



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

**INFORMES TECNICOS F I P**

FIP - IT / 96 - 23

INFORME : EVALUACION DIRECTA DEL STOCK DE  
FINAL LANGOSTINO COLORADO EN LA ZONA  
CENTRO-SUR

UNIDAD : UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
EJECUTORA

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



---

INFORME FINAL

PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA N° 96-23

EVALUACIÓN DIRECTA DEL STOCK DE LANGOSTINO  
COLORADO EN LA ZONA CENTRO-SUR

EJECUTANTE:

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

- CONCEPCION, JUNIO DE 1997 -

Autores: Rubén Roa  
Fabián Tapia  
Luis Cid  
Renato Quiñones  
Billy Ernst  
Dante Figueroa  
Hugo Arancibia  
Ricardo Galleguillos  
Marco Retamal

## RESUMEN EJECUTIVO

Con el objetivo principal de evaluar la biomasa del recurso langostino colorado sobre la plataforma continental de Chile central, se realizó un crucero de prospección entre los 33°57'S y los 36°69'S sobre la plataforma continental, a bordo del PAM Antares de la Compañía Pesquera Camanchaca S.A., y de la L/I Kay-Kay de la Universidad de Concepción. La Kay-Kay sólo cubrió la zona del área de crianza, entre los 33°16'S y los 33°3'S. El Antares utilizó una red langostinera estándar, de 13,5 m de abertura de punta de alas, mientras que la Kay-Kay utilizó una rastra Agassiz, de 1 m de ancho de marco. La red permitió capturar langostinos de tamaño adulto, mientras que la rastra capturó individuos juveniles. El diseño de muestreo correspondió a uno regular probabilístico, mediante transectas longitudinales ubicadas a distanciamientos regulares a partir de una primera transecta cuya posición latitudinal fue elegida al azar entre cuatro posibles posiciones. Se definieron 4 áreas de evaluación, una entre los 34°S y los 35°13'S, otra entre los 35°14'S y los 35°45'S, otra entre los 35°46'S y los 36°10'S, y una última entre los 36°41'S y los 37°S (se excluye de este listado el área de crianza, que no fue un área de evaluación). Las áreas del norte y del sur fueron de baja densidad ( $<100 \text{ ton/km}^2$ ), mientras que en las dos áreas centrales el langostino colorado se encontró en alta densidad. La intensidad de muestreo en cada área fue definida de acuerdo a una estrategia adaptativa, que permitió intensificar las operaciones en las áreas de alta densidad. En esas áreas, las transectas se espaciaron cada 2 minutos de latitud, mientras que en las áreas de baja densidad, las transectas se espaciaron cada 4 minutos de latitud. Esto resultó en 44 transectas y 132 lances de pesca de evaluación. La biomasa fue evaluada mediante dos enfoques de análisis estadístico. Por un lado, se aplicó un estimador clásico basado en el diseño de muestreo (diseño-basado), y por otro lado se aplicó un estimador basado en un modelo de las correlaciones espaciales entre las observaciones de densidad mediante análisis geoestadístico (modelo-basado). Adicionalmente, se realizaron 7 lances de exploración. Junto con cada lance de pesca, se desplegó un muestreo de agua de fondo mediante una botella Niskin, con lo cual se midió temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto. Esta información se utilizó para evaluar críticamente la capacidad predictiva de índices basados en variables ambientales.

Asimismo, se desplegaron mediciones oceanográficas en la columna de agua mediante un CTD en cada una de las 44 transectas, para caracterizar la columna de agua en la zona habitada por el langostino colorado. En un área de alta densidad, se fondeó un correntómetro durante 43 días para determinar la dirección y magnitud de las corrientes. El muestreo biológico de la captura incluyó un análisis de variación genética mediante enzimas polimórficas, para lo que se separaron muestras de individuos del extremo sur, del área de crianza, y del extremo norte de la población. Además, se estudio la variación espacial de varias otras características poblaciones, entre ellas la estructura de tallas, el estado reproductivo de las hembras, el potencial reproductivo, y la estructura de edades. La fauna acompañante fue cuantificada en términos de su participación en peso en la captura, y se realizaron análisis multivariados para definir agrupaciones faunísticas. Por último, se realizó un análisis de evaluación indirecta mediante un modelo de biomasa dinámica con los datos de captura en toda la historia de la pesquería, más información auxiliar sobre evaluaciones directas de la década del 80 y del 90. La biomasa fue estimada en 132 mil toneladas y 123 mil toneladas por los estimadores diseño- y modelo-basado respectivamente, ambos con muy bajos niveles de incerteza estadística. Las áreas principales de distribución de la biomasa corresponden a las áreas centrales ( $35^{\circ}14'S$  a  $36^{\circ}10'S$ ). El análisis de la distribución espacial de la estructura poblacional reveló que los langostinos nacen en el área de crianza previamente definida (entre los  $36^{\circ}$  y los  $37^{\circ}$ , en términos gruesos) y de ahí comienzan una dispersión principalmente hacia el norte que dura toda la vida (cerca de 10 años). Este resultado fue validado por el análisis genético, que indicó que los langostinos de toda la extensión evaluada vienen de un único stock genético. Durante este proceso de dispersión de las cohortes, los fondos gravosos constituyen un obstáculo que impide el avance hacia el sur del Golfo de Arauco y que dificulta el avance hacia el norte de las cohortes. Este fenómeno es en parte responsable por las altas concentraciones de langostino en las áreas centrales de evaluación. Asimismo, la dispersión hacia el norte a medida que pasa la edad conduce a que la proporción de hembras ovíferas aumente hacia el norte. Sin embargo, el potencial reproductivo se concentra en las áreas centrales debido a la muy alta densidad de langostino que hay en esas áreas. Justo donde el potencial reproductivo es máximo, la información recolectada con el correntómetro indica que las corrientes tienen una dirección

predominante S-E, tal como se necesita para que las larvas sean transportadas en dirección al área de crianza y se mantengan sobre la plataforma continental. La capacidad predictiva de índices basados en variables ambientales parece ser baja, puesto que la densidad de langostino no covaría con las variables ambientales. De hecho, éstas constituyen el clima en el que habita el langostino, caracterizado por bajas concentraciones de oxígeno y altas salinidades, pero no determina la densidad de langostino en escala local. La fauna acompañante se agrupó principalmente en dos asociaciones: una somera que acompaña a la población de langostino colorado, y que se caracteriza por la merluza común y el lenguado de ojos grandes, y otra más profunda en que aparecen otros crustáceos de importancia económica, específicamente el camarón. No obstante lo anterior, la fauna acompañante del langostino como un todo tiene una baja presencia en las capturas en términos de peso. La evaluación indirecta permitió estimar la biomasa y su intervalo de confianza para toda la historia de la pesquería, mostrando una fuerte caída desde su inicio (1968) hasta 1980, una mantención de niveles mínimos de biomasa durante toda la década del 80, y un fuerte incremento en toda la década del 90. Esta evaluación indirecta coincide con la evaluación directa en su estimación de abundancia para 1996, correspondiendo a 123.000 toneladas. Asimismo, estima una biomasa virginal de 210.00 toneladas. Por lo tanto, todavía queda bastante tiempo para que la población alcance los niveles de abundancia que tenía antes de iniciarse su explotación. Esto podrá ocurrir dentro de los próximos 10 años si la explotación continua a niveles moderados. Entonces se podrá decir que se ha revertido la situación de sobreexplotación y que el recurso está recuperado.

## INDICE GENERAL

<b>1. ANTECEDENTES</b>	1
<b>2. METODOLOGIA DE TRABAJO</b>	6
2.1. Modelo Poblacional que Guía este Estudio	6
2.2. Crucero de Investigación Científica para la Evaluación Directa	10
2.3. Objetivo Específico 1	12
2.3.1. Determinación de la Densidad	13
2.3.2. Análisis de la Estructura de Edad	18
2.3.3. Determinación del Potencial Reproductivo	19
2.3.4. Análisis de la distribución espacial del langostino colorado	20
2.3.5. Composición Genética del Stock y su Distribución Espacial	23
2.4. Objetivo Específico 2	25
2.4.1. Método del Area Barrida	25
2.4.2. Estimador Diseño-Basado	27
2.4.3. Estimador Modelo-Basado	28
2.5. Objetivo Específico 3	32
2.6. Objetivo Específico 4	33
2.6.1. Datos de la captura por especie	33
2.6.2. División por zonas y por batimetría	34
2.6.3. Análisis de la información de la captura estandarizada por taxon	34
2.7. Objetivo Específico 5	37
2.7.1. Muestreo Oceanográfico	37
2.7.2. Registros de marea	38
2.7.3. Registros de correntometría	38
2.7.4. Análisis de correlación estadística	39
2.7.5. Determinación cuantitativa de preferencia o rechazo del langostino a rangos de salinidad, temperatura y oxígeno	40
2.8. Evaluación Indirecta del Stock de Langostino Colorado	43
2.9. Representación Videográfica de Resultados	46
<b>3. RESULTADOS</b>	49
3.1. Crucero de Evaluación de la Biomasa	49
3.2. Objetivo Específico 1	52
3.2.1. Comparación genética en tres zonas a los largo del Stock	52
3.2.2. Distribución espacial de la densidad	53
3.2.3. Distribución espacial de las tallas medias de las clases anuales	56
3.2.4. Distribución espacial de la proporción de machos	56
3.2.5. Distribución espacial del potencial reproductivo	59
3.3. Objetivo Específico 2	59
3.3.1. Estimador Diseño-Basado	63
3.3.2. Estimador Modelo-Basado Geoestadístico	65

3.4. Objetivo Específico 3	69
3.4.1. Estructura de Tallas y Edades por Sexo	69
3.5. Objetivo Específico 4	77
3.5.1. Principales taxa	77
3.5.2. Análisis comunitario: Agrupaciones entre celdas latitud-profundidad	78
3.5.3. Análisis comunitario: Agrupaciones entre taxa	81
3.5.4. Representación simultánea de celdas latitud-profundidad y taxa (Análisis Factorial de Correspondencias, AFÇO)	81
3.6. Objetivo Específico 5	84
3.6.1. Corrientes en la zona de estudio	84
3.6.2. Registro de mareas	87
3.6.3. Temperatura medida con el correntómetro	87
3.6.4. Muestreo Hidrográfico	87
3.6.5. Mediciones con CTD	95
3.6.6. Rangos de preferencia y rechazo del langostino con respecto a las variables temperatura, salinidad y oxígeno	108
3.7. Evaluación Indirecta del Stock	115
3.8. Representación Videográfica de Resultados	118
<b>4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b>	<b>121</b>
4.1. Modelo Poblacional	121
4.2. Evaluación de Stock	123
4.3. Estructura Poblacional	124
4.4. Fauna Acompañante	127
4.5. Ambiente Oceanográfico	127
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>129</b>
5.1. Modelo de Funcionamiento de la Población	129
5.2. Evaluación de Stock	129
5.3. Estructura Poblacional	129
5.4. Fauna Acompañante	130
5.5. Ambiente Oceanográfico	130
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>131</b>

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 1.</b> Cuadro resumen de los sistemas enzimáticos analizados para el langostino colorado <i>Pleuroncodes monodon</i> , donde se indica nombre de la enzima, número de loci, código internacional y buffer	24
<b>Tabla 2.</b> Índices de abundancia absoluta de cruceros científicos	45
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la estimación de ancho de barrido de la red del PAM Antares en condiciones de operación en el mar en base a 26 lances de pesca por el método de Koyama (1974) y en condiciones estáticas por el método de Salomon (1981)	46
<b>Tabla 4.</b> Valores de las frecuencias alélicas para los <i>loci</i> polimórficos, con el valor de número de individuos, en las muestras analizadas de las localidades Norte, Central y Sur para el langostino colorado	50
<b>Tabla 5.</b> Rango batimétrico de los lances con captura de langostino colorado y su posible división batimétrica	53
<b>Tabla 6.</b> Resultados de la estimación diseño-basada de la biomasa de langostino colorado en la zona centro sur de Chile	62
<b>Tabla 7.</b> Resultados del análisis geoestadístico y estimación de biomasa a partir de datos de la densidad de langostino colorado en las tres áreas de estudio	63
<b>Tabla 8.</b> Resultados del análisis de mezclas distribucionales para hembras	69
<b>Tabla 9.</b> Resultados del análisis de mezclas distribucionales para machos	70
<b>Tabla 10.</b> Listado de taxa en las pescas de langostino colorado con aporte a las capturas superior a 1% o por ser recursos pesqueros. La nomenclatura es la utilizada en las figuras. Los congrios del género <i>Genypterus</i> fueron agrupados en "G.spp"; 5 especies de peces fueron agrupadas en "Pejerrata" y otras 5 en "Rayas spp"; con "H.spp" se designa a un par de especies de tiburones	74
<b>Tabla 11.</b> Aporte relativo a las capturas (%) de los taxa fauna acompañante de <i>P. monodon</i> y frecuencia absoluta ( <i>n</i> ) sobre 128 lances de pesca	75
<b>Tabla 12.</b> Resumen de estadísticos de las dos componentes de la velocidad y de la temperatura para las 2064 observaciones realizadas durante el período de muestreo	83
<b>Tabla 13.</b> Resultados del estadístico <i>s</i> (máxima distancia entre las distribuciones acumuladas de la muestra) y <i>p</i> (probabilidad estadística de <i>s</i> ) para la relación entre la FRA de las variables ambientales y las FRA x CPUE- Recurso	105

<b>Tabla 14.</b> Alternativas computacionales para la confección del video computacional	118
<b>Tabla 15.</b> Evaluación técnico-económica (costo/beneficio) de las alternativas computacionales	119
<b>Tabla 16.</b> Tiempos característicos de trabajo de CPU para algunos procesos	120
<b>Fig. 1.</b> Distribución de los lances de pesca de la flota pesquera de langostino colorado en 1993 (a), 1994 (b) y 1995 (c)	5
<b>Fig. 2.</b> Modelo esquemático de la distribución, dinámica poblacional y estructura de edades del langostino colorado sobre la plataforma continental de Chile centro-sur	9
<b>Fig. 3.</b> Distribución de los lances de investigación realizados a lo largo de la plataforma continental de Chile centro-sur.	50
<b>Fig. 4.</b> Distribución espacial de los núcleos de densidad de langostino colorado sobre la plataforma continental de Chile centro-sur	54
<b>Fig. 5.</b> Variación de la densidad de langostino colorado (CPUE) en función de la latitud.	55
<b>Fig. 6.</b> Distribución espacial de las edades de machos y hembras de langostino colorado en Chile centro-sur	57
<b>Fig. 7.</b> Distribución espacial de la proporción de machos de langostino colorado sobre la plataforma continental de Chile centro-sur	58
<b>Fig. 8.</b> Distribución espacial del potencial reproductivo ( $\ln N^{\circ}$ huevos $\text{km}^{-2}$ ) de la población de langostino colorado en Chile centro-sur	60
<b>Fig. 9.</b> (a) Distribución de los lances de pesca por estrato de profundidad; (b) Distribución de la captura por estrato de profundidad	61
<b>Fig. 10.</b> Relación entre CPUE estimadas utilizando dos métodos de cálculo de distancia recorrida: mediante el producto velocidad*tiempo y mediante el teorema de Pitágoras corregido por posición latitudinal	62
<b>Fig. 11.</b> Límites de las áreas de evaluación utilizadas en la estimación diseño-basada de la biomasa de langostino colorado en Chile centro-sur	64

<b>Fig. 12.</b> Límites de las áreas de estudio utilizadas para la estimación modelo-basada de la biomasa de langostino colorado mediante análisis geoestadístico	67
<b>Fig. 13.</b> Variogramas estimados para las tres áreas de estudio consideradas en la estimación geoestadística de la biomasa de langostino colorado.	68
<b>Fig. 14a.</b> Distribución latitudinal de la estructura de tallas y composición de edades de las hembras por análisis de mezclas distribucionales	70
<b>Fig. 14b.</b> Distribución latitudinal de la estructura de tallas y composición de edades de los machos por análisis de mezclas distribucionales	71
<b>Fig. 15.</b> Madurez sexual en hembras de langostino colorado en Chile centro-sur. (a) Proporción de madurez a la talla; (b) Variación de la proporción de hembras maduras en función de la latitud	74
<b>Fig. 16.</b> Función de fecundidad a la talla ajustada para hembras de langostino colorado de Chile centro-sur.	75
<b>Fig. 17.</b> Relación longitud peso para machos y hembras de langostino colorado	76
<b>Fig. 18.</b> Clasificación de las celdas latitud-profundidad basadas en datos de captura estándar ( $\text{kg nm}^{-1}$ ) de taxa en pescas de langostino colorado	79
<b>Fig. 19.</b> Esquema generalizado de las agrupaciones latitud-profundidad de la fauna acompañante en la pesca de langostino colorado	80
<b>Fig. 20.</b> Clasificación de los taxa basada en datos de captura estándar ( $\text{kg nm}^{-2}$ ) en pescas de langostino colorado	82
<b>Fig. 21.</b> Correspondencia entre celdas latitud-profundidad y los taxa presentes	83
<b>Fig. 22.</b> Componente norte-sur de la corriente en el fondo entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997	85
<b>Fig. 23.</b> Componente este-oeste de la corriente en el fondo entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997	85
<b>Fig. 24.</b> Diagrama de vector progresivo de las corrientes frente a Punta Nugurne entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997	86
<b>Fig. 25.</b> Alturas horarias de marea en Talcahuano para el período Octubre-Diciembre de 1996	88
<b>Fig. 26.</b> Temperaturas medias determinadas por el correntómetro anclado entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997	88

<b>Fig. 27.</b> Distribución espacial de las estaciones en que se tomó muestras de botella para análisis de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el agua de fondo	89
<b>Fig. 28.</b> Distribución de la temperatura en el agua de fondo a lo largo del área de prospección	92
<b>Fig. 29.</b> Distribución de la salinidad en el agua de fondo a lo largo del área de prospección	93
<b>Fig. 30.</b> Distribución del oxígeno disuelto en el agua de fondo a lo largo del área de prospección	94
<b>Fig. 31.</b> Diagrama S-O <sub>2</sub> de las muestras de agua de fondo tomadas con botella	96
<b>Fig. 32.</b> Distribución espacial de los perfiles de CTD	97
<b>Fig. 33.</b> Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 2 m de profundidad	99
<b>Fig. 34.</b> Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 25 m de profundidad	100
<b>Fig. 35.</b> Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 50 m de profundidad	101
<b>Fig. 36.</b> Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 100 m de profundidad	102
<b>Fig. 37.</b> Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 150 m de profundidad	103
<b>Fig. 38.</b> Distribución vertical de temperatura por zonas. Zona 1: área Norte; zona 2: área central; zona 3: área de crianza; zona 4: Golfo de Arauco	104
<b>Fig. 39.</b> Distribución vertical de salinidad por zonas. Zona 1: área Norte; zona 2: área central; zona 3: área de crianza; zona 4: Golfo de Arauco	105
<b>Fig. 40.</b> Distribución vertical de sigma-t por zonas. Zona 1: área Norte; zona 2: área central; zona 3: área de crianza; zona 4: Golfo de Arauco	106
<b>Fig. 41.</b> Estabilidad de la columna de agua por zonas. Zona 1: área Norte; zona 2: área central; zona 3: área de crianza; zona 4: Golfo de Arauco	107
<b>Fig. 42.</b> Relación entre la CPUE (ton km <sup>-2</sup> ) de langostino y las variables ambientales. (a) oxígeno (ml O <sub>2</sub> l <sup>-1</sup> ), (b) temperatura (°C), (c) salinidad (p.s.u.), y (d) profundidad (m)	109
<b>Fig. 43.</b> Relación entre la CPUE (10 <sup>6</sup> ind km <sup>-2</sup> ) de langostino y las variables ambientales. (a) oxígeno (ml O <sub>2</sub> l <sup>-1</sup> ), (b) temperatura (°C), (c) salinidad (p.s.u.), y (d) profundidad (m)	110

- Fig. 44.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable oxígeno (ml O<sub>2</sub>/l) medida a 5 metros del substrato con la FRA del oxígeno X la CPUE del langostino en (a) ton/km<sup>2</sup> y (b) ind/km<sup>2</sup>. Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico *s* y su nivel *p* para ambas figuras 111
- Fig. 45.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable temperatura (°C) medida a 5 metros del substrato con la FRA de la temperatura X la CPUE del langostino en (a) ton/km<sup>2</sup> y (b) ind/km<sup>2</sup>. Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico *s* y su nivel *p* para ambas figuras 112
- Fig. 46.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable salinidad (p.s.u.) medida a 5 metros del substrato con la FRA de la salinidad X la CPUE del langostino en (a) ton/km<sup>2</sup> y (b) ind/km<sup>2</sup>. Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico *s* y su nivel *p* para ambas figuras 113
- Fig. 47.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable profundidad del substrato (m) con la FRA de la profundidad del substrato X la CPUE del langostino en (a) ton/km<sup>2</sup> y (b) ind/km<sup>2</sup>. Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico *s* y su nivel *p* para ambas figuras 114
- Fig. 48.** Perfiles de verosimilitud para los parámetros de los tres modelos. Rojo: Schaeffer; punteado: Fox; negro: Pella-Tomlinson 116
- Fig. 49.** Trayectoria de la biomasa estimada y su intervalo en toda la historia de la pesquería. Abajo: trayectoria de la captura; arriba: trayectoria de la biomasa; rojo: considerando estimador indirecto de 1995; azul: considerando estimador preliminar directo para 1996; puntos negros: crucero; cuadrados: evaluación indirecta 117

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Lista de archivos incluída en el diskette “BASE DE DATOS”	140
<b>Anexo 2.</b> Lista de archivos incluídos en el diskette “INFORME FINAL”	141

## 1. ANTECEDENTES

La pesquería sobre el recurso langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) ha tenido una historia de 27 años que se inició a fines de la década de los 60 (Anon. 1991). Durante este período, la pesquería ha pasado por varias etapas, comenzando por una fuerte expansión reflejada en desembarques que aumentaron desde 19 mil toneladas en 1968 hasta un máximo de 58 mil toneladas en 1976 (Anon. 1991). Posteriormente, los niveles de desembarque decayeron fuertemente hasta llegar a 28 mil toneladas en 1979 (Anon. 1991). Al mismo tiempo, la pesquería se desplazó hacia el sur, desde frente a San Antonio (33°35'S) en sus inicios hasta la zona de Punta Achira y San Vicente-Golfo de Arauco (37°S) a fines de la década de los 70 (Bahamonde *et al.* 1986), en un aparente proceso de extinción local de las concentraciones de abundancia de más al norte (Roa y Bahamonde 1993). Este período puede ser llamado primer período extractivo. Dada la caída en los desembarques, la autoridad normativa de la época llegó a la convicción de que el recurso estaba siendo sometido a una excesiva presión extractiva, que lo llevaría a un agotamiento en el corto plazo (Anon. 1991). Por lo tanto, se decretó una primera veda total entre 1980 y 1982.

La pesquería fue reabierta en 1983, en un segundo período extractivo, regido por el sistema de Cuotas Globales de Captura y temporadas de pesca, que se fueron haciendo cada vez más cortas a medida que avanzaba la década de los 80. Durante este período, el recurso no demostró una clara recuperación, sino que por el contrario, la evidencia disponible indicaba una caída de los niveles de reclutamiento, y junto con ello una fuerte actividad extractiva ilegal basada en el enmascaramiento de langostino colorado como la especie afín langostino amarillo (*Cervimunida johni*, Anon. 1991). En consecuencia, la autoridad decretó una segunda veda total, que se mantuvo entre los años 1989 y 1991. A fines del Segundo Período Extractivo, en 1988, la actividad pesquera estaba completamente concentrada en caladeros entre la VII y VIII Regiones, con la flota zarpando desde puertos de la VIII Región, y con un nivel de desembarque (legal más ilegal) de 8 mil quinientas toneladas (Anon. 1991). Con el fin de evitar la pesca ilegal que se había producido durante la primera veda y en los años posteriores, se decretó también una veda total

del recurso langostino amarillo. La veda para ambos recursos se extendió entre la V y VIII Regiones, abarcando el rango histórico de explotación de langostino colorado (Anon. 1991).

A partir de una evaluación directa del stock de langostino colorado realizada en 1991 por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y la Universidad Católica de Valparaíso (UCV), se detectó una notoria recuperación del recurso, particularmente en la zona norte del rango de distribución, la zona de Achira (Roa y Bahamonde 1993). Esta recuperación se verificó tanto en términos de abundancia como de rango latitudinal de distribución: el recurso alcanzó en Achira la abundancia más alta (39 mil toneladas) estimada desde el inicio de los cruceros de evaluación directa, a comienzos de la década del 80, y se expandió hacia el norte cerca de medio grado de latitud (Roa y Bahamonde 1993).

En base a estos resultados que indicaban una clara recuperación del recurso, la autoridad decidió reabrir la pesquería en 1992, asimilándola al concepto de Pesquería en Recuperación, incluido en la nueva Ley de Pesca y Acuicultura. El régimen de manejo se ha basado desde entonces en una Cuota Global Anual y Cuotas Individuales Transferibles para los armadores autorizados por la ley para operar en esta pesquería. Adicionalmente, el régimen contempla renovaciones anuales de la veda total vigente desde 1989 y temporadas de pesca en donde la veda es levantada en forma provisoria. De esa manera, en 1992 se inició el tercer período extractivo, que se extiende hasta la fecha.

Desde la apertura del tercer período extractivo se ha observado la existencia de dos zonas de pesca en 1992 y 1993, la zona sureña del norte del cañón del río Biobío, y la zona norteña frente a Punta Achira (Roa 1993a, Roa *et al.* 1993). En 1994 se agregó una nueva zona de pesca, la zona de Carranza, ubicada al norte de la zona de Achira (Roa *et al.* 1995a). Por último, en 1995 se ha definido una nueva zona de pesca al norte de la zona de Carranza, la zona de Pichilemu, explotada por una nueva flota pesquera de la V Región (Roa *et al.* 1995a). De esta forma, los resultados indican que el stock de langostino colorado de la zona centro-sur de Chile ha experimentado un continuo proceso de recuperación poblacional, tanto en términos de

abundancia como de rango latitudinal, que puede observarse también en la distribución de los lances de pesca efectuados por la flota entre 1993 y 1995 (Fig. 1a, b, c). Al mismo tiempo, este crecimiento del stock se ha traducido en aumentos de la cuota global anual de captura, especialmente entre 1995 y 1996, en que la cuota se incremento en un 60%, desde 5 mil a 8 mil toneladas. Este incremento fue respaldado por un análisis de Captura Total Permisible y análisis de riesgo de no alcanzar el objetivo de manejo, definido como el caso en que la mortalidad por pesca se igualara con la mortalidad natural (Roa y Payá 1995).

Los resultados citados previamente son el fruto de la aplicación de métodos de evaluación indirecta de la abundancia, aquéllos métodos que utilizan información que proviene de la operación comercial de la pesca, y no de muestreo científicos. Tales resultados por métodos indirectos deben ser validados regularmente contra estimaciones por métodos directos, en que se diseña científicamente un proceso de muestreo de la población. Por esta razón el Consejo de Investigación Pesquera ha incluido el presente proyecto dentro de su programa de investigación de 1996. La Universidad de Concepción, a través del presente Preinforme Final, ha realizado una evaluación directa del stock de langostino colorado de Chile centro-sur en 1996, y de esta manera aporta evidencia científica nueva para contrastar la situación biológica que se infiere desde la aplicación de los métodos indirectos de evaluación de stock. Para ello, la Universidad ha utilizado el barco de arrastre langostinero PAM Antares, aportado sin costo para el proyecto por la Compañía Pesquera Camanchaca S.A., y su propia lancha científica Kay-Kay. Nuestro Preinforme Final tiene cuatro características que debemos destacar. Primero, el informe entrega la abundancia del stock explotable mediante dos estimadores de la CPUE media o densidad del recurso: un estimador tradicional basado en el diseño de muestreo (estimador diseño-basado) y un estimador basado en un modelo de las correlaciones espaciales entre las observaciones de densidad (estimador modelo-basado). Este último se fundamenta en la teoría de variables regionalizadas conocida como análisis geoestadístico (Englund y Sparks 1988, Cressie 1993, Wackernagel 1995). Segundo, hemos logrado construir un mapa de toda la población desde los reclutas de 1 año de vida hasta los individuos más viejos en un contexto espacial regionalizado, confirmando mediante análisis genéticos que se trata de una sola población. Esta cartografía

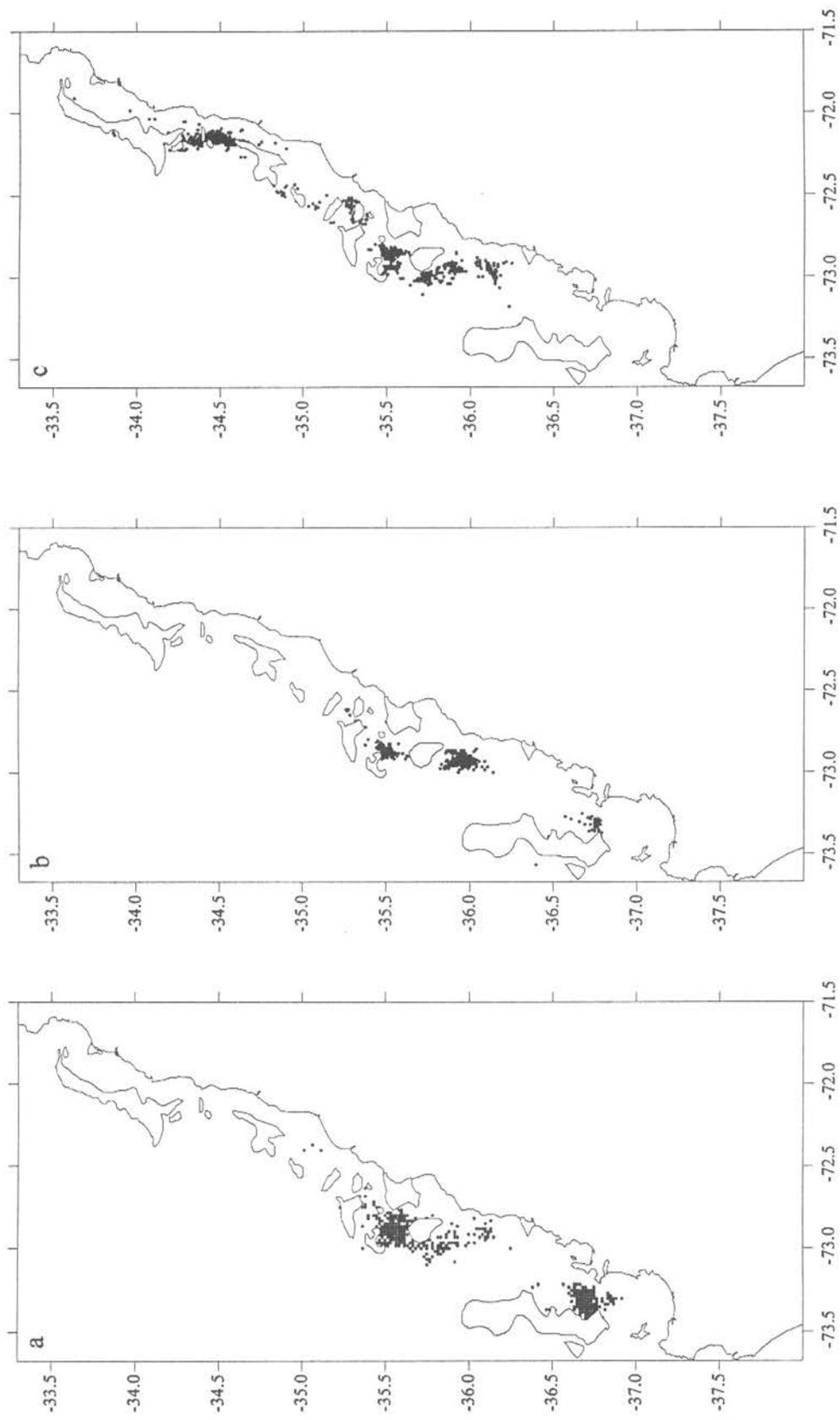
poblacional incluye la distribución espacial de la densidad, de las tallas, de las edades, y del potencial reproductivo, tomando en cuenta el efecto de las irregularidades del habitat. Tercero, hemos realizado las primeras mediciones de correntometría aplicadas a la dinámica poblacional del recurso que permiten contrastar hipótesis de transporte larval que explican la distribución espacial de la estructura de edad. Y cuarto, hemos construido una serie de estimaciones de biomasa con intervalos de confianza Bayesianos para toda la historia de pesca del langostino colorado, las que (1) respaldan la pertinencia de las medidas de manejo que se han decretado desde 1989 hasta la fecha, (2) coinciden con las evaluaciones indirectas que ha realizado nuestro grupo desde 1991 hasta 1995 y con esta misma evaluación directa para 1996, y (3) permiten predecir la biomasa para 1997 y su intervalo de confianza Bayesiano.

### **A) OBJETIVO GENERAL**

Evaluar por métodos directos la biomasa del langostino colorado existente en la plataforma continental de la zona centro-sur.

### **B) OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Determinar la distribución del recurso langostino colorado en la zona centro-sur.
2. Determinar la biomasa total (en peso) y la abundancia (en número) por estrato de profundidad del recurso langostino colorado en la zona centro-sur.
3. Determinar la estructura de tallas por sexo, la relación longitud-peso y estado reproductivo de las hembras del recurso langostino colorado en la zona centro-sur.
4. Registrar la captura e importancia relativa de las especies que constituyen la fauna acompañante de la pesquería de langostino colorado en la zona centro-sur.
5. Relacionar las condiciones oceanográficas asociadas con la distribución y abundancia del langostino colorado por estrato de profundidad en la zona centro-sur.



**Fig. 1.** Distribución de los lances de pesca de la flota pesquera de langostino colorado en 1993 (a), 1994 (b) y 1995 (c).

## 2. METODOLOGIA DE TRABAJO

### 2.1. Modelo Poblacional que Guía este Estudio

El langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) es una de las especies más conocidas de nuestro territorio marítimo, en parte debido a su importancia como recurso pesquero y a su historia previa (décadas del 70 y 80) de sobreexplotación, y en parte debido a la particular dinámica de su población, como veremos más adelante. A este caudal de investigaciones publicadas en revistas científicas nacionales e internacionales han contribuido investigadores de la Universidad Católica de Valparaíso, del Instituto de Fomento Pesquero, y de la Universidad de Concepción, principalmente (Bustos *et al.* 1982, Bahamonde *et al.* 1986, Peñailillo y Henríquez 1988, Palma y Arana 1990, Arana 1990, Gallardo *et al.* 1993, Roa 1993b, Roa y Bahamonde 1993, Gallardo *et al.* 1994, Roa *et al.* 1995b, Gallardo *et al.* 1996), más una serie de numerosos informes técnicos pesqueros, de las tres instituciones antes mencionadas. Esta abundante investigación ha permitido generar una visión que no se tiene para otras especies de nuestro territorio marítimo, ni siquiera para otros recursos de mayor importancia pesquera.

El primer elemento central de esta visión es la corroboración de que la población de langostino colorado de Chile centro sur es una población edad estructurada (Roa 1993a, 1993b, Roa y Bahamonde 1993, Roa *et al.* 1995b), como otras de crustaceos decápodos de nuestra plataforma continental (Roa y Ernst 1996) y de otras latitudes (Anderson 1991, Fournier *et al.* 1991, France *et al.* 1991, Bergström 1992, Ralston y Tagami 1992). Esto significa que cada año, en una temporada específica, ingresan a la población nuevas cohortes de individuos de edad 0 (reclutas), que provienen de la población larval planctónica. Asimismo, estos resultados descartan la posibilidad de que exista un ingreso continuo en el tiempo de reclutas, lo que representaría la ausencia de una estructura de edad en el stock. Adicionalmente, se ha demostrado que la distribución de tamaños de los individuos de una misma cohorte, es decir de una misma edad, es de tipo normal-Gaussiana (Roa 1993b). La temporada específica en la cual se produce el

reclutamiento ha sido definida por Gallardo *et al.* (1994) como desde primavera hasta otoño, período este último en el cual se masifica el asentamiento al bentos de las megalopas.

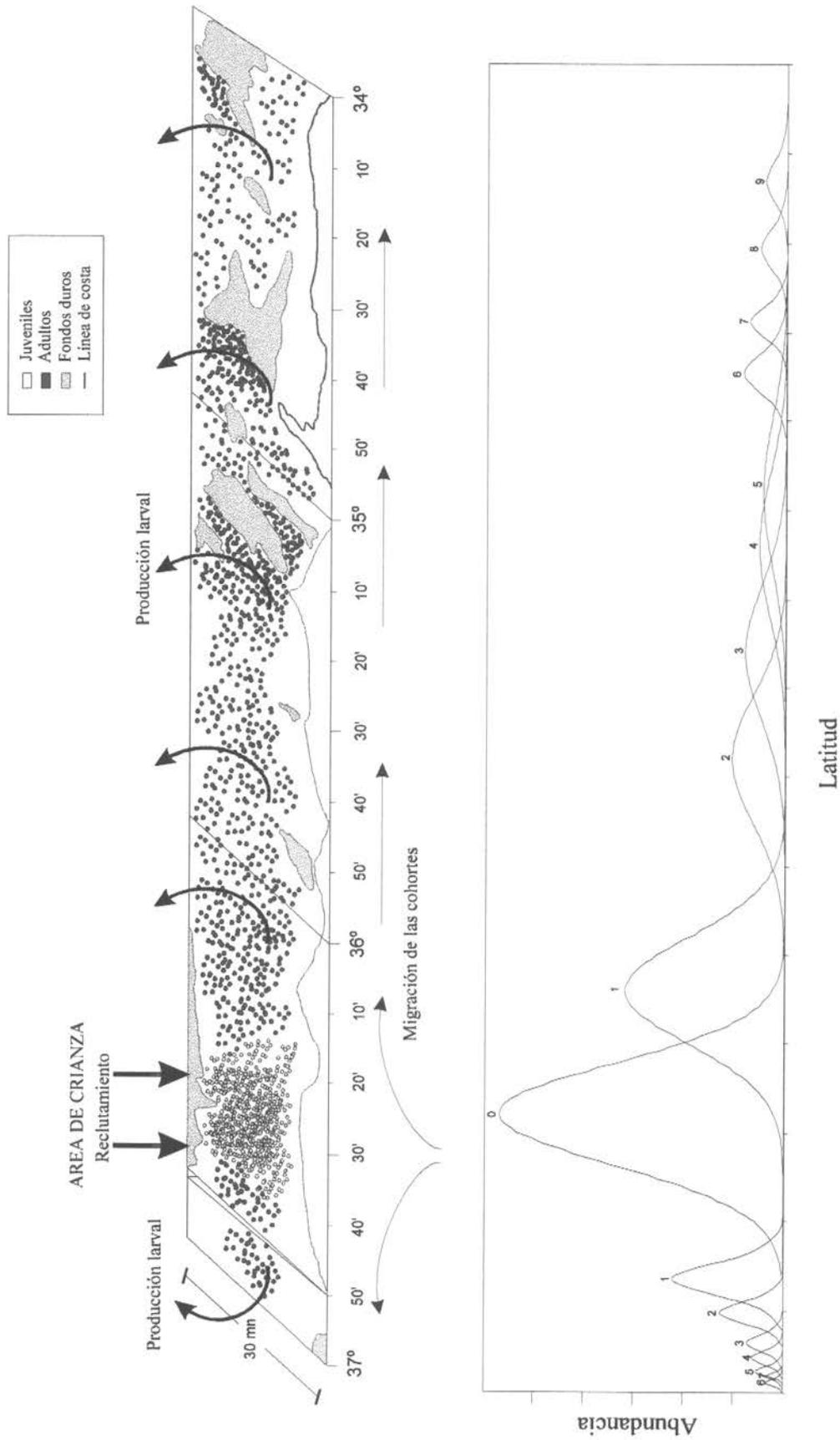
El segundo elemento central de nuestro modelo es el del crecimiento poblacional. Como se ha señalado en la Introducción de este Preinforme Final, el stock de langostino colorado ocupaba primitivamente toda la plataforma continental de Chile centro-sur, desde Valparaíso hasta el Golfo de Arauco, pero fue extinguido localmente en sus poblaciones del norte por sobrepesca en las décadas del 70 y 80 (Bahamonde *et al.* 1986). Sin embargo, a partir de la veda de 1989-1991 el stock efectivamente ha experimentado una sostenida recuperación. En esos tres años de veda recuperó medio grado de latitud hacia el norte (Roa y Bahamonde 1993). Posteriormente, durante el período de explotación de 1992-1995 el avance del recurso ha continuado, y ha quedado registrado en informes técnicos del FIP (Roa *et al.* 1993, 1995a, 1996), lo que se puede apreciar a través de la distribución de los lances de pesca en 1993, 1994, y 1995 (Fig. 1a, b, c). Como conclusión de estos estudios, se puede decir que después de tres años de veda (1989-1991) y cuatro años de explotación muy moderada (Roa *et al.* 1993, 1995a, 1996, Roa y Payá 1995) el stock ha recolonizado 2 grados de latitud hacia el norte, mediante el avance de las cohortes más adultas hacia sus hábitats del período pre-explotación (década del sesenta hacia el pasado).

