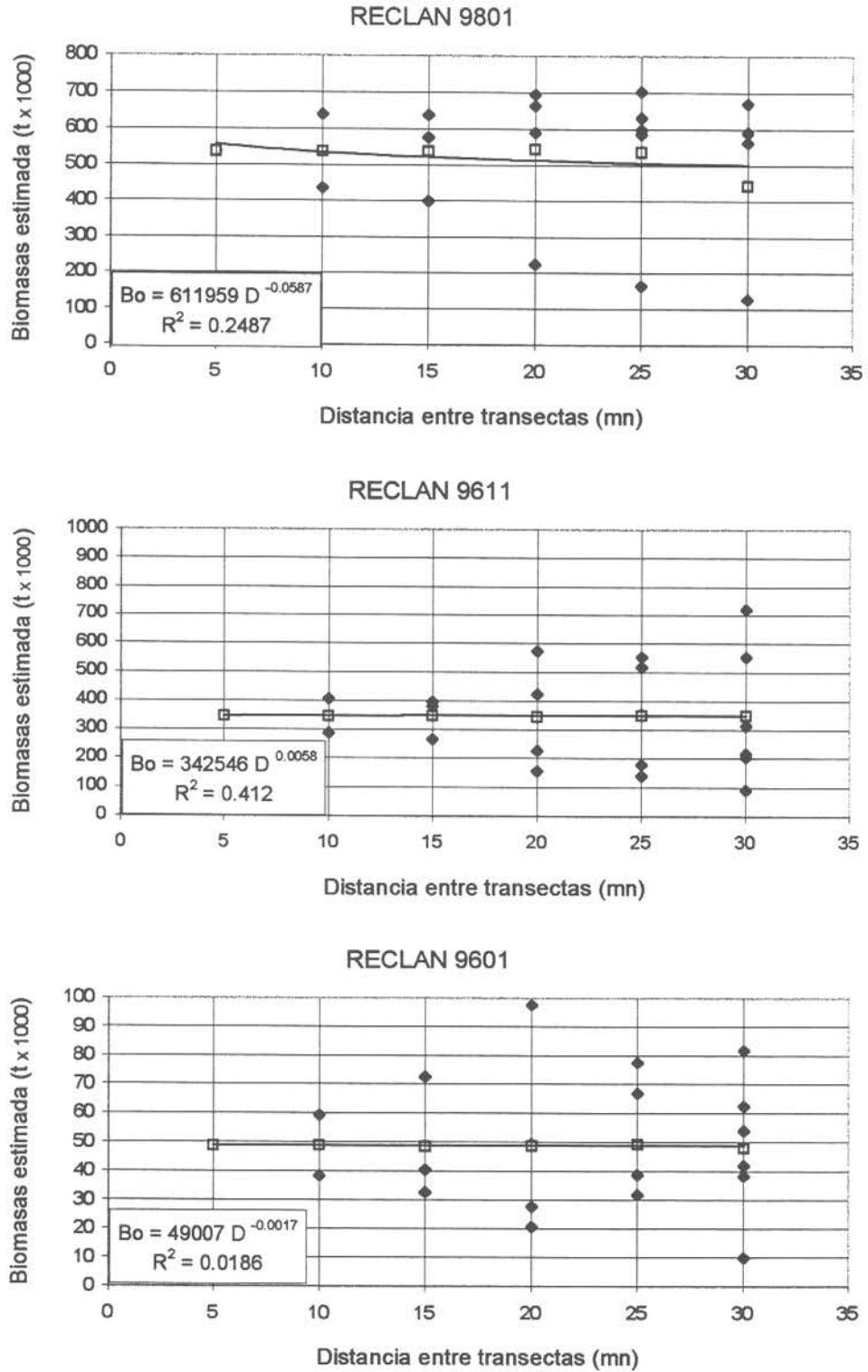


Figura 84. Relación entre los estimadores de biomasa de anchoveta a distintas distancias entre transectas. Cruceros RECLAN 9801, 9611 y 9601.