El tercer elemento central de nuestro modelo es la estructura espacial del stock. En Roa y Bahamonde (1993) se describe el resultado de tres años de veda pesquera, que como ya se dijo condujo a una expansión hacia el norte de medio grado de latitud del stock. Sin embargo, la expansión no fue protagonizada por larvas pelágicas que, transportadas por las corrientes, recolonizaran las áreas del norte, sino que estuvo dirigida por las cohortes más adultas del stock, que por el bentos de la plataforma continental avanzaron hacia el norte (Fig. 1 de Roa y Bahamonde 1993). Asimismo, los resultados de los muestreos biológicos de la pesca en los años 1992, 1993, 1994 y 1995, demuestran que las cohortes más adultas han continuado protagonizando el proceso de expansión poblacional hacia áreas cada vez más al norte (Roa *et al.* 1993, 1995a, 1996), alcanzando en 1995 hasta los 34° de latitud sur, frente a Punta Pichilemu

(Roa *et al.* 1996). Una consecuencia natural de estos resultados es que la estructura de edad del stock tiene una clara estructura espacial, con las cohortes más juveniles en el sur, las cohortes de edad intermedia en el centro latitudinal del stock, y las cohortes más adultas en el frente de expansión del norte.

Otra consecuencia de este tercer elemento de nuestro modelo es que en el extremo sur del stock debe existir un área de crianza, una región desde donde entran a la población las cohortes de megalopas pelágicas, que cuando se asientan en el bentos se convierten en la cohorte anual de reclutas de edad 0. Por lo tanto, en 1993 y 1994 la Subsecretaría de Pesca financió un estudio que permitió descubrir esta área de crianza, y capturar por primera vez los juveniles del langostino colorado, aquellos individuos de menos de 18 mm de longitud cefalotorácica que nunca habían aparecido en la muestreos en la naturaleza. Esta área de crianza fue descubierta frente a la Bahía de Concepción, entre Punta Achira por el norte y la Península de Hualpén por el sur (Figs. 1 y 2 de Roa *et al.* 1995b).

Este descubrimiento del área de crianza del sur ha servido para corroborar nuestro modelo de la biología de poblaciones en el bentos del langostino colorado de la plataforma continental de Chile centro-sur, el que puede ser visualizado de manera esquemática en la Fig. 2 de este Preinforme Final. Allí se observa (en puntos amarillos) a las cohortes reclutas, ingresando por el área de crianza del sur y desplazándose predominantemente hacia el norte como cohortes adultas (en puntos rojos), describiendo una trayectoria que mantienen durante toda su vida, de aproximadamente 9 años (Roa, 1993b; Roa *et al.* 1995b) hasta extinguirse por causas naturales y, en menor medida, por la extracción pesquera.



**Fig. 2.** Modelo esquemático de la distribución, dinámica poblacional y estructura de edades del langostino colorado sobre la plataforma continental de Chile centro-sur.

## 2.2. Crucero de Investigación Científica para la Evaluación Directa

El diseño de muestreo aplicado fue un diseño probabilístico regular (Thompson 1992), es decir un diseño en el cual las estaciones de muestreo son equiespaciadas pero su ubicación queda determinada por un proceso aleatorio. El aspecto regular y uniforme de este diseño se materializó a través del despliegue de transectas longitudinales que cruzan a la población que sigue un curso latitudinal, con cuadrículas de muestreo separadas por una distancia fija. El aspecto probabilístico a su vez se materializó a través de la selección aleatoria de la primera transecta muestreada dentro de las posibles primeras cuatro posiciones de la transecta. Las transectas tuvieron un ancho fijo de 1 minuto (1,852 km), y dentro de cada una de ellas las cuadrículas tuvieron un largo fijo de 1 minuto, partiendo por el extremo norte de la población en los 34° de latitud sur. Inicialmente, se determinaron 4 áreas de evaluación con distinta intensidad de muestreo:

- **área norte** : desde los 34°S hasta los 34°13'S,
- **área central norte**: desde los 35°14'S hasta los 35°45'S,
- **área central sur** : desde los 35°46'S hasta los 36°10'S,
- **área sur** : desde los 36°41'S hasta los 37°S.

El área entre los 36°10'S y los 36°40'S no fue incluida para la evaluación de biomasa debido a que corresponde al área de crianza del langostino colorado (Roa *et al.* 1995b), donde habitan reclutas inaccesibles al arte de pesca. El área de evaluación de la biomasa fue cubierta a bordo del PAM Antares (matrícula 1901, eslora 23,81 m, manga 6,3 m, puntal 2,65 m, TRG 105,6 m<sup>3</sup>) de la Compañía Pesquera Camanchaca S.A., utilizando una red langostinera standard. La información de cada lance de pesca se registró en bitácoras de muestreo de pesca y de muestreo de tallas. El área de crianza fue cubierta con la L/C Kay-Kay (matrícula 029, eslora 16,1 m, manga 5,1 m, puntal 2,28 m, TRG 27 m<sup>3</sup>) de la Universidad de Concepción, utilizando una rastra Agassiz de 1 m de boca.

Adicional a estas áreas preestablecidas de muestreo, se realizaron lances exploratorios con el PAM Antares en dos nuevas áreas:

- **al norte de los 34°S**
- **entre los 36°10'S - 36°25'S y los 73°30'W - 73°40'W.**

En el área de más al norte de los 34°S se realizaron dos lances para verificar que el stock no se encuentra más al norte que esa latitud en una continuidad con el resto del stock de Chile central. Esto implica que podría haber langostino colorado más al norte, pero con nuestro muestreo queremos descartar que el stock que evaluamos en este estudio se extienda más allá de toda el área de evaluación, que cubre 3 Regiones del país y 3 grados de latitud. En el área de más al oeste se realizaron lances para prospectar posibles concentraciones de langostinos en el borde del talud de la plataforma del Itata, frente a la Bahía de Concepción, donde evidencia anecdótica y científica (Bahamonde *et al.* 1986) del pasado sugería que podía encontrarse langostino colorado.

Se incorporó en el diseño de muestreo el concepto de muestreo adaptativo (Francis 1984, Thompson 1990, 1991a 1991b, 1992), que permite modificar la intensidad de muestreo en base a los resultados previos obtenidos de la variable principal que se está midiendo. Para ello se estableció el criterio que las áreas en que todas las cuadrículas dentro de cada transecta muestreada rindieran resultados de densidad menores que 100 ton/km<sup>2</sup> fueran áreas de baja densidad. En las áreas de baja densidad las transectas estuvieron separadas por 4 minutos de latitud y las cuadrículas muestreadas dentro de las transectas estuvieron separadas por 2 minutos de longitud. En cambio, las áreas donde todas las cuadrículas de cada transecta muestreada presentaran densidades mayores que 100 ton/km<sup>2</sup> fueron áreas de alta densidad, con transectas separadas por 2 minutos de latitud y cuadrículas muestreadas dentro de las transectas separadas por 1 minuto de longitud. Inicialmente, se clasificaron las áreas norte, central sur, y sur como de baja densidad, mientras que el área central norte se clasificó como de alta densidad. De acuerdo con el procedimiento adaptativo empleado en nuestra aplicación, si en cualquier transecta de un área preclasificada como de baja densidad se encontrara una cuadrícula con una densidad mayor

que  $100 \text{ ton/km}^2$ , las transectas no muestreadas vecinas del norte y del sur y separadas por dos minutos de latitud serían muestreadas, y se continuaría muestreando en alta intensidad hasta que se encontraran cuadrículas que estuvieran por debajo del criterio establecido. Lo mismo ocurriría pero en sentido inverso si en una cuadrícula de una transecta preclasificada en un área de alta densidad se registraran resultados por debajo del criterio establecido. De esta manera, no se supo de antemano el número de lances totales (número de cuadrículas muestreadas) a ser efectuados durante el crucero. El criterio de densidad y las preclasificaciones de las áreas fueron establecidos en base a resultados de lances de pesca comerciales en el año 1995 (Roa *et al.* 1996). El área de crianza fue muestreada con la L/C Kay-Kay como área de baja densidad.

### **2.3. Objetivo Específico 1. Determinar la distribución del recurso langostino colorado de la zona centro-sur.**

Existen varias propiedades poblacionales que presentan una distribución espacial en este recurso, debido a la distribución espacial de la estructura de edad y al crecimiento y expansión del stock. Las más importantes propiedades de la población bentónica (esto excluye a la población de larvas pelágicas) para conocer la situación biológica del stock son:

- a) distribución espacial de la densidad
- b) distribución espacial de las edades
- c) distribución espacial de las tallas
- d) distribución espacial del potencial reproductivo
- e) distribución espacial de la composición genética

La información y muestras para la determinación de la distribución de todas estas variables fueron obtenidas a través de la realización de dos cruceros de evaluación directa, uno con el PAM Antares de la Compañía Pesquera Camanchaca S.A. y otro con la lancha científica Kay-Kay de la Universidad de Concepción, utilizando el método del área barrida (Alverson y Pereyra 1969).

### 2.3.1. Determinación de la Densidad

En cada localidad de muestreo la densidad fue estimada como la captura en peso y en número del recurso por kilómetro cuadrado de barrido con la red

$$D_{w(x,y)} = \frac{C_w(x,y)}{S(x,y)} \quad 1$$

$$D_{n(x,y)} = \frac{C_n(x,y)}{S(x,y)}$$

donde  $D_w(x,y)$  y  $D_n(x,y)$  son la densidad en peso ( $w$ ) y número ( $n$ ) en la localidad  $x(\text{latitud})y(\text{longitud})$ ,  $C$  es la captura, y  $S$  es el área barrida en cada lance. Para ello, la captura en peso es

$$C_w = K\bar{P} \quad 2$$

donde  $K$  es el número de cajas estándar (25 litros) y  $\bar{P}$  es el peso promedio de las cajas (en esta y en las siguientes expresiones hemos dejado implícito el subíndice de localidad  $(x,y)$  para simplificar). Tanto el número de cajas como su peso promedio fueron medidos a bordo en cada lance de pesca, y se supone que no existe error estadístico en esta medición. Esto se justifica sobre la base que es muy difícil cometer error en el conteo de cajas, y que el peso promedio de las cajas tiene una muy baja desviación estándar debido a la clara separación espacial de las tallas en el stock (Roa y Bahamonde 1993). Por otro lado, la captura en número en cada lance es

$$C_n = \sum_{l=1}^L C_{ln} = C_w \sum_{l=1}^L \frac{F_l}{\sum_{l=1}^L F_l \bar{w}_l} \quad 3$$

donde  $C_{l,n}$  es la captura en número de la categoría de talla  $l$  (en saltos de 1 mm de longitud cefalotorácica),  $L$  es el número total de categorías de talla,  $F_l$  es la frecuencia numérica de la categoría de talla  $l$ , y  $w_l$  barra es el peso medio de la categoría de talla. Tanto la frecuencia numérica como el peso medio a la talla fueron determinados para cada lance mediante una muestra biológica que fue separada para su análisis de laboratorio en tierra.

El área barrida en cada lance es

$$S = da \quad 4$$

donde  $d$  es la distancia recorrida y  $a$  es el ancho de barrido de la red. La distancia  $d$  fue evaluada por dos métodos. Primero mediante

$$d = VT \quad 5$$

donde  $V$  es la velocidad durante el arrastre y  $T$  es la duración del mismo. El tiempo de arrastre se midió desde el momento en que frenó el winche principal (cable de cala) hasta que la red comenzó a ser virada. Este es el tiempo efectivo de arrastre. Segundo, se utilizó el teorema de Pitágoras corregido por posición latitudinal

$$d_2 = M \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \cos^2 \left( \frac{x_1 + x_2}{2} \right)} \quad 6$$

donde  $M$  es la conversión de millas náuticas a unidades del sistema MKS.

El ancho de barrido de la red fue estimado a través de la abertura de punta de alas (APA), de acuerdo con procedimientos ingenieriles estándar (Koyama 1974, Salomón 1981). El método de Koyama incorpora la táctica de pesca realizada por las unidades de pesca, lo que incluye la profundidad de trabajo de la red, y características geométricas y operacionales del arte de pesca. Este autor plantea que la abertura de punta de alas está en función de la longitud de cables de arrastre, malletas, estándares, red patas de gallos en portalones, ángulos de divergencia y declinación. Lo anterior se expresa a través de la siguiente función:

$$APA = k \frac{2g_w * g_n * \text{sen} \frac{\theta}{2} + \frac{g_g * g_n}{g_g + g_n}}{g_h + g_n} \quad 7$$

donde  $k$  es un coeficiente que se obtiene a partir del ángulo de declinación,  $g_w$  es la longitud del cable de cala,  $g_n$  es la sumatoria de la longitud de la red trabajando,  $g_h$  es la longitud de malleta más longitud de estándares y patas de gallo,  $g_l$  es la separación entre salidas de cables de arrastre, y  $\theta$  es el ángulo de divergencia. Para el uso de esta función se consideran los siguientes supuestos:

- a) El cable de cala forma una línea recta al portalón.
- b) La longitud de malleta más la longitud de estándar forman una línea recta entre el portalón y punta de ala.
- c) La longitud de malleta más estándar forman un triángulo isósceles con una línea entre portalones, como la longitud de red a esta línea entre portalones.
- d) El ángulo de divergencia del cable respecto al eje longitudinal de la embarcación es igual para cada cable.

Para la aplicación de este método se tomaron los siguientes datos en terreno en una muestra de 26 lances: ángulo de divergencia y declinación del cable de arrastre, profundidad de arrastre, longitud del cable de arrastre y velocidad de arrastre al inicio y final de cada lance.

El método de Salomon (1981), aplicado para redes de dos paneles, requiere el uso del plano geométrico de la red bajo normas F.A.O (1987). Las variables utilizadas en este método son esencialmente geométricas y corresponden a características estáticas de la red. En primer lugar, se evaluó el ángulo de ataque de la red ( $\alpha_0$ ), que se obtuvo ponderando la longitud de cada cuerpo constituyente de la red con respecto a la longitud total de la red en condiciones de operación. La expresión que estima este ángulo es:

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad 8$$

donde  $G_i$  es el largo de cada cuerpo, y  $\alpha_i$  es el ángulo de cada cuerpo. Para obtener el ángulo de cada cuerpo se utilizó la función:

$$\alpha_i = \text{tg}^{-1} \left( \frac{Rm * u_i}{u_2} \right) \quad 9$$

donde  $Rm$  es la razón de mengua,  $u_1$  es el coeficiente de abertura de malla, y  $u_2$  es el coeficiente de altura de la malla. El factor de mengua utilizado corresponde a la razón de corte que poseen los cuerpos constituyentes de la red. Para tal efecto se aplicaron los siguientes criterios (Melo 1980):

Tipo/Caracter	Mengua	Avance
Nudo Limpio	1	0
Nudo Sucio	0	1
Barra	1/2	1/2

Cabe señalar que para el caso de redes camaroneras de dos paneles, el factor de acortamiento en el copo corresponde a 0,8 (Koyama 1974). Posteriormente, se evaluó el coeficiente de abertura horizontal de la malla  $u_1$  de la red, tanto en el panel superior como en el inferior, aplicando la siguiente función:

$$u_{1,superior} = \frac{G_c}{N_{\otimes} * t_{\otimes}} \quad 10$$

donde  $G_c$  es la longitud de cable en la boca del panel superior,  $N_{\otimes}$  es el número de mallas en la boca del panel superior, y  $t_{\otimes}$  es el tamaño de malla del cielo. Para el caso del cálculo en el panel inferior se aplicó una expresión similar, pero con la longitud del cable en el borlón en el denominador, y el número de mallas y el tamaño de mallas en la boca inferior en el numerador. Luego de determinar los dos coeficientes (superior e inferior), se aplicaron los siguientes criterios técnicos:

si  $u_l$  inferior \* 0,75 >  $u_l$  superior, el  $u_l$  de la red es el  $u_l$  de relinga

si  $u_l$  inferior \* 0,75 <  $u_l$  superior, el  $u_l$  de la red es el promedio de ambos coeficientes

si  $u_l$  inferior \* 0,75 =  $u_l$  superior el  $u_l$  de la red es el valor de igualdad

El coeficiente de abertura vertical de la malla ( $u_2$ ), fue determinado por:

$$u_2 = \sqrt{1 - u_1^2} \quad 11$$

con lo que finalmente se calculó la *APA* de la red trabajando, como

$$APA = 2 \left( \sum_{i=1}^n G_i + G_{\otimes p.a} t_{\otimes m} \right) u_2 \operatorname{tg} \alpha_0 \quad 12$$

donde  $G_{\otimes p.a}$  es el número de mallas en la punta de alas, y  $t_{\otimes m}$  es el tamaño medio de malla de las puntas de alas, entre panel superior e inferior

### 2.3.2. Análisis de la Estructura de Edad

El objetivo fundamental de este análisis fue el de contrastar con información cuasi-simultánea para todo el stock el modelo descrito en la Fig. 2, en el sentido que las cohortes descritas por curvas de distribución normal de la talla a la edad tienen la distribución latitudinal allí bosquejada.

Para ello, se han utilizado los datos de estructura de tallas, agrupados en zonas específicas del stock explotado y separados por sexo, y también para el stock completo. Estos datos de frecuencia de tallas fueron sometidos al análisis de mezclas distribucionales de Macdonald y Pitcher (1979), que ha sido utilizado con buenos resultados en el langostino colorado en nuestras investigaciones previas (Roa 1993a, 1993b, Roa y Bahamonde 1993, Roa *et al.* 1993, Roa *et al.* 1995a, 1995b). Este análisis se realizó de acuerdo a los criterios descritos en Roa (1993b) y Roa y Ernst (1996).

Específicamente, se presume que la estructura global de tallas de una categoría sexual está compuesta poblacionalmente por varias clases anuales, cohortes de individuos que nacieron en un año determinado, y que tienen todos la misma edad entera. Como no todos los individuos de una misma edad tienen una misma talla, existe una distribución de probabilidad para la talla de individuos de una misma edad, que corresponde a una distribución normal-Gaussiana, como se señaló en la sección 2.1.

El análisis de mezclas distribucionales implementado en el programa estadístico MIX (Macdonald y Pitcher 1979) se basa en el método de estimación de parámetros vía principio de máxima verosimilitud. La mezcla distribucional, cuya forma observable es un histograma, queda representada por

$$f(l) = \pi_1 f_1(l) + \dots + \pi_r f_r(l) \quad 11$$

donde  $\pi_i$  es la proporción de representación de la distribución  $i$  en la mezcla, y  $f_i(l)$  es una función densidad de probabilidad. Existen  $r$  de esas funciones en la mezcla distribucional. En nuestro caso

la variable  $l$  es la talla, y como se dijo previamente las funciones son clases anuales y corresponden a la función densidad de probabilidad normal. Cada función normal está caracterizada por dos parámetros: la media y la varianza, por lo que al ajustar una mezcla distribucional a un histograma de langostino colorado capturado en una temporada, se requiere estimar  $3r$  parámetros,  $r$  medias,  $r$  varianzas, y  $r$  proporciones, cuando no se impone ninguna restricción al análisis, excepto las naturales que cada varianza sea mayor que cero y que las medias de las  $r$  clases anuales siempre vayan en orden creciente.

La estimación de los parámetros de la mezcla distribucional, sujeta a la evidencia de los histogramas colectados, se realiza mediante máxima verosimilitud, es decir, tomando el valor de parámetros en los cuales la derivada parcial del logaritmo de la función de verosimilitud respecto de los parámetros es igual a cero. La solución de las ecuaciones de verosimilitud se obtiene a través de iteración por el método Gauss-Newton. La bondad del ajuste se mide a través de un estadístico Chi-cuadrado.

### 2.3.3. Determinación del Potencial Reproductivo

El potencial reproductivo en cada lance se estimó de la misma manera que se hizo en Roa y Bahamonde (1993). Para ello, se utilizó el modelo descrito por Restrepo y Watson (1991), indexado por posición espacial

$$E_{(x,y)} = D_{n(x,y)} P_{(x,y)} G_{(x,y)} \quad 12$$

donde  $E$  es el número de huevos por unidad de área,  $D$  es la densidad numérica de hembras,  $P$  es la fracción de hembras que portan huevos, y  $G$  es el número de huevos por hembras. La densidad en número de hembras es

$$D_n(x,y) = \frac{D_w(x,y)}{\bar{W}_h(x,y)} \quad 13$$

donde  $D_w$  es la densidad en peso ( $\text{ton km}^{-2}$ ), y  $\bar{W}_h$  es el peso medio de las hembras en la localidad  $(x, y)$ . La densidad en peso de las hembras en cada localidad fue estimada según

$$D_w(x, y) = D_{tot}(x, y) \left[ \frac{\bar{W}_h N_h}{\bar{W}_h N_h + \bar{W}_m N_m} \right] (x, y) \quad 14$$

donde  $D_{tot}(x, y)$  es la densidad total (*i.e.* machos y hembras),  $\bar{W}_h$  y  $\bar{W}_m$  son los pesos medios de hembras y machos, respectivamente, y  $N_h$  y  $N_m$  son el número de hembras y de machos en la muestra de la localidad  $(x, y)$ , respectivamente.

La proporción de hembras maduras en cada localidad ( $P_{(x,y)}$ ) se estimó evaluando la función de madurez sexual ajustada por Roa (1993b) a la talla media de las hembras en la localidad  $(x, y)$ . De la misma forma, se evaluó la función de fecundidad ajustada por Palma y Arana (1990) a la talla media de las hembras en cada localidad para obtener el número promedio de huevos por hembra ( $G_{(x,y)}$ )

#### 2.3.4. Análisis de la distribución espacial del langostino colorado

Este análisis se aplicó a la distribución espacial de la densidad, de las tallas y edades, de la proporción sexual y del potencial reproductivo. Se contó con 137 lances cada uno aportando información sobre latitud y longitud y la variable considerada.

Las técnicas geoestadísticas de análisis espacial son especialmente recomendadas para diseños no probabilísticos de muestreo (Foote y Stefánsson 1993, Petitgas 1993), pero también son útiles en diseños probabilísticos como el que se utilizó en este estudio, con fines tanto descriptivos como analíticos (Freire *et al.* 1992, González-Gurriarán *et al.* 1993) sobre todo si son diseños regulares (Simard *et al.* 1992).

La técnica geoestadística para el análisis de la distribución espacial utilizada consiste básicamente en la interpolación desde la grilla probabilística de transectas de muestreo hacia el resto del área cubierta por el crucero, mediante la modelación de las autocorrelaciones espaciales de las observaciones. En particular, el método de interpolación fue el llamado *kriging*, por ser ampliamente utilizado con estos fines y ser aceptable en varios contextos de aplicación (Foote y Stefánsson 1993).

El procedimiento básico del *kriging* consiste en la interpolación sobre el área no muestreada mediante combinaciones lineales de las observaciones provenientes del área muestreada en la grilla de transectas. Los coeficientes de la combinación lineal son óptimos desde el punto de vista de las desviaciones cuadráticas esperadas entre las observaciones y las interpolaciones.

Como en otros estudios (Freire *et al.* 1992, González-Gurriarán *et al.* 1993, Petitgas 1993), se ha supuesto estacionaridad de segundo orden, en que la media del proceso aleatorio que representa a la distribución espacial de la densidad, la proporción sexual y el potencial reproductivo ( $Z(x,y)$ ) es una constante

$$E[Z(x,y)] = \mu \quad 15$$

y la covarianza de  $Z$  en dos puntos sólo depende de la distancia  $h$  entre esos dos puntos:

$$E[(Z(x,y) - \mu)(Z(x',y') - \mu)] = C(h) \quad 16$$

que implica que la covarianza en la densidad entre cualquier par de observaciones no está relacionada con aspectos biológicos o físicos del ambiente, sino sólo con cuán lejos o cerca esté ese par de observaciones. Intrínseco al supuesto de estacionaridad de segundo orden está el supuesto de que observaciones más cercanas entre si están más correlacionadas.

La herramienta estructural del *kriging* es el semivariograma, definido como la diferencia cuadrática esperada entre cualquier par de observaciones como función de la distancia:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(Z(x,y) - Z(x',y'))^2] \quad 17$$

cuya estimación con la evidencia muestral conduce al semivariograma experimental:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^N [Z(x,y) - Z(x',y')]^2 \quad 18$$

donde  $n$  es el número de pares de estaciones muestreadas y  $N$  es el número de estaciones. A su vez, el semivariograma experimental debe ser ajustado por un modelo para obtener una parametrización de la correlación espacial, lo cual usualmente se realiza utilizando el modelo esférico (Simard *et al.* 1992, Freire *et al.* 1992, González-Gurriarán *et al.* 1993, Petitgas 1993):

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( \frac{3}{2} h \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{\alpha} \right)^3 \quad 19$$

donde  $C_0$  es el efecto *nugget* (error residual), y  $\alpha$  es el rango, que es la distancia máxima a la cual el efecto de la estructura espacial de las observaciones es detectable. El modelo de la ec. (14) es un modelo asintótico, en que la semivarianza parte de un valor mínimo (*nugget*) y asciende hasta que se alcanza un valor de distancia igual a  $\alpha$ .

A este nivel podemos probar directamente la hipótesis descrita por el modelo de la Fig. 2. Por lo tanto, con las observaciones de talla media, latitud y longitud en cada lance con captura, se realizó un mapeo geoestadístico de la talla media. Luego, con los resultados del análisis de mezclas distribucionales (MIX) de la población completa se identificaron las tallas medias estimadas de las clases anuales que la componen. Finalmente, utilizando el programa SURFER de mapeo y relieve (Keckler 1994), se trazaron isolíneas para las tallas medias de las edades en la población, procedimiento que permitió visualizar a las cohortes en el espacio.

### 2.3.5. Composición Genética del Stock y su Distribución Espacial

Nuestro modelo de la biología de poblaciones descrito en la sección 2.1. tiene como implicancia evidente que el stock de langostino colorado de Chile centro-sur, desde el Golfo de Arauco por el sur hasta el frente norte de expansión cerca de Punta Pichilemu (37°S a 34°S), es una sola población, en que las cohortes nacen por el sur y desarrollan su lapso de vida migrando hacia el norte (la gran mayoría) o hacia el Golfo de Arauco por el sur (una pequeña fracción), donde finalmente se extinguen por procesos naturales y por la presión de pesca. Para contrastar biológicamente esta implicancia de nuestro modelo, hemos incluido en este informe un estudio de enzimas polimórficas, a través de las técnicas de electroforesis, cuyas metodologías han sido implementadas en los laboratorios de Genética de Poblaciones de la Universidad de Concepción.

Para ello, separamos tres muestras de la población: una del Golfo de Arauco, en el extremo sur de la población (61 individuos desde los 36°52'S), otra desde el área de crianza (60 individuos desde los 36°23'S), y otra desde el extremo norte de la población, frente a Punta Pichilemu (60 individuos desde los 34°06'S). Estos individuos fueron congelados vivos a -4°C para ser llevados al laboratorio donde se mantuvieron a -20°C. De ellos se muestrearon dos tejidos: la musculatura de la cola y el hepatopancreas; para estudiar 11 *loci* mediante técnicas de electroforesis de proteínas

La observación de los fenotipos proteínicos se llevó a cabo en geles de almidón siguiendo los protocolos metodológicos de tinción y de las técnicas electroforéticas según Morizot y Schmidt (1991). En la técnica de electroforesis se procedió a preparar una matriz de gel de almidón al 12,5% con diferentes soluciones tampones que se muestran en la Tabla 1. El análisis de los datos aloenzimáticos se realizó tomando en cuenta los postulados de equilibrio de Hardy-Weinberg, que considera a las poblaciones en equilibrio genético. El primer análisis corresponde a establecer las frecuencias de los genotipos, y cuánto se desvían del modelo de equilibrio. Esto se llevó a cabo con una simple prueba de bondad de ajuste, mediante el estadístico  $G = 2 \sum O \ln (O/E)$ , donde  $O$  y  $E$  representan las frecuencias observada y esperada, respectivamente. La distribución

del estadístico  $G$  se aproxima al de Ji cuadrado. Se aplicó el estadístico  $F_{st}$  de Wright que permite medir el grado de diferenciación poblacional de la especie (May y Krueger 1990). Un segundo estadístico se aplicó para probar la homogeneidad poblacional a través de la prueba de  $G = 2 (f \ln(f) \text{ para las frecuencias alélicas}) - (f \ln(f) \text{ para los totales de las filas y las columnas}) + (n \ln(n))$ , donde  $f$  es el número de alelos observados en cada celda y  $n$  es el número total de alelos.

**Tabla 1.** Cuadro resumen de los sistemas enzimáticos analizados para el langostino colorado *Pleuroncodes monodon*, donde se indica nombre de la enzima, número de loci, código internacional y buffer.

Enzima	Abrev.	Loci	Código	Buffer	
Isocitrato Deshidrogenasa	IDH	1	1.1.1.42	1	
Aminopeptidasa	AP	1	3.4.11	1	Polimórfica
Fosfatasa alcalina	ALP	1	3.1.3.1	1	
Lactato deshidrogenasa	LDH	1	1.1.1.27	2	
Esterasa	EST	4	3.1.1	1	
a-Glicerofosfato deshidr.	aGPDH	1	1.1.1.8	3	
Sorbitol Deshidrogenasa	SDH	1	1.1.1.14	3	
Fosfoglucoisomerasa	PGI	1	5.3.1.9	2	Polimórfica
Fosfoglucomutasa	PGM	1	2.7.5.1	1	
6-Fosfogluconato deshidr.	6PGDH	1	1.1.1.44	2	
Gliceraldehido-Fosfato des.	GAPDH	1	1.2.1.12	3	

Buffers: 1: Borato pH 8.6  
 2: Tris Citrico pH 8.0  
 3: Litio pH 8.0

**2.4. Objetivo Específico 2. Determinar la biomasa total (en peso) y la abundancia (en número) por estrato de profundidad del recurso langostino colorado en la zona centro-sur.**

**2.4.1. Método del Area Barrida**

Contando con la estimación de densidad media en cada una de las áreas de evaluación, la biomasa fue estimada por el método del área barrida (Alverson y Pereyra 1969; Roa y Bahamonde 1993). En este método, se supone que la abundancia relativa media o densidad, medida apropiadamente, es una función estrictamente lineal de la abundancia global, a través de la relación (Ricker 1975):

$$D = q \frac{B}{A} \quad 20$$

donde  $D$  es la densidad (medida como captura por unidad de esfuerzo),  $q$  es la fracción del stock que es capturada dentro del área que barre la red,  $B$  es la abundancia global, y  $A$  es el área global que ocupa la fracción retenida; a partir de este supuesto de linealidad:

$$B = D \frac{A}{q} \quad 21$$

El razonamiento precitado se fundamenta en suponer que la distribución espacial de la abundancia relativa representa un volumen sobre un área geográfica. Este volumen es irregular en el sentido que existen zonas con alta densidad y zonas con baja densidad del recurso, tal como si se tratara de cumbres y valles en un paisaje tridimensional, lo que se puede representar por (Foote y Stefánsson 1993)

$$B = \frac{1}{q} \int_x \int_y z(x, y) dx dy \quad 22$$

donde la biomasa es un volumen que se obtiene integrando sobre un área una función espacial de la densidad o abundancia relativa. El enfoque descrito por las ecuaciones anteriores pretende aplanar el contorno tridimensional descrito por la función  $Z(x,y)$ , de tal manera que esa función sea aproximada por una constante independiente de la posición espacial, una altitud promedio del paisaje. Como es tradicional, se supondrá que el área poblacional  $A$  y el coeficiente de capturabilidad local  $q$  se miden o conocen sin error, y que  $q$  vale 1. Un coeficiente de capturabilidad igual a 1 implica que todos los langostinos en la ruta de barrido de la red quedan dentro de la red y por lo tanto contribuyen a la captura del lance. Si este supuesto no fuera válido, la biomasa estimada sería un subestimador de la verdadera biomasa. Por lo tanto, el supuesto introduce un criterio conservador en relación con la cantidad que se estime.

Bajo la formulación descrita por la ec. 16 y los supuestos asociados, todo el problema estadístico se reduce a la estimación de la densidad media del área de evaluación. Las propiedades estadísticas de este estimador determinan la forma del mismo y su varianza. En este estudio, hemos utilizado dos estimadores que aprovechan las características del diseño de muestreo regular. Un estimador es insegado respecto del diseño de muestreo (estimador diseño-basado) y otro estimador es insegado respecto de un modelo de la distribución espacial de las correlaciones espaciales. El estimador diseño-basado es el estimador clásico del área barrida, y el estimador modelo-basado proviene del área de la geoestadística, que está tomando creciente importancia en el campo de la evaluación directa (Petitgas 1996). Esta aplicación de ambos conceptos fundamentales de estimación (Smith 1990) al langostino colorado nos va permitir compararlos de manera gruesa, a través de la precisión de la estimación.

## 2.4.2. Estimador Diseño-Basado

La metodología empleada para la estimación diseño-insesgada del total poblacional (biomasa total) y de la varianza del total, se basó en una posestratificación (Thompson 1992) de las transectas generadas como resultado del diseño de muestreo. Se definieron  $T$  regiones geográficas, internamente homogéneas, distribuidas de norte a sur. Como el plan de muestreo permitió definir en forma relativamente clara las áreas de presencia de la especie, dentro de cada una de las regiones se estimó el total de unidades posibles, tomando como base el área barrida durante el muestreo y los resultados de los lances. Esto es, se determinaron los límites exteriores de la zona de abundancia tomando el punto medio entre el último lance exitoso (con captura) y el primer lance no exitoso, en cada una de las transectas. La distancia entre los bordes externos del área de abundancia, se proyectaron, en dirección N-S hasta la próxima transecta.

Para la estimación del total poblacional se utilizó la expresión

$$\hat{B} = \sum_{t=1}^T M_t \hat{D}_t \quad 25$$

donde  $M_t$  corresponde al total de unidades posibles en la región y  $D_t$  es el promedio de densidad de la región medido en ton/km<sup>2</sup>. Por otra parte, la varianza del total poblacional se estimó usando la expresión:

$$VAR(\hat{B}) = \sum_{t=1}^T M_t (M_t - N_t) \frac{s_t^2}{N_t} \quad 26$$

donde  $s_t^2$  y  $N_t$  corresponden, respectivamente, a la varianza estimada y al tamaño muestral de cada una de las áreas consideradas. Esto permitió, presumiendo normalidad de las distribuciones asociadas, determinar un intervalo de confianza para el total, mediante la expresión

$$IC_{(1-\alpha/2)} = \hat{B} \pm z_{\alpha/2} \sqrt{VAR(\hat{B})} \quad 27$$

### 2.4.3. Estimador Modelo-Basado

El langostino colorado se distribuye a lo largo de tres grados de latitud sobre la plataforma continental de Chile central. El restringido rango de profundidades en que se distribuye esta especie y las características topográficas de su hábitat (*i.e.* presencia y distribución de fondos duros) generan un tipo de distribución espacial no homogénea y, ciertamente, no azarosa. La aplicación de análisis geoestadísticos a datos de abundancia local permite utilizar la correlación espacial existente entre muestras vecinas para obtener un estimador modelo-basado (Smith 1990) de biomasa. La principal ventaja de este tipo de análisis radica en que no se requiere un diseño de muestreo específico para su aplicación, aunque el campo de la estimación de la biomasa y de su varianza ha sido más explorado para muestreos de tipo regular u homogéneo, que es precisamente nuestro caso.

Para la estimación de la biomasa se dividió el área de distribución de langostino colorado en *T-I* áreas (una de las áreas utilizadas en el estimador diseño-basado no se pudo utilizar en el estimador modelo-basado por contener muy pocas muestras), dentro de las cuales se utilizó la técnica del *kriging puntual ordinario*, aplicada en geoestadística estacionaria, para obtener estimaciones locales de densidad media. Se adoptó el supuesto de estacionaridad de segundo orden, es decir, que la media en cada zona es constante y no presenta una tendencia espacial (Cressie 1993, Wackernagel 1995). Sólo se consideraron aquellas observaciones en que hubo captura, utilizando las observaciones sin captura de la vecindad para definir un polígono dentro del cual se realizó la interpolación (Simard *et al.* 1992, Englund y Sparks 1988).

El variograma experimental y ajuste del modelo respectivo para cada zona se realizó utilizando el programa geoestadístico GEO-EAS (Englund y Sparks 1988). En algunas de las áreas definidas se ajustó un modelo esférico a un variograma de tipo isotrópico, mientras que en otra se ajustó un modelo exponencial a un variograma anisotrópico con un ángulo de

45 ± 45°. En términos del semivariograma, estos dos modelos están dados por (Cressie 1993)

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left( \left( \frac{3}{2} \right) \left( \frac{\|h\|}{\beta} \right) - \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{\|h\|}{\beta} \right)^3 \right), & 0 < \|h\| \leq \beta \\ c_0 + c, & \|h\| \geq \beta \end{cases} \quad 28$$

para el modelo esférico, y por

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left( 1 - \exp\left(-\frac{\|h\|}{\beta}\right) \right), & h \neq 0 \end{cases} \quad 29$$

para el modelo exponencial, donde  $c_0$  representa el efecto *nugget* (error residual),  $c$  es el máximo nivel de variabilidad, y  $\beta$  es el rango del variograma (*i.e.* distancia más allá de la cual no existe correlación entre los datos). El ajuste de los parámetros obtenidos en cada caso fue probado a través de una validación cruzada (Maravelias *et al.* 1992) que consiste básicamente en la eliminación consecutiva de cada punto en que hubo una observación y su posterior estimación mediante una interpolación entre todos los demás puntos (Englund y Sparks 1988). Este procedimiento nos permitió analizar el sesgo de las estimaciones y verificar la distribución normal de los errores alrededor de cero. Para ser más breves, los resultados de la validación cruzada no se informan pues constituyen la sintonización fina del ajuste del variograma.

Los modelos ajustados fueron entonces utilizados para la interpolación restringida a los polígonos inclusivos definidos para cada área, y posterior estimación de la densidad media de langostino en cada zona. En la interpolación mediante *kriging* ordinario de tipo puntual se utilizó una distancia internodal equivalente a la distancia media entre las estaciones de muestreo. El método del *kriging* permite estimar la densidad  $Z(x_0, y_0)$  en cada punto  $(x_0, y_0)$

no muestreado, utilizando los puntos muestreados  $Z(x,y)$  que se encuentran en la vecindad, a través de la ecuación

$$Z^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i, y_i) \quad 30$$

donde  $w_i$  representa a los ponderadores asignados por el *kriging* a cada punto muestreado. La sumatoria de estos ponderadores es igual a 1 (constituyen una combinación lineal convexa), por lo que la estimación es insesgada ( $E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0$ ). Los  $w_i$  son estimados de tal forma que la varianza del error de estimación ( $\sigma_k^2(x_0)$ ), llamada *varianza de kriging*, sea minimizada (Simard *et al.* 1992).

La densidad media ( $Z_i^*$ ) en cada área es obtenida mediante el promedio de las estimaciones locales, calculadas en los  $m$  nodos de la grilla que cubre el área de estudio. Luego, la biomasa total de langostino en cada area ( $B_i$ ) se estima multiplicando la densidad media por la superficie  $S_i$  del área:

$$\hat{B} = S_i \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Z_i^*(x_j) \quad 31$$

La varianza de este estimador ( $\sigma_i^2$ ) fue obtenida mediante el uso del concepto de varianzas extensivas (Journel y Huijbregts 1978, Wackernagel 1995). Este procedimiento que hemos aplicado se usa en prospección minera pero ya fue utilizado en la evaluación directa del camarón del norte por Simard *et al.* (1992), aunque no parece que el espaciamiento de las muestras en el estudio de estos autores fuera el apropiado (distribución irregular sobre el área de evaluación). En síntesis, las varianzas extensivas corresponden a la integración de los errores de muestreo elementales sobre el volumen definido por la distribución espacial de la densidad. Por su parte, los errores elementales de muestreo son fracciones de varianza de la densidad en regiones puntuales del espacio que se extienden sobre una región de influencia

que conserva la geometría de volumen a integrar. Por ejemplo, en el caso del langostino la geometría del volumen definido por la ec.17 tiene un eje sur-norte muy predominante sobre el eje este-oeste, de tal manera que el área de influencia de los errores elementales de muestreo está definida en el sentido norte-sur. Nuestro diseño de muestreo en transectas que atraviesan longitudinalmente el eje principal del volumen de densidad determina que las estaciones de muestreo estén más cerca en el eje este-oeste que en el eje norte-sur, y por lo tanto la región de influencia se extiende más en el eje norte-sur que en el eje este-oeste, cumpliendo con un requisito fundamental en el uso de las varianzas extensivas para estimar la varianza de la integral espacial del volumen de densidad (Journel y Huijbregts 1978), esto es de la biomasa. Por otro lado, cuando el espaciamiento de las muestras es regular, es decir que éstas son equiespaciadas, la integral puede discretizarse y convertirse por lo tanto en una sumatoria. Estas sumatorias se encuentran graficadas en las cartas de varianzas extensivas de Journel y Huijbregts (1978) y fueron utilizadas por nosotros puesto que nuestro muestreo fue equiespaciado (en la medida que lo permitía la heterogeneidad del hábitat, es decir la presencia de fondos no rastreables). Consecuentemente, la varianza de la biomasa ( $\sigma^2_t(B)$ ) en cada área  $t$  de las  $T$ - $I$  evaluadas por geoestadística se obtuvo de

$$\sigma^2_t(B) = \sigma^2_{E-g} s(x)_t s(y)_t N_t \quad 32$$

donde  $\sigma^2_{E-g}$  es la varianza extensiva de la cartas de Journel y Huijbregts (1978) y el subíndice  $E-g$  representa el término *Elemental-geometría*,  $s(x)s(y)$  es la región de influencia de cada unidad de muestreo, y  $N$  es el número de unidades posibles de muestreo que cubren el volumen de integración.

**2.5. Objetivo Específico 3. Determinar la estructura de tallas por sexo, la relación longitud-peso y estado reproductivo de las hembras del recurso langostino colorado en la zona centro-sur.**

Para el cumplimiento de este objetivo, en cada lance con captura de langostino se tomaron muestras aleatorias de la captura, de por lo menos 300 individuos, que fueron medidos en su talla a bordo de la embarcación y posteriormente transportadas en forma periódica hasta el laboratorio en tierra, donde fueron fijados en formalina al 5% en agua de mar.

La determinación del sexo se hizo en base a caracteres externos de dimorfismo sexual (ubicación del poro genital y aspecto de los pleópodos), y la talla fue medida como longitud cefalotorácica. La madurez de las hembras de cada muestra se determinó por la portación de huevos (hembras ovíferas) y la fecundidad como el número promedio de huevos portado por hembra.

Para el análisis de la estructura de tallas se utilizó la metodología detallada en la sección 2.3.2. (Análisis de la estructura de edad y su distribución espacial). La metodología para estimar el potencial reproductivo de la población se detalló en la sección 2.3.3. (Determinación del potencial reproductivo).

La muestra desembarcada se utilizó también para la determinación de la relación longitud-peso. Los individuos seleccionados fueron sexados, pesados y medidos. Los datos fueron analizados tomando logaritmos tanto en el peso como en la longitud, asumiendo la existencia de una relación potencial entre ambas variables.

## **2.6. Objetivo Específico 4. Registrar la captura e importancia relativa de las especies que constituyen la fauna acompañante de la pesquería de langostino colorado en la zona centro-sur.**

### **2.6.1. Datos de la captura por especie**

La información básica consiste en la captura (peso) por lance de cada especie de la fauna acompañante. A bordo, la captura por lance fue tratada de la siguiente manera:

- (a) Se separó la especie objetivo (*P. monodon*) del resto de la fauna acompañante.
- (b) Se llenaron bandejas de 80 litros con fauna acompañante extraída al azar. Cuando la captura se encontró estratificada en el copo (*i.e.* se observó diferentes especies en distintos sectores del copo), se tomaron 3 submuestras consistente en una de la parte posterior, una del centro y una de la parte anterior del copo. Cuando la captura se distribuyó uniformemente en el copo, se obtuvo solamente 2 submuestras.
- (c) Debido a que el peso de las submuestras puede variar, dependiendo de qué especie es predominante en la sección del copo donde quedó depositada esa fracción de la pesca, las submuestras fueron tratadas en forma independiente, separándose todos los ejemplares por especie, contándolos y pesándolos.
- (d) En el caso de especies representadas por ejemplares grandes con baja frecuencia de aparición, como congrio dorado (*Genypterus blacodes*) y raya volantín (*Raja trachiderma*, *Raja chilensis*), los ejemplares fueron separados del resto de la fauna acompañante, depositados en cajas, contados y pesados en conjunto.
- (e) En el caso de las especies con ejemplares pequeños con bajo aporte en el peso total de la captura, se separó todos los individuos de cada submuestra, contándolos y pesándolos.

- (f) Simultáneamente, el resto de la captura de la fauna acompañante fue depositada en bandejas de 80 litros, las que fueron contadas al momento de vaciar su contenido al mar (habida cuenta de cierta fracción que permaneció en poder de la tripulación).
- (g) En cada lance, la captura en peso de cada especie de la fauna acompañante fue obtenida del producto entre el peso promedio de cada especie en las submuestras y el número total de bandejas contabilizadas.
- (i) El aporte relativo (porcentual) de cada especie de la fauna acompañante consistió simplemente en la fracción en peso respecto de la captura total.

#### **2.6.2. División por zonas y por batimetría**

Una segregación *a priori* puede ser según zonas de pesca discretas (o grados de latitud) y estratos batimétricos arbitrarios cada 50 m de profundidad, siguiendo a Yáñez y Barbieri (1983), Arancibia (1988, 1993) y Acuña *et al.* (1995). En todos los análisis, las especies o taxa incidentales (*i.e.* aquellos que contribuyeron con menos de 1% en peso a la captura total) no fueron considerados, con el propósito de reducir el número de ausencias.

#### **2.6.3. Análisis de la información de la captura estandarizada por taxon**

Dada la naturaleza multivariada de los datos (varios taxa por lance), y a fin de no perder información, así como de procesarla en conjunto en términos de asociación, el análisis consideró estandarizar la captura de la fauna acompañante de *P. monodon*. Sobre el particular, originalmente se propuso aplicar Análisis de Varianza (ANOVA) y Análisis de Varianza Múltiple (MANOVA), como herramientas de la estadística paramétrica. Sin embargo, los resultados no

fueron satisfactorios, como se señalará más adelante, por lo que se aplicó análisis no-paramétricos (Arancibia 1988), a través de un índice de similitud y análisis de dendrograma de celdas de un grado de latitud y 50 m de profundidad, a partir de 128 lances de pesca en los que se registró al menos 1 taxon, descartándose 9 lances nulos.

Adicionalmente, se aplicó una Análisis Factorial de Correspondencias (AFCO) utilizando solamente como fuente de información la frecuencia en la que se presentó cada taxon en los lances realizados en cada celda latitud-profundidad. El propósito fue representar geoméricamente en un espacio reducido las celdas latitud-profundidad en relación a la distribución de frecuencias (presencia) de cada taxon. El AFCO permite representar poblaciones en una dimensión reducida (coordenadas) con referencia a los caracteres, interpretándose como un problema de representación de datos mediante un caso particular de análisis de componentes principales, siendo la principal ventaja la simultaneidad de la representación de poblaciones y caracteres.

A menudo la distribución de la captura estándar no presenta una distribución normal, sino lognormal para los valores distintos de cero (Arancibia y Mora 1992, Arancibia 1993, Acuña *et al.* 1995). Debido a ello, el promedio (denominado  $c$ ) y la varianza ( $var(c)$ ) de la captura estándar fueron estimados según las expresiones

$$c = \frac{m}{n} \times e^y \times G_m\left(\frac{s^2}{2}\right) \quad 33$$

$$var(c) = \frac{m}{n} \times 2y \times \left[ \frac{m}{n} G_m^2\left(\frac{s^2}{2}\right) - \left(\frac{m-1}{n-1}\right) \times G_m\left(\frac{m-2}{m-1}\right) \right] \quad 34$$

donde  $n$  es el número total de lances realizados,  $m$  es el número de lances con captura,  $s^2$  e  $y$  son la varianza y la media muestral, respectivamente, de los valores  $\log_e$  distintos de cero. Además,

$$G_m(x) = 1 + \frac{m-1}{m}x + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{(m-1)^{2j-1} x^j}{m_j(m+1)(m+3)\dots(m+2j-3)j!} \quad 35$$

La identificación de grupos en las pescas de *P. monodon* consistió en sintetizar la información de captura estándar de cada especie o taxa, entre pares de lances, mediante el Índice de Bray-Curtis (B.C.), cuya expresión es la siguiente:

$$B.C. = \frac{[2 \times \sum \min(x_{ij}, x_{kj})]}{\sum (x_{ij} + x_{kj})} \quad 36$$

donde:  $x_{ij}$  es la ocurrencia del j-ésimo atributo en el i-ésimo objeto;  $x_{kj}$  es la ocurrencia del mismo atributo en el k-ésimo objeto.

El método de clasificación utilizado fue el del promedio no ponderado entre pares, comparándose pares de celdas latitud-profundidad, cuyos valores de captura estándar estuvieron conformados por un vector de medias, calculados para cada taxon desde los lances agrupados en cada una de las celdas. La interpretación de los resultados consideró el Análisis de Dendrograma, con el propósito de producir una cantidad relativamente pequeña de patrones co-ocurrentes. La estrategia aglomerativa utilizada fue la del vecino más cercano. Estos análisis fueron efectuados con el paquete computacional COMM (Dieter Piepunburg, Universidad de Kiel).

De acuerdo con Arancibia (1988), el criterio estadístico en la identificación de grupos entre estratos de profundidad consistió en calcular la similitud dentro de estos estratos mediante la comparación entre pares de lances de pesca. La significancia de las diferencias dentro de y entre los estratos de profundidad, para cada zona, fue probada con el test  $U$  de Mann-Whitney, utilizando la aproximación para muestras grandes (Conover 1971).

Se procesaron 16 celdas latitud-profundidad, desde 128 lances de pesca, agrupando los lances por grado de latitud (zona A: 34° S; zona B: 35° S; zona C: 36° S) y cada 50 m de profundidad (estrato 1: <101 m; estrato 2: 101-150 m; estrato 3: 151-200 m; estrato 4: 201-250 m; estrato 5: 251-300 m; estrato 6: >300 m).

## **2.7. Objetivo Específico 5. Relacionar las condiciones oceanográficas asociadas con la distribución y abundancia del langostino colorado por estrato de profundidad en la zona centro-sur.**

Las variables oceanográficas que se consideraron fueron: salinidad, temperatura y oxígeno. El análisis de estas variables se focalizó principalmente en el estrato de profundidad más cercano al fondo (aprox. 5 metros del fondo), hábitat natural del langostino. Por otra parte, se analizaron también las posibles asociaciones entre el recurso y las variables oceanográficas de la columna de agua, ante la eventual capacidad predictiva de éstas para la localización de las mayores concentraciones del recurso. No obstante, es importante destacar que tanto la información anecdótica proveniente de la flota pesquera, así como investigaciones científicas anteriores (Roa y Bahamonde 1993) indican que no existiría relaciones de carácter predictivo entre las variables oceanográficas superficiales y el recurso.

### **2.7.1. Muestreo Oceanográfico**

El muestreo oceanográfico siguió el diseño muestral utilizado durante las actividades de pesca. En cada estación de pesca se desplegó un muestreo oceanográfico consistente en una botella Niskin que tomó agua a 5 m del fondo, de la cual se fijó un volumen de 250 ml para la determinación de oxígeno disuelto por el método Winkler modificado por Carpenter (1965) y de la cual se conservaron otros 300 ml para el análisis de salinidad con un salinómetro Beckman. Se completaron 162 de estas muestras. Además, en una estación por cada transecto, totalizando 50, se desplegó un sensor de CTD modelo Niels Brown Smart IV. El funcionamiento del CTD se calibró con los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de agua.

### 2.7.2. Registros de marea

Se obtuvieron registros de marea correspondientes al período de muestreo del mareógrafo que la Armada de Chile tiene en Talcahuano. Estos valores fueron corregidos convenientemente en la zona de muestreo considerando las diferencias en tiempo de arribo a ella de la marea, según la tabla de mareas correspondiente. No fue necesario corregir efectos de procesos internos de la Bahía Concepción (lugar de ubicación del mareógrafo) sobre el nivel de la superficie del agua, debido a que éstos son pequeños comparados con la onda principal de marea (Sobarzo *et al.* 1996).

### 2.7.3. Registros de correntometría

Durante el período comprendido entre el 4 de Diciembre de 1996 y 15 de Enero de 1997 se instaló un correntómetro a 3 m del fondo en la posición 35°55'S y 72°55'W, frente a Punta Nugurne en la VII Región. El instrumento, marca Sensor Data 6000, midió las corrientes horizontales y la temperatura en una localidad en que los resultados del crucero de pesca habían indicado que existía una máxima concentración de langostino colorado.

Los valores de salinidad se entregan en forma adimensional, utilizando Unidades Prácticas de Salinidad (Pond y Pickard 1983). Con los datos oceanográficos obtenidos, se calcularon las siguientes variables hasta la máxima profundidad posible (*i.e.* a no más de 5 metros del fondo):

- (a) Sigma-t, utilizando la Ecuación Internacional de Estado del agua de mar de 1980 (UNESCO 1981, 1983).
- (b) Estabilidad hidrostática (en unidades de  $10^{-8} \text{ m}^{-1}$ ) mediante la expresión

$$E = - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \sigma_t}{\Delta z} \quad 37$$

donde  $\rho(S,T,p)$  es la densidad *in situ*,  $\sigma_t$  es la densidad a presión atmosférica menos 1000 kg/m<sup>3</sup>, y  $z$  es la profundidad (Pond y Pickard 1983).

#### 2.7.4. Análisis de correlación estadística

Para detectar la posible asociación entre la distribución de la densidad de langostino colorado y las variables oceanográficas medidas, se procedió, en primer lugar, a una exploración de datos a través de métodos gráficos. Posteriormente se procedió a la contrastación de las siguientes hipótesis:

- i) La distribución del langostino está correlacionada con la temperatura presente en el fondo,
- ii) La distribución del langostino está correlacionada con la salinidad presente en el fondo,
- iii) La distribución del langostino está correlacionada con el oxígeno disuelto presente en el fondo,
- (iv) La distribución del langostino está correlacionada con la profundidad del sustrato.

Para contrastar estas hipótesis se procedió a realizar un análisis de correlación parcial múltiple complementado por un análisis de correlación múltiple y el test no paramétrico de correlación por rangos de Spearman. Estos análisis se llevaron a cabo mediante el programa estadístico STATGRAPH. Previo al análisis y con el objeto de homogenizar las varianzas, las variables fueron transformadas a  $\ln(x+1)$ .

### **2.7.5. Determinación cuantitativa de preferencia o rechazo del langostino a rangos de salinidad, temperatura y oxígeno**

Una de las maneras más directas de dilucidar las relaciones existentes entre el recurso y las condiciones ambientales, así como el potencial que pudiesen tener ciertas variables oceanográficas para predecir zonas de alta abundancia de un recurso, es a través de la determinación de la existencia de un comportamiento de preferencia o rechazo a ciertos rangos de las variables oceanográficas. En el presente estudio se utilizó el método de D'Amours (1993) para analizar si el langostino, en su ambiente natural, presenta preferencia o rechazo hacia ciertos niveles de salinidad, temperatura, oxígeno y profundidad.

Para el análisis se utilizaron las mediciones oceanográficas de mayor cercanía al fondo (aprox. 5 metros del fondo), ya que éstas representan las características donde habita el recurso.

Para la aplicación del método de D'Amours, se calculó la frecuencia relativa acumulada (FRA) para los niveles de temperatura, salinidad y oxígeno, así como las FRA para cada variable oceanográfica multiplicada por la CPUE del recurso tanto en número como en biomasa. La comparación de la FRA de la propiedad hidrográfica por sí sola con la FRA de la propiedad hidrográfica multiplicada por la CPUE, revela la preferencia o rechazo de la especie en relación a la propiedad hidrográfica medida (D'Amours 1993). Si el recurso se distribuye al azar en relación a la temperatura, salinidad, oxígeno y profundidad, entonces las FRA para las variables ambientales consideradas tendrán pendientes similares a aquellas FRA que multiplican la CPUE del recurso por la variable ambiental. Por otra parte, si el recurso se asocia a un rango de la variable ambiental, las pendientes de la FRA X CPUE del recurso en el rango de asociación, será mayor que las FRA sin el recurso. Lo contrario es válido en caso de rechazo.

Las FRA para temperatura, salinidad, nivel de oxígeno disuelto y profundidad, se calcularon a partir de la siguiente ecuación:

$$f(t) = \sum_h \sum_i \frac{W_h}{n_h} I(x_{hi}) \quad 38$$

donde

$$I(x_{hi}) = \begin{cases} 1, & \text{si } x_{hi} \leq t; \\ 0, & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad 39$$

con  $W_h$  = proporción del área de prospección en el estrato  $h$ ,  $n_h$  = número de lances en el estrato  $h$  ( $h = 1, \dots$  total de estratos),  $x_{hi}$  = temperatura (o salinidad, nivel de oxígeno o profundidad) medido en el set  $i$  ( $i = 1, \dots, n_h$ ) del estrato  $h$ , con un rango de  $t$  con incrementos de 0,1 °C para temperatura, 0,1 p.s.u para salinidad, 0,1 ml/l para oxígeno disuelto y 1 m para profundidad).

Para las FRA temperatura x CPUE-recurso, salinidad x CPUE-recurso, oxígeno x CPUE-recurso y profundidad x CPUE-recurso se utilizará

$$g(t) = \sum_h \sum_i \frac{W_h}{n_h} \frac{y_{hi}}{y_{st}} I(x_{hi}). \quad 40$$

con  $y_{hi}$  = captura de la especie en el set  $i$  y estrato  $h$ ;  $\overline{y_{st}}$  = media de la CPUE-recurso, con los parámetros idénticos a la anterior.

Por otra parte, para el caso en que hay plena correspondencia de una medida oceanográfica por lance (diseño de muestreo no estratificado), es decir todos los muestreos oceanográficos son satisfactorios, la ecuación (1) se reduce a

$$f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(x_i) \quad 41$$

donde

$$I(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i \leq t; \\ 0, & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad 42$$

con  $n$  = número total de lances y  $x_i$  = variable oceanográfica (temperatura, salinidad, oxígeno o profundidad) dentro del rango  $t$  en el lance  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

La ecuación (40) se redefine como

$$g(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} I(x_i) \quad 43$$

con  $y_i$  = CPUE-recursos en el lance  $i$  dentro del rango  $t$  de la variable oceanográfica,  $\bar{y}$  = media de CPUE-recursos de todos los lances.

Finalmente, se determinó la significancia estadística ( $p$ ) de la diferencia observada entre la FRA de las variables oceanográficas con aquella de las variables oceanográficas x CPUE-recursos a través de la modificación del método de D'Amours (1993) por Perry y Smith (1994). El método se basa en un procedimiento de aleatorización a través de re-muestreo computarizado con reemplazo (Bootstrap). La significancia de la asociación entre la captura y el factor ambiental se calculó a través de la determinación de la máxima diferencia absoluta entre las dos curvas (i.e. FRA variable oceanográfica vs. FRA variable oceanográfica x CPUE-recursos), y por la comparación de esta diferencia absoluta ( $s$ ) con la distribución de máximas diferencias absolutas a partir de un número mayor a 2000 repeticiones del muestreo aleatorio de las capturas ponderadas y del factor ambiental con probabilidad  $1/n$ .

La ecuación del estadístico es:

$$\max_{\forall t} |g(t) - f(t)| = \max_{\forall t} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \bar{y}}{\bar{y}} \right) I(x_i) \right| \quad 44$$

Esta modificación del método de D'Amours (1993) ha sido aplicada de manera exitosa en pesquerías demersales canadienses (*e.g.* Perry *et al.* 1994, Smith *et al.* 1994, Page *et al.* 1994, Smith y Page 1996).

## 2.8. Evaluación Indirecta del Stock de Langostino Colorado

Una actividad realizada en el marco de este estudio y que no estaba incluida en las Bases Especiales del proyecto fue la de realizar una evaluación indirecta mediante una modelación de biomasa dinámica (Hilborn y Walters 1992). Se persiguen tres propósitos con este análisis. Primero, entregar una serie de tiempo de biomazas durante todo el período de existencia de esta pesquería, es decir desde 1968 hasta el presente, y la respectiva serie de tiempo de los intervalos de confianza del estimador de biomasa. Segundo, utilizando la historia de la biomasa de la pesquería y los resultados de evaluaciones directas de la década del 80 y de 1991 (Roa y Bahamonde 1993) y la evaluación indirecta para 1995 de Roa *et al.* (1996), se tiene el propósito de hacer una proyección de biomasa hacia 1996, para compararla con la que se obtiene de nuestros estimadores basados en un muestreo directo del stock. Y tercero, incorporando un resultado preliminar de esta evaluación indirecta, se pretende proyectar la biomasa del langostino hacia 1997.

En este estudio se comparan tres versiones de un modelo logístico de biomasa dinámica, a saber el modelo de Schaeffer, de Fox, y de Pella-Tomlinson, que son respectivamente:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left[ 1 - \left( \frac{B_t}{K} \right) \right] - C_t \quad 45$$

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left[ 1 - \left( \frac{\ln(B_t)}{\ln(K)} \right) \right] - C_t \quad 46$$

$$B_{t+1} = B_t + \frac{r}{m} B_t \left[ 1 - \left( \frac{B_t}{K} \right)^m \right] - C_t \quad 47$$

donde  $t$  es el tiempo en años,  $K$  es la capacidad de carga de la población,  $r$  es la tasa intrínseca de crecimiento poblacional,  $m$  es un parámetro adicional, y  $C$  es la captura. En

general estas ecuaciones establecen que la biomasa de la población en el próximo período es igual al balance entre la biomasa actual, un término de producción poblacional y la captura. En el ajuste, se presumirá que el modelo describe exactamente la dinámica de la población y que por lo tanto todo el error está en la variable observada, que en este caso es la captura. Este es un enfoque conveniente puesto que es relativamente sencillo establecer una distribución de probabilidad de los errores para las capturas, pero puede no ser tan sencillo establecer un error de proceso en el modelo matemático. De hecho, muchos autores presumen una distribución lognormal en las capturas, enfoque que se seguirá en este estudio. En consecuencia, el negativo de la función de log-verosimilitud a ser minimizado en función de los estimadores de los parámetros es

$$L(B_t / r, K, [m]) = - \left[ -Ln(\sigma) - 0.5Ln(2\pi) - \frac{[\ln(B_{Obs}) - \ln(B_{Est})]^2}{2\sigma^2} \right] \quad 48$$

donde se ha omitido un término constante. El cambio de la función  $L$  con cada parámetro, llamado perfil de verosimilitud, servirá para obtener estimadores de intervalo de cada parámetro.

Los tres modelos se consideraron como compitiendo para demostrar cuál de los tres ofrece una mejor explicación de la información disponible. Para decidir la competencia, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC, Akaike 1973, Sakamota *et al.* 1986), que favorece a aquellos modelos que tienen una mayor cantidad de verosimilitud pero penaliza a los modelos que ocupan muchos parámetros para alcanzar esa verosimilitud. De esta forma el AIC para el modelo  $M_i$  es

$$AIC_i = -L(I / M_i) + 2p_i \quad 49$$

donde  $p_i$  es el número de parámetros del modelo. El criterio de selección consiste en elegir al modelo con menor AIC.

Una vez seleccionado el modelo se utilizó estadística Bayesiana para obtener una estimación de intervalo de la trayectoria de biomazas en la serie histórica y para los años 1996 y 1997:

$$p(\theta / y) = \frac{p(\theta)p(y / \theta)}{p(y)} \quad 50$$

donde

$$p(y) = \sum_{\theta} p(\theta) p(y / \theta) \quad 51$$

que establece que la probabilidad condicional de los parámetros dado los datos es igual al producto de la verosimilitud de los datos dados los parámetros y la "prior" (información previa sobre los parámetros) dividida por todos los posibles productos de verosimilitudes y priors a través del espacio de los parámetros (Gelman *et al.* 1995). La función de verosimilitud es la misma utilizada con anterioridad, pero expresada como productos:

$$L(\text{datos/ parámetros}) = \prod_{t=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\left[\frac{[\ln(B_{Obs,t}) - \ln(B_{Est,t})]^2}{2\sigma^2}\right]} \quad 52$$

donde  $B_{Obs}$  es una estimación de abundancia absoluta independiente del ejercicio de estimación (información auxiliar),  $B_{Est}$  es la biomasa estimada por el modelo y n es el número de índices auxiliares de abundancia disponibles. Las "priors" se consideraron uniformes (no informativas), dada la carencia de información previa de los parámetros.

En el presente estudio se utilizó la serie histórica de capturas (tons) entre los años 1968 a 1996 extraídas de Anon (1991). En relación a las estimaciones de abundancia absoluta (cruceros de investigación) se cuenta con datos para los años 1982, 1983, 1984, 1986, 1991 (Roa y Bahamonde 1993) y 1996 (resultados preliminares del estimador diseño basado del presente estudio) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Índices de abundancia absoluta de cruceros científicos (de Roa *et al.* 1993, 1995 y 1996).

Año	STOCK			
	Achira (A)	Achira (A)	Bio-Bío	Combinado (B)
1982	23204	23204	21223	44427
1983	27004	27004	22979	49983
1984	21876	21876	14064	35940
1986	17099	17099	18108	35207
1991	38997	38997	12000	50997
1995*		89368		
1996	111490		6026	117516

## 2.9. Representación Videográfica de Resultados

El objetivo de esta sección fue el de producir una representación gráfica computacional en formato de video de la zona sumergida en la plataforma continental entre los 34° y 37° de latitud sur con la distribución local de las densidades y tallas del langostino colorado. Esta modalidad de presentación de resultados permite la difusión de los mismos a un público muy amplio, que puede conocer la actividad que se desarrolla en el marco del Fondo de Investigación Pesquera.

El guión se desarrolla sobre cuatro pantallas representando (1) el territorio submarino de la plataforma continental de Chile central, (2) la densidad del langostino colorado sobre la plataforma continental, (3) la estructura de tallas del langostino colorado sobre la plataforma continental, y (4) la posición latitudinal del cuadro que se está mostrando. La animación del guión consistió en la simulación de un viaje desde el exterior del planeta hacia América del Sur, para sumergirse en la zona del Golfo de Arauco (37° latitud sur), que es el límite sur de la población de langostino, y luego viajar hacia el norte hasta el límite norte de la población (34° latitud sur).

Para alcanzar este objetivo, se analizaron alternativas hardware/software que cumplieran con las características para apoyar este tipo de desarrollo, sometiéndolas a una evaluación técnica y económica. Las características del equipamiento hardware/software debían ser tales que satisficieran lo siguiente:

- Alta capacidad de procesamiento: la generación de imágenes por computador es altamente consumidora de recursos. Los modelos de textura e iluminación, por ejemplo, requieren de numerosos y complejos cálculos matemáticos.

- Alta capacidad de almacenamiento: se estimaba que deberíamos manejar grandes volúmenes de datos, debido a que se manejarían principalmente datos de tipo gráfico, animaciones y video.
- Alta resolución: considerando la naturaleza gráfica del producto, se requería que el equipamiento hardware software permitiese crear imágenes de alta resolución y gran número de colores, de modo de acercarse a imágenes más realistas.
- Software generador de animaciones profesional: se requería construir una animación de alta complejidad y de calidad profesional, por lo que el software de apoyo debía brindar herramientas para facilitar la tarea de diseñar objetos complejos y poseer la capacidad de utilizar como entrada datos de orígenes diversos (para los datos de densidad de langostino colorado, territorio submarino, etc.)
- Salida de video: dado que el producto final sería un video, era necesario que el equipamiento permitiese capturar en video las animaciones producidas a través del software generador de animaciones profesional. Esto debía ocurrir en tiempo real y con buena calidad. Esto perseguía evitar la pérdida de calidad desde el formato computacional al de TV.

Los criterios técnicos utilizados para evaluar las distintas alternativas ofrecidas, con respecto al hardware, fueron capacidad de CPU, RAM, cache, disco, tarjeta de video, tarjeta gráfica, y características del monitor. Con respecto al software, se consideró la capacidad de modelación, la velocidad de renderización, la animación, la composición de escenas, los formatos de archivos de entrada, la compatibilidad con la configuración del hardware y la generación del video. Para evaluar otros aspectos de las configuraciones hardware/software, se consideró la calidad del soporte (preparación técnica, presencia en la zona), disponibilidad de la configuración y prestigio de los componentes involucrados. Estos criterios sólo serían

utilizados en caso de empate en la evaluación técnica. Como es lógico, se eligió la alternativa completa de menor relación costo/beneficio.

En la producción de la primera pantalla, de simulación de la plataforma continental, se utilizaron diversos tipos de información correspondiendo a los distintos componentes de la misma. Primero, la foto de la Tierra se obtuvo una vez que se adquirió el software 3D Studio Max, dentro del utilitario Designer's Utility Pack. En cambio, los mapas de América del Sur y de Chile fueron dibujados *de novo*, realizando un redondeo de los vértices uno a uno. Además las texturas de la superficie de América del Sur se obtuvieron a través del 3D Studio Max. Una vez sumergidos, la producción utilizó 16.515 datos de latitud, longitud, profundidad y tipo de fondo (fondo blando despejado o fondo gravoso) para simular la plataforma continental. Inicialmente, el ambiente acuático se modeló considerando una niebla exponencial azul oscuro, por la que se filtraba una luz volumétrica con un proyector, lo que producía como resultado, rayos de luz filtrados entre la niebla. Esto simulaba reflejos de olas. La implementación de este diseño tardaba 32 días (770 horas), por lo cual se eliminaron los rayos de luz volumétrica (disminución de 16 días) y se reemplazó la niebla exponencial por una niebla lineal, obteniendo en total 6 días de renderización.

Para la pantalla de densidades de langostino se utilizaron los resultados de la estimación geoestadística, lo que permitió tridimensionalizar la pantalla. Se generaron archivos DXF de AutoCad con superficies de SURFER. En el caso de la pantalla de estructura de tallas, no se contó con una estimación geoestadística, por lo que se utilizó información discreta cada 10 minutos de latitud, con un desvanecimiento gradual para crear la ilusión de continuidad. Estos archivos fueron imágenes de tipo BMP.

En el caso de la cuarta pantalla, que contiene la posición geográfica de los cuadros que se están visualizando, se confeccionaron archivos de línea de costa mediante una mesa digitalizadora y cartas oficiales de escala 1:500.000. Estos archivos fueron llevados al formato DXF AutoCad.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Crucero de Evaluación de la Biomasa

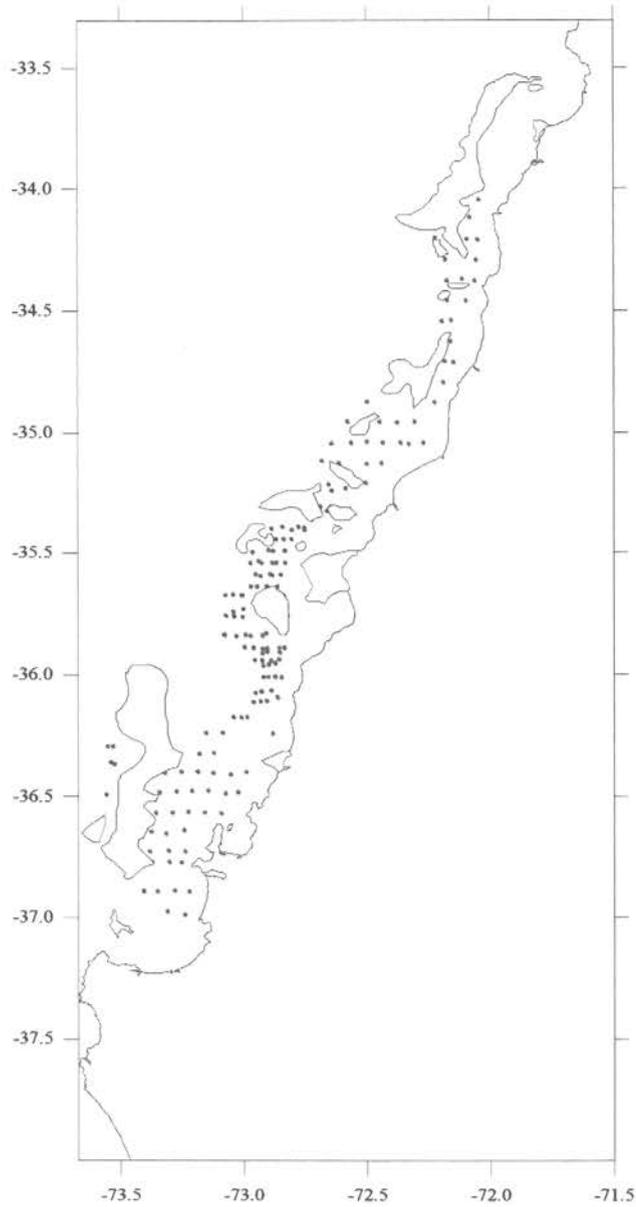
Se realizó un total de 139 lances de pesca con el PAM Antares entre el 29 de Octubre y el 2 de Diciembre de 1996. De estos 139 lances, dos fueron exploratorios en el extremo norte del stock, y cinco fueron exploratorios en el borde del talud en la terraza del Itata. Los 132 lances restantes fueron utilizados en la evaluación de stock. De estos lances de evaluación, 71 fueron lances de delimitación por los bordes del stock, y 61 fueron lances con pesca de langostino (Fig. 3). Los dos lances exploratorios al norte de los 34°S y el lance de delimitación justo al sur de los 34°S rindieron resultados negativos, indicando que por el extremo norte el crucero abarcó todo el stock, que en una continuidad física abarca desde el Golfo de Arauco hasta los 34°S. Asimismo, los cinco lances exploratorios al borde del talud de la terraza del Itata rindieron capturas nulas. El crucero ha abarcado a la totalidad del stock de Chile central.

Con la evidencia proveniente de 26 lances de pesca en la zona de alta densidad fue posible concluir que la abertura de punta de alas de la red utilizada en todo el crucero, en condiciones de operación bajo el mar (Koyama 1974), tiene un ancho de barrido efectivo de 13,5 m, con una

**Tabla 3.** Resultados de la estimación de ancho de barrido de la red del PAM Antares en condiciones de operación en el mar en base a 26 lances de pesca por el método de Koyama (1974) y en condiciones estáticas por el método de Salomon (1981)

Koyama		Salomon					
Estadístico	Valor	Cuerpo	Rm	$\mu_1/\mu_2$	$\alpha$	LTE	$\alpha \cdot \text{LTE}$
Media [m]	13,52	Punta ala	0,5	0,61057	16,997	6,40	108,65
Mediana [m]	13,43	Ala	0,3125	0,61057	10,802	4,80	51,85
Moda [m]	13,43	Cielo	0,3125	0,61057	10,802	6,60	71,30
Varianza [m <sup>2</sup> ]	1,26	Belly1	0,6667	0,61057	22,149	9,75	215,94
Desv. Est. [m]	1,12	Túnel	---	0,61057	---	8,79	---
		Copo	---	0,61057	---	2,40	

Rm: relación entre cortes horizontales y verticales;  $\mu_1/\mu_2$ : relación entre coeficiente de armado horizontal y vertical;  $\alpha$ : ángulo de entrada por cuerpo; LTE: longitud de la tela estirada.



**Fig. 3.** Distribución de los lances de investigación realizados a lo largo de la plataforma continental de Chile centro-sur. Círculos azules: lances sin captura; círculos rojos : lances con captura.

muy baja variabilidad entre lances. En concordancia con esto, las mediciones geométricas de la red en condiciones estáticas (Salomón 1981, Tabla 3) entrega una estimación del ángulo de ataque de la red de  $11,557^\circ$ , lo que resulta en una abertura de punta de alas de 13,523 m.

Retomando nuestra preclasificación de áreas de la sección 2.2., al comienzo del crucero se esperaba encontrar las siguientes áreas que diferían en los niveles de densidad de langostino:

- **área norte** : **desde los  $34^\circ\text{S}$  hasta los  $35^\circ13'\text{S}$ , baja densidad**
- **área central norte** : **desde los  $35^\circ14'\text{S}$  hasta los  $35^\circ45'\text{S}$ , alta densidad**
- **área central sur** : **desde los  $35^\circ46'\text{S}$  hasta los  $36^\circ10'\text{S}$ , baja densidad**
- **área sur** : **desde los  $36^\circ41'\text{S}$  hasta los  $37^\circ\text{S}$ , baja densidad**

Los resultados en el área norte, en el área central norte, y en el área sur fueron tal como se esperaban. Sin embargo, la operación en terreno permitió verificar que casi en todos los transectos del área central sur se encontraba alguna cuadrícula de alta densidad ( $>100 \text{ ton/km}^2$ ), por lo que esta área fue reclasificada como área de alta densidad y se intensificó en ella el muestreo, adquiriendo las mismas características que el área central norte. De esta manera, quedamos al final del crucero con dos áreas centrales de alta densidad y dos áreas extremas por el norte y por el sur de baja densidad.

El área de crianza fue cubierta por un crucero en la lancha Kay-Kay entre el 4 y el 9 de Diciembre de 1996, realizando 25 lances con la rastra Agassiz. Aunque estas capturas no se usan en la evaluación de la biomasa por ser insignificantes y ser realizados con nave y red diferentes, la muestra biológica obtenida permite el análisis de la estructura de tallas del stock en esa zona habitada por los reclutas.

### **3.2. Objetivo Específico 1. Determinar la distribución del recurso langostino colorado de la zona centro-sur.**

#### **3.2.1. Comparación genética en tres zonas a los largo del Stock**

La Tabla 1 muestra las enzimas analizadas en el langostino colorado, el número de loci que se resolvieron para cada uno de los sistemas y la solución tampón donde se obtuvo la mejor resolución. Un total de 10 enzimas fueron analizadas, dando cuenta de 14 loci. También se analizaron las proteínas totales, codificadas por un total de 5 loci. Las siguientes enzimas no presentaron una buena resolución y no se incluyeron en el análisis: Enzima Málico deshidrogenasa, Maleato deshidrogenasa, Tetrasolio Oxidasa, Octopino deshidrogenasa, Leucin aminopeptidasa.