TABLAS



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



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Tabla 2 Resumen de operación por lance del Crucero RECLAN 9801

LANCE Nº	FECHA	HORA		POSICIÓN				PROFUNDIDAD DE ARRASTRE(*)	VELOCIDAD DE ARRASTRE(nudos)	TSM (°C)	CAPTURA (kilos)	
		Calado	Virado	Latitud S	Longitud W	Latitud S	Longitud W				ANCHOVETA	TOTAL
1	07/01/98	19 10	20 10	18°24'44	70°27'94	18°24'30	70°27'03	50	3.0-4.8	-	71.8	72
2	07/01/98	21.45	22.43	18°29'50	70°23'96	18°26'33	70°24'60	12	3.1-3.3	24.5	48.2	52
3	08/01/98	08.43	09.30	18°45'50	70°23'20	18°48'22	70°22'64	15	3.2-3.3	22.7	-	0.2
4	08/01/98	11.21	12.12	18°38'83	70°22'55	18°41'29	70°23'01	-	3.6-3.9	23.9	194.8	256
5	08/01/98	20.30	21.15	19°10'10	70°19'10	19°07'50	70°19'54	-	3.3	24.7	1.9	28.5
6	08/01/98	22.25	22.55	19°01'00	70°28'98	18°59'45	70°21'05	-	3.6	24.7	6.5	28
7	09/01/98	06.15	07.20	19°19'82	70°18'72	19°16'43	70°18'58	-	3.2-3.3	23.2	1.8	7.9
8	09/01/98	08.28	09.12	19°14'01	70°01'84	19°11'40	70°18'23	5	3.3	23.1	-	-
9	09/01/98	16.55	17.40	19°28'00	70°16'15	19°25'71	70°16'76	-	3.3	23.2	108	108
10	09/01/98	21.00	21.42	19°31'50	70°15'12	19°29'16	70°15'32	-	3.2-3.3	22.7	794	813
11	10/01/98	19.03	19.55	19°47'00	70°13'00	19°44'30	70°14'00	-	3.3	23.6	-	-
12	10/01/98	21.24	22.30	19°45'60	70°11'80	19°42'00	70°12'60	-	3.3	22.5	274	302
13	11/01/98	07.30	08.30	20°02'40	70°11'20	19°59'07	70°11'75	-	3.0	23.1	-	-
14	11/01/98	09.57	10.30	19°55'05	70°11'00	19°58'00	70°12'00	15	4.1	23.2	-	-
15	11/01/98	22.47	23.30	20°04'32	70°13'50	20°02'13	70°13'61	-	3.1	s/i	8	8.3
16	12/01/98	07.35	08.30	20°23'12	70°13'28	20°20'94	70°13'19	-	3.2	s/i	2.6	3
17	12/01/98	10.10	10.46	20°19'15	70°10'84	20°16'55	70°11'08	15	3.3	21.9	97.9	98
18	12/01/98	19.40	20.54	20°31'58	70°14'32	20°16'75	70°10'89	-	3.1	s/i	95	95
19	12/01/98	22.50	23.25	20°18'65	70°10'56	20°16'75	70°10'89	-	3.3	s/i	309	309
20	13/01/98	07.15	08.30	20°34'97	70°15'99	20°34'97	70°16'29	-	3.1	23.0	-	-
21	13/01/98	09.45	10.30	20°30'17	71°21'62	20°28'26	70°21'48	25	3.0-3.1	24.8	-	-
22	13/01/98	12.22	13.20	20°39'86	70°20'35	20°37'53	70°19'84	30	3.1	23.7	-	-
23	13/01/98	21.19	22.01	20°54'02	70°11'31	20°52'46	70°12'98	-	3.4	22.4	279.1	352
24	13/01/98	23.33	00.05	20°54'68	70°17'51	20°53'27	70°16'73	5	3.1	22.6	24.5	28
25	14/01/98	09.27	10.04	20°49'40	70°15'00	20°47'77	70°14'60	28	2.9-3.1	22.7	-	-
26	14/01/98	11.29	12.00	20°44'85	70°20'97	20°43'61	70°20'76	20	3.1	24.1	-	-
27	14/01/98	18.01	18.32	21°11'74	70°09'80	21°10'14	70°10'08	-	3.2	23.2	-	-
28	14/01/98	20.00	21.13	21°16'13	70°07'83	21°12'35	70°08'98	-	3.3	22.9	1495	1495
29	15/01/98	08.13	09.08	20°56'32	70°11'38	20°53'57	70°11'41	20	3.1-3.2	21.8	-	-
30	15/01/98	10.30	11.15	20°56'99	70°13'95	20°54'84	70°14'34	28	2.9-3.3	21.2	-	-
31	15/01/98	13.00	13.46	21°02'02	70°20'86	20°59'90	70°20'84	16	3.0-3.2	22.6	-	-
32	15/01/98	15.45	16.45	21°07'47	70°15'29	21°04'92	70°16'88	16	3.0-3.3	21.1	-	-