El tejido que presentó mejores resultados fue el hepatopáncreas. Del total de loci analizados solamente dos presentaron polimorfismo, que corresponden a la enzima Aminopeptidasa, y la Fosfoglucoisomerasa, codificada cada una por un solo locus. La heterocigosidad promedio por locus y por individuo corresponde a 0,027 si se toma como referencia , la muestra denominada Sur y de 0,016 en la muestra Norte.

Una prueba de Ji cuadrado para los dos sistemas polimórficos analizados demostró que no hay diferencias significativas, entre los genotipos observados y esperados, estableciéndose que la población se encuentra en equilibrio de Hardy-Weinberg (Tabla 4). Se muestra también en la misma Tabla 4, los valores de las frecuencias génicas para cada una de las muestras.

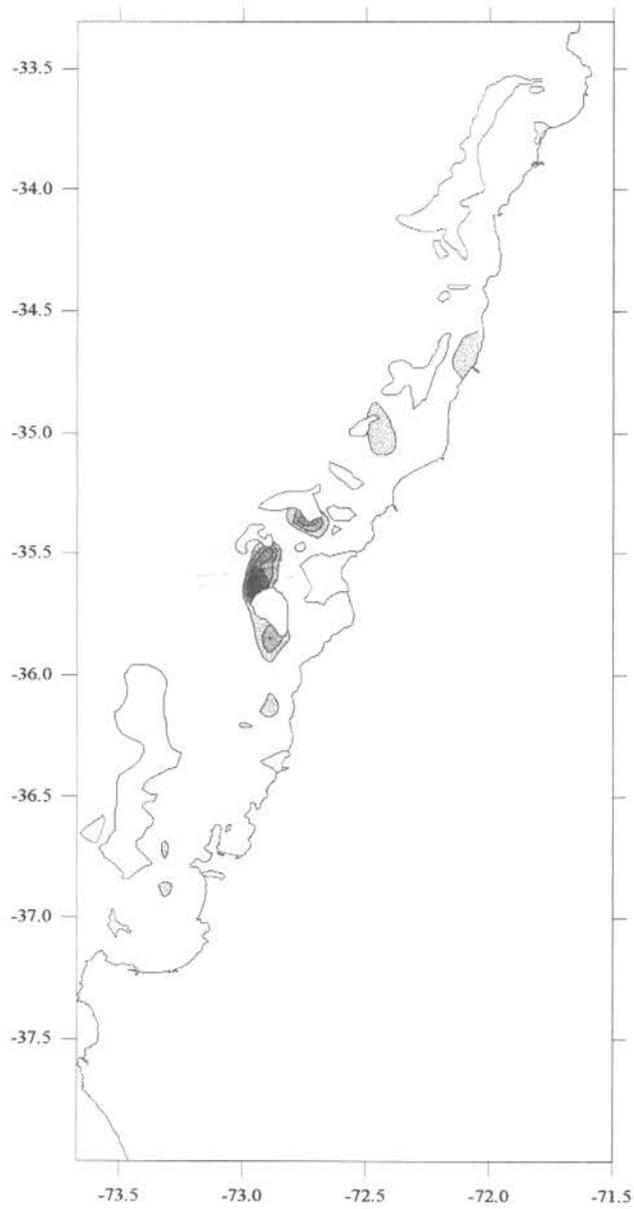
Una prueba de homogeneidad demostró que las tres muestras de langostino colorado, no presentan diferencias significativas, el valor de G para el locus AP-1 es de 3,47 y 2 grados de libertad, para el locus PGI-1 es de 3,25. Los valores de Fst, de 0,004 para el locus PGI-1 y de 0,015 para AP-1, muestran también un alto grado de homogeneidad genética entre las poblaciones de *P. monodon* analizadas, al comparar estos dos loci polimórficos.

**Tabla 4.** Valores de las frecuencias alélicas para los *loci* polimórficos, con el valor de número de individuos, en las muestras analizadas de las localidades Norte, Central y Sur para el langostino colorado *Pleuroncodes monodon*.

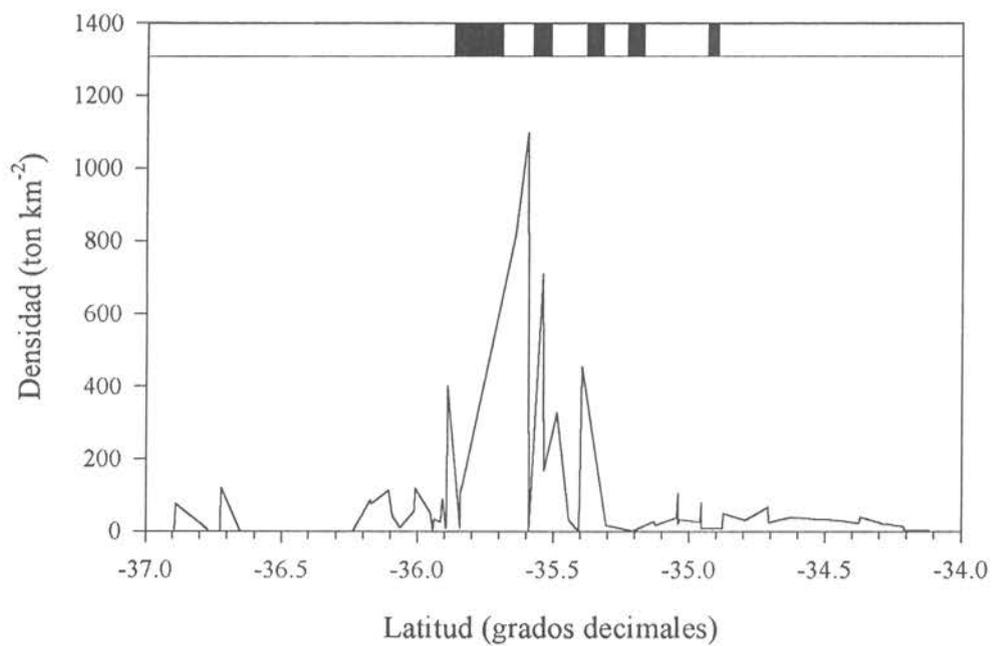
Locus	Alelos	Norte (60)	Central (60)	Sur (61)
AP-1	100	0,908	0,867	0,803
	95	0,092	0,133	0,197
	Ho	0,183	0,233	0,295
	X2	0,551	0	0,346
	p	n.s.	n.s.	n.s.
PGI-1	110	0,017	0,017	0,032
	100	0,983	0,983	0,96
	90	-----	-----	0,008
	Ho	0,034	0,033	0,079
	X2	0,009	0,009	0,085
	p	n.s.	n.s.	n.s.
	Ho	0,109	0,133	0,187
He	0,101	0,133	0,198	
<b>Fst</b>	<b>PGI-1</b> 0.004	<b>AP-1</b> 0.015	<b>Prom</b> 0.014	

### 3.2.2. Distribución espacial de la densidad (Fig. 4 y Fig. 5)

Los núcleos de densidad mayor que 50 ton/km<sup>2</sup> se distinguen claramente en sentido latitudinal. El núcleo de mayor densidad se encuentra frente a Pta. Carranza, en los 35°30'S, en el área central del stock. Hacia el sur los núcleos de mayor densidad son muy pequeños, siendo casi indetectables en el área sur del Golfo de Arauco. En cambio, hacia el norte del área central los núcleos son más extensos que hacia el sur, pero mucho más homogéneos (con menos pendiente) que en la zona central. Esto también se aprecia al colapsar el eje longitudinal y observar la variación de la densidad sólo en sentido latitudinal (Fig. 5).



**Fig. 4.** Distribución espacial de los núcleos de densidad de langostino colorado sobre la plataforma continental de Chile centro-sur.



**Fig. 5.** Variación de la densidad de langostino colorado (CPUE) en función de la latitud. Las zonas negras en la barra superior indican las zonas en que los fondos duros cruzan la plataforma continental.

### 3.2.3. Distribución espacial de las tallas medias de las clases anuales (Fig. 6)

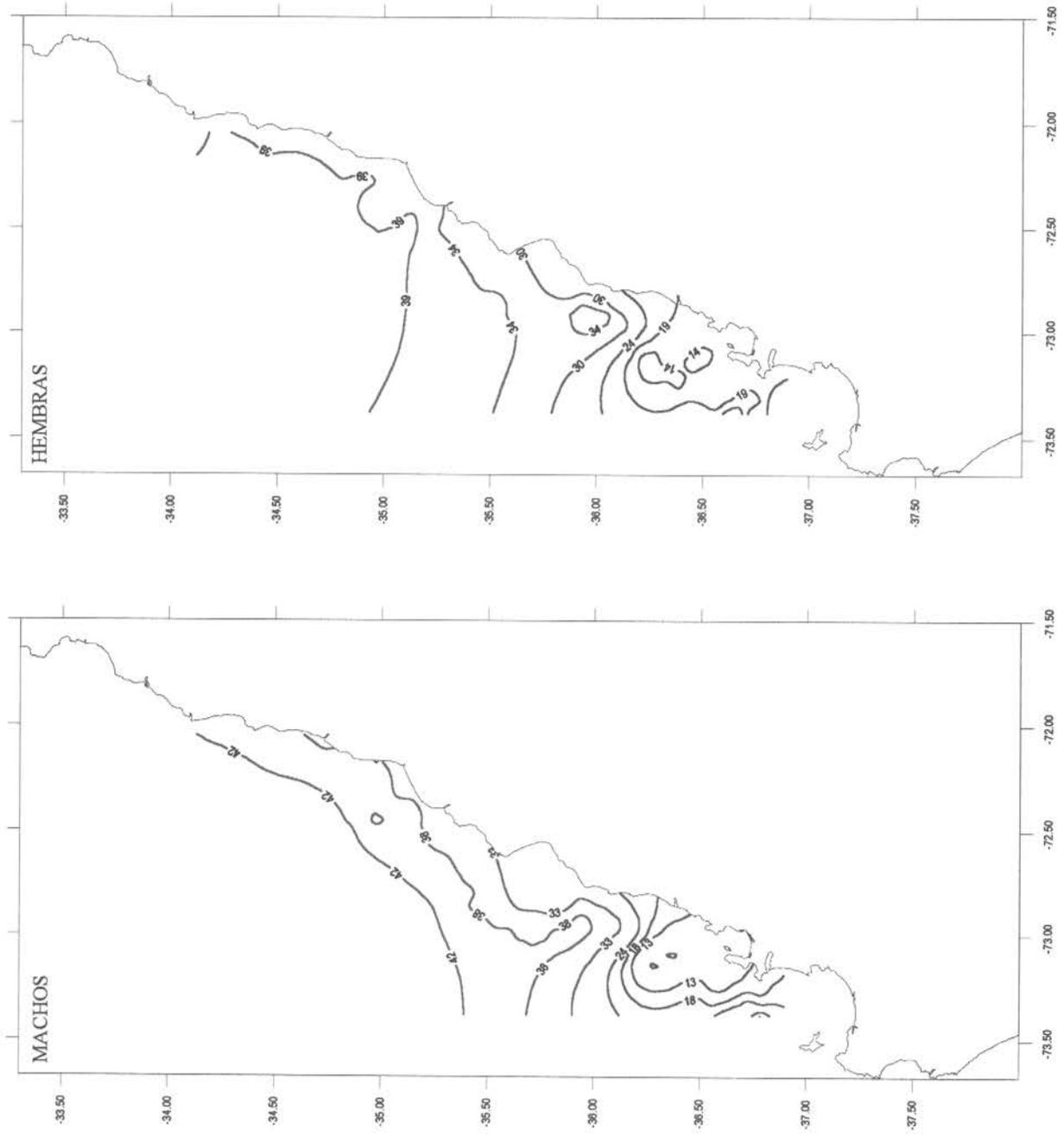
El mapeo geoestadístico de las tallas medias de las clases anuales del stock en su conjunto (ver Tablas 8 y 9 para las estimaciones del MIX) permite confirmar el modelo poblacional de la Fig. 2. Se puede observar claramente cómo a partir de un área situada en la terraza del Itata, el área de crianza, las clases anuales se dispersan principalmente hacia el norte, pero también hacia el sur.

### 3.2.4. Distribución espacial de la proporción de machos (Fig. 7)

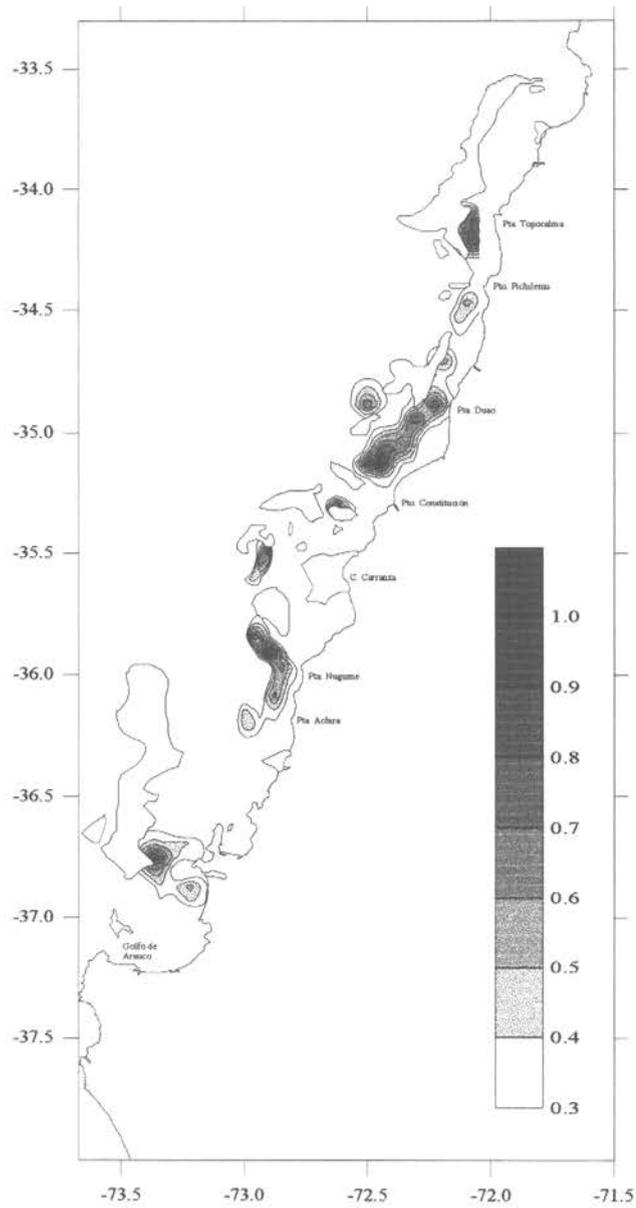
Existen núcleos de agregación de machos en todo el rango latitudinal del stock, tendiendo a aumentar la proporción de éstos hacia el norte. En particular, el núcleo de más al norte frente a Pta. Topocalma muestra un claro predominio de los machos, pero justo al sur frente a Pta. Pichilemu existen dos núcleos de predominio de hembras. En la zona central del stock los machos ocupan el centro de los núcleos y las hembras la periferia. Este efecto de periferia de hembras es aun más notorio en el Golfo de Arauco.

Tabla 5. Rango batimétrico de los lances con captura de langostino colorado y su posible división batimétrica

Zona de Evaluación	Rango batimétrico (m)	Nº de lances con captura
Norte	186-87=99	24
División batimétrica posible	137-87=50	13
	188-138=50	11
Central-Norte	139-115=24	10
División batimétrica posible	No es posible	—
Central-Sur	181-110=71	19
División batimétrica posible	145-110=35	6
	181-146=36	13



**Fig. 6.** Distribución espacial de las edades de machos y hembras de langostino colorado en Chile centro-sur.



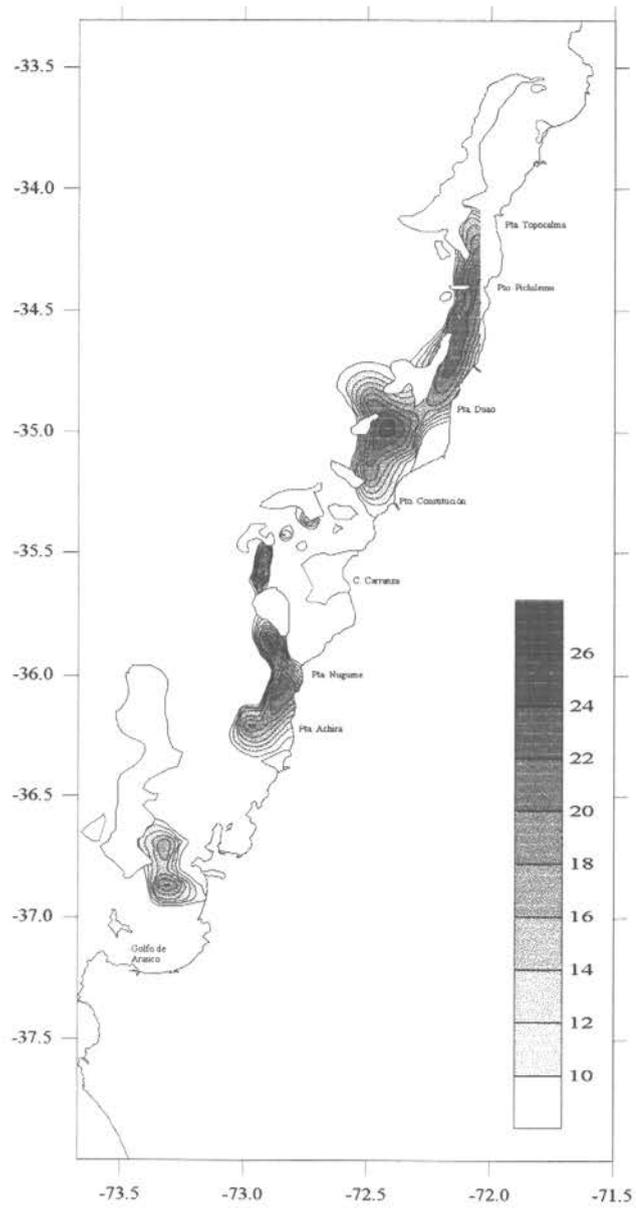
**Fig. 7.** Distribución espacial de la proporción de machos de langostino colorado sobre la plataforma continental de Chile centro-sur.

### **3.2.5. Distribución espacial del potencial reproductivo (Fig. 8)**

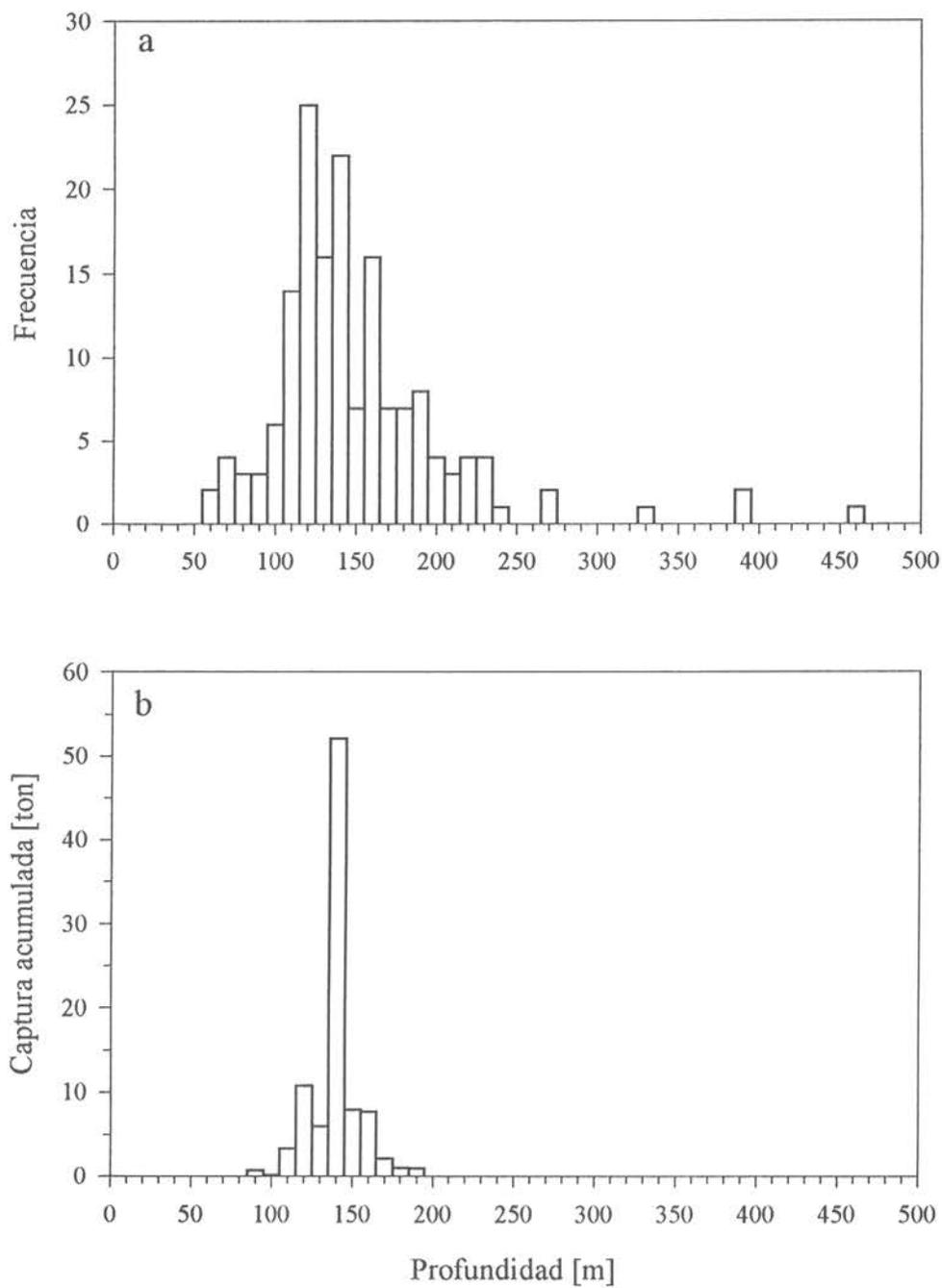
Así como los machos predominan en los centros de los núcleos poblacionales, el potencial reproductivo se extiende hacia la periferia de los núcleos, en distribuciones mucho más amplias en sentido longitudinal. Se aprecia que hacia el extremo norte del stock el potencial reproductivo baja y se contrae longitudinalmente, para extenderse justo al sur entre Duao y Constitución en una amplia zona. Sin embargo, el máximo potencial reproductivo se encuentra en la zona central del stock, entre Carranza y Achira, baja a cero en el área de crianza y vuelve a subir aunque en menor medida en la zona sur del Golfo de Arauco.

### **3.3. Objetivo Específico 2. Determinar la biomasa total (en peso) y la abundancia (en número) por estrato de profundidad del recurso langostino colorado en la zona centro-sur.**

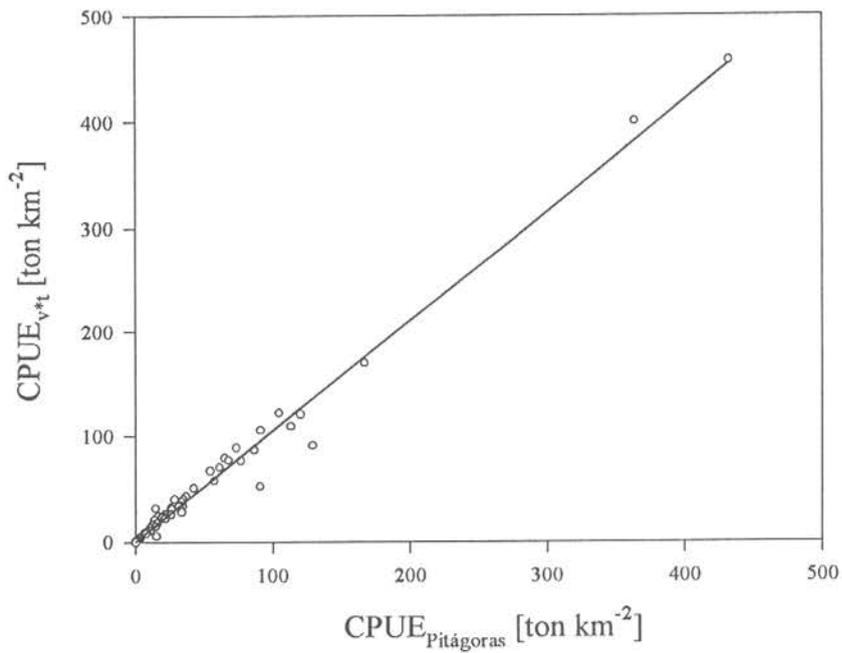
No se consideró el fraccionamiento de la biomasa y abundancia en estratos de profundidad porque en la mayor parte del área evaluada el langostino se distribuyó sobre un estrecho rango de profundidad, y cualquier partición de este rango hubiera resultado en cálculos artificiosos y con un nivel muy bajo de grados de libertad para la estimación. Para justificar esto, obsérvese la Fig. 9, que muestra la distribución batimétrica del muestreo y de la captura. El muestreo abarca 400 m de rango de profundidad, desde los 60 hasta los 460 m, pero más del 73% de la captura se obtuvo en un rango de apenas 30 m, entre los 130 y 160 m, en toda la extensión latitudinal muestreada (34° a 37° S). Para mayor abundamiento, obsérvese la Tabla 5, que muestra el rango de profundidad cubierto por los lances con pesca en cada una de las tres zonas definidas para la evaluación geoestadística (ver Tabla 7) la biomasa y abundancia y posibles divisiones batimétricas. Es claro que el número de lances con captura para las posibles divisiones batimétricas habría dejado muy pocos lances para la evaluación en todas las posibles divisiones, lo que en definitiva rinde inútil una posible evaluación de biomasa ya sea por análisis geoestadísticos o por un estimador clásico basado en el diseño de muestreo. De hecho, es uno de los temas



**Fig. 8.** Distribución espacial del potencial reproductivo ( $\ln N^{\circ}\text{huevos km}^{-2}$ ) de la población de langostino colorado en Chile centro-sur.



**Fig. 9.** (a) Distribución de los lances de pesca por estrato de profundidad; (b) Distribución de la captura por estrato de profundidad.



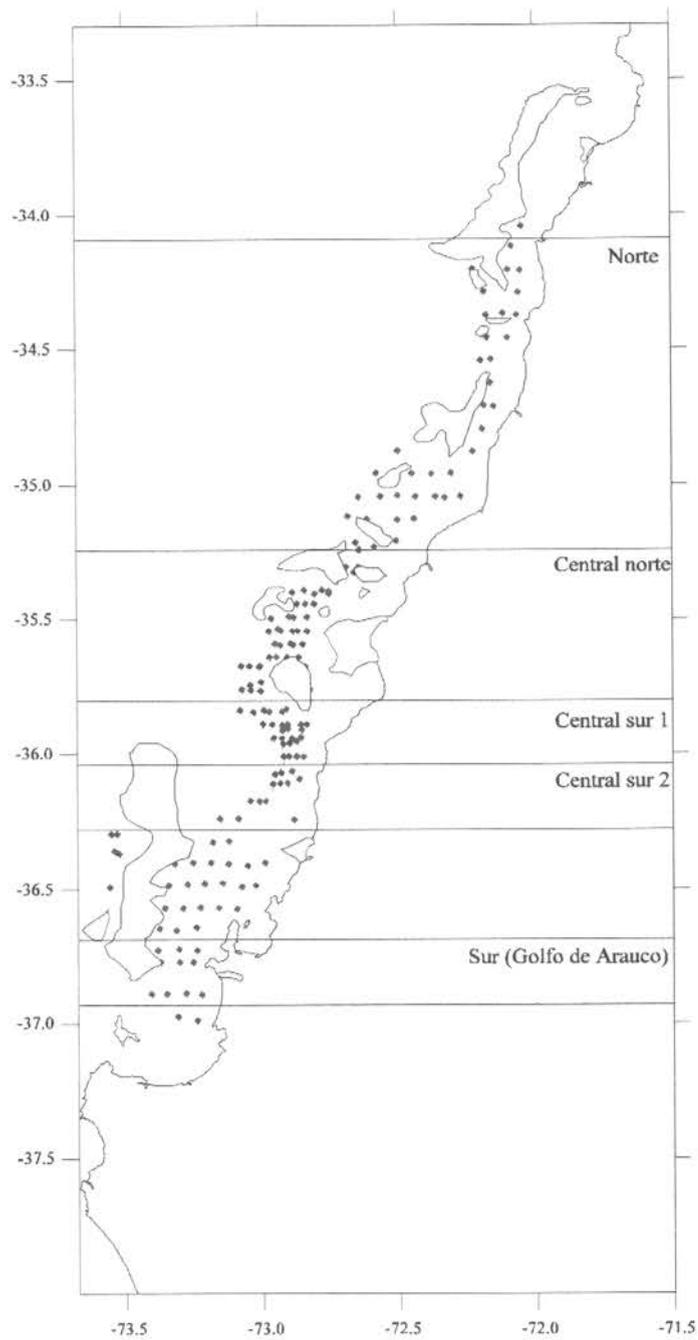
**Fig. 10.** Relación entre CPUE estimadas utilizando dos métodos de cálculo de distancia recorrida: mediante el producto velocidad\*tiempo y mediante el teorema de Pitágoras corregido por posición latitudinal.

centrales de este estudio que la dinámica poblacional y el fraccionamiento natural de la biomasa ocurre en el eje latitudinal, y no en el batimétrico, como resulta evidente de la información que hemos recolectado.

En la estimación de biomasa por evaluación directa, el punto metodológico más central es el de la estimación de la densidad media a nivel local. Esta densidad corresponde a la captura por unidad de esfuerzo, y el esfuerzo se da en unidades de área barrida. Por su parte, el área barrida es el producto entre la abertura de punta de alas y la distancia recorrida en cada lance. La distancia por último, fue evaluada por dos métodos, como se indica en el Capítulo Metodología: por un lado el producto entre velocidad y duración de cada lance y por otro lado la aplicación del teorema de Pitágoras corregido por posición latitudinal. Ambos métodos resultaron ser equivalentes. Para demostrar esto, se ha realizado un regresión lineal entre la CPUE con distancia estimada como velocidad\*tiempo ( $CPUE_{v*t}$ ) y por Pitágoras ( $CPUE_{Pitágoras}$ ). Si ambas son equivalentes, la regresión debe pasar por cero y tener pendiente uno. De hecho esto es así (Fig. 10): el intercepto de la regresión no difiere significativamente de cero y la pendiente no difiere de uno. Por lo tanto, ambas CPUEs son equivalentes. Sin embargo, lance a lance se registran pequeñas diferencias aleatorias entre ambas CPUEs, así que se ha adoptado, en todos los análisis que restan, a la  $CPUE_{v*t}$  como medida de CPUE.

### 3.3.1. Estimador Diseño-Basado (Tabla 6)

Basados en el diseño de muestreo probabilístico regular las transectas fueron posestratificadas (Thompson 1992) para generar agrupaciones con la máxima homogeneidad interna posible sujetos a la restricción de conservar una suficiente cantidad de grados de libertad en cada agrupación. Esta posestratificación generó 5 grupos de transectas ( $T=5$ ) en sentido latitudinal (Fig. 11). Los resultados indican que el área de máxima densidad es la zona central sur 1, alcanzando a 3 veces una mayor densidad que el área que le sigue, la central sur 2. Asimismo, el área de menor densidad es el área sur, del Golfo de Arauco. Estos resultados coinciden con el mapeo geoestadístico de la densidad (Fig. 4). Las varianzas de la densidad promedio siguen la



**Fig. 11.** Límites de las áreas de evaluación utilizadas en la estimación diseño-basada de la biomasa de langostino colorado en Chile centro-sur.

**Tabla 6.** Resultados de la estimación diseño-basada de la biomasa de langostino colorado en la zona centro sur de Chile.

Area	Varianza	Promedio	$M_t$	$N_t$	A [km <sup>2</sup> ]	Peso medio [g]	$S_t$ [10 <sup>6</sup> ind]	$B_t$ [ton]	Var Total
Norte	449,039	29,8	224	17	768,298	31,60	725	22905,509	1224767,8
Central norte	994,439	32,3	86	8	294,972	26,78	356	9534,714	833837,2
Central sur 1	96477,799	218,9	104	22	356,710	25,72	3.036	78078,394	37398303,1
Central sur 2	1605,508	78,8	48	8	164,635	13,63	951	12966,922	385321,9
Sur	1166,797	24,3	102	7	349,850	4,21	2.020	8506,291	1615180,0
TOTAL					1934,466		7.088	131991,830	41457409,9

misma tendencia, respaldando la posestratificación empleada. La biomasa también es máxima en el área central sur 1, alcanzando a las 78 mil toneladas. Sin embargo, debido a su gran extensión el área con la segunda mayor biomasa es el área norte. La biomasa total estimada para todo el stock por el estimador diseño-basado alcanza a los 132 mil toneladas, con un intervalos de confianza normal de 119 mil a 145 mil toneladas. El coeficiente de variación ( $\sigma_B/B$ , donde B es la biomasa estimada) es de sólo 4,9%, lo que representa una muy alta precisión del estimador. Asimismo, el error relativo del 95%, definido como

$$ER(95\%) = \frac{LS(95\%) - \hat{B}}{\hat{B}} \quad 53$$

es de 9,6%, donde LS(95%) es el límite superior del intervalo de confianza del 95%.

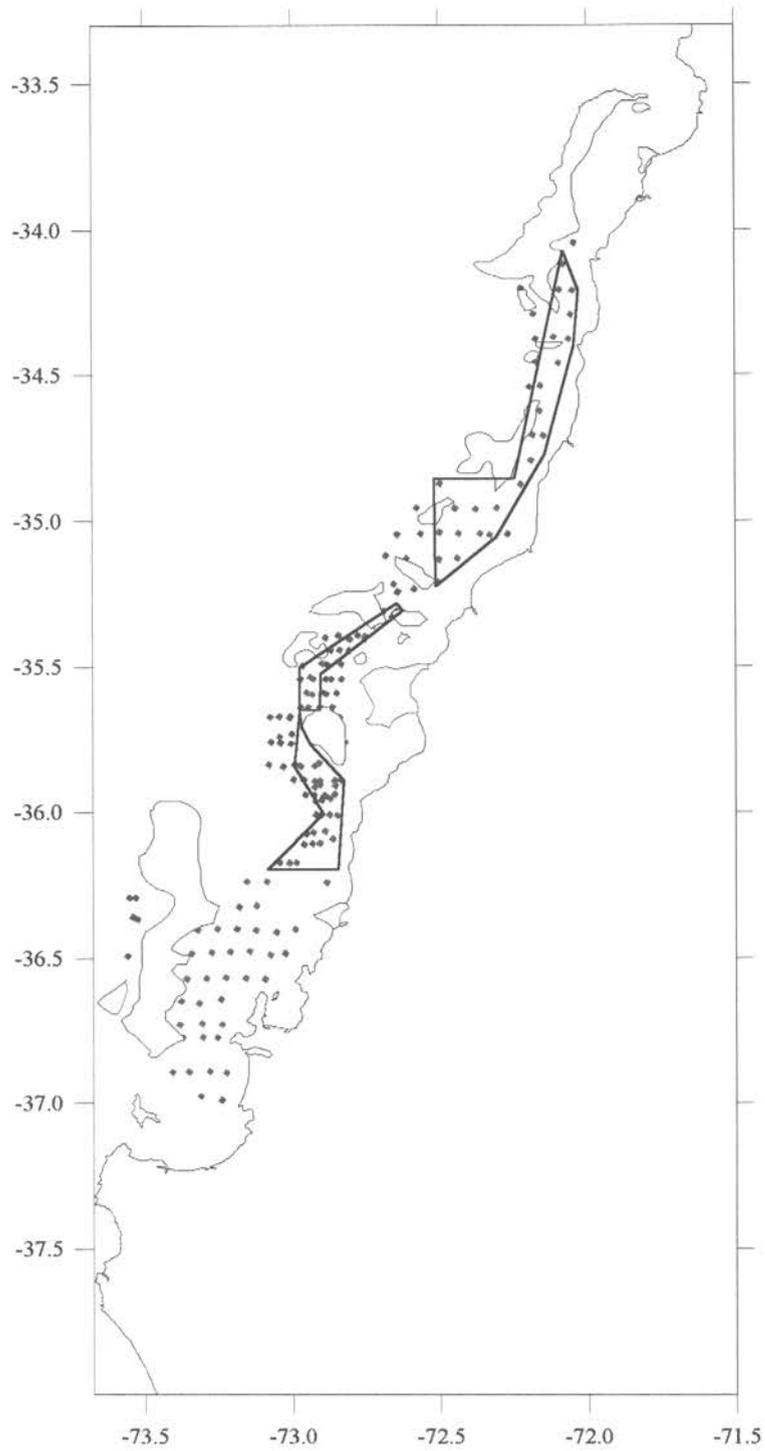
### 3.3.2. Estimador Modelo-Basado Geoestadístico (Tabla 7)

El área poblacional cubierta por este estimador abarca las áreas norte, central norte, centra sur 1 y central sur 2 del estimador diseño-basado, y se dividió en tres áreas ( $T-1$ ): la norte, la central norte, y la central sur (central sur 1 y central sur 2). No fue posible analizar geoestadísticamente el área sur del Golfo por contener muy pocas observaciones. Las áreas de integración del estimador modelo-basado se muestran como polígonos en la Fig. 12. En general, las áreas coinciden en tamaño en los dos estimadores, excepto en el caso de la zona norte, donde el área

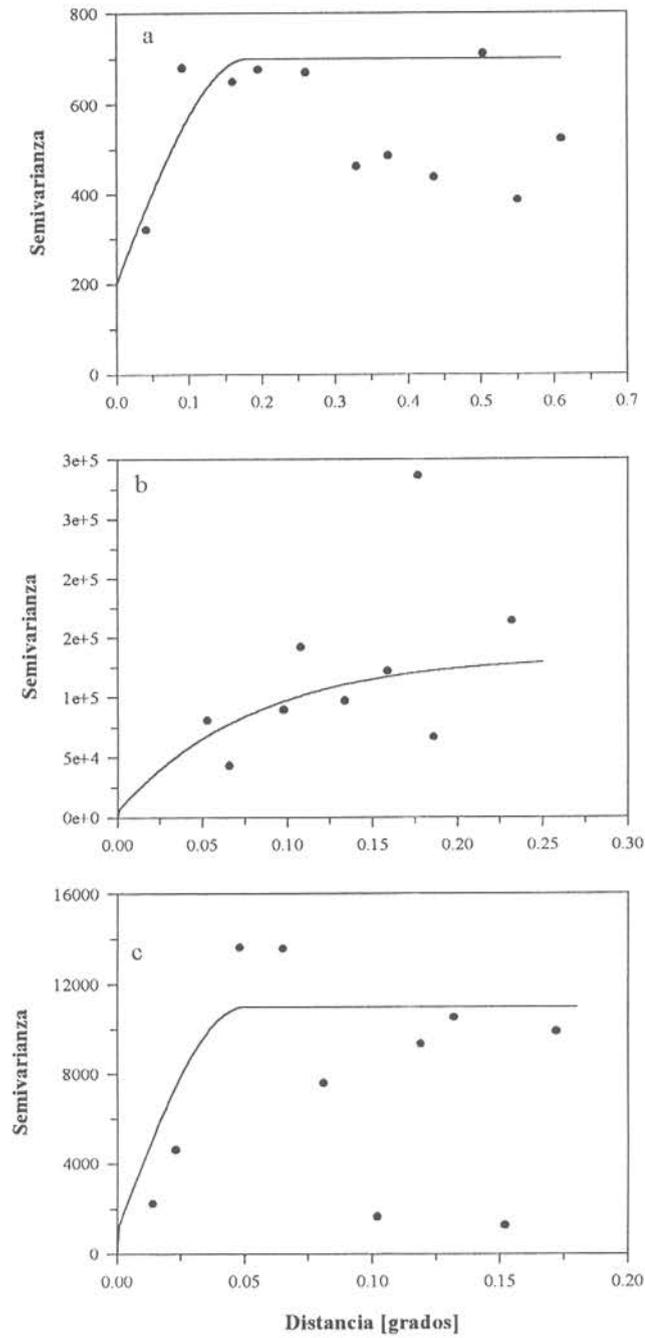
de integración del estimador geoestadístico es casi el doble que la del estimador diseño-basado. Sin embargo, este efecto es compensado por el hecho que la densidad en esta área estimada por *kriging* (Tabla 7) es la mitad de la densidad estimada para la misma área por el estimador diseño-basado (Tabla 6). En el área norte y central sur el modelo ajustado al variograma fue el esférico, mientras que en el área central norte fue el exponencial (Fig. 13). La biomasa fue máxima en la zona central sur, lo que coincide con los resultados del estimador diseño-basado. La biomasa global alcanza por el estimador geoestadístico a 123 mil toneladas para el stock en las áreas central sur, central norte, y norte, lo que coincide casi exactamente con lo obtenido a través del estimador diseño basado. Desafortunadamente, las varianzas extensivas no parecen ser aditivas entre áreas de distinta geometría y con distintos niveles de correlación espacial, así que no resulta posible entregar un nivel de varianza global para toda la biomasa evaluada por geoestadística. En todo caso, se destaca el hecho que los coeficientes de variación (CV) de las tres áreas son muy bajos, y sólo se alcanza un CV máximo de 8% en el área central norte, donde las correlaciones espaciales detectadas parecen dejar mucha varianza residual de menor escala. Por extensión entonces, se puede suponer que el coeficiente de variación del estimador geoestadístico de biomasa global no supera el 10%, y probablemente sea menor, resultando comparable al CV del estimador clásico diseño-basado.

**Tabla 7.** Resultados del análisis geoestadístico y estimación de biomasa a partir de datos de la densidad de langostino colorado en las tres áreas de estudio.

Area	A [km <sup>2</sup> ]	Peso medio [g]	N <sub>i</sub>	Modelo	Parámetros	D <sub>i</sub> [ton km <sup>-2</sup> ]	S <sub>i</sub> [10 <sup>6</sup> ind]	B <sub>i</sub> [ton]	Var	CV [%]
Norte	1365,9	31,60	24	Esférico	c <sub>0</sub> = 200 c = 500 α = 0,18	14,4	622	19.669	443.658	3,4
Centro Norte	236,9	26,78	10	Exponencial	c <sub>0</sub> = 5000 c = 130000 α = 0,25	98,4	870	23.311	3.388.394	7,9
Centro Sur	582,6	20,30	19	Esférico	c <sub>0</sub> = 1000 c = 10000 α = 0,05	137,0	3.932	79.816	2.886.345	2,1
TOTAL							5.425	122.796		



**Fig. 12.** Límites de las áreas de estudio utilizadas para la estimación modelo-basada de la biomasa de langostino colorado mediante análisis geoestadístico.



**Fig. 13.** Variogramas estimados para las tres áreas de estudio consideradas en la estimación geoestadística de la biomasa de langostino colorado. (a) Area norte, (b) área central norte y (c) área central sur.

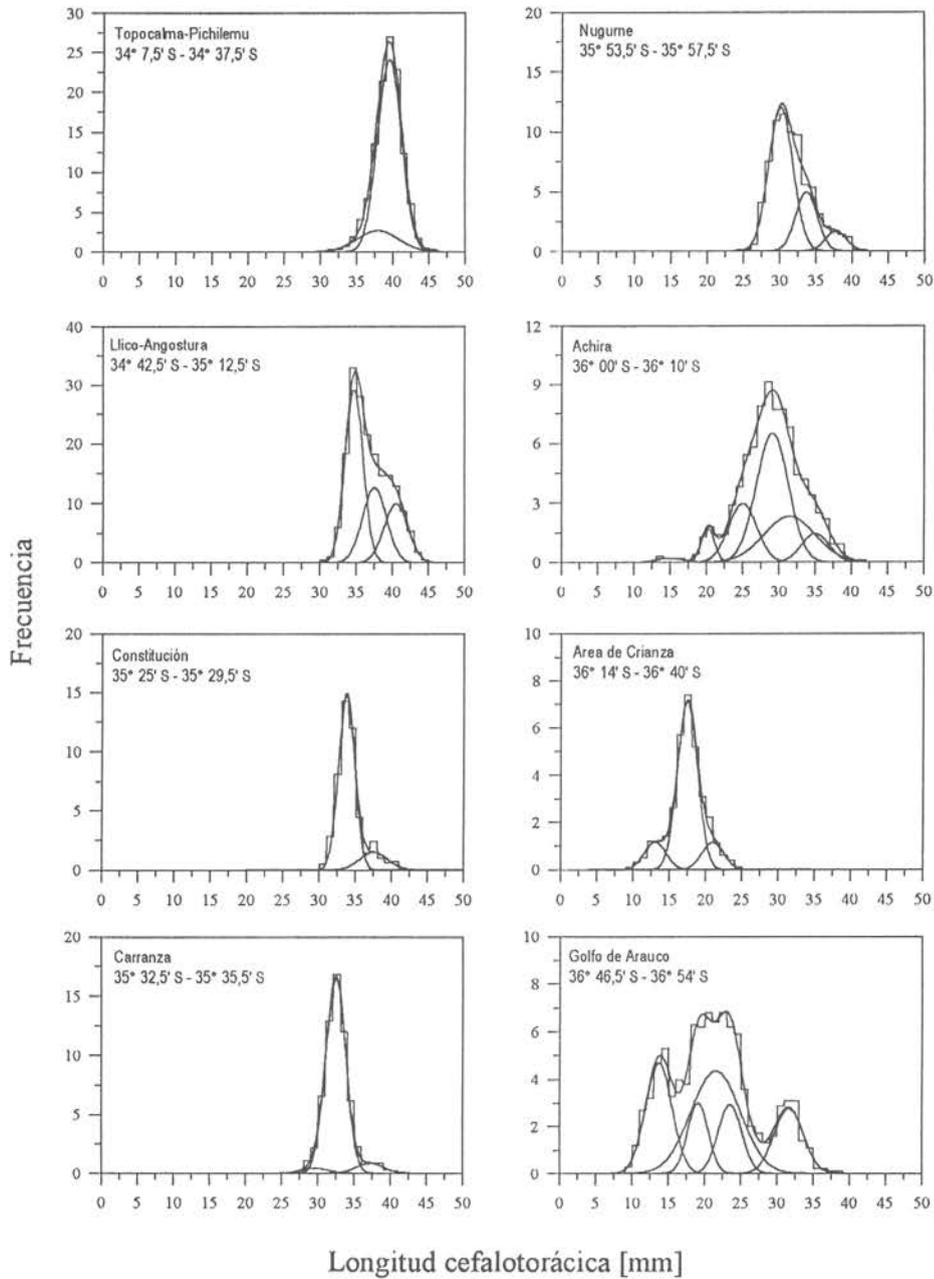
### **3.4. Objetivo Específico 3. Determinar la estructura de tallas por sexo, la relación longitud-peso y estado reproductivo de las hembras del recurso langostino colorado en la zona centro-sur.**

#### **3.4.1. Estructura de Tallas y Edades por Sexo**

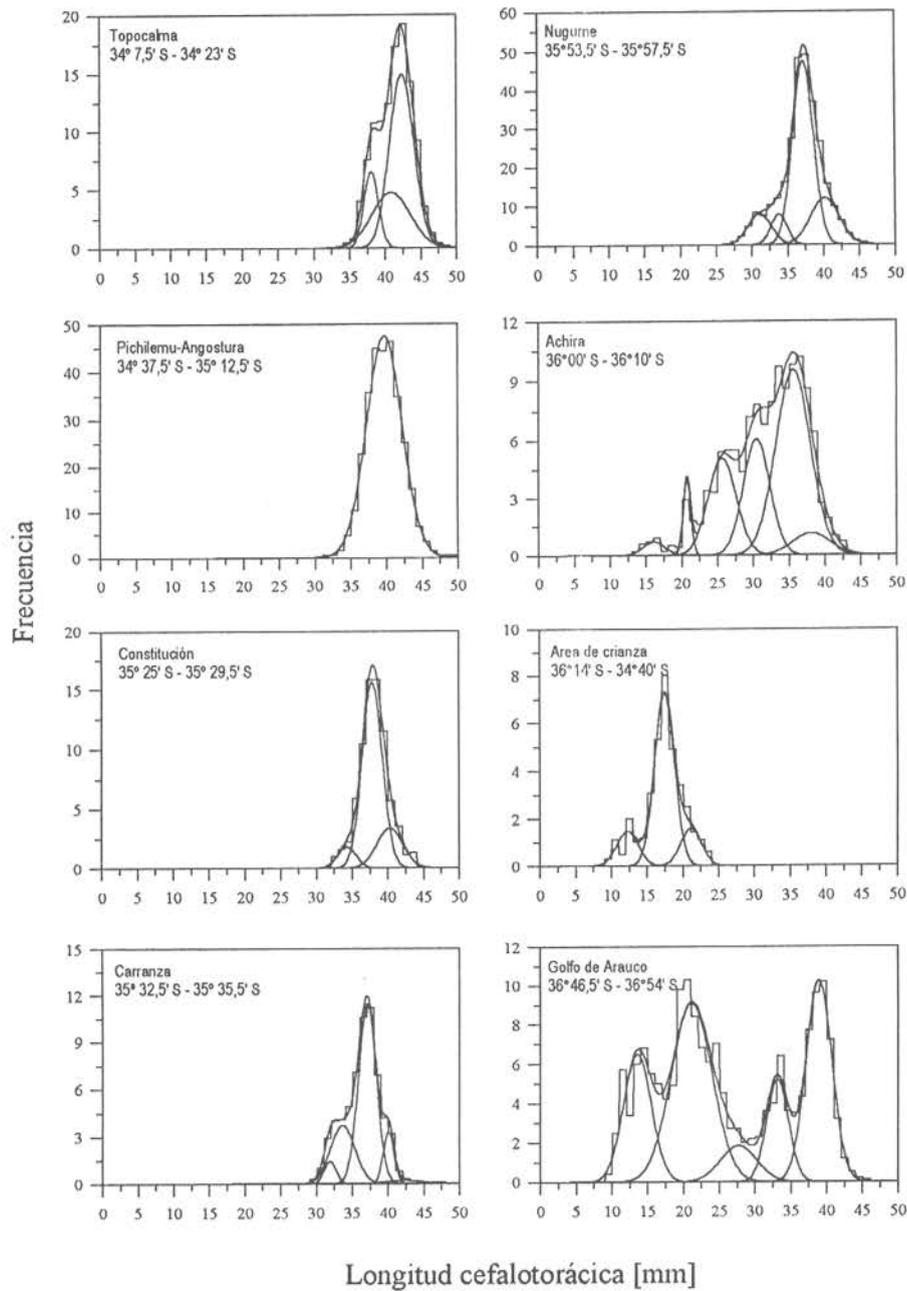
La estructura de tallas de las hembras y los machos de todo el stock muestra que las tallas varían entre menos de 10 mm hasta más de 45 mm de longitud cefalotorácica (Fig. 14). En el Golfo de Arauco la estructura de tallas y edades es amplia y con fuerte presencia de langostinos juveniles (Fig. 14). Más hacia el norte la estructura de tallas se va haciendo más estrecha y desaparecen los juveniles.

La estructura de edad por área fue bien ajustada a la estructura de tallas en casi todas las áreas consideradas. En las Tablas 8 y 9 se aprecia que sólo 2 de 16 histogramas fallaron la prueba de bondad del ajuste (valor  $p < 0.05$ ). Es destacable en las Tablas 8 y 9 y en las Figs. 14a y 14b que existe un doble gradiente de tallas medias desde el área de crianza: hacia el Golfo de Arauco por el sur crecen las tallas medias y la cantidad de clases anuales, y hacia el norte en las áreas donde habita la mayor parte de la población también aumentan las tallas medias y la cantidad de clases anuales, pero sólo hasta cierta latitud, para disminuir en cantidad de clases anuales más hacia el norte.

En relación al estado reproductivo de las hembras, la talla media de portación de huevos fue superior a los 35 mm (Fig. 15a). Asimismo, hacia las tallas mayores que 42 mm se observa un aumento en la presencia relativa de hembras no ovíferas. Como se observa en la Fig. 15b, en el área sur del Golfo de Arauco no se encontraron hembras ovíferas. Además, hay un aumento en la proporción ovífera hacia el norte, aunque con mucha variabilidad local.



**Fig. 14a.** Distribución latitudinal de la estructura de tallas y composición de edades de las hembras por análisis de mezclas distribucionales.



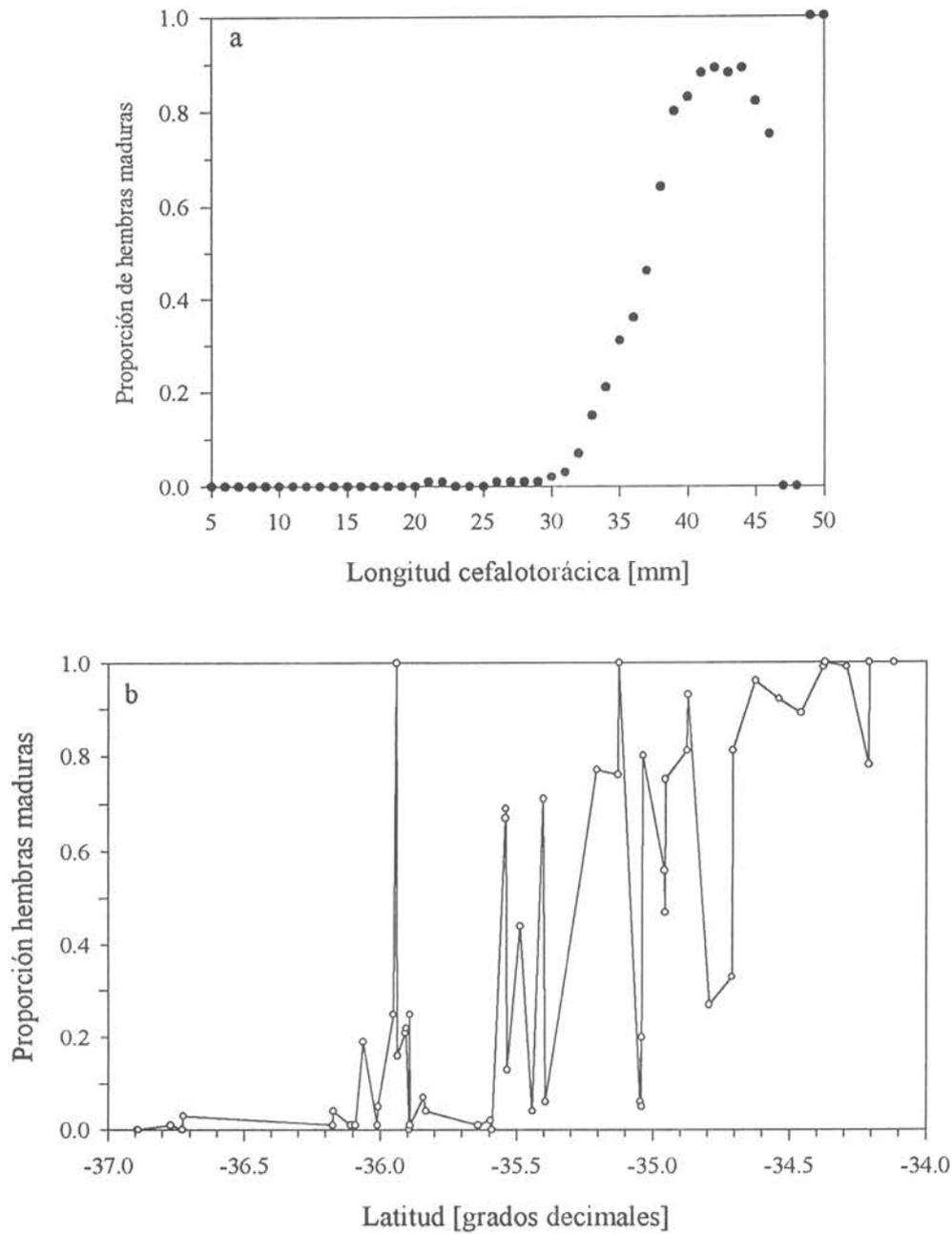
**Fig. 14b.** Distribución latitudinal de la estructura de tallas y composición de edades de los machos por análisis de mezclas distribucionales.

**Tabla 8.** Resultados del análisis de mezclas distribucionales para hembras.

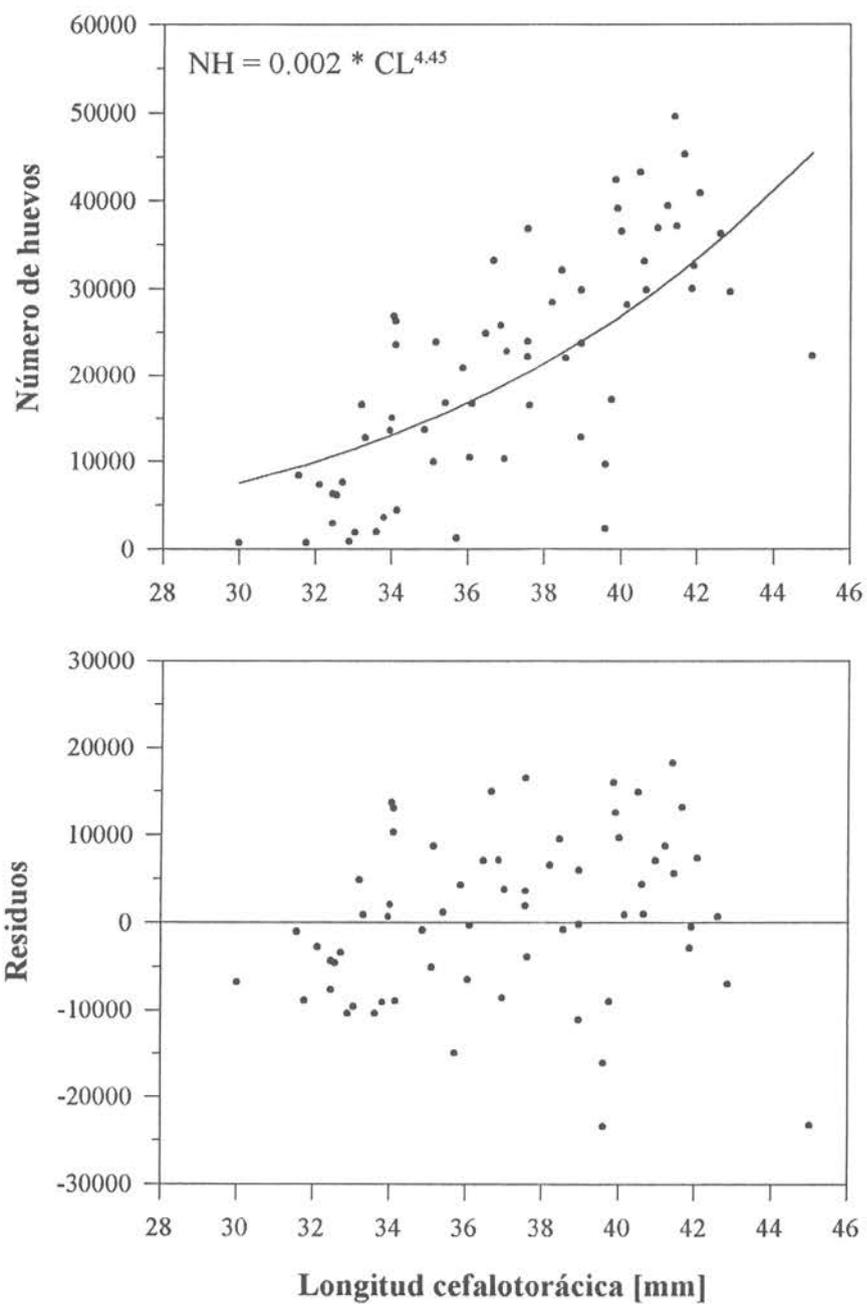
Area	Clase anual	Proporción	Media	Desviación estándar	Valor p
Topocalma-Pichilemu 34° 7,5' S - 34° 37,5' S	1	0,163 (0,016)	37,948 (0,359)	2,868 (0,236)	0,790
	2	0,837 (0,016)	39,533 (0,077)	1,661 (0,050)	
Llico-Angostura 34° 42,5' S - 35° 12,5' S	1	0,494 (0,014)	34,715 (0,073)	1,256 (0,053)	0,187
	2	0,284 (0,016)	37,539 (0,158)	1,655 (0,232)	
	3	0,222 (0,012)	40,517 (0,181)	1,650 (0,133)	
Constitución 35° 25' S - 35° 29,5' S	1	0,848 (0,018)	33,628 (0,063)	1,115 (0,049)	0,222
	2	0,152 (0,018)	37,571 (0,374)	1,962 (0,261)	
Carranza 35° 32,5' S - 35° 35,5' S	1	0,033 (0,010)	29,684 (1,807)	1,885 (3,475)	0,942
	2	0,900 (0,015)	32,460 (0,102)	1,377 (0,085)	
	3	0,067 (0,011)	37,215 (0,491)	1,906 (0,347)	
Nugurne 35° 53,5' S - 35° 57,5' S	1	0,671 (0,021)	30,197 (0,101)	1,668 (0,079)	0,164
	2	0,247 (0,022)	33,725 (0,209)	1,486 (0,187)	
	3	0,082 (0,013)	37,776 (0,306)	1,466 (0,219)	
Achira 36° 00' S - 36° 10' S	1	0,012 (0,004)	15,049 (0,813)	1,857 (0,885)	0,951
	2	0,048 (0,009)	20,231 (0,228)	0,914 (0,191)	
	3	0,175 (0,018)	25,027 (0,556)	1,948 (0,423)	
	4	0,434 (0,024)	29,104 (0,667)	2,222 (0,382)	
	5	0,248 (0,026)	31,475 (1,799)	3,516 (0,986)	
	6	0,828 (0,014)	35,032 (0,937)	1,872 (0,602)	
Crianza 36° 14' S - 36° 40' S	1	0,131 (0,021)	13,065 (0,367)	1,488 (0,261)	0,960
	2	0,739 (0,030)	17,506 (0,115)	1,370 (0,101)	
	3	0,130 (0,023)	21,016 (0,383)	1,495 (0,288)	
Golfo de Arauco 36° 46,5' S - 36° 54' S	1	0,225 (0,016)	13,725 (0,195)	1,827 (0,145)	0,622
	2	0,112 (0,018)	19,124 (0,584)	1,415 (0,328)	
	3	0,391 (0,022)	21,565 (0,524)	3,402 (0,449)	
	4	0,126 (0,015)	23,543 (0,604)	1,634 (0,364)	
	5	0,147 (0,012)	31,656 (0,248)	2,013 (0,176)	
Total datos	1	0,039 ((0,003)	13,728 (0,181)	1,850 (0,132)	0,687
	2	0,080 (0,004)	18,515 (0,161)	1,925 (0,126)	
	3	0,074 (0,004)	23,880 (0,259)	2,194 (0,161)	
	4	0,140 (0,005)	29,720 (0,133)	1,818 (0,103)	
	5	0,366 (0,007)	33,920 (0,061)	1,734 (0,051)	
	6	0,302 (0,006)	39,254 (0,063)	1,929 (0,044)	

**Tabla 9. Resultados del análisis de mezclas distribucionales para machos.**

Area	Clase anual	Proporción	Media	Desviación estándar	Valor p
Topocalma 34°7,5' S - 34°23' S	1	0,148 (0,015)	38,055 (0,171)	1,015 (0,123)	0,866
	2	0,282 (0,024)	40,841 (0,357)	2,654 (0,206)	
	3	0,570 (0,020)	42,359 (0,149)	1,703 (0,086)	
Pichilemu-Angostura 34°37,5'S - 35°12,5' S	1	1,000	39,692 (0,046)	2,516 (0,033)	0,001
Constitución 35°25' S - 35°29,5' S	1	0,076 (0,012)	34,269 (0,296)	1,291 (0,229)	0,086
	2	0,723 (0,030)	37,850 (0,100)	1,406 (0,090)	
	3	0,201 (0,027)	40,266 (0,342)	1,800 (0,266)	
Carranza 35°32,5'S - 35°35,5' S	1	0,048 (0,012)	31,915 (0,503)	0,824 (0,321)	0,998
	2	0,255 (0,024)	33,672 (0,252)	1,693 (0,233)	
	3	0,575 (0,028)	37,113 (0,097)	1,243 (0,089)	
	4	0,100 (0,023)	40,079 (0,170)	0,751 (0,151)	
	5	0,022 (0,010)	42,262 (1,190)	2,510 (0,943)	
Nugurme 35°53,5'S - 35°57,5' S	1	0,113 (0,008)	31,070 (0,156)	1,636 (0,117)	0,506
	2	0,077 (0,011)	33,776 (0,200)	1,127 (0,190)	
	3	0,602 (0,013)	37,161 (0,054)	1,442 (0,053)	
	4	0,208 (0,010)	40,173 (0,150)	1,986 (0,117)	
Achira 36°00' S - 36°10' S	1	0,021 (0,004)	16,119 (0,353)	1,538 (0,308)	0,133
	2	0,041 (0,006)	20,753 (0,103)	0,529 (0,093)	
	3	0,197 (0,013)	25,666 (0,203)	1,963 (0,179)	
	4	0,226 (0,015)	30,474 (0,235)	1,850 (0,224)	
	5	0,459 (0,017)	35,575 (0,460)	2,426 (0,370)	
	6	0,058 (0,009)	38,088 (3,942)	2,600 (1,938)	
Crianza 36°14' S - 36°40' S	1	0,152 (0,020)	12,271 (0,308)	1,505 (0,240)	0,089
	2	0,691 (0,028)	17,450 (0,117)	1,386 (0,103)	
	3	0,157 (0,022)	21,141 (0,313)	1,442 (0,254)	
Golfo 36°46,5' S - 36°54' S	1	0,182 (0,010)	13,585 (0,158)	1,949 (0,117)	0,000
	2	0,371 (0,013)	21,158 (0,181)	2,838 (0,158)	
	3	0,067 (0,007)	27,705 (0,703)	2,523 (0,517)	
	4	0,114 (0,008)	33,156 (0,211)	1,530 (0,155)	
	5	0,266 (0,011)	38,934 (0,111)	1,808 (0,084)	
Total datos	1	0,003 (0,000)	4,997 (0,121)	0,529 (0,142)	0,000
	2	0,026 (0,002)	13,044 (0,170)	1,829 (0,126)	
	3	0,063 (0,003)	18,458 (0,192)	2,493 (0,167)	
	4	0,057 (0,003)	24,222 (0,301)	2,875 (0,237)	
	5	0,138 (0,004)	32,634 (0,147)	2,590 (0,108)	
	6	0,519 (0,006)	37,982 (0,038)	1,916 (0,039)	
	7	0,194 (0,005)	41,809 (0,078)	2,030 (0,060)	



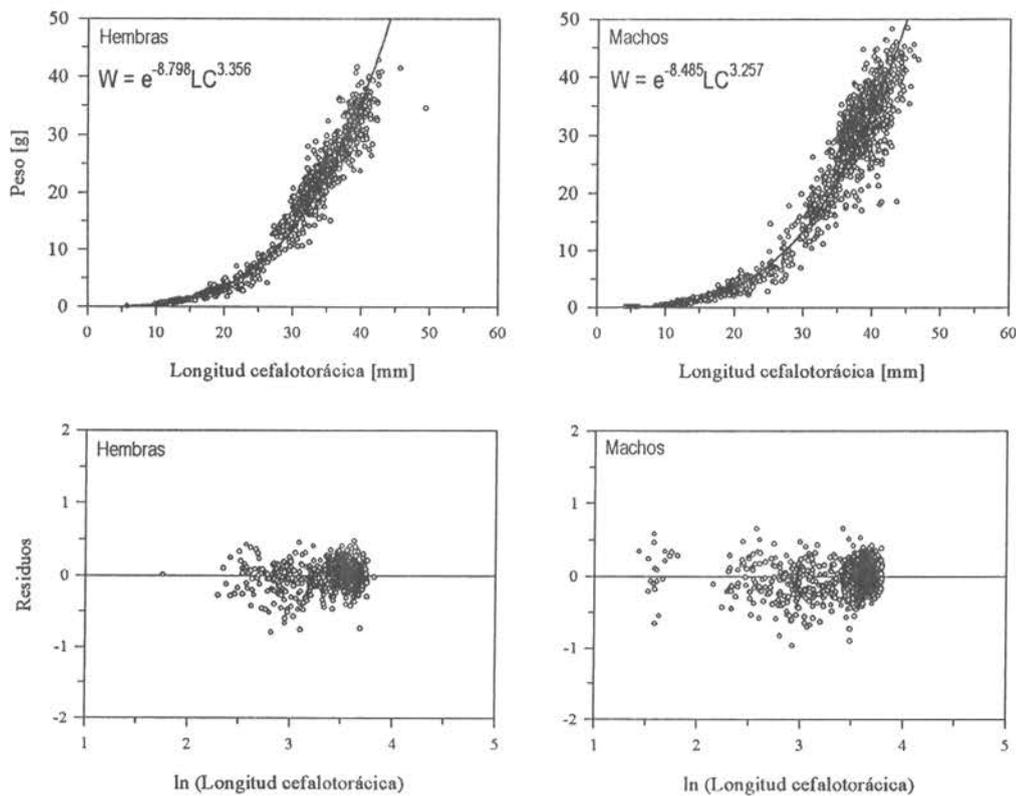
**Fig. 15.** Madurez sexual en hembras de langostino colorado en Chile centro-sur. (a) Proporción de madurez a la talla; (b) Variación de la proporción de hembras maduras en función de la latitud.



**Fig. 16.** Función de fecundidad a la talla ajustada para hembras de langostino colorado de Chile centro-sur. En el panel inferior se muestran los residuos de la regresión no lineal.

La función de fecundidad fue ajustada por un modelo potencial, pero se dio mucha variabilidad alrededor de la curva ajustada (Fig. 16). La máxima cantidad de huevos por hembra alcanzó a los 50.000, pero los residuos máximos llegaron a 25.000.

La relación longitud peso se muestra en la Fig. 17. Corresponde a una relación de tipo potencial, como es sabido. El ajuste de esta relación por transformación logarítmica entrega los estimadores que se muestran en la Fig. 17, con una distribución de los residuos que se comporta de manera muy conveniente para el cumplimiento de los supuestos del análisis de regresión.



**Fig. 17.** Relación longitud peso para machos y hembras de langostino colorado.

**3.5. Objetivo Específico 4. Registrar la captura e importancia relativa de las especies que constituyen la fauna acompañante de la pesquería de langostino colorado en la zona centro-sur.**

**3.5.1. Principales taxa**

Las especies o taxa retenidos en el estudio, en atención a su aporte relativo a las capturas y/o por ser recursos pesqueros actuales o potenciales, son bastante bajos en número (Tabla 10). En efecto, langostino colorado aporta con 85,1% a las capturas y solamente otros 3 taxa superan el 1%, por lo que, las capturas de la fauna acompañante en las actividades de pesca del langostino son consideradas incidentales (Tabla 11), probablemente debido a la especificidad del arte de pesca y a la propia distribución del recurso principal.

**Tabla 10.** Listado de taxa en las pescas de langostino colorado con aporte a las capturas superior a 1% o por ser recursos pesqueros. La nomenclatura es la utilizada en las figuras. Los congrios del género *Genypterus* fueron agrupados en “G.spp”; 5 especies de peces fueron agrupadas en “Pejerrata” y otras 5 en “Rayas spp”; con “H.spp” se designa a un par de especies de tiburones.

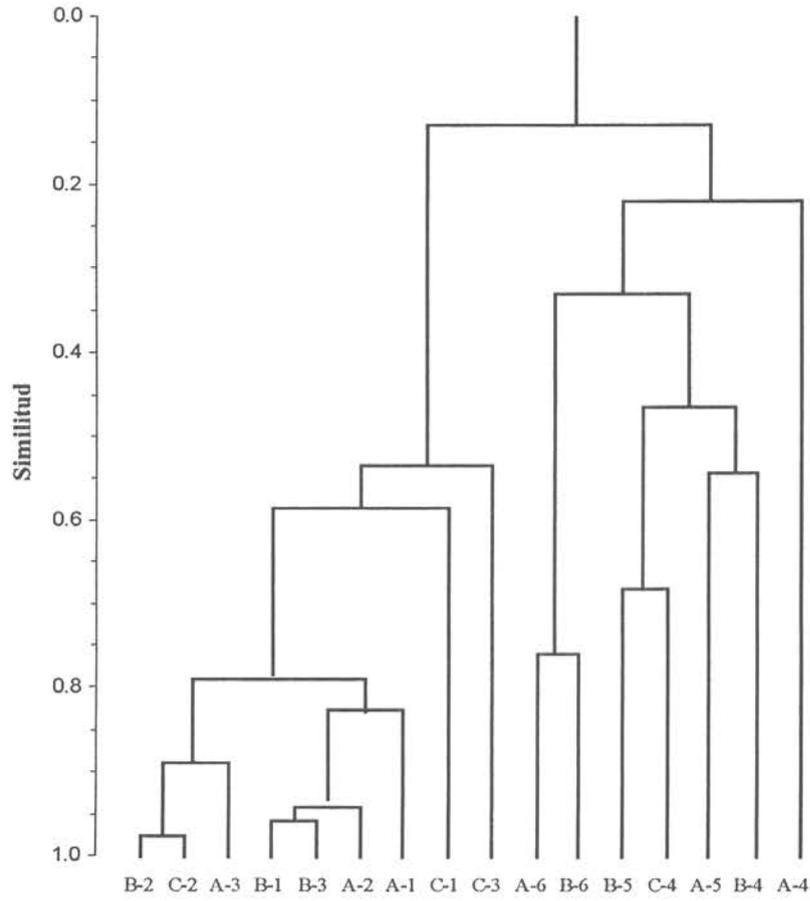
Nombre científico	Nomenclatura	Nombre común o identificador
<i>Coelorhynchus aconcagua</i>	C.a.	Pejerrata spp 1
<i>Callorhynchus callorhynchus</i>	C.c.	Pejegallo
<i>Centroscymnus crepidater</i>	C.crep.	Tollo <i>C. crepidater</i>
<i>Coelorhynchus chilensis</i>	C.ch.	Pejerrata spp 3
<i>Coelorhynchus fasciatus</i>	C.f.	Pejerrata spp 2
<i>Cervimunida johni</i>	C.j.	Langostino amarillo
<i>Genypterus blacodes</i>	G.b.	Congrio dorado
<i>Genypterus chilensis</i>	G.ch.	Congrio colorado
<i>Genypterus maculatus</i>	G.m.	Congrio negro
<i>Halaaelurus canescens</i>	H.c.	Tollo <i>H. canescens</i>
<i>Hippoglossina macrops</i>	H.m.	Lenguado de ojos grandes
<i>Heterocarpus reedi</i>	H.r.	Camarón nailon
<i>Hexanchus spp</i>	H.spp	Pejegato
<i>Libidoclaea granaria</i>	L.g.	Jaiba araña
<i>Merluccius gayi</i>	M.ga.	Merluza común
<i>Pleuroncodes monodon</i>	P.m.	Langostino colorado
MACROURIDAE	Pejerrata	Pejerratas spp
RAYAS (varias especies)	R.SPP	Rayas spp
	RCHSP1	Raya chica spp 1
	RCHSP2	Raya chica spp 2
	RVSP1	Raya volatín spp 1
	RVSP2	Raya volatín spp 2

**Tabla 11.** Aporte relativo a las capturas (%) de los taxa fauna acompañante de *P. monodon* y frecuencia absoluta (*n*) sobre 128 lances de pesca.

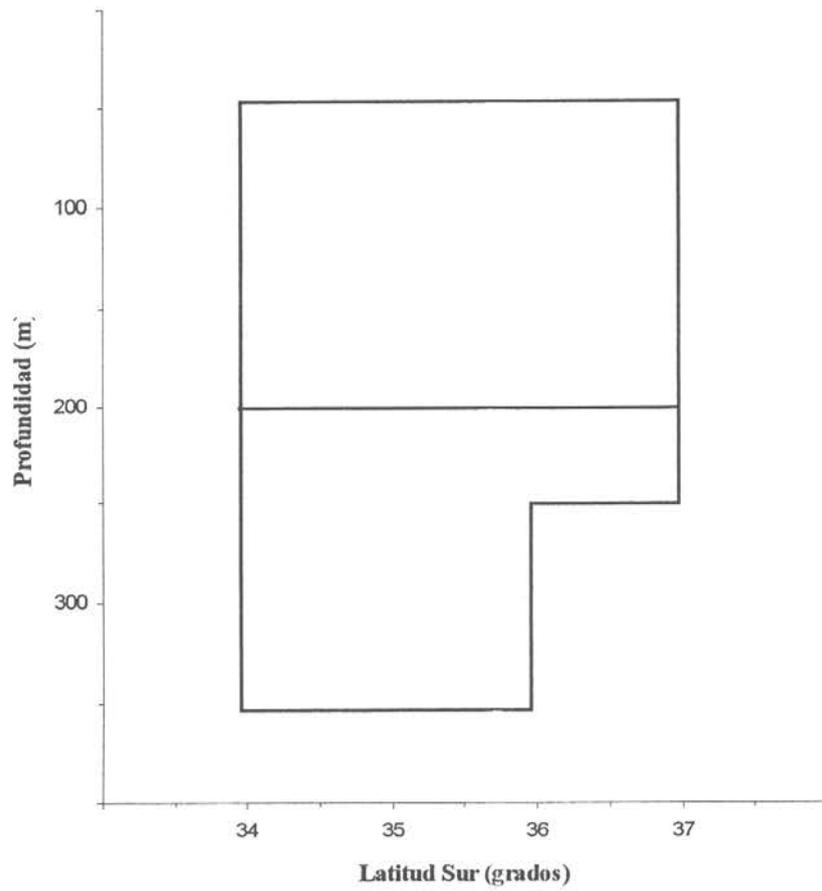
Taxa	(%)	( <i>n</i> )
<i>Pleuroncodes monodon</i>	85,1	61
<i>Merluccius gayi</i>	6,7	100
<i>Hippoglossina macrops</i>	2,1	85
<i>Genypterus spp.</i>	0,5	40
Pejerratas-Macrouridae	0,6	15
<i>Libidoctaea granaria</i>	0,4	8
Rayas	0,4	25
<i>Heterocarpus reedi</i>	3,0	16
<i>Cervimunida johni</i>	0,9	6
Tiburones	0,02	3

### 3.5.2. Análisis comunitario: Agrupaciones entre celdas latitud-profundidad

Desde 120 comparaciones con el índice de similitud de Bray-Curtis (B.C.), entre pares de celdas latitud-profundidad (A1, ..., A6, B1, ..., B6, C1, ..., C4; total de celdas: 16), que sintetiza la información de 128 lances de pesca con presencia de al menos 1 taxon (Fig. 18), se ha calculado que B.C.prom.=0,346. El intervalo de confianza es entre 0,29 y 0,40. El arreglo comunitario latitud-profundidad destaca dos grandes grupos, sobre y bajo los 200 m de profundidad (Fig. 19), independientemente de la latitud. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre la similitud dentro de y entre las celdas-latitud profundidad. Como conclusión, la megafauna asociada a la pesquería de langostino se segrega básicamente por profundidad en el quiebre entre la plataforma y talud continental



**Fig. 18.** Clasificación de las celdas latitud-profundidad basadas en datos de captura estándar ( $\text{kg nm}^{-1}$ ) de taxa en pescas de langostino colorado. Para nomenclatura ver texto.