33	15/01/98	20.30	21.11	21°08'61	70°11'17	21°08'44	70°11'41	-	3.0	23.0	288	288
34	15/01/98	21.58	22.31	21°03'74	70°11'10	21°02'14	70°12'99	15	3.1	22.7	64	64
35	16/01/98	07.04	08.02	21°26'19	70°10'25	21°23'34	70°10'13	19	2.8-3.0	23.0	225	228
36	16/01/98	18.54	19.57	21°35'61	70°08'88	21°32'22	70°08'40	-	3.2-3.3	22.8	288	288
37	16/01/98	20.40	21.32	21°32'00	70°08'45	21°29'34	70°07'37	-	3.0-3.2	22.7	163	163
38	16/01/98	23.26	23.56	21°32'43	70°11'19	21°30'90	70°12'10	-	3.2	23.6	-	-
39	17/01/98	07.06	08.06	21°40'71	70°20'20	21°37'90	70°20'40	20-40	2.9-3.1	24.1	28	28
40	17/01/98	18.25	19.25	21°50'54	70°14'27	21°47'60	70°14'00	-	3.5	25.4	-	-
41	17/01/98	21.46	22.27	21°55'30	70°13'70	21°53'27	70°13'69	10	3.0-3.1	25.1	160	160
42	17/01/98	23.37	00.14	21°48'32	70°11'46	21°46'38	70°11'64	-	3.6	24.6	-	2.1
43	18/01/98	09.47	10.47	22°10'73	70°15'43	20°07'68	70°15'04	-	3.2-3.3	24.0	5.5	5.5
44	18/01/98	19.18	20.10	22°16'12	70°16'36	22°13'60	70°16'00	-	3.1-3.2	24.2	0.33	0.33
45	18/01/98	21.28	22.00	22°13'53	70°19'71	22°11'95	70°19'73	-	3.1-3.2	25.6	-	-
46	18/01/98	23.38	00.18	22°15'39	70°16'56	22°13'59	70°16'45	-	3.2	23.9	160	160
47	19/01/98	09.33	10.12	22°30'82	70°16'39	22°28'80	70°16'00	5-15	3.1-3.2	24.0	-	-
48	19/01/98	12.30	13.08	22°37'77	70°19'57	22°35'89	70°19'20	160	3.0-3.2	24.6	0.72	100
49	19/01/98	17.30	17.55	22°39'47	70°30'69	22°38'23	70°30'83	-	3.2-3.3	25.7	-	-
50	19/01/98	19.55	21.00	22°38'35	70°19'42	22°34'00	70°19'60	-	3.2-3.5	24.5	363	700
51	19/01/98	21.54	22.30	22°33'13	70°19'50	22°31'40	70°18'60	-	3.1-3.2	24.2	154	275
52	20/01/98	06.49	07.45	22°42'84	70°20'19	22°39'58	70°19'74	-	3.0-3.3	23.8	160	160
53	20/01/98	13.10	13.59	22°55'03	70°30'59	22°52'64	70°30'56	110-150	3.2-3.3	24.1	32	52
54	20/01/98	17.45	18.15	23°01'22	70°24'35	23°59'60	70°23'70	-	3.3-3.4	23.6	608	608
55	20/01/98	19.08	20.11	22°55'84	70°22'88	22°52'00	70°21'90	-	3.6	23.7	-	180
56	20/01/98	22.50	23.38	22°54'33	70°29'27	22°51'67	70°29'21	-	3.1-3.2	23.7	160	160
57	21/01/98	12.05	13.11	22°48'66	70°31'13	22°45'75	70°29'50	60-100	2.9-3.1	23.6	1.7	1.7
58	21/01/98	20.05	20.35	23°10'37	70°44'57	23°08'78	70°44'80	-	3.1-3.2	22.5	-	-
59	22/01/98	08.24	08.58	23°14'44	70°38'76	23°12'46	70°38'87	60-105	2.9-3.2	21.8	-	40.0
60	22/01/98	10.45	11.22	23°07'26	70°36'29	23°05'58	70°37'17	80-100	3.0-3.2	21.8	291	690
61	22/01/98	13.56	14.43	23°17'04	70°39'25	23°14'63	70°39'02	140-160	3.0-3.1	22.5	-	150
62	22/01/98	22.14	22.45	23°29'77	70°39'86	23°27'98	70°40'16	-	3.2-3.4	23.7	32.8	56
63	22/01/98	23.32	00.02	24°24'54	70°41'70	23°22'96	70°41'86	-	3.2	21.5	-	90
64	23/01/98	07.29	08.15	23°40'65	70°33'01	23°38'00	70°33'06	20-35	3.1-3.2	21.8	-	-
65	23/01/98	19.47	20.30	23°35'49	70°26'59	23°37'71	70°27'60	-	3.2	23.7	-	-
66	23/01/98	21.49	22.42	23°43'11	70°29'60	23°40'75	70°28'39	-	3.0-3.2	23.0	224	224
67	24/01/98	00.10	00.55	23°46'60	70°33'03	23°43'37	70°33'23	-	3.1-3.2	22.5	352	352