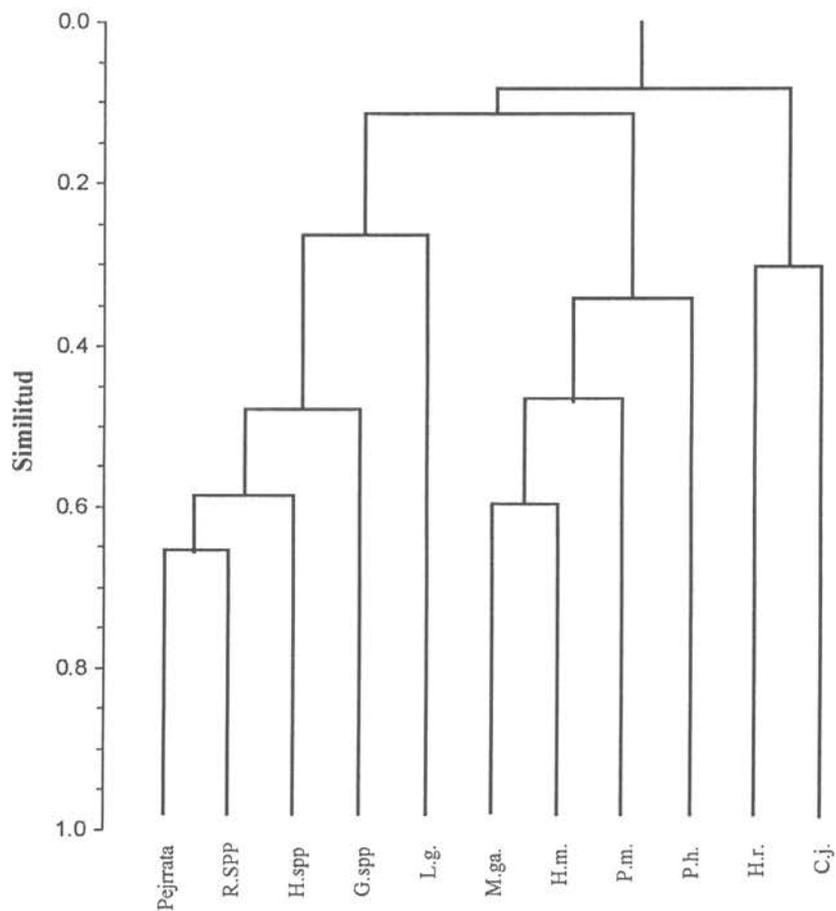
**Fig. 19.** Esquema generalizado de las agrupaciones latitud-profundidad de la fauna acompañante en la pesca de langostino colorado.

### 3.5.3. Análisis comunitario: Agrupaciones entre taxa

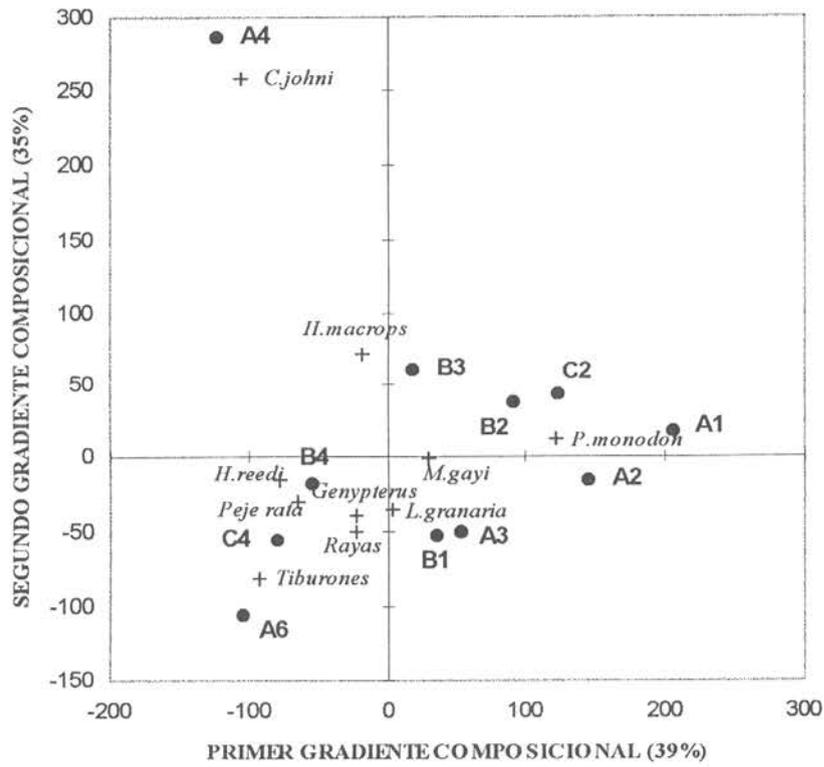
Desde 55 comparaciones con B.C., entre pares de taxa retenidos en el análisis (Tablas 10 y 11), se ha calculado que  $B.C.prom.=0,207$ . El intervalo de confianza es entre 0,15 y 0,26. El arreglo comunitario entre taxa revela 3 grupos (Fig. 20). Un grupo de la megafauna lo constituyen las especies de pejerrata, rayas, tiburones pequeños de profundidad, congrios del género *Genypterus* y la jaiba araña *Libidoclaea granaria*. Otro grupo está conformado por los recursos pesqueros merluza común *Merluccius gayi* y langostino colorado, además del lenguado de ojos grandes *Hippoglossina macrops* y la cabrilla *Paralabrax humeralis*. El tercer grupo de taxa lo constituyen exclusivamente los recursos pesqueros camarón nailon *Heterocarpus reedi* y langostino amarillo *Cervimunida johni*.

### 3.5.4. Representación simultánea de celdas latitud-profundidad y taxa (Análisis Factorial de Correspondencias, AFCO)

Aunque con el AFCO probablemente se colapsa mucha información, su aplicación a los datos de frecuencia de cada taxon en los lances efectuados en cada celda latitud-profundidad, sin considerar entonces sus capturas, permitió confirmar que, efectivamente, las celdas se separan más en profundidad que latitudinalmente (Fig. 21). En efecto, una representación de los dos primeros gradientes composicionales (73,3% de la varianza total) muestra que todas las celdas sobre los 200 m de profundidad se ubican a la derecha del primer gradiente (A1 a C2), y que aquellas más profundas se representan a la izquierda. Además, se confirma la proximidad entre langostino colorado y *M. gayi*. Los taxa que aparecen a mayor profundidad se ubican principalmente en el cuarto cuadrante. La asociación *C. johni-H. reedi* se segrega en el segundo gradiente. Los valores propios de los primeros cuatro gradientes composicionales son 0,368; 0,33; 0,082; y 0,077; por lo que la varianza acumulada es de 38,6; 73,3; 81,9; y 90%.



**Fig. 20.** Clasificación de los taxa basada en datos de captura estándar ( $\text{kg nm}^{-2}$ ) en pescas de langostino colorado. Para nomenclatura, ver texto.



**Fig. 21.** Correspondencia entre celdas latitud-profundidad y los taxa presentes. Para nomenclatura, ver texto.

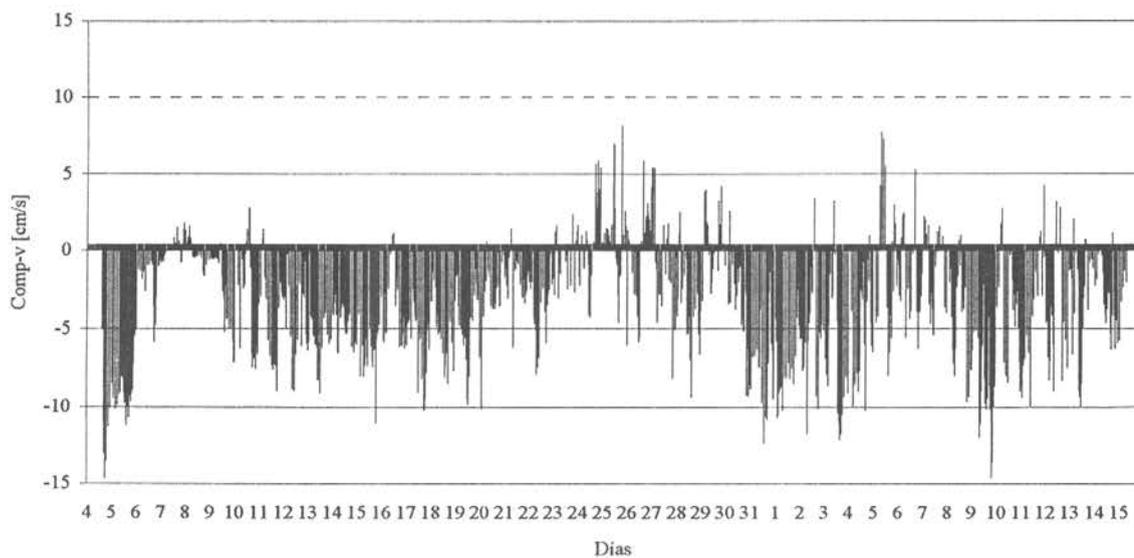
### **3.6. Objetivo Específico 5. Relacionar las condiciones oceanográficas asociadas con la distribución y abundancia del langostino colorado por estrato de profundidad en la zona centro-sur.**

#### **3.6.1. Corrientes en la zona de estudio**

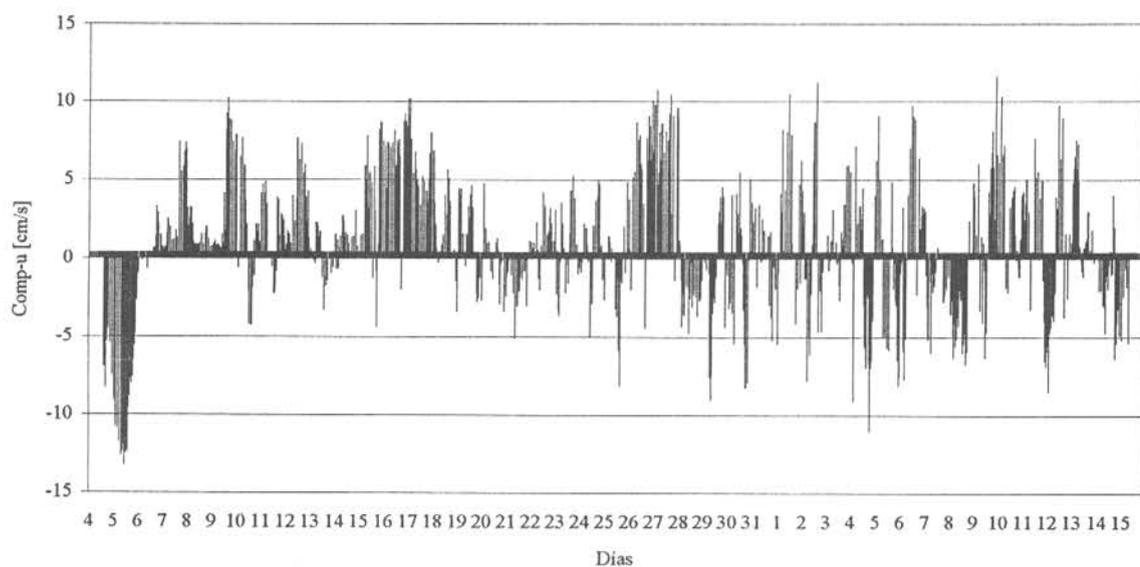
La Fig. 22 muestra la componente norte-sur (*i.e.* aproximadamente paralela a la costa) de las corrientes cercanas al fondo marino. Las corrientes con dirección norte aparecen con valores positivos y, como puede observarse, el flujo de agua paralelo a la costa corre hacia el sur durante la mayor parte del período de estudio, con breves episodios de corrientes de dirección norte. La velocidad de las corrientes alcanzó valores de hasta  $10 \text{ cm s}^{-1}$  (Tabla 12).

La Fig. 23 muestra las corrientes perpendiculares a la costa, observándose que en general la corriente fluye hacia la costa, con velocidades de hasta  $10 \text{ cm s}^{-1}$  (Tabla 12) Si bien en todo el período de muestreo la corriente tiende a fluir hacia la costa, este efecto es más persistente durante la primera quincena de mediciones, es decir, durante las segunda, tercera y cuarta semanas de diciembre.

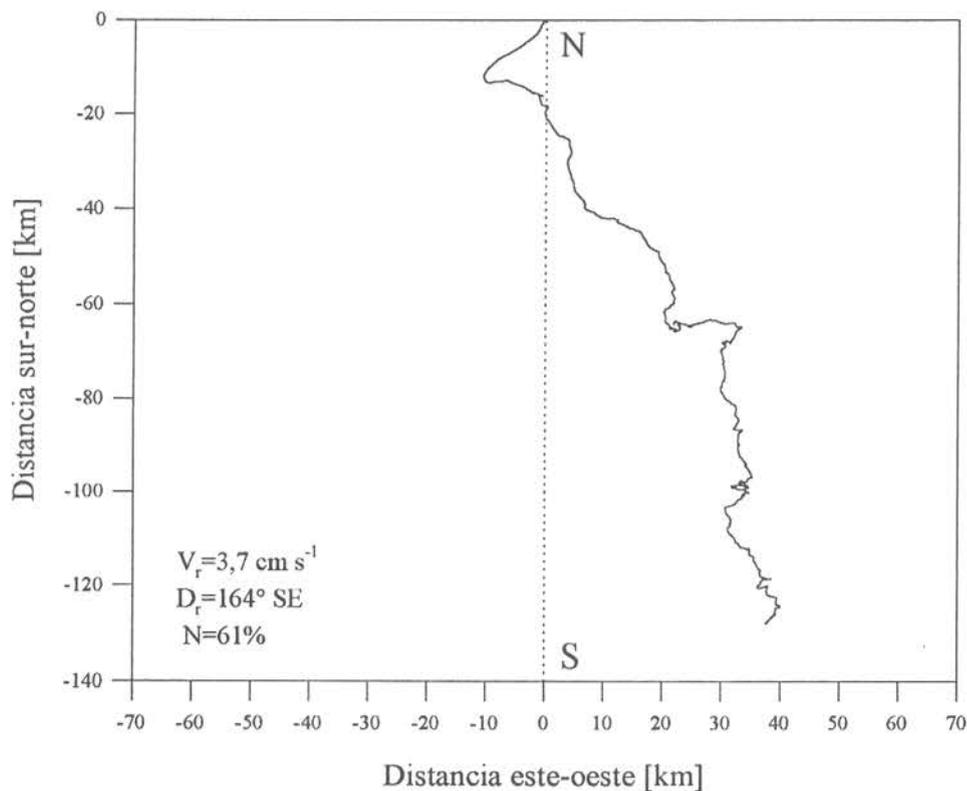
La existencia de una dirección preferencial de las corrientes del fondo, hacia el sureste, se observa también claramente en el Diagrama de Vector Progresivo de las corrientes (DVP). Este muestra que la dirección neta del flujo durante las seis semanas de mediciones fue  $164^\circ$  (Fig. 24), es decir, hacia el sureste, con una rapidez promedio de  $3,7 \text{ cm s}^{-1}$ , y una constancia, medida mediante el parámetro de Newman, del 61%.



**Fig. 22.** Componente norte-sur de la corriente en el fondo entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997.



**Fig. 23.** Componente este-oeste de la corriente en el fondo entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997.



**Fig. 24.** Diagrama de vector progresivo de las corrientes frente a Punta Nurgurne entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997.

**Tabla 12.** Resumen de estadísticos de las dos componentes de la velocidad y de la temperatura para las 2064 observaciones realizadas durante el periodo de muestreo.

	Temperatura [°C]	Rapidez [cm s <sup>-1</sup> ]	Dirección [grados]	V (este-oeste) [cm s <sup>-1</sup> ]	V (norte-sur) [cm s <sup>-1</sup> ]
Media	10,6	6,3	168,1	1,0	-3,5
Varianza	0,0	11,6	-	21,4	16,7
Mínimo	10,1	0,2	-	-13,6	-15,2
Máximo	11,1	17,2	-	14,6	10,6
Rango	1,0	17,0	360	28,2	25,7

### **3.6.2. Registro de mareas**

La Fig. 25 muestra el registro de tres meses (octubre a diciembre de 1996) de alturas horarias de nivel del mar obtenido en el mareógrafo del Puerto de Talcahuano.

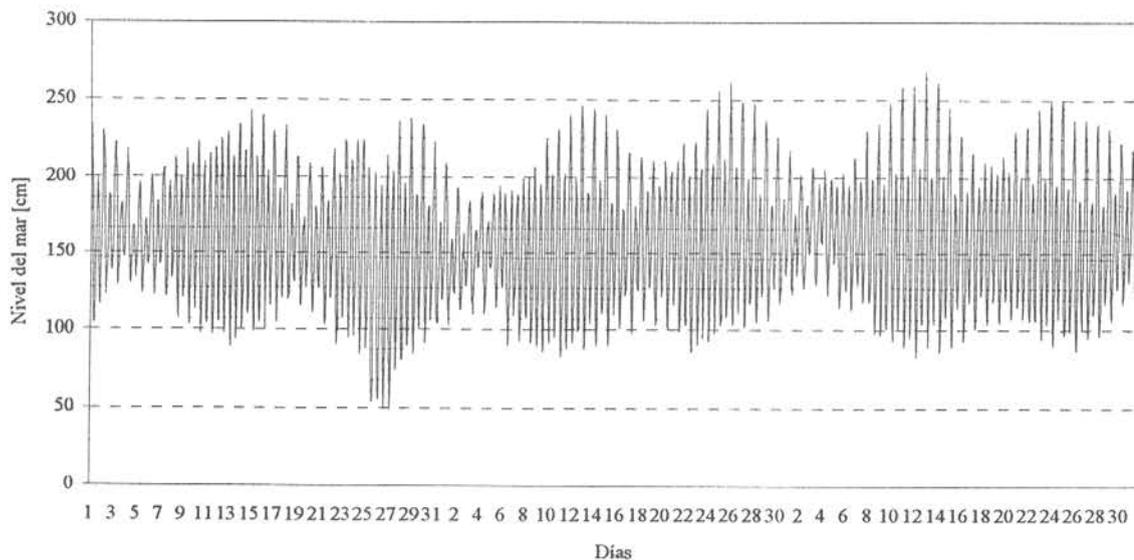
El registro está caracterizado por la presencia de mareas mixtas (diurnas y semidiurnas) y desigualdades quincenales (mareas de cuadratura y sicigia). La influencia de estas desigualdades quincenales sobre la dinámica de las aguas costeras no es muy relevante según la Fig. 22, en la que se muestra la componente de la corriente a lo largo de la costa. Así, la corriente no presenta aumentos en su intensidad durante las mareas de sicigia en el período de muestreo (11 al 13 y 23 al 25 de diciembre) y, de este modo, es probable que sea la influencia del viento local o la circulación oceánica adjunta la que está determinando el persistente flujo costero hacia el sur observado frente a Punta Nugurne.

### **3.6.3. Temperatura medida con el correntómetro**

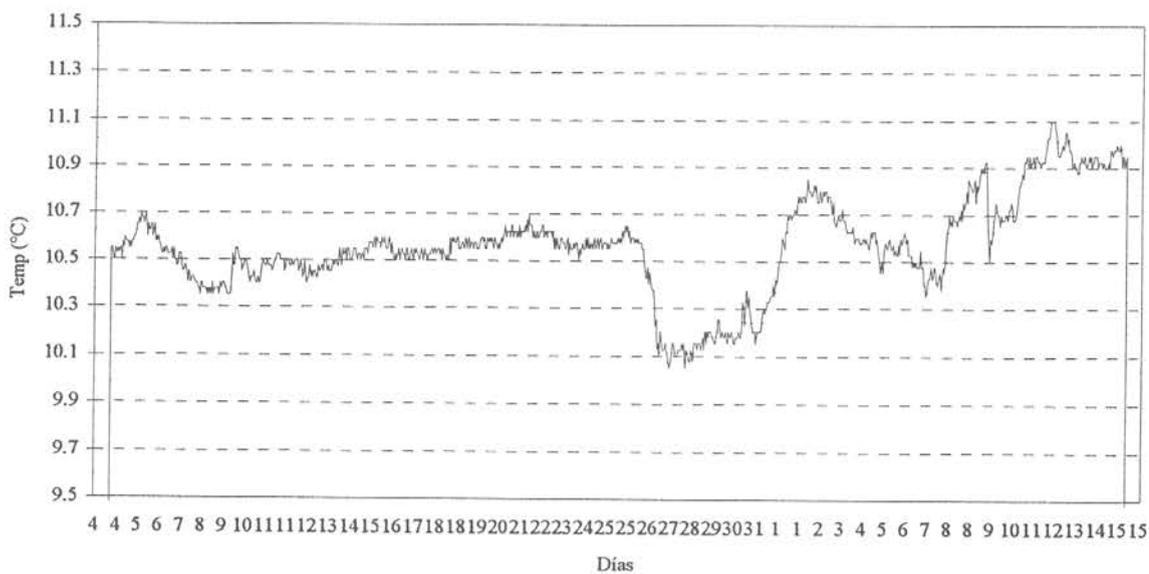
La Fig. 26 muestra el registro de temperaturas obtenido a 3 metros del fondo en la posición del fondeo del correntómetro: luego de un período de temperatura relativamente constante (10,5°C durante las 3 primeras semanas), se presentaron oscilaciones de la temperatura entre 10 y 11°C durante las dos semanas restantes.

### **3.6.4. Muestreo Hidrográfico**

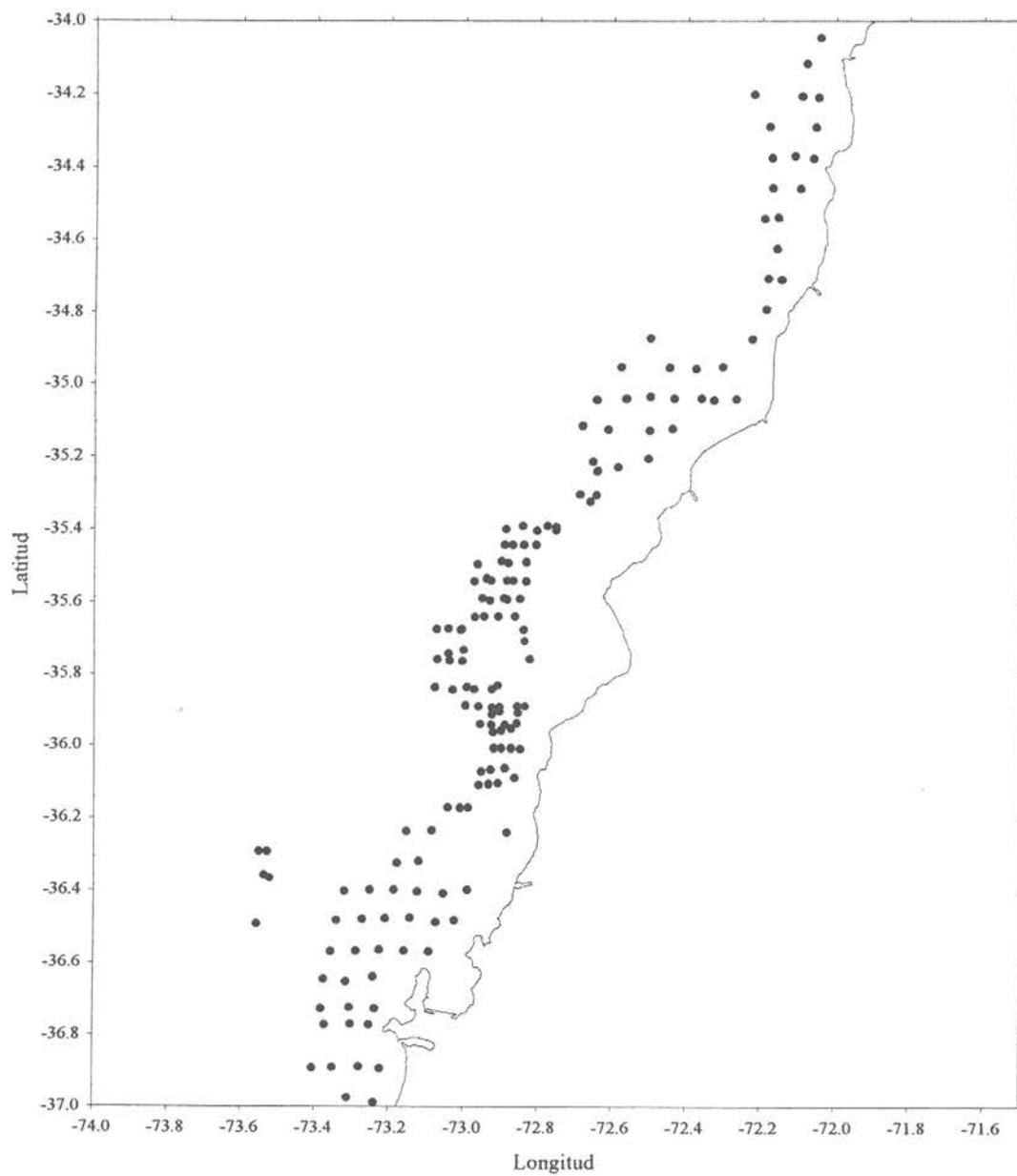
A fin de caracterizar hidrográficamente el área de distribución del langostino colorado, se obtuvo 162 muestras de agua distribuidas en toda el área de prospección (Fig. 27) para determinaciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto. A continuación se muestra la distribución de las variables oceanográficas cerca del fondo, a partir de la información colectada de las botellas.



**Fig. 25.** Alturas horarias de marea en Talcahuano para el período Octubre-Diciembre de 1996.



**Fig. 26.** Temperaturas medias determinadas por el correntómetro anclado entre el 4 de Diciembre de 1996 y el 15 de Enero de 1997.



**Fig. 27.** Distribución espacial de las estaciones en que se tomó muestras de botella para análisis de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el agua de fondo.

La Fig. 28 muestra la distribución de temperaturas cerca del fondo marino. Aparte del efecto latitudinal, en que las temperaturas tienden a disminuir hacia el sur, se observa una distribución relativamente irregular, principalmente debido a que las muestras fueron tomadas cerca del fondo, y, por lo tanto, a diferentes profundidades; esto implica encontrar agua a diferentes temperaturas. Como se observa, la temperatura del agua del fondo es por lo general más alta mientras más cerca se esté de la costa, por el mismo efecto batimétrico mencionado recién. Esto confirma y justifica la relación que se observó con los datos de correntómetro, entre un aumento de la temperatura cuando hay corrientes en el fondo desde la costa hacia mar afuera, y una disminución de ella cuando las corrientes de fondo se dirigen hacia la costa, como puede ocurrir a estas profundidades cuando la surgencia está activa. Así, el mero efecto batimétrico provee un gradiente este-oeste en la temperatura del agua de fondo.

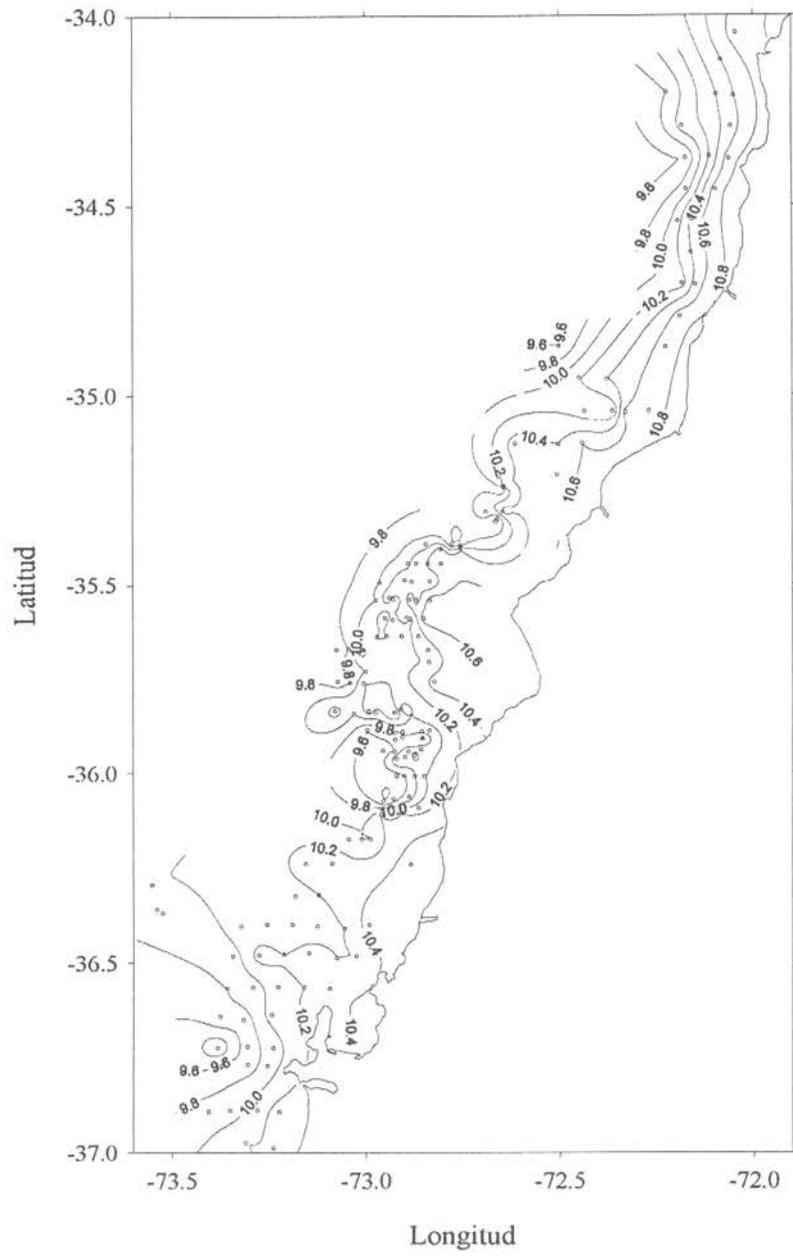
En la Fig. 29 se muestra la distribución de salinidad cerca del fondo. Las consideraciones sobre la influencia de la batimetría son semejantes a aquellas hechas para el caso de la temperatura, aunque en el caso de la salinidad este efecto no es tan notorio como para el caso de la temperatura. También se observa una disminución latitudinal de la salinidad hacia el sur. Esto podría ser causado por un posible debilitamiento por difusión y/o mezcla del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), con alto contenido de sal, por un efecto batimétrico, dado que la plataforma del Itata puede inhibir la presencia de AESS y privilegiar la entrada de Agua Subantártica (ASA), de bajo contenido de sal, o, finalmente, por entrada de agua dulce superficial en la parte sur de la zona de estudio.

La Fig. 30 muestra la distribución de oxígeno disuelto en el fondo. Los valores que se observa son típicos de AESS. Se observa una zona de máxima concentración de oxígeno disuelto, ubicada en la región central de la zona de estudio. No pareciera existir una explicación sencilla que aclare la causa de este máximo. Consideraciones batimétricas harían pensar mas bien en la existencia de un *mínimo* de oxígeno disuelto en esa zona. Por otra parte, convendría destacar la presencia de un frente de oxígeno disuelto, aproximadamente

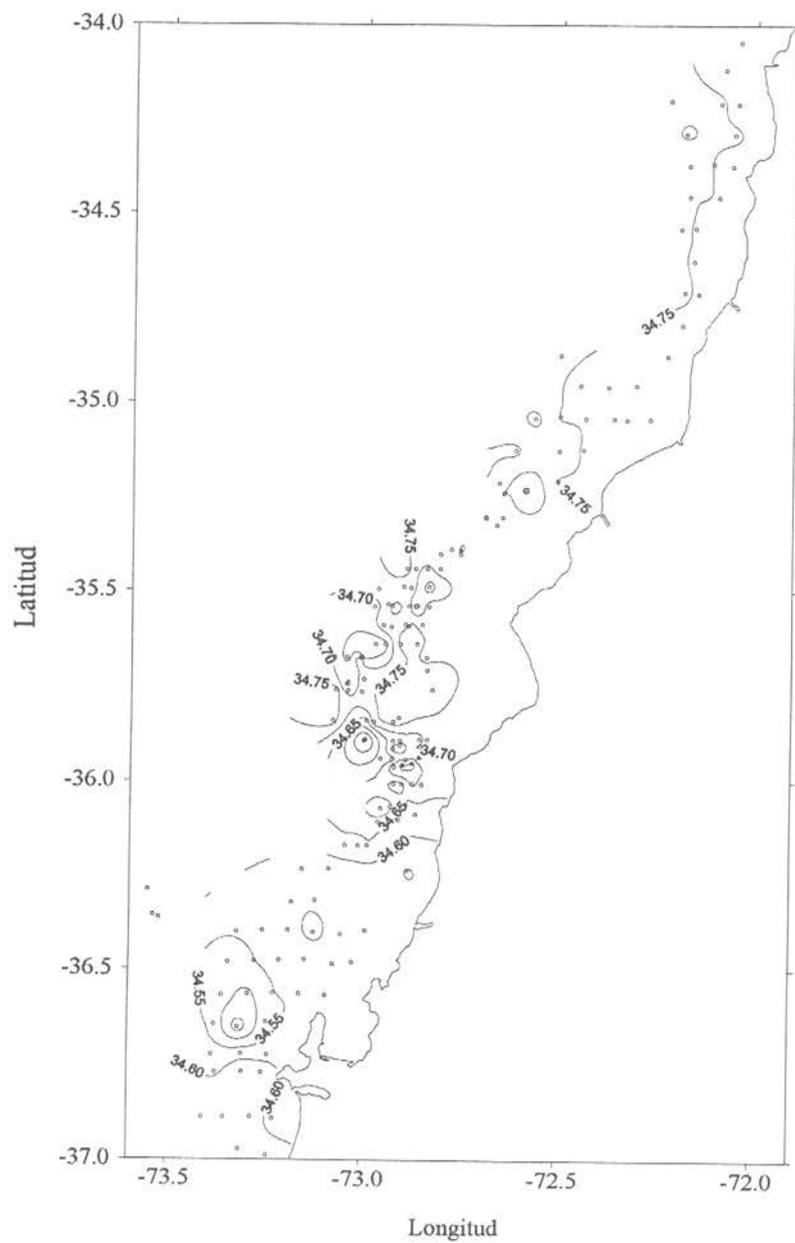
en la latitud 35,5°S. La presencia de este frente ha sido reconocida también en otros cruceros de investigación.

En general, la temperatura de las muestras de agua tomadas cerca del fondo marino en la zona de estudio varía entre unos 8,7 y 10,9 °C, si bien la mayor parte de ellas se concentra entre 9,5 y 10,9 °C. La salinidad de las muestras varía entre unos 34,5 y 34,8 psu, con sólo un par de excepciones. Por otra parte, el contenido de oxígeno disuelto de la mayor parte de ellas se encuentra entre unos 0,2 y 1,0 ml/l, con la sola excepción de 5 muestras, las que, en todo caso, tienen valores menores a 2 ml/l.

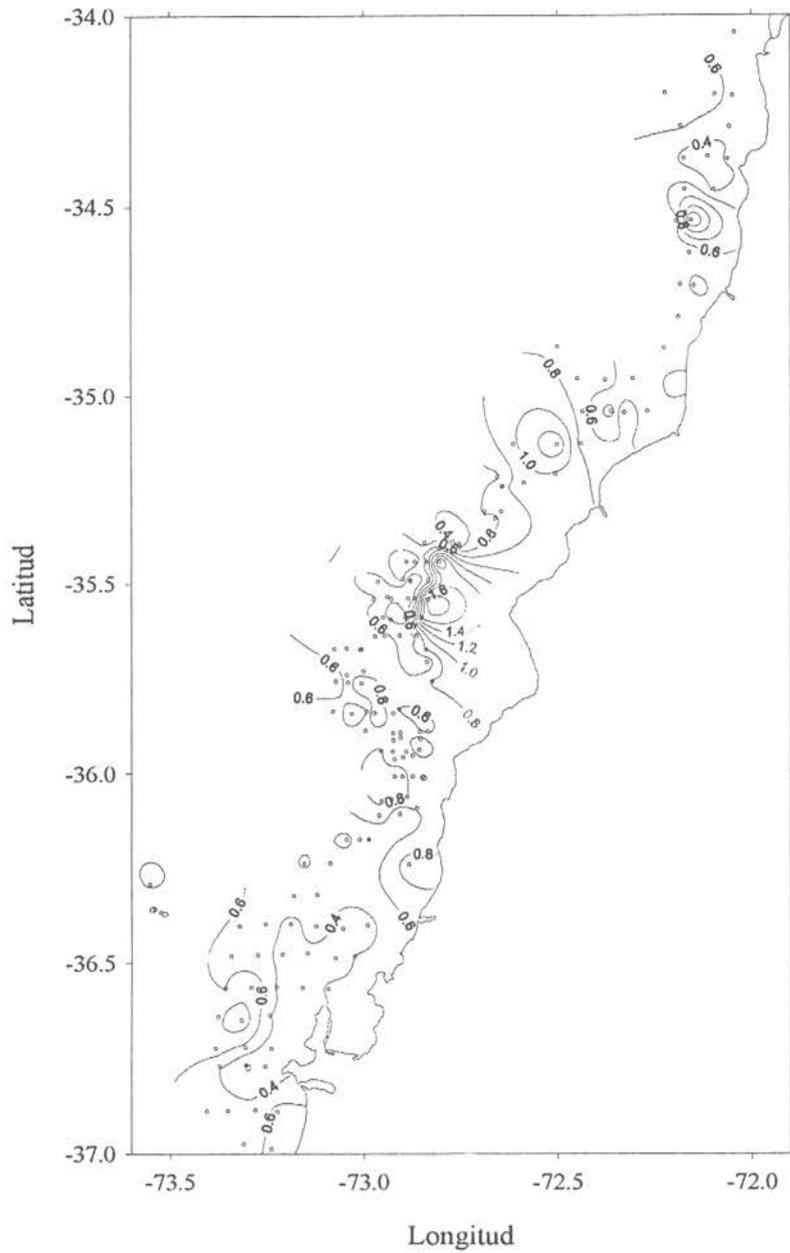
Los valores señalados son típicos de Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS), cuyas temperaturas, salinidades, y contenidos de oxígeno disuelto varían entre unos 8 a 12 °C, entre unos 34,4 y 34,9 psu, y entre 0,2 y 3 ml l<sup>-1</sup>, respectivamente (ver, por ejemplo, SHOA 1996).