*) : Profundidad de la reínga superior de la red (m)



Tabla 3 Pesos medios empíricos (g) de anchoveta obtenidos por zonas de pesca en el Crucero RECLAN 9801 y comparación con Cruceros anteriores.

Longitud (cm)	Crucero RECLAN9801				Cruceros Anteriores		
	Arica	Iquique	Antofagasta	Arica-Antofagasta	RECLAN9611	RECLAN9601	RECLAN9501
5.5	1.00			1.00	1.50		
6.0	1.25	1.00	1.80	1.41	1.78		
6.5	1.78	1.83	2.85	2.04	1.85		
7.0	1.90	2.44	2.85	2.30	2.21		
7.5	2.36	2.81	3.24	2.82	2.77		
8.0	2.81	3.38	3.65	3.35	3.27		
8.5	3.44	4.17	4.23	4.11	4.00	4.00	3.80
9.0	3.86	4.75	4.89	4.77	5.14	4.60	6.70
9.5	5.31	5.34	5.86	5.62	6.03	5.40	5.40
10.0	6.16	6.26	6.87	6.58	7.08	7.70	6.30
10.5	6.95	7.38	7.94	7.65	8.19	7.90	7.20
11.0	8.33	8.69	9.30	8.93	9.25	8.90	8.60
11.5	9.40	10.17	10.15	10.08	11.44	10.40	10.40
12.0	10.47	11.50	11.26	11.34	13.81	12.60	11.60
12.5	12.40	13.18	12.77	12.97	14.83	14.60	13.10
13.0	13.93	14.55	14.05	14.31	16.61	16.00	14.80
13.5	15.01	16.22	15.95	15.78	18.59	18.10	16.70
14.0	16.44	17.78	17.02	17.16	20.78	20.40	19.30
14.5	18.93	19.24	18.85	18.99	22.67	22.90	20.70
15.0	20.02	21.48	21.18	20.91	24.65	25.40	22.90
15.5	23.50	23.93	23.41	23.58	26.66	27.30	25.50
16.0	25.55	25.69	25.75	25.72	29.25	29.50	26.30
16.5	27.43	28.34	27.84	27.94	32.91	32.40	29.50
17.0	29.50	31.63	29.69	30.49	35.14	34.80	28.70
17.5	30.33	33.90	31.33	32.49	37.22	37.10	30.00
18.0	35.00	36.60	32.83	35.15	40.20	38.50	
18.5		38.50	31.50	37.10	40.33	41.10	
19.0					49.00	45.30	



Tabla 4 Estimación de parámetro de la relación longitud – peso por zona de pesca y total de la zona de estudio. Cruceros RECLAN 9501, RECLAN 9601 y RECLAN 9611.

Parametro	Arica	Iquique	Antofagasta	Total	RECLAN9601	RECLAN9501
a	0.00505	0.00489	0.00658	0.00664	0.00574	0.00943
b	3.15451	3.15451	3.01474	3.02828	3.07490	2.86018
R ²	0.99662	0.99565	0.99195	0.99618	0.99448	0.97908
N	25	23	13	27	22	19
g.l.	23	21	11	25	20	17
RSS	0.01655	0.01623	0.00252	0.02025	0.23879	0.17912
RDF	23	21	11	25	20	17
SumX ²	29.00859	26.88474	21.11725	32.24952	28.1395	23.3229

Comparación de b	g. l.	tc	t(g.l.,0,975)	Diferencia
Arica-Iquique	44	0	2.013	N.S.
Iquique-Antofagasta	32	-19.86	2.038	D.S.
Arica-Antofagasta	34	-20.63	2.032	D.S.
RECLAN9501-9601	37	-7.22	2.027	D.S.
RECLAN9501-9611	42	-8.98	2.017	D.S.
RECLAN9601-9611	45	2.38	2.011	D.S.

N.S. = no significativa

D.S.= diferencia significativa



Tabla 5 Resultados de las calibraciones electroacústicas del sistema EK-500 del B/I Abate Molina para la frecuencia de 38 Khz, por longitud de pulso (ms).

Fecha	Lugar	TS-transd. Gain			Sv-transd. gain		
		Corto 0,3	Medio 1,0	Largo 3,0	Corto 0,3	Medio 1,0	Largo 3,0
20.06.93	Valparaíso	26,8	27,9	27,9	26,9	27,5	27,6
09.11.93	Valparaíso	26,5	27,2	27,4	26,9	27,2	27,6
27.02.94	Mejillones	26,0	27,0	27,0	26,1	26,7	27,0
13.07.94	Valparaíso	25,7	26,5	26,5	25,8	26,3	26,7
06.01.95	Mejillones	27,0	27,9	27,8	27,1	27,7	28,1
19.11.96	Mejillones	26,7	27,9	27,9	26,9	27,7	28,0
18.04.97	Valparaíso	26,8	27,5	27,6	27,3	27,7	27,8
29.12.98	Valparaíso	26,8	27,7	27,7	27,2	27,5	27,9



Tabla 6 Valores de TS_{mo} y corregidos por el método PDF, según la talla y experimento. Crucero RECLAN 9801

Experimento	Talla (cm)	TS_{mo} (dB)	TS corr (dB)	Dif TS (dB)
L-06C	16,5	-49,5	-49,54	-0,04
L-10C	11,5	-52,5	-53,21	-0,71
L-12C	10,0	-53,5	-52,29	1,21
T-02C	16,0	-49,5	-49,55	-0,05
T-37C	12,0	-51,5	-50,60	0,90
T-37C	16,0	-49,5	-49,55	-0,05
T-54C	10,0	-53,0	-54,34	-1,34
T-66C	11,5	-53,0	-53,03	-0,03
T-01M	12,0	-52,0	-50,89	1,11
T-28M	12,5	-51,0	-51,01	-0,01
T-28M	16,0	-49,5	-48,67	0,83
T-66M	12,5	-52,0	-52,69	-0,69
S-01M	12,5	-51,0	-51,46	-0,46
S-56M	12,0	-52,5	-53,32	-0,82
S-37C	16,0	-49,5	-49,88	-0,38
S-02C	12,5	-51,5	-52,27	-0,77
S-54C	10,0	-53,0	-52,84	0,16
S-66C	12,5	-51,0	-51,59	-0,59



Tabla 7 Análisis de varianza de la regresión TS-L de anchoveta con 38 khz.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Nivel de probabilidad
Modelo	24.55195	1	24.55195	162.5368	0
Residual	1.51055	10	0.15105		
Total	26.06250				

$r^2 = 0,936$; $n = 12$

Tabla 8 Análisis estadístico de la ecuación de regresión TS-L de anchoveta con 38 khz .