**Fig. 28.** Distribución de la temperatura en el agua de fondo a lo largo del área de prospección.



**Fig. 29.** Distribución de la salinidad en el agua de fondo a lo largo del área de prospección.

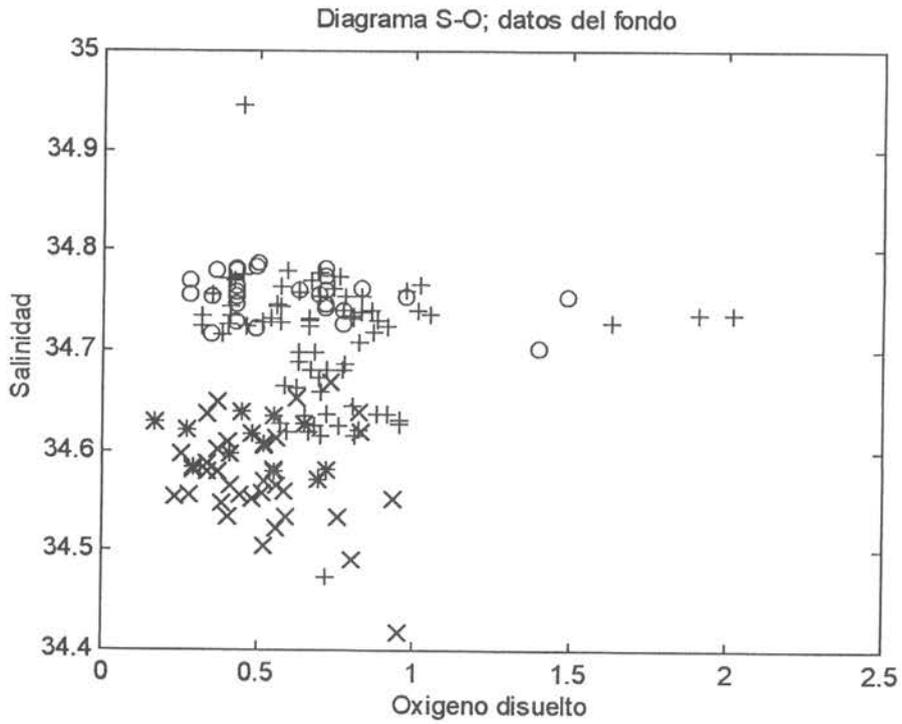


**Fig. 30.** Distribución del oxígeno disuelto en el agua de fondo a lo largo del área de prospección.

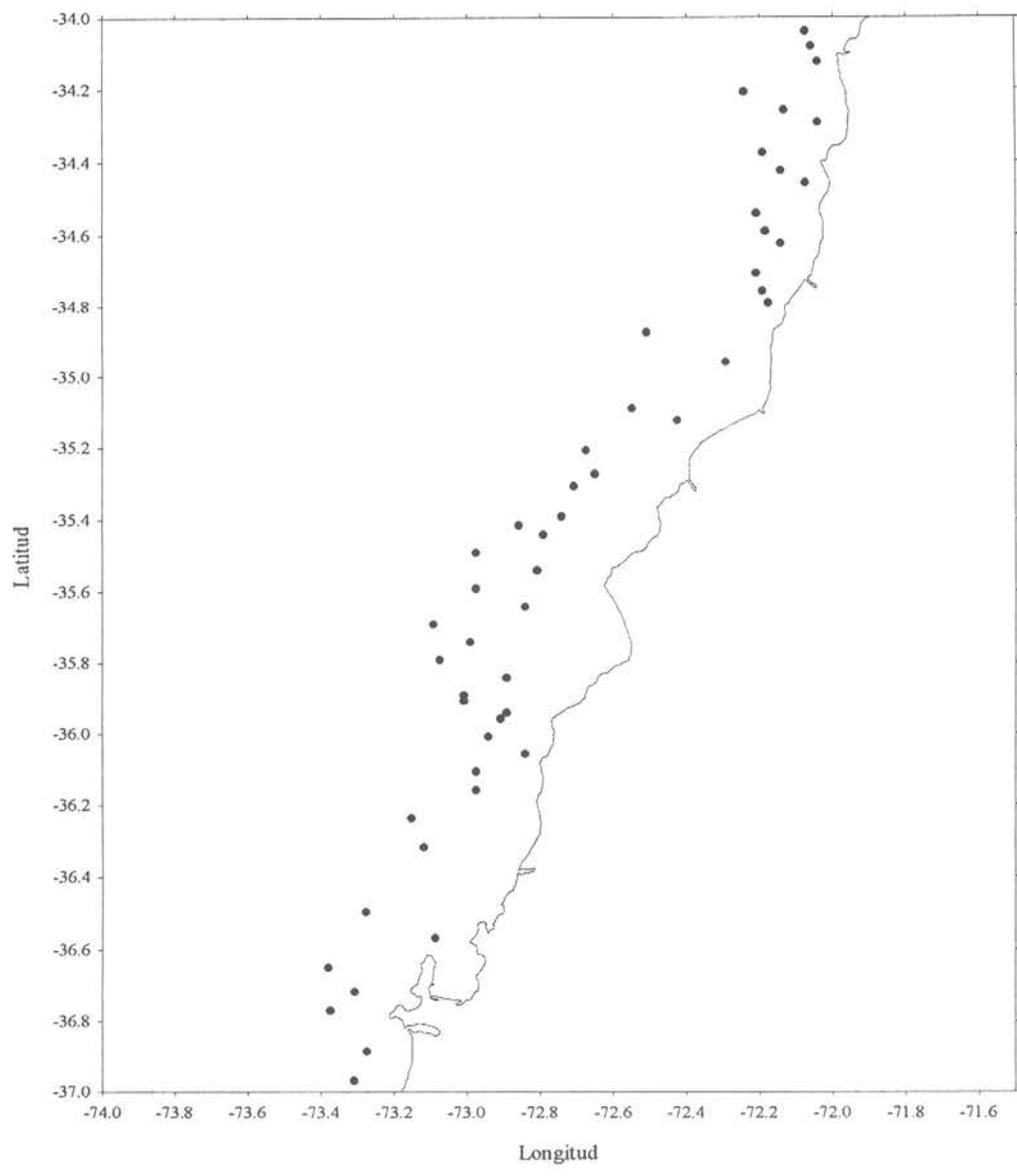
Un diagrama S-O<sub>2</sub> de las muestras de agua permite, sin embargo, observar cierta diferenciación en el agua del fondo marino en la zona de estudio. Si bien toda ella está conformada por AESS, la Fig. 31 muestra que aparecen dos grupos de agua con características bien definidas. Uno de los grupos está conformado por agua de salinidades entre 34,7 y 34,8 psu, formado por aguas que se encuentran entre 34° y 36° 5' S. El otro grupo lo constituye agua con salinidades entre unos 34,5 y 34,65 psu, formado especialmente por agua encontrada entre 35° 5' y 37° S. En la Fig. 26, los círculos, signos más, signos equis y asteriscos señalan agua proveniente de las regiones Norte, Central, Area de crianza y Golfo de Arauco, respectivamente. Así, las regiones Norte y Central conforman el primer grupo, y el Area de crianza y Golfo de Arauco, el segundo. En general, el análisis estadístico de los grupos muestra que las aguas de fondo del primer grupo (aguas del norte) tienden a ser más profundas, más templadas, más salinas, y a contener más oxígeno disuelto que aquellas de la zona sur. Sin embargo, se debe tomar estas aseveraciones con precaución. Las características mencionadas parecen contradictorias (sobre todo la relacionada al oxígeno disuelto), y pueden ser el resultado de promedios no significativos, lo que concuerda con las altas varianzas de los datos. En todo caso, sí queda establecido que hay dos tipos de agua AESS en la región de estudio, aunque haya dificultades en caracterizarlas hidrográficamente.

### **3.6.5. Mediciones con CTD**

A fin de caracterizar hidrográficamente la zona de estudio y de esta forma buscar relaciones entre ambiente y recurso, se realizaron 50 perfiles hidrográficos verticales utilizando un CTD. La Fig. 32 muestra la distribución horizontal de estos perfiles, dispuestos hacia los bordes de la distribución batimétrica del langostino colorado (ver Fig. 3). Estos datos fueron luego calibrados utilizando muestras de agua tomadas con botella, y validados mediante comparación con perfiles históricos.



**Fig. 31.** Diagrama S-O<sub>2</sub> de las muestras de agua de fondo tomadas con botella. Cículos: zona norte; cruces: zona central; equis: área de crianza; asteriscos: zona sur (Golfo de Arauco).



**Fig. 32.** Distribución espacial de los perfiles de CTD.

Las Fig. 33, 34, 35, 36 y 37 muestran las distribuciones horizontales de temperatura y salinidad a 2, 25, 50, 100 y 150 m, respectivamente. No hay datos suficientes para presentar distribuciones a profundidades mayores, debido a que las aguas en la zona de estudio son relativamente someras.

Las distribuciones horizontales de temperatura y salinidad guardan algunas semejanzas con aquellas obtenidas cerca del fondo mediante botellas, pero también aparecen interesantes diferencias. La dependencia latitudinal de la temperatura, por ejemplo, es distinta en la superficie, observándose un mínimo de temperatura superficial a los  $35^{\circ}$ - $35^{\circ}30'S$ . Este mínimo es típico de Diciembre-Enero. A esa misma latitud se observa un máximo en la salinidad superficial, con bastante contraste con el mínimo superficial que, debido a entrada de agua dulce, existe frente a Concepción. Este patrón de distribución se repite hasta *ca.* 150 m de profundidad.

La Fig. 38 muestra los perfiles verticales de temperatura correspondientes a las 50 estaciones realizadas con CTD. Los perfiles han sido separados en las 4 regiones hidrográficas anteriormente detalladas. Se observa que esta división, realizada en base a la variación espacial de la densidad y estructura de tallas de la población de langostino colorado, confirma la existencia de distintas “regiones” en la zona de estudio. En el caso de las distribuciones verticales de salinidad este hecho es aun más notorio. La Fig. 34 muestra que existe una clara distinción entre las aguas al norte y al sur de  $36^{\circ}5'S$  (estrictamente, el límite debiera estar algo más al sur, por lo menos a  $36^{\circ}7'S$ ; nótese que un perfil del área de crianza corresponde al tipo de los del área Central). Conviene también hacer notar que la diferente estructura hidrográfica detectada en las regiones norte y sur del área de estudio se reflejan también en la forma de las distribuciones verticales de salinidad en la Fig. 39. Incluso la “calidad” de los perfiles es diferente en cada zona, lo que también tiene implicancias para los parámetros derivados, como por ejemplo la estabilidad de la columna de agua.

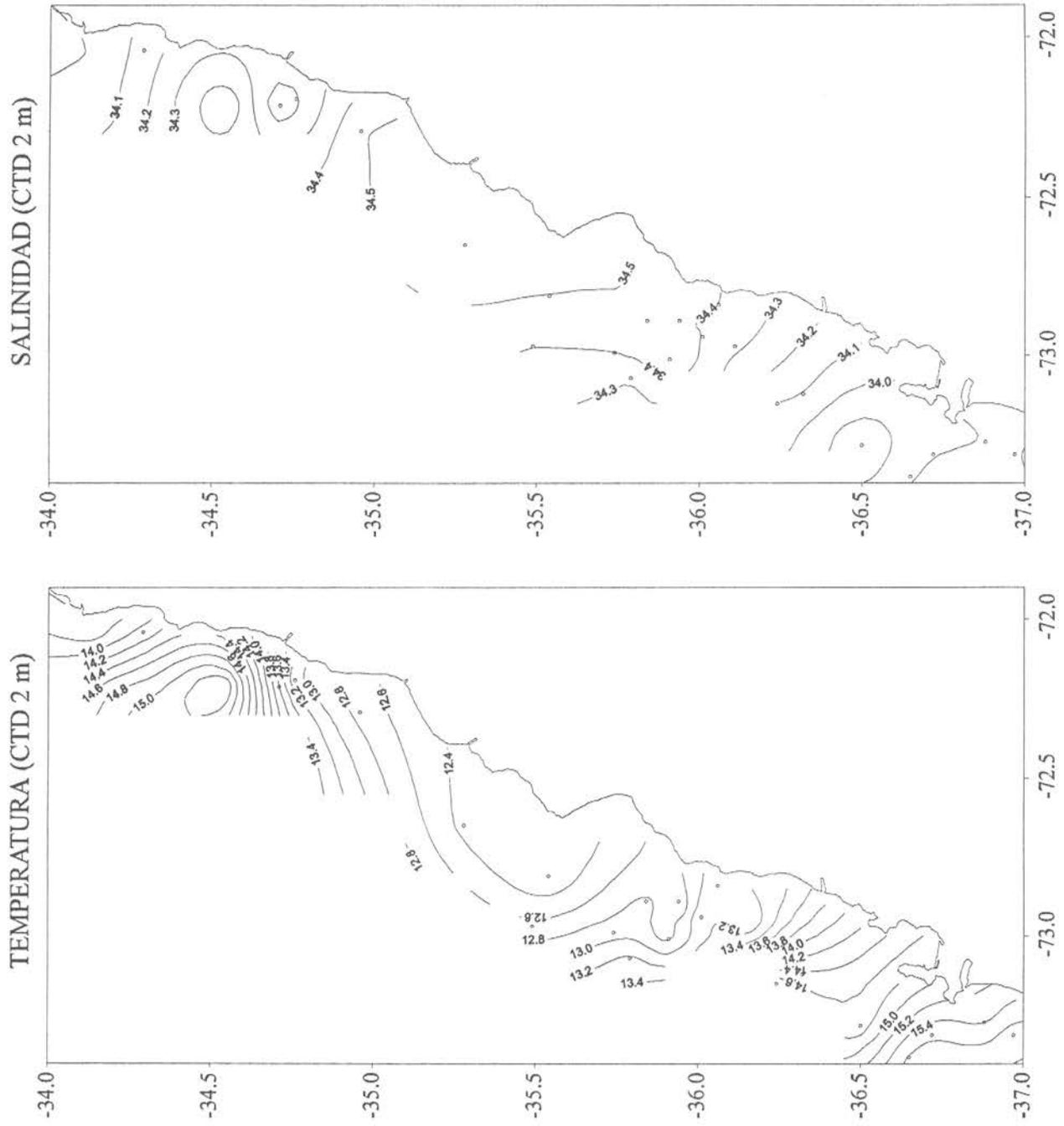


Fig. 33. Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 2 m de profundidad.

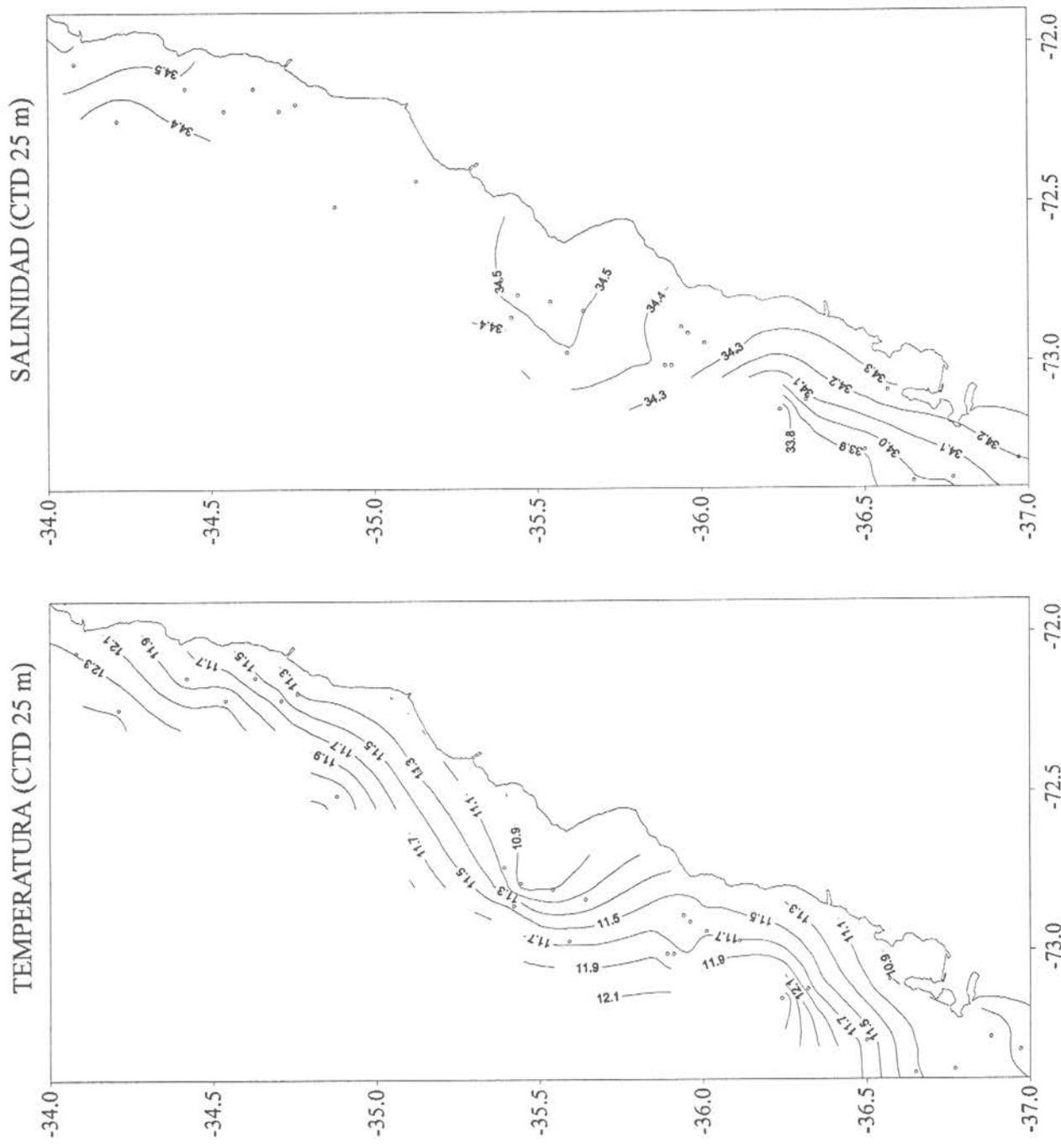
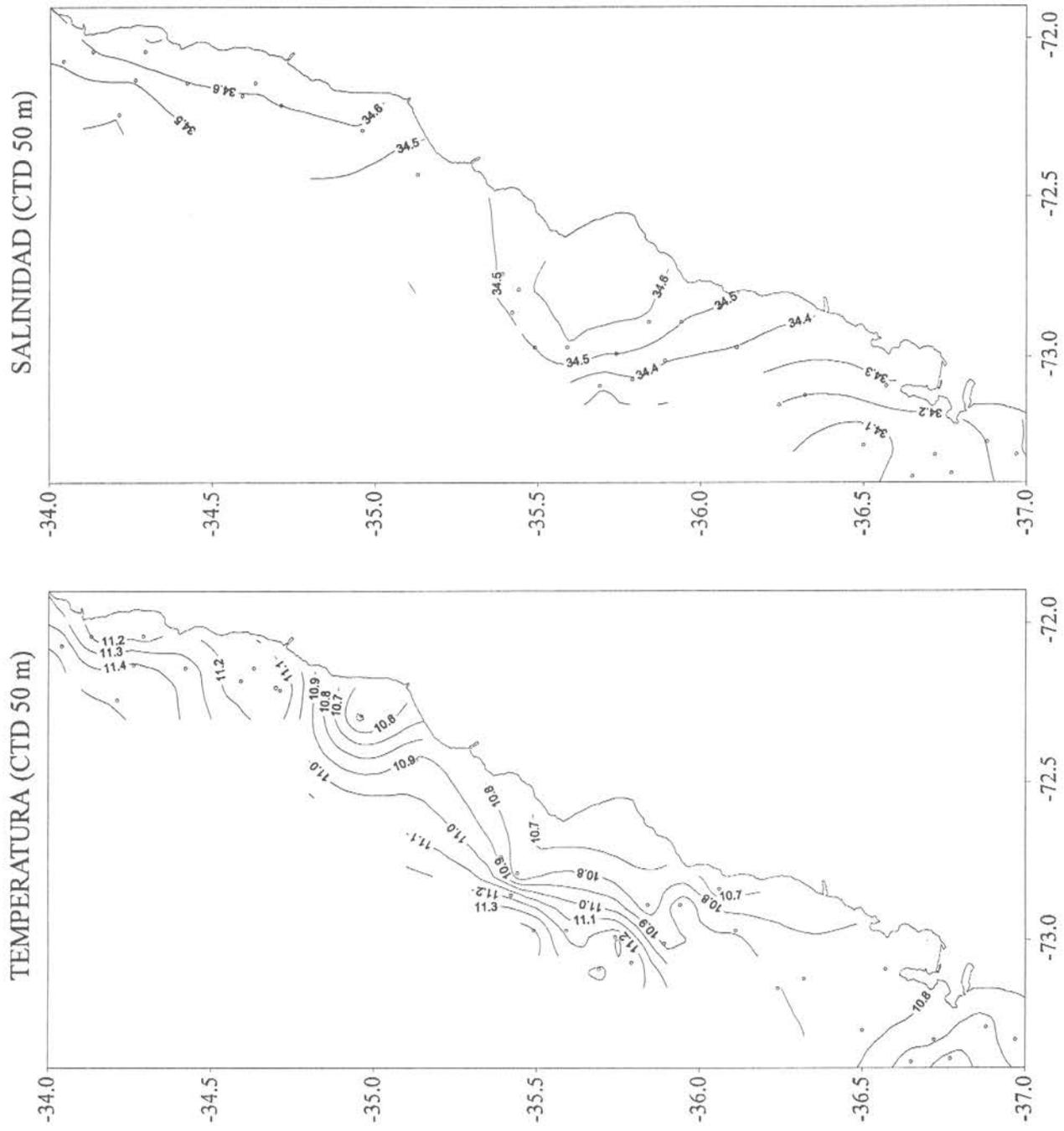


Fig. 34. Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 25 m de profundidad.



**Fig. 35.** Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 50 m de profundidad.

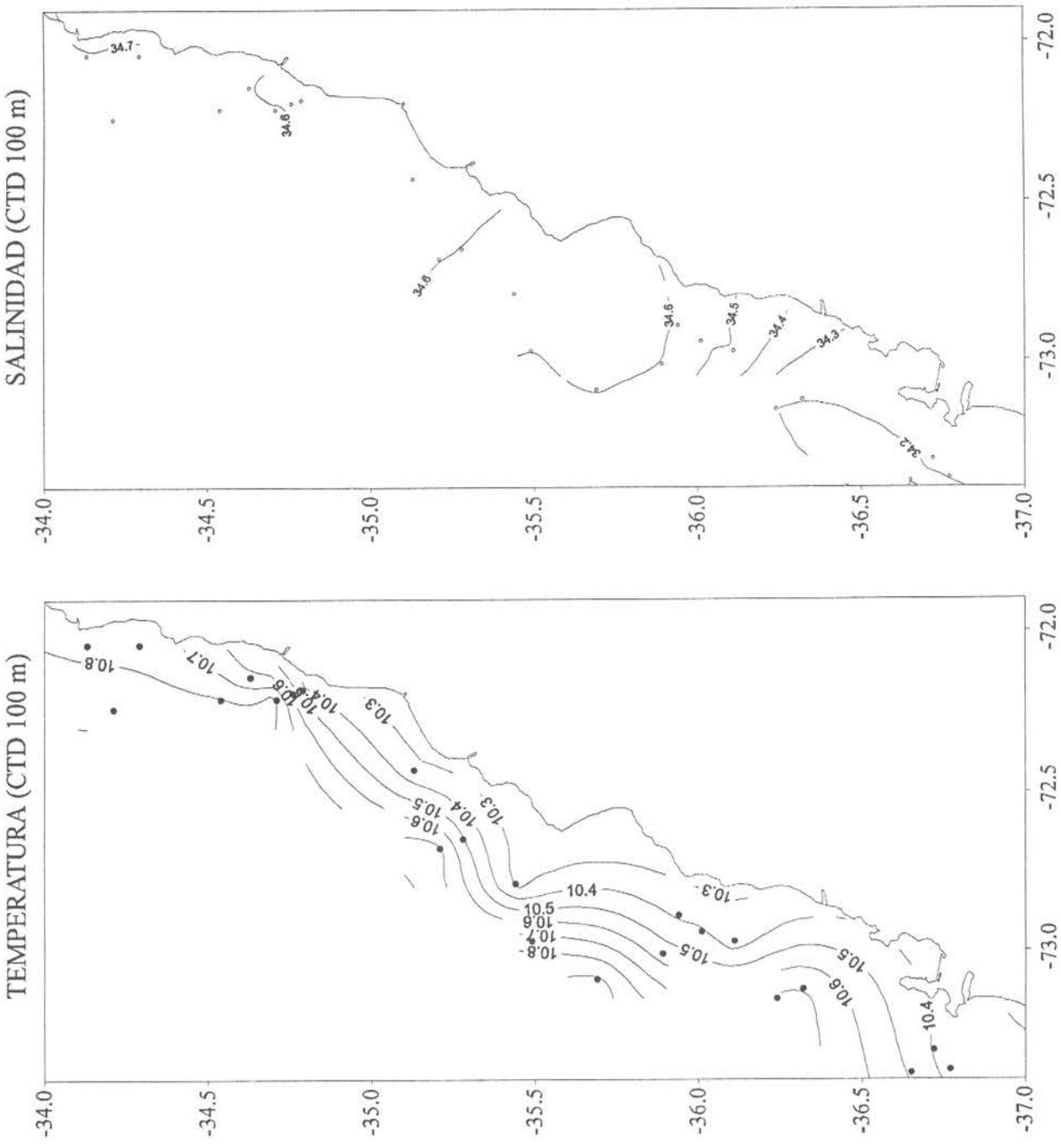


Fig. 36. Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 100 m de profundidad.

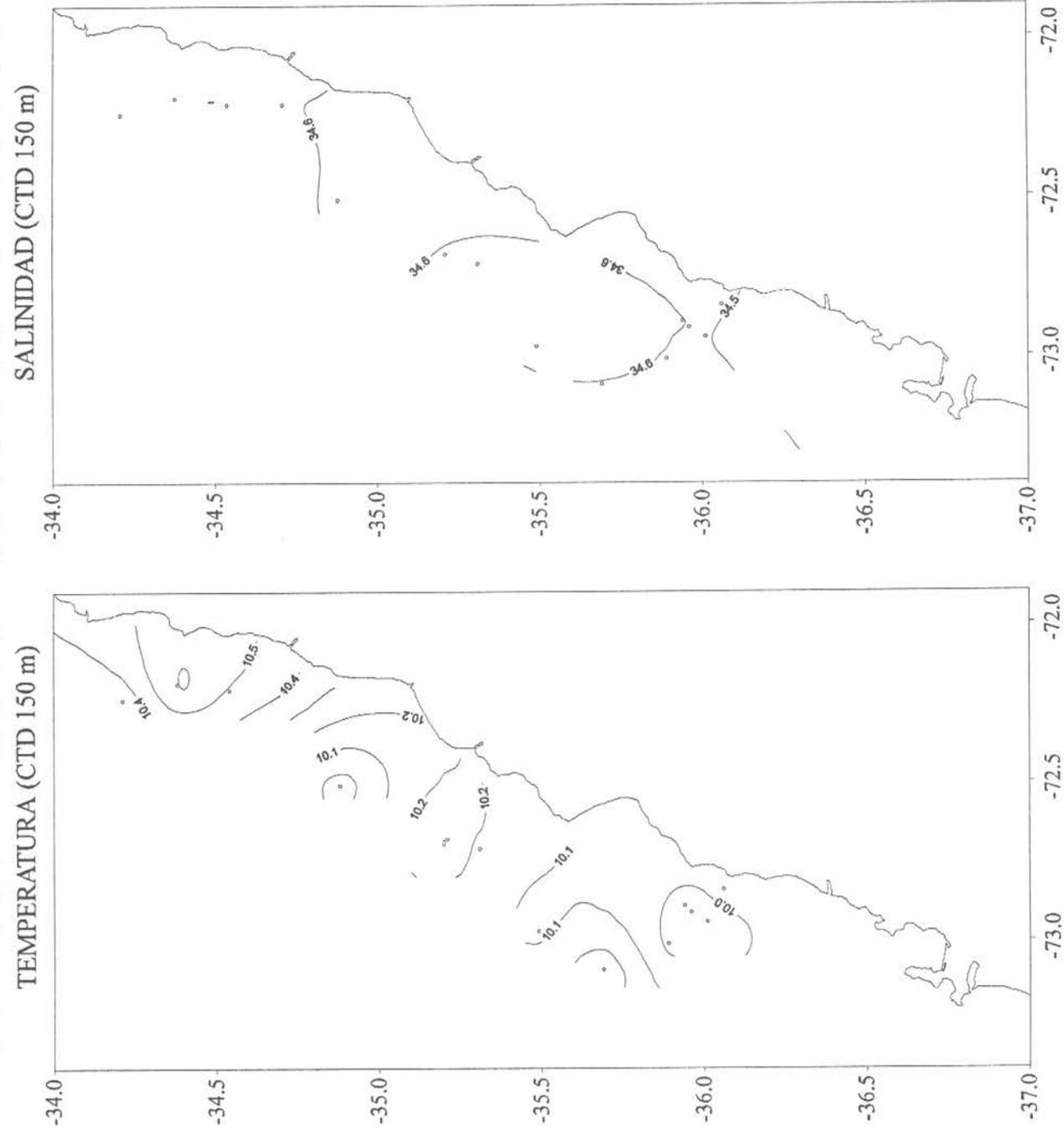
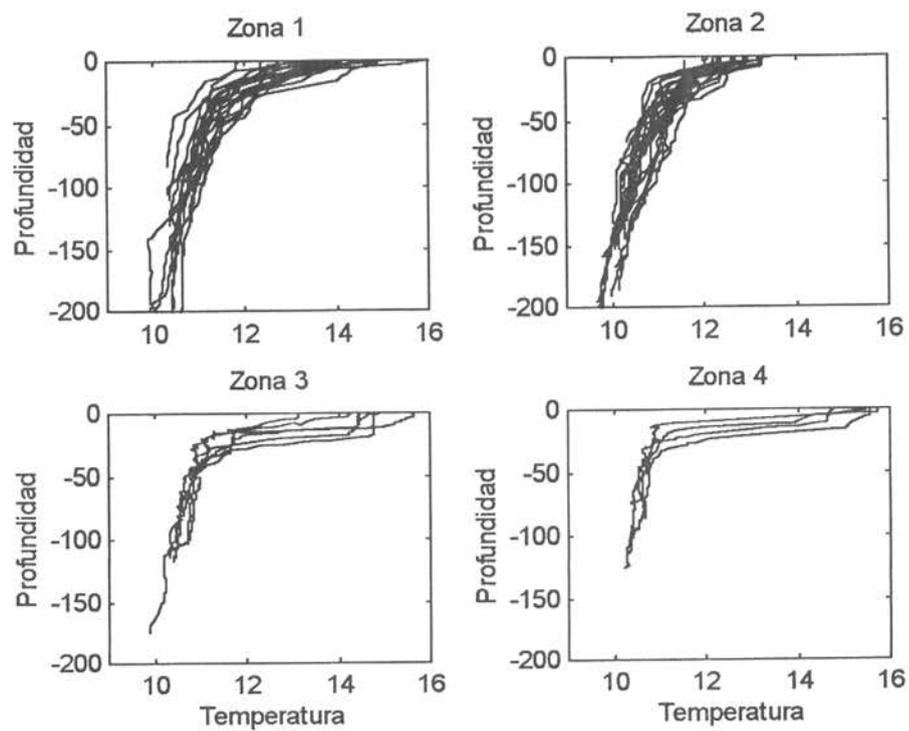
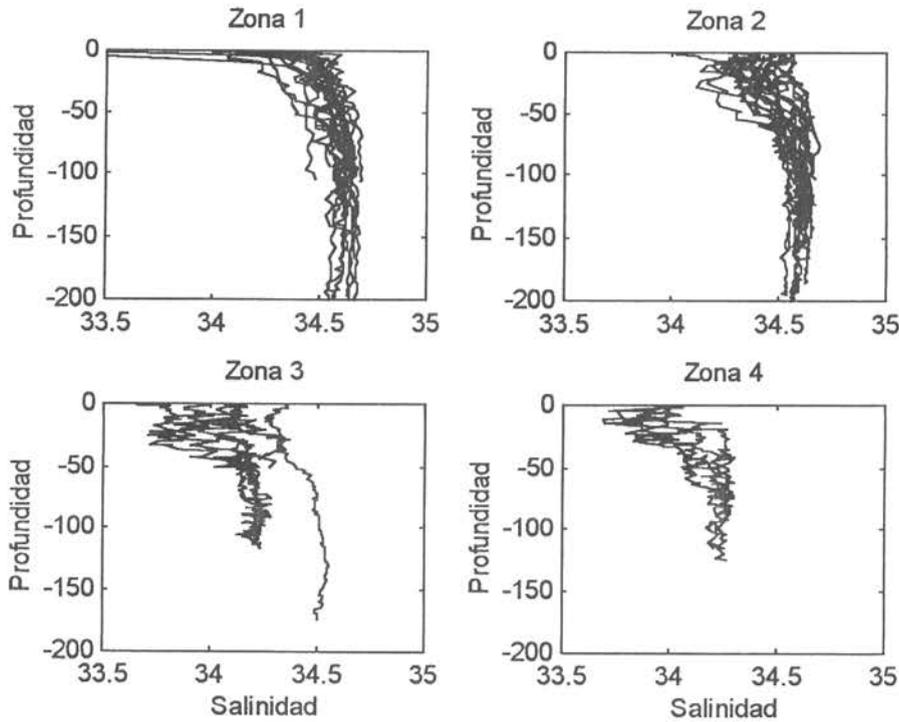


Fig. 37. Distribución horizontal de temperatura y salinidad a 150 m de profundidad.

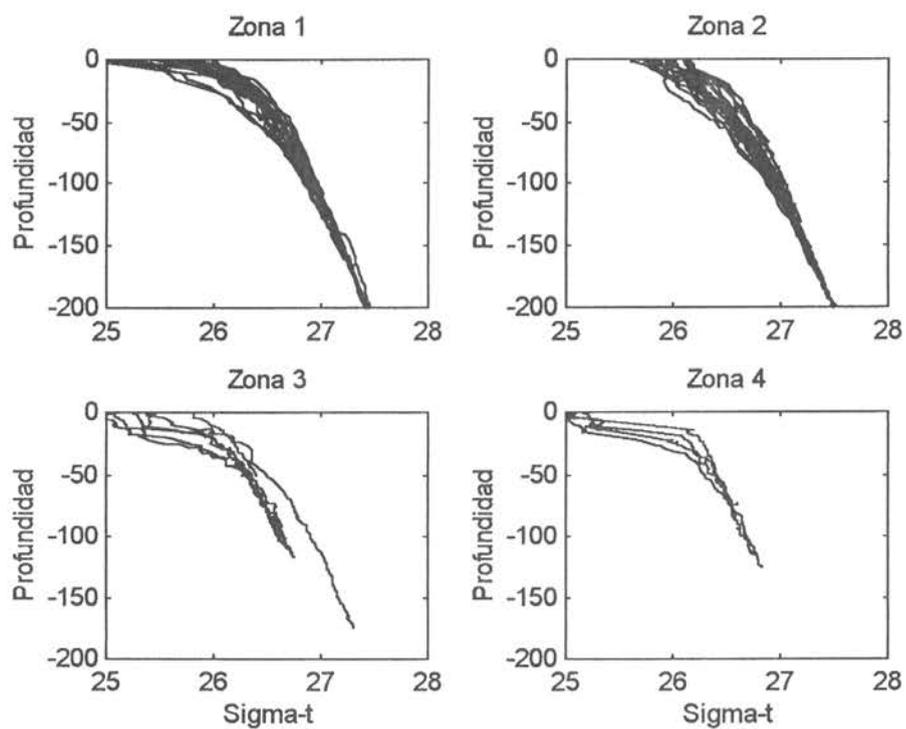


**Fig. 38.** Distribución vertical de temperatura por zonas. Zona 1 : área Norte; zona 2 : área central; zona 3 : área de crianza; zona 4 : Golfo de Arauco.

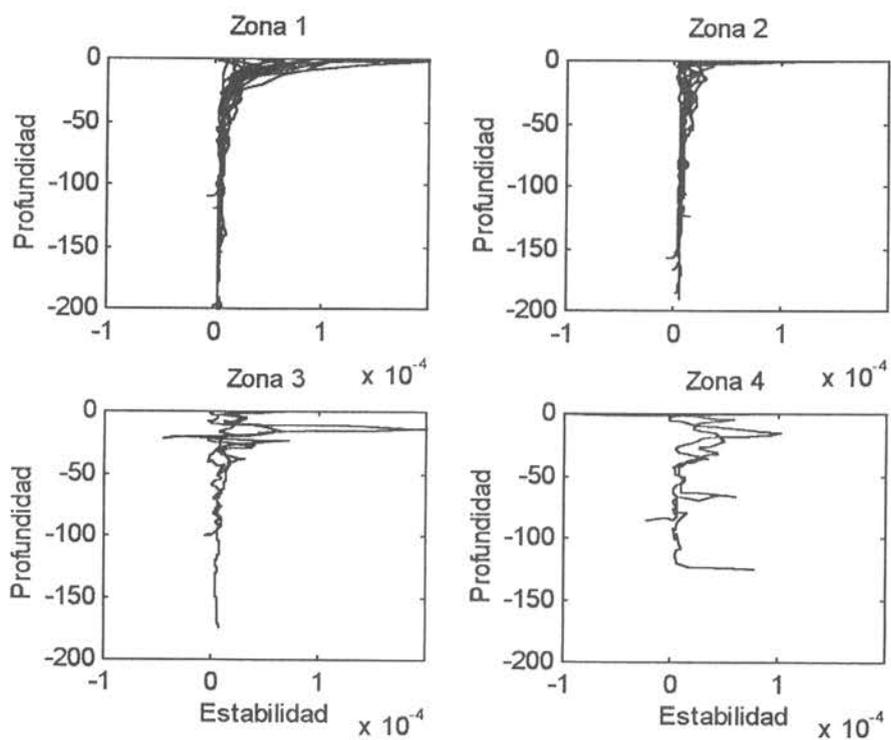


**Fig. 39.** Distribución vertical de salinidad por zonas. Zona 1 : área Norte; zona 2 : área central; zona 3 : área de crianza; zona 4 : Golfo de Arauco.

En las Fig. 40 y 41 se muestra las distribuciones verticales de la densidad ( $\sigma_t$ ) y de la estabilidad vertical de la columna de agua. El efecto de la diferente estructura hidrográfica de las distintas zonas se muestra particularmente en la distribución vertical de la estabilidad del agua. Como se observa, el agua del área norte es particularmente estable, alcanzando en toda la columna de agua valores relativamente altos de estabilidad. Esta propiedad es compartida en menor grado por el agua del área central, pero prácticamente no aparece en las aguas del área de crianza y Golfo de Arauco, donde ni siquiera aparecen “perfiles” de estabilidad en un sentido tradicional.



**Fig. 40.** Distribución vertical de sigma-t por zonas. Zona 1 : área Norte; zona 2 : área central; zona 3 : área de crianza; zona 4 : Golfo de Arauco.



**Fig. 41.** Estabilidad de la columna de agua por zonas. Zona 1 : área Norte; zona 2 : área central; zona 3 : área de crianza; zona 4 : Golfo de Arauco.

### 3.6.6. Rangos de preferencia y rechazo del langostino con respecto a las variables temperatura, salinidad y oxígeno

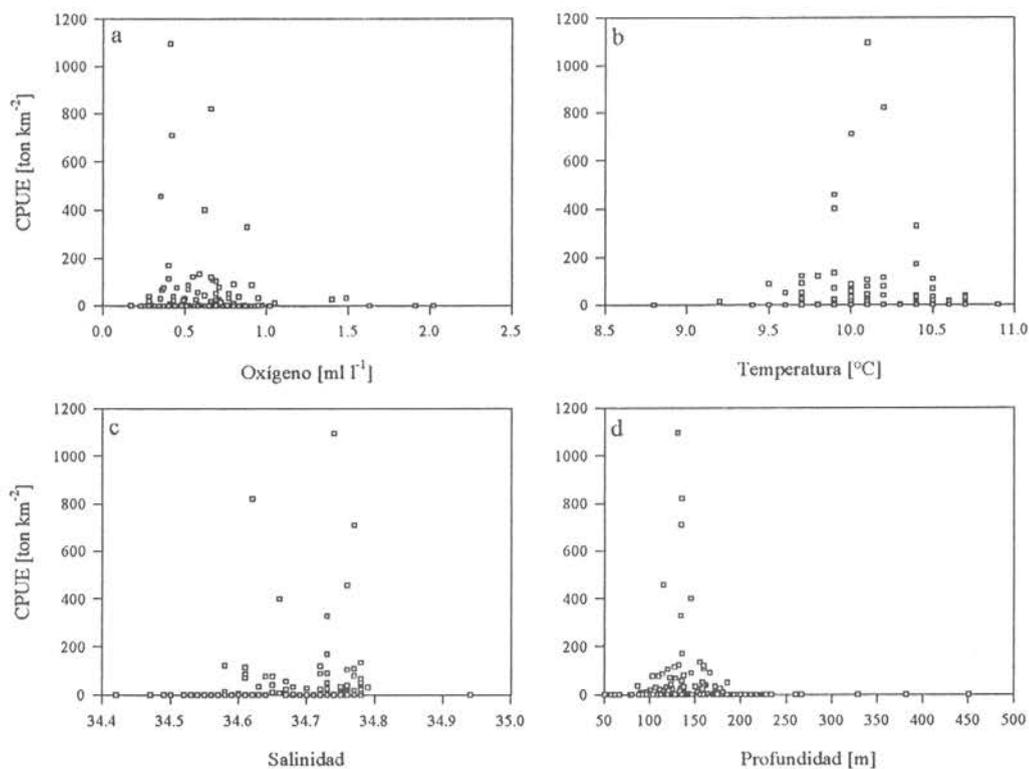
A pesar de que no se observa correlación entre los datos de CPUE y las variables ambientales, es posible observar que las mayores concentraciones de langostino ( $> 100 \text{ ton/km}^2$ ) se encuentran entre los 115 y los 160 m de profundidad (Fig. 42d y 43d) y en niveles de oxígeno entre 0,35 y 0,88 ml/l (Fig. 42a); ambos rangos bastante más estrechos que la variación ambiental medida en los lances con captura.