Parametro	Estimado	Error Estándar	t	Nivel de prob.
Intercepto	-72.2255	1.6393	-44.0586	0,0
Pendiente		0,0737	12.749	

**Tabla 9** Relaciones funcionales de TS respecto a la longitud de diversos autores.

Especie	Relación funcional	Talla (cm)	Frecuencia	Autor
Herring	$TS = -56,8 + 13,6 \log (L)$	8-39	38	Nakken, 1977
Sprat	$TS = -60,8 + 17,2 \log (L)$	5-19	38	Nakken, 1977
Anchoveta	$TS = -57,84$	7,5	38	Barange, 1994
Anchoveta	$TS = -57,73$	7,34	38	Barange, 1994
Anchoveta	$TS = -68,8 + 20 \log (L)$	5-10	70	Rui de Paula 1985
Herring	$TS = -72,1 + 20 \log (L)$	24-34	38	Foote et al, 1986
Sprat	$TS = -71,2 + 20 \log (L)$			ICES 1983
Herring	$TS = -72,6 + 20 \log (L)$		38	Degnbol 1985
Herring	$TS = -70,8 + 20 \log (L)$		38	Degnbol 1985
Herring	$TS = -73,6 + 20 \log (L)$		38	Forbes 1985
Sprat	$TS = -81,3 + 20 \log (L)$	6-26	70	Rudstam 1988
	$TS = -74,4 + 24,1 \log (L)$			Rudstam 1988
	$TS = -69,9 + 20 \log (L)$			Rudstam 1988
Herring	$TS = -75,5 + 21,7 \log (L)$	9-33	38	Halldorsoon 1983
Anchoveta	$TS = -44,2 \text{ dB}$	11		Vorobyov 1982
Herring	$TS = -69,5 + 20 \log (L)$	10-32	38	Foote 1987
Sprat	$TS = -67,2 + 20 \log (L)$	6,6-17,6	38	Foote 1987
Herring	$TS = -69,1 + 20 \log (L)$	16-31	38	Foote 1987
Herring(*)	$TS = -72,6 + 20 \log (L)$	10-32	38	Foote 1987
Sprat (*)	$TS = -70,6 + 20 \log (L)$	6,6-17,6	38	Foote 1987
Herring (*)	$TS = -72,5 + 20 \log (L)$	16-31	38	Foote 1987



Tabla 10 Biomasa, Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$ 1 coeficientes de variación (CV) y error (%) de anchoveta y fracción reclutas (en peso). Crucero RECLAN 9801.

ESPECIE	METODO		CONGLOMERADOS			ESTRATOS AGRUPADOS			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
Anchoveta	3.195	647.760	1,970889	35,6	0,217	1,313822	29,1	0,17	1,325822	29,1	0,17
Reclutas	3.195	146.394	0,260618	55,9	0,34	0,229687	52,6	0,32	0,230251	52,6	0,32

Tabla 11 Varianza $\hat{V}(\hat{B}_o)$ 2, coeficiente de variación (CV) y biomasa de la fracción reclutas de anchoveta. Crucero RECLAN 9611.

ESPECIE	METODOS		CONGLOMERADOS		ESTRATOS AGRUPADOS		BOOTSTRAP	
	Area (mn ²)	Abundancia (Nx1010 ¹⁰)	V(B _o) (x 10 ²⁰)	CV	V(B _o) (x 10 ²⁰)	CV	V(B _o) (x 10 ²⁰)	CV
Anchoveta	3.195	4,4065	7,3546	0,61	7,0505	0,60	7,056	0,60
Reclutas	3.195	2,1592	0,36264	0,13	0,35202	0,13	0,35221	0,13



Tabla 12 Biomasa de la anchoveta y de la fracción recluta en peso y número y Varianza $V(\hat{B}_0)$, 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 ₀) (x 10 ⁹)	CV	E(%)	Abundancia (x 10 ¹⁰)	V(B ₀) (x 10 ²⁰)	CV	
Geoestadístico	Anchoveta	1.836	664.628	1,02	0,15	24,9	4,52113	7,2544	0,59	
Geoestadístico	Reclutas	1.836	150.206	0,48	0,14	24,0	2,2154	0,36472	0,13	
Tallas	Anchoveta	3.195	645.071				4,401843537			
Tallas	Reclutas	3.195	145786				2,148099646			

Tabla 13 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	689,8	30,3
Fracción recluta	320,5	24,9



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 'Mediciones de Producción Primaria y Respiración Comunitaria

Estación	Experimento	In situ	On deck	P / I	14 C
Frente	P. primaria	0,8 gCm ² d ⁻¹	1,3 gCm ² d ⁻¹		1,09 gCm ² d ⁻¹
	R. comunitaria	2,8 gCm ² d ⁻¹	2,2 gCm ² d ⁻¹		
Oceánica	P. primaria	1,1 gCm ² d ⁻¹	2,6 gCm ² d ⁻¹		0,86 gCm ² d ⁻¹
	R. comunitaria	1,2 gCm ² d ⁻¹	2,6 gCm ² d ⁻¹		
Costera	P. primaria	5,1 gCm ² d ⁻¹	3,05gCm ² d ⁻¹		3,3 gCm ² d ⁻¹
	R. comunitaria	2,6 gCm ² d ⁻¹	1,7 gCm ² d ⁻¹		



Tabla 16 Biomasa (Peso Seco en g m⁻²) del zooplancton colectado durante enero 1998 en las estaciones Frente, Oceánica y Costera.

Fecha	Hora	Estrato	Peso Seco (g m ⁻³)	Desviación Estándar	Peso Seco Integrado (g m ⁻²)
Estación Frente					
26.1.98	10:40	0-50	0.0235	0.00217	1.18
26.1.98	10:40	0-150	0.01587	0.00245	2.38
26.1.98	14:30	0-50	0.0217	0.00116	1.09
26.1.98	14:30	0-150	0.0111	0.00033	1.67
27.1.98	00:30	0-50	0.0858	0.008704	4.29
27.1.98	00:30	0-150	0.0429	0.001417	6.44
Estación Oceánica					
27.1.98	13:30	0-50	0.0175	0.00373	0.88
27.1.98	13:30	0-150	0.01005	0.000795	1.51
28.1.98	00:15	0-50	0.02639	0.00706	1.32
28.1.98	00:15	0-150	0.01433	0.00386	2.15
Estación Costera					
28.1.98	11:30	0-50	0.01164	0.002898	0.58
28.1.98	11:30	0-150	0.01626	0.00088	2.44
29.1.98	00:01	0-50	0.0475	0.005097	2.24
29.1.98	00:01	0-150	0.01955	0.00331	2.93
29.1.98	11:30	0-50	0.01563	0.00125	0.78
29.1.98	11:30	0-150	0.01403	0.003172	2.10



Tabla 17 Abundancias de zooplancton en dos estratos de la columna de agua (0-50 y 50-150 m) en muestreos nocturnos y diurnos en tres estaciones de muestreo (Costera, Frente y Oceánica) durante enero de 1998.

Costera (ind/m ³)	Noche		Día	
	50 - 150	0 - 50	50 - 150	0 - 50
Cop. Calanoideos chicos	3844	9851	54	29618
Copepodos ciclopoideos	30	7376	7818	10333
Calanus chilensis	627	606	382	638
Eucalanus spp	262	1381	1968	932
Cop. Calanoideos medianos	173	3806	570	604
Cop. Calanoideos grandes	0	84	0	17
Chaetognatos	658	1398	348	2087
"Gelatinoso"	941	455	123	656
Ostrácodos	224	219	407	104
Anfipodos	32	0	0	0
Larvaceos	1075	3654	37	914
Eufáusidos Caliptopis	487	1347	403	242
Eufáusidos Furcilia (1 mm-1 cm)	2806	1937	242	2415
Eufáusidos (> 1cm)	124	34	585	86

Frente (ind/m ³)	Noche		Día	
	50 - 150	0 - 50	50 - 150	0 - 50
Cop. Calanoideos chicos	38601	11026	1894	11446
Copepodos ciclopoideos	13522	4984	15967	5499
Calanus chilensis	343	149	588	2512
Eucalanus spp	2094	1527	3844	885
Cop. Calanoideos medianos	2734	1557	3179	1440
Cop. Calanoideos grandes	52	82	52	118
Chaetognatos	5632	2615	8312	4260
"Gelatinoso"	3025	998	681	531
Ostrácodos	1684	328	1083	566
Anfipodos	207	15	268	24
Larvaceos	2243	1579	979	2749
Eufáusidos Caliptopis	1028	224	0	1027
Eufáusidos Furcilia (1 mm-1 cm)	633	261	0	153
Eufáusidos (> 1cm)	104	97	0	35