Las Figuras 44 a 47 muestran las Frecuencias Relativas Acumuladas (FRA) para las variables ambientales (*i.e.* temperatura, salinidad, oxígeno y profundidad) y las FRA para las variables ambientales multiplicadas por la densidad de langostino (*i.e.* CPUE  $\text{ton/km}^2$ , CPUE  $\text{ind/km}^2$ ) estimada en cada punto de muestreo. La comparación estadística entre las curvas FRA y FRA x CPUE no permitió verificar la existencia de una relación estadísticamente válida de preferencia o rechazo del langostino colorado hacia las variables ambientales consideradas (Tabla 13).

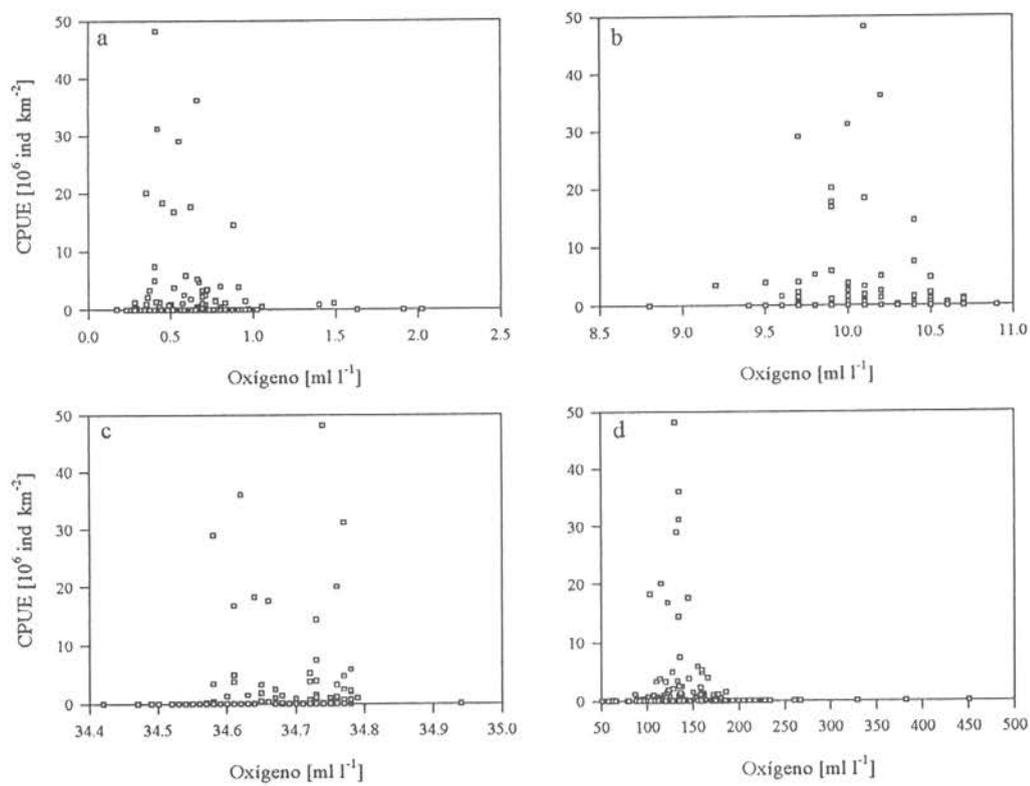
**Tabla 13.** Resultados del estadístico  $s$  (máxima distancia entre las distribuciones acumuladas de la muestra) y  $p$  (probabilidad estadística de  $s$ ) para la relación entre la FRA de las variables ambientales y las FRA x CPUE- Recurso.

	CPUE ( $\text{ton/km}^2$ )		CPUE ( $\text{ind/km}^2$ )	
	$s$	$p$	$s$	$p$
Oxígeno	0,2187	0,5824	0,2669	0,8220
Temperatura	0,2272	0,6196	0,2270	0,6533
Salinidad	0,3331	0,9020	0,1877	0,3317
Profundidad	0,3148	0,7980	0,3183	0,8265

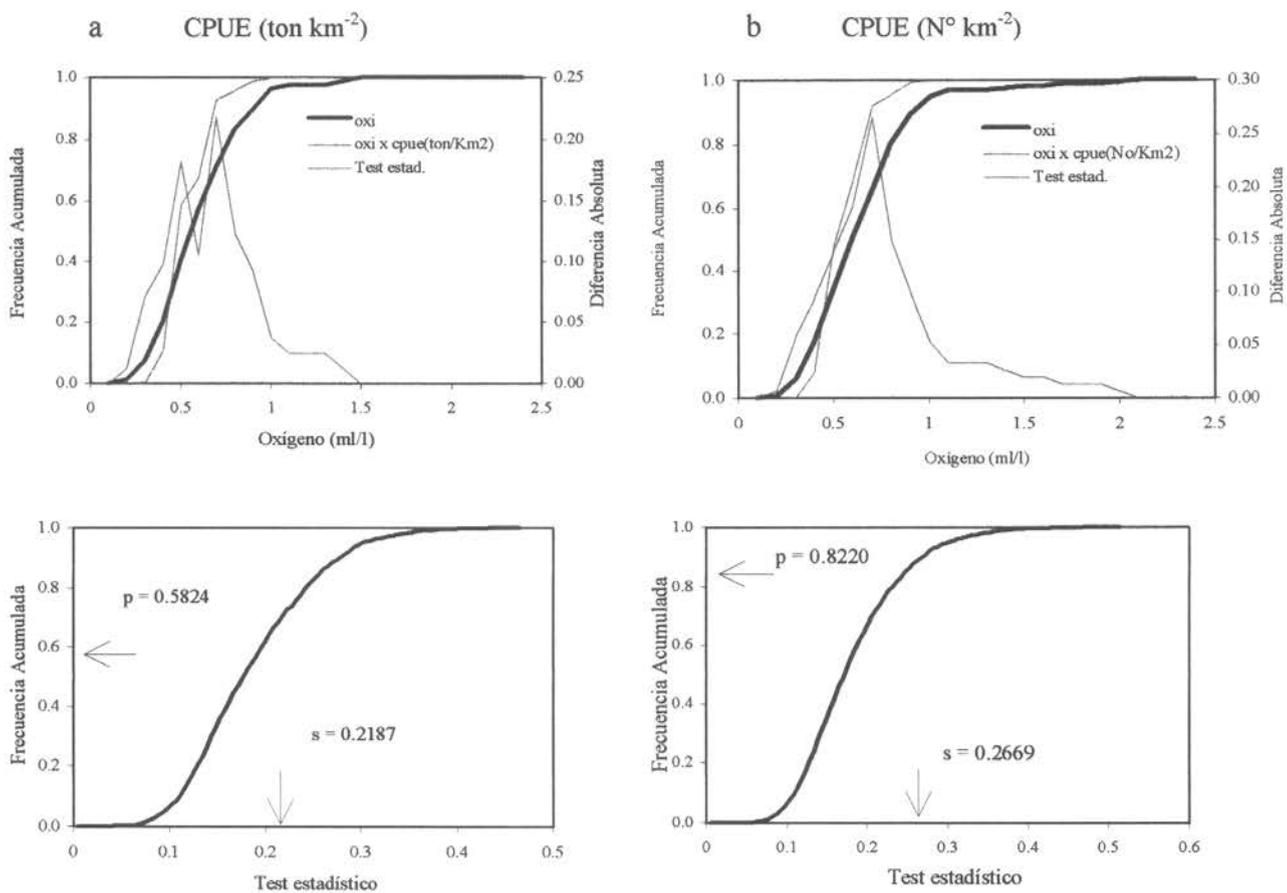
Esta ausencia de correlación entre las variables oceanográficas y la distribución del langostino colorado es consistente con otros estudios realizados para este recurso en la zona centro-sur de Chile (Gallardo *et al.* 1994, Roa *et al.* 1995, Ernst 1996).



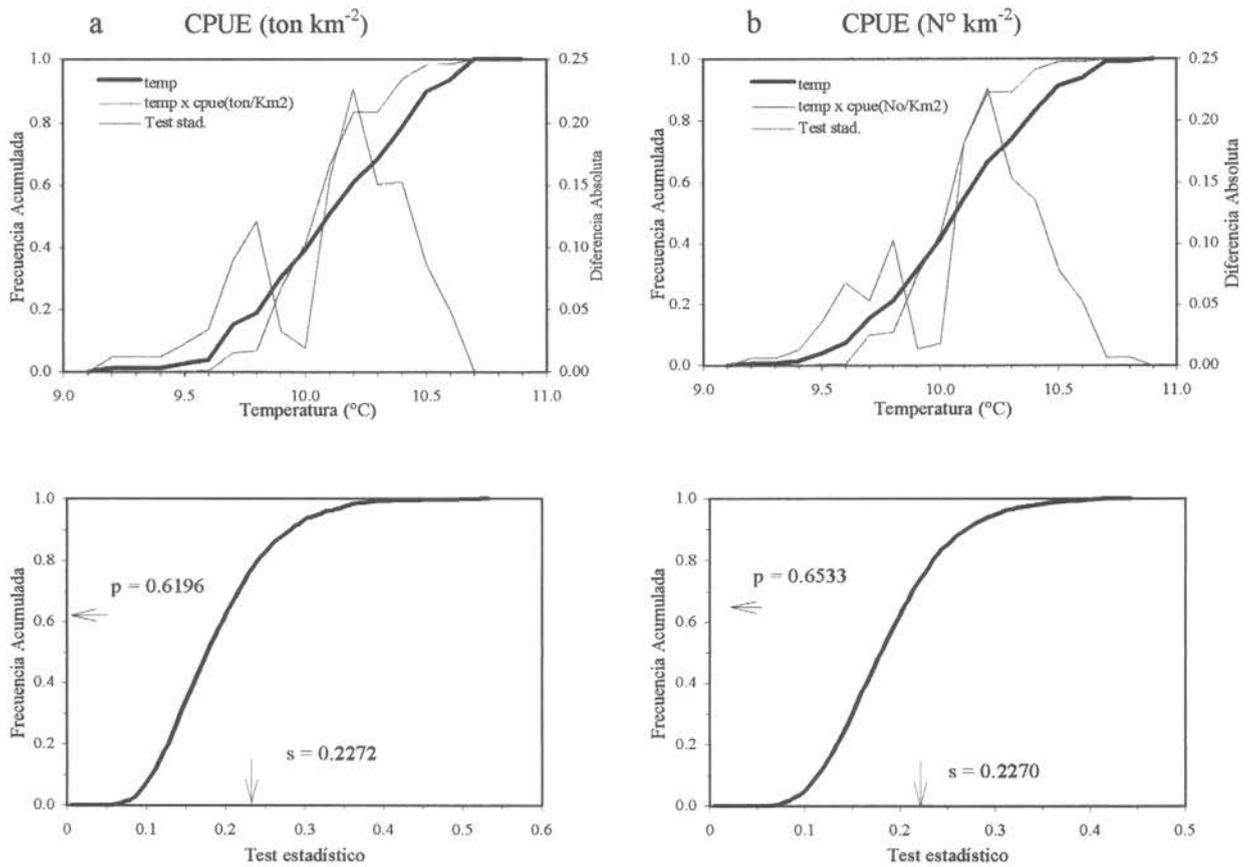
**Fig. 42.** Relación entre la CPUE (ton km<sup>-2</sup>) de langostino y las variables ambientales. (a) oxígeno (ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>), (b) temperatura (°C), (c) salinidad (p.s.u.), y (d) profundidad (m).



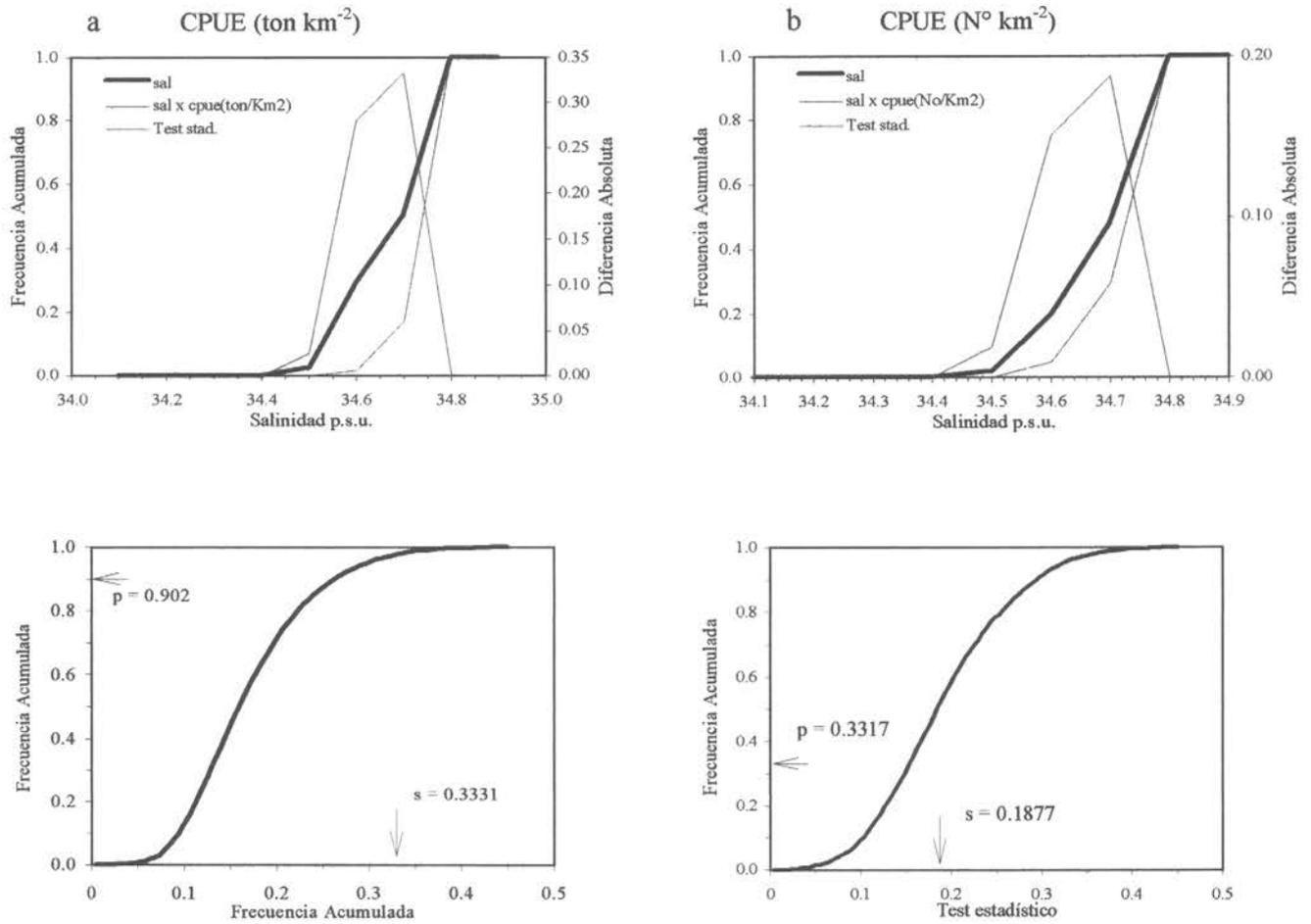
**Fig. 43.** Relación entre la CPUE ( $10^6$  ind  $\text{km}^{-2}$ ) de langostino y las variables ambientales. (a) oxígeno ( $\text{ml O}_2 \text{l}^{-1}$ ), (b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (c) salinidad (p.s.u.), y (d) profundidad (m).



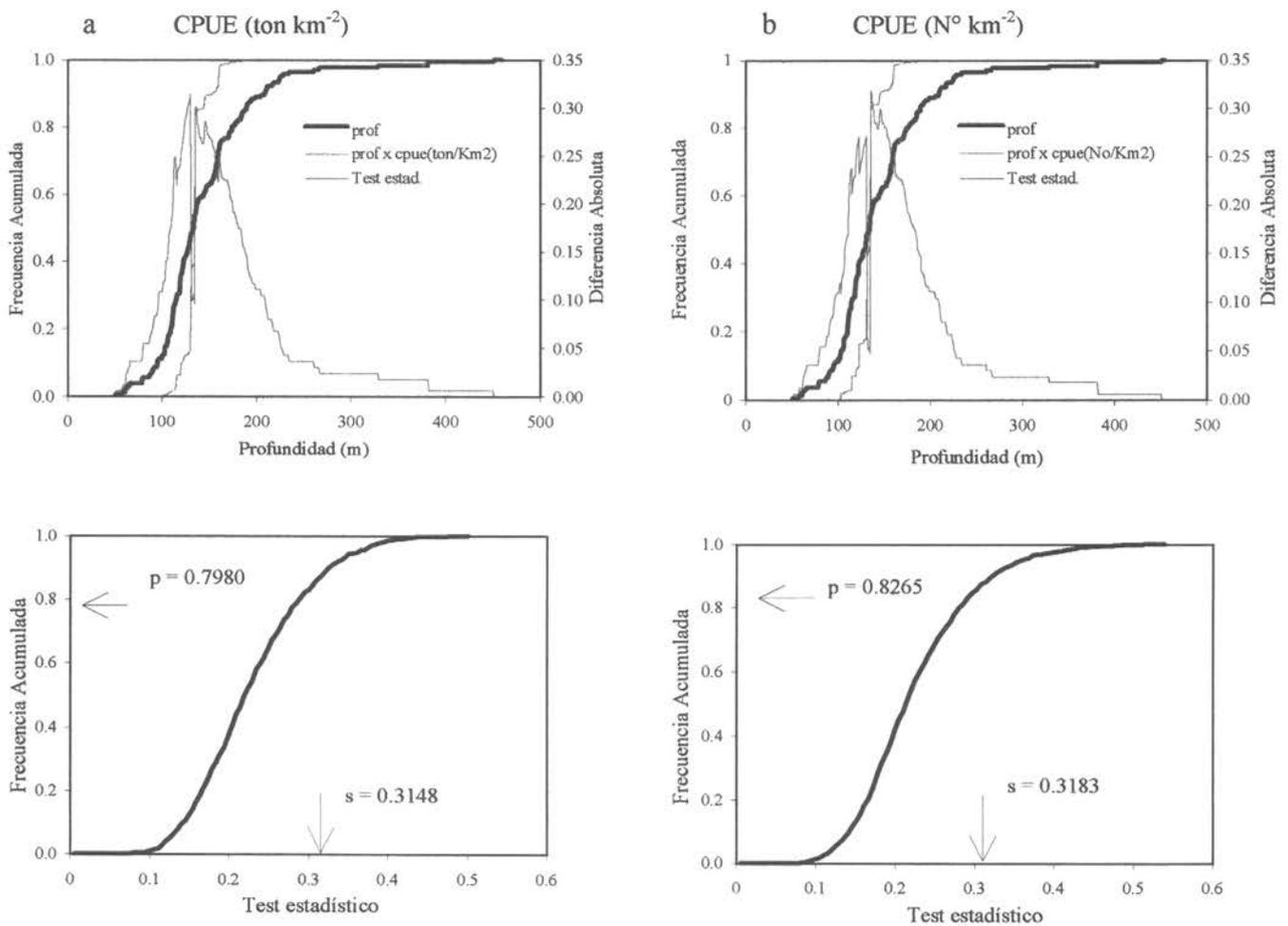
**Fig. 44.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable oxígeno ( $\text{ml O}_2/\text{l}$ ) medida a 5 metros del substrato con la FRA del oxígeno X la CPUE del langostino en (a)  $\text{ton}/\text{km}^2$  y (b)  $\text{ind}/\text{km}^2$ . Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico  $s$  y su nivel  $p$  para ambas figuras.



**Fig. 45.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable temperatura (°C) medida a 5 metros del sustrato con la FRA de la temperatura X la CPUE del langostino en (a) ton/km<sup>2</sup> y (b) ind/km<sup>2</sup>. Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico  $s$  y su nivel  $p$  para ambas figuras.



**Fig. 46.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable salinidad (p.s.u.) medida a 5 metros del substrato con la FRA de la salinidad X la CPUE del langostino en (a) ton/km<sup>2</sup> y (b) ind/km<sup>2</sup>. Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico  $s$  y su nivel  $p$  para ambas figuras.



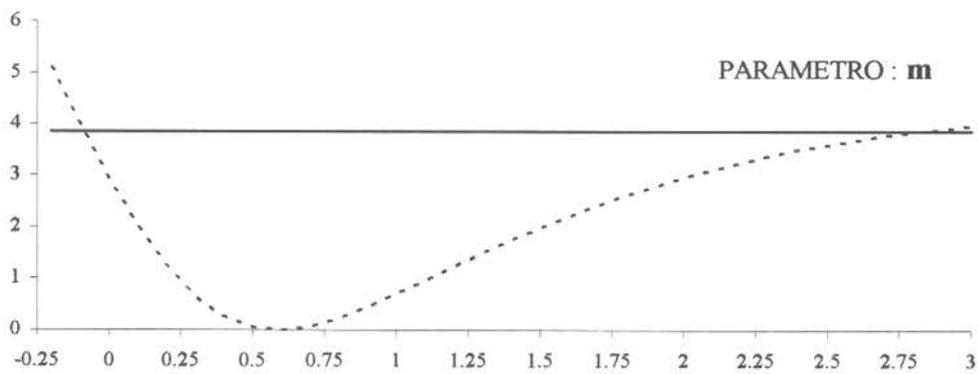
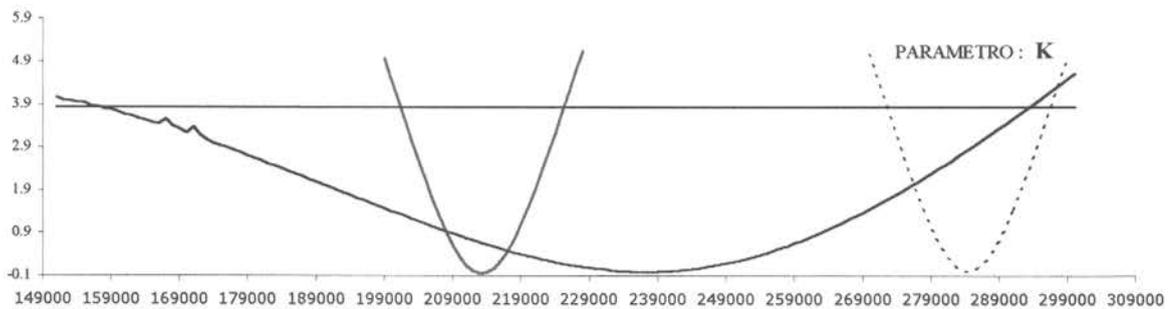
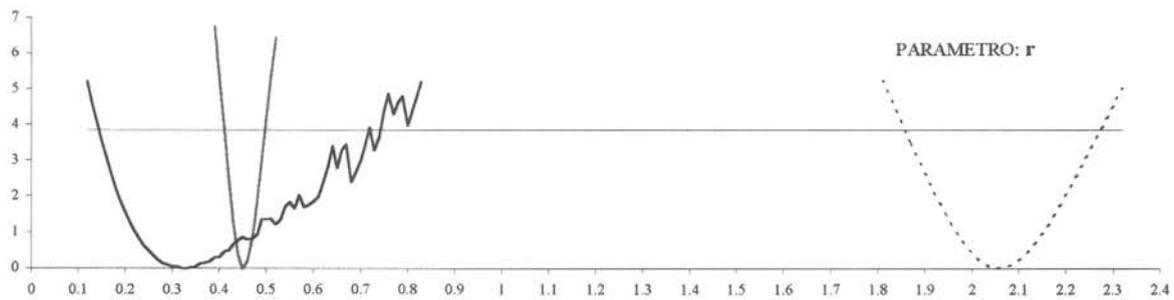
**Fig. 47.** Comparación de la frecuencia relativa acumulada (FRA) para la variable profundidad del sustrato (m) con la FRA de la profundidad del sustrato X la CPUE del langostino en (a) ton/km<sup>2</sup> y (b) ind/km<sup>2</sup>. Además, se presenta la distribución de frecuencia acumulada del estadístico *s* y su nivel *p* para ambas figuras.

### 3.7. Evaluación Indirecta del Stock

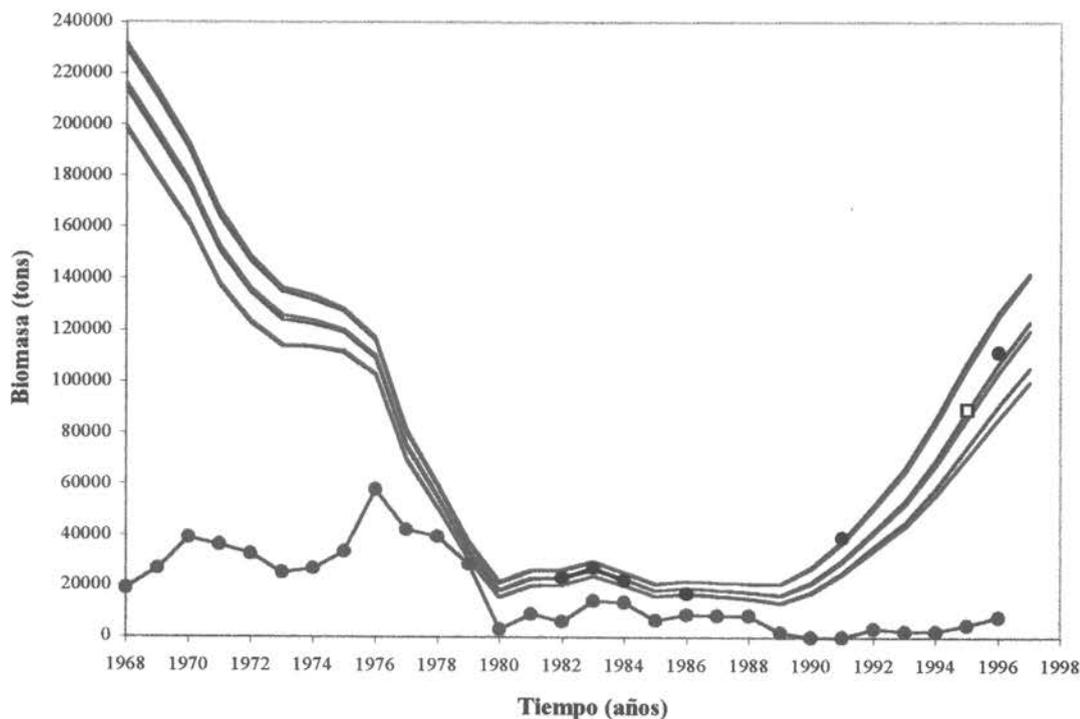
Los perfiles de verosimilitud para los parámetros  $r$ ,  $K$  y  $m$  (Fig. 48) demuestran que las mejores estimaciones (en términos del estimador de intervalo) de los parámetros  $r$  y  $K$  son aportados por el modelo de Schaeffer. Además se aprecia que el intervalo de confianza del parámetro  $K$  para el modelo de Pella-Tomlinson es muy grande, situación que ha sido observada previamente (Hilborn y Walters, 1992). Las verosimilitudes negativas fueron de -7,042 para Schaeffer, -5,915 para Fox, y -7,380 para Pella-Tomlinson., luego con dos parámetros los modelos de Schaeffer y de Fox alcanzan un AIC de -3,042 y -1,915 respectivamente; en cambio, con tres parámetros el modelo de Pella-Tomlinson alcanza un AIC de -1,38. Claramente, el modelo favorecido por los datos es el de Schaeffer.

Con ese modelo entonces se construyó la trayectoria del estimador central y un estimador de intervalo para toda la historia de la pesquería (Fig. 49). Luego, utilizando estadística Bayesiana se obtuvo las distribuciones posteriores de las biomásas en los años 1996 y 1997. Considerando la estimación de abundancia indirecta de 1995 de Roa *et al.* (1996) la mediana de la distribución posterior arrojó un valor cercano al estimado en forma directa por el crucero del año 1996. Los valores fueron de 123 mil y de 112 mil toneladas, para el crucero y el obtenido a través del modelo de Schaeffer, respectivamente. Esto indica una concordancia entre los resultados obtenidos de la estimación de abundancia del crucero, la estimación modelo basada de Roa *et al.* (1996) y la predicción del modelo. De hecho, los intervalos de confianza se superponen, así que no se puede descartar que las diferencias entre los estimadores se deban al azar.

Los valores de las medianas de las distribuciones posteriores para el año 1997 (usando una estimación preliminar del crucero de 1996) fue de 123 mil toneladas. Este valor está por debajo del que pudiera obtenerse en realidad y deberá ser refinado al incorporar en la estimación el estimado definitivo de biomasa para 1996.



**Fig. 48.** Perfiles de verosimilitud para los parámetros de los tres modelos. Rojo: Schaeffer; punteado: Fox; negro: Pella-Tomlinson.



**Fig. 49.** Trayectoria de la biomasa estimada y su intervalo en toda la historia de la pesquería. Abajo: trayectoria de la captura; arriba: trayectoria de la biomasa; rojo: considerando estimador indirecto de 1995; azul: considerando estimación directa para 1996; puntos negros: crucero; cuadrados: evaluación indirecta.

La trayectoria de la biomasa usando la estimación indirecta de 1995 o la directa de 1996 arroja resultados muy similares (Figura 49). El intervalo de confianza es bastante estrecho, incrementándose hacia el comienzo y final de la serie de datos. En ambos casos no se logró un buen ajuste de la estimación de abundancia para 1991, subestimando este valor. Probablemente la incorporación del estimado final para 1996 mejore el ajuste para ese año. Por otra parte el ajuste a todas las otras observaciones fue muy bueno. En ambos casos la biomasa inicial de la población alcanzó un valor de aproximadamente 210.000 toneladas.

### 3.8. Representación Videográfica de Resultados

Las alternativas computacionales (hardware/software) consideradas se incluyen en la Tabla 14. El criterio de evaluación técnico-económico fue elegir aquella alternativa cuya razón costo/beneficio fuera menor, considerando que cada una de ellas cumpla con los requisitos mínimos necesarios para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 14.** Alternativas computacionales para la confección del video computacional.

Configuración	Costo (US\$)	Características Hardware	Características Software
1. SUN	4.440	Sparc Station Ultra, 167MHz, 512 Mb memoria caché, 128 MB RAM, 2 discos de 2,1 GB, Monitor Color 20".	Sistema Operativo y otros controladores (no incluye software gráfico).
2. Silicon Graphics	67.762	INDY Modeler, 180MHz, 64Kb caché primario, 512Kb caché secundario, 32 Mb de RAM, 1Gb disco, 1 puerta de video NTSC/PAL, Tarjeta Gráfica XZ de 24 bits, Monitor de 17"	Sistema Operativo con Interfaz gráfica. Software generador de animaciones ERDAS
3. Silicon Graphics <sup>1</sup> (2).	41.000	INDY R4600, 135MHz, 32 Mb RAM, 3Gb RAM (70 % utilizado). Actualización de disco, RAM, adquisición de tarjeta digitalizadora - grabadora	ERDAS Imagine Vista 8.2, ERDAS Imagine Production, ERDAS Virtual GIS
4. PC	10.986	PC Hewlett Packard, Procesador Pentium 120MHz, 16 Kb caché interno, 32 MB RAM, 1Gb disco, Monitor 17", Tarjeta Grabadora de video y reproductora en tiempo real	Sistema Operativo Windows NT 4.0. Software Generador de animaciones 3D Studio Max para NT.
5. Macintosh	11.250	Procesador PowerPC, 32 Mb RAM, Tarjeta de video incorporada INPUT/OUTPUT VHS	no disponible en ese momento

Las alternativas 1 (SUN) y 5 (MAC) fueron excluidas por no disponer de software al momento de esta evaluación, y no encontrar en el mercado software adecuados a estas

<sup>1</sup> Esta configuración se basa en el upgrade de la configuración disponible (medio tiempo) en el Laboratorio de Biofísica de la Universidad de Concepción.

plataformas. Por lo tanto, la razón costo/beneficio determinó la adquisición de la alternativa PC como óptima entre las disponibles (Tabla 15).

**Tabla 15.** Evaluación técnico-económica (costo/beneficio) de las alternativas computacionales.

Característica Evaluada (escala: 3=Alto - 2=Medio - 1=Bajo - 0=inexistente/no corresponde)	Ponderación	Configuración				
		SUN	Sillicon Graphics	Sillicon Graphics (2)	PC	MAC
<b>Hardware</b>	<b>0,4</b>	<b>1,12</b>	<b>1,2</b>	<b>1,14</b>	<b>1,07</b>	<b>1,14</b>
Capacidad Procesamiento	0,1	3	3	3	3	3
RAM, Caché	0,05	3	3	3	2	3
Disco Duro	0,06	3	3	2	3	2
Calidad monitor (resolución y tamaño)	0,05	3	3	3	3	3
Calidad tarjeta gráfica	0,06	3	3	3	3	3
Calidad tarjeta video	0,08	2	3	3	2	3
<b>Software</b>	<b>0,4</b>	<b>0</b>	<b>0,765</b>	<b>0,765</b>	<b>0,795</b>	<b>0</b>
Capacidad modelado	0,05	0	3	3	3	0
Calidad renderización	0,05	0	3	3	3	0
Composición de escenas	0,05	0	3	3	3	0
Flexibilidad y formatos de archivos de entrada	0,05	0	1	1	3	0
Compatibilidad configuración hardware	0,1	0	3	3	3	0
Generación video	0,1	0	3	3	3	0
<b>Calidad Hardware/Software</b>	<b>0,2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>Costo (US\$)</b>		4440	67762	41000	11000	11250
<b>Beneficio (*100)</b>	1	44,8	138,6	136,2	66,426	45,6
<b>Costo/Beneficio</b>		<b>99,12</b>	<b>488,90</b>	<b>301,03</b>	<b>165,60</b>	<b>246,71</b>

Con la alternativa elegida, se enfrentaron severas dificultades por la magnitud de las exigencias computacionales que se fueron definiendo. Dos de los principales problemas fueron la capacidad del disco duro para almacenar archivos temporales y definitivos, y la velocidad de los procesos. Por esto, la máquina fue potenciada dotándola de un segundo disco duro, sumando 3 Gb, y memoria RAM adicional completando un total de 96 Mb.

Como ejemplo, la Tabla 16 muestra algunos tiempos típicos de procesamiento de la CPU. En definitiva, los resultados de la evaluación directa del langostino colorado y de su habitat se muestran en el video 1, adjunto al presente Informe Final.

**Tabla 16.** Tiempos característicos de trabajo de CPU para algunos procesos.

<b>Característica</b>	<b>Tiempo de procesamiento</b>
Logo de la Universidad de Concepción	1 día (24 horas)
Entrada a la atmósfera	1,5 días (36 horas)
Descenso a la plataforma marina	3 días (72 horas)
Viaje submarino	6 días (144 horas)
Gráfico de densidad	3 días (72 horas)
Gráfico de ubicación relativa	1 día (24 horas)
Letras títulos	4 horas

## 4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.1. Modelo Poblacional

El modelo poblacional que sirvió de guía a este estudio resultó plenamente respaldado por la evidencia recolectada. El stock de langostino colorado de Chile central abarca en continuidad desde el Golfo de Arauco por el sur, en la VIII Región, hasta los 34° de latitud norte, frente a Topocalma en la VI Región. Pero en ese rango latitudinal no hay una serie de agregaciones poblacionales más o menos conectadas que tienen su propia dinámica de renovación. Tampoco se trata de una población con diferentes edades representadas en todo su rango de distribución. Por el contrario, se trata de una única población conformada por unas 10 clases anuales que extiende su estructura de edad a lo largo de 3° de latitud o 333 km. Los reclutas o juveniles nacen y viven sus primeros años en el sur y los adultos se encuentran cada vez más al norte hasta llegar al extremo norte actual de la población, en que sólo viven los langostinos de mayor edad, aquellos que han sobrevivido a los depredadores, los competidores, los pescadores, las enfermedades y los accidentes. Probablemente hay pocas poblaciones de invertebrados que muestren semejante estructura de edad en una escala espacial tan extensa.

En poblaciones explotadas con una amplia extensión espacial siempre se pregunta si el área de operación de la pesquería abarca una o varias unidades poblacionales. La contrastación de nuestro modelo poblacional permite afirmar que el área explotada por la pesquería abarca un único stock. Este resultado basado en la estructura espacial es corroborado por comparaciones genéticas de enzimas polimórficas. De hecho, al comparar individuos del Golfo de Arauco, del área de crianza, y del extremo norte, no se encuentra diferencias a nivel de los pocos *loci* polimórficos que fueron encontrados. Este análisis genético ha sido sólo un estudio preliminar de la homogeneidad genética del stock, puesto que los *loci* estudiados fueron muy pocos, pero al reunir sus resultados con los obtenidos de la estructura espacial del stock, es posible concluir que el langostino colorado es un único stock poblacional en toda su extensión a lo largo de Chile central.

Implícita en nuestra visión estática de la estructura de edad en el espacio que hemos logrado con este estudio está la dinámica de transporte espacial de los individuos a medida que avanzan en edad. Los langostinos nacen como organismos del bentos en el sur, en la terraza del Itata, y en su primer o primeros dos años de vida enfrentan dos posibilidades. Si ocurre que reclutaron al bentos demasiado al sur del área de crianza o al otro lado del cañón del Biobío, van a pasar su vida en una región de reducidas dimensiones espaciales, y tienen expectativas de longevidad limitadas. Por ejemplo en la Fig. 14 se aprecia que el Golfo de Arauco no hay más de 5 clases anuales. Pero si ocurre que reclutan más cerca del norte del área de crianza, entonces tienen la posibilidad de pasar toda su vida migrando hacia el norte y llegar a edades de 9 o más años de vida. Un término apropiado para distinguir a los grupos de individuos que se encuentran al sur y al norte del área de crianza es el de ramas, puesto que en definitiva están conectados por su origen común en el área de crianza. La rama del norte tiene un enorme desarrollo, y en cambio la rama del sur tiene un desarrollo muy limitado.

El impulso para el avance de las dos ramas puede ser de pura base física. Por ejemplo, la Fig. 6 muestra que la migración desde el área de crianza se asemeja a la trayectoria de una serie de ondas desde un punto de origen. Pudiera decirse que cada onda de langostinos se dispersa por pura difusión (Okubo 1980), y que lo que se aprecia en un momento determinado del tiempo es el conjunto de ondas que han partido en distintos momentos del tiempo, de hecho en ciclos anuales de reclutamiento. Las ondas que parten hacia el norte tienen una larga franja de plataforma continental para desplazarse, pero las ondas que parten hacia el sur se topan con accidentes geográficos como el cañón del Biobío, el Golfo de Arauco, y una vasta zona de fondos