Oceánica (ind/m ³)	Noche		Día	
	50 - 150	0 - 50	50 - 150	0 - 50
Cop. Calanoideos chicos	106	22046	91	20401
Copepodos ciclopoideos	2168	7887	3100	7597
Calanus chilensis	0	129	0	313
Eucalanus spp.	1784	1207	1432	1229
Cop. Calanoideos medianos	299	647	0	1207
Cop. Calanoideos grandes	272	86	296	22
Chaetognatos	2547	5862	2848	4916
"Gelatinoso"	1309	1681	939	1676
Ostrácodos	595	453	597	335
Anfipodos	0	172	114	22
Larvaceos	2954	3771	1350	4469
Eufáusidos Caliptopis	0	496	193	626
Eufáusidos Furcilia (1 mm-1 cm)	0	862	387	1184
Eufáusidos (> 1cm)	0	194	250	0



Tabla 18 Tasa de ingestión de COP ($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) por parte de diferentes grupos del zooplancton quitinoso durante muestreos diurnos y nocturnos, realizados durante enero de 1998 en la estación Costera.

TAXA	29/1 (11:30 h)	29/1 (00:00 h)	Promedio
<i>C. chilensis</i>	7.87	9.52	8.70
<i>Eucalanus spp.</i>	12.64	6.48	9.56
<i>Centropages spp.</i>	0.38	0.38	0.38
<i>Temora spp.</i>	0.035	5.25	2.65
Cop. Calanoídeos			
0.7-1.2 mm.	27.23	12.31	19.77
1.2-2.0 mm.	1.9	2.32	2.11
>2.0 mm.	0.10	0.51	0.31
Eufáusidos			
Furcilia	2.61	3.76	3.19
< 1 cm.	2.47	12.90	7.69
> 1 cm.	22.17	5.22	13.70
TOTAL	77.41	58.65	68.05
% de la PP	1.5	1.2	1.3



Tabla 19 Tasas de ingestión de COP ($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) por parte de diferentes grupos del zooplancton quitinoso durante muestreos diurnos y nocturnos, realizados durante enero 1998 en la estación Frente.

TAXA	27/1 (10:30 h)	27/1 (00:30 h)	Promedio
<i>C. chilensis</i>	3.80	6.18	4.99
<i>Eucalanus spp.</i>	15.79	20.62	18.21
<i>Centropages spp.</i>	2.01	3.27	2.64
Cop. Calanoídeos			
0.7-1.2 mm.	43.80	12.27	28.04
1.2-2.0 mm.	6.57	5.97	6.27
>2.0 mm.	0.81	1.03	0.92
Eufáusidos			
Furcilia	0.68	1.18	0.93
< 1 cm.	2.74	3.96	3.35
> 1 cm.	6.64	1.60	4.12
TOTAL	82.84	56.08	69.47
% de la PP	10.4	7.0	8.68



Tabla 20 Tasas de ingestión de COP ($\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) por parte de diferentes grupos del zooplancton quitinoso durante muestreos diurnos y nocturnos, realizados durante enero 1998 en la estación Oceánica.

TAXA	27/1 (13:30 h)	27/1 (00:15 h)	Promedio
<i>C. chilensis</i>	2.41	1.00	1.71
<i>Eucalanus spp.</i>	11.60	13.04	12.32
<i>Centropages spp.</i>	1.25	0.82	1.03
Cop. Calanoídeos			
0.7-1.2 mm.	18.75	20.26	19.51
1.2-2.0 mm.	1.16	1.07	1.12
>2.0 mm.	1.92	2.16	2.04
Eufáusidos			
Furcilia	1.25	0.68	0.97
< 1 cm.	4.17	4.69	4.43
> 1 cm.	8.26	9.28	8.77
TOTAL	50.77	53.00	51.90
% de la PP	4.6	4.8	4.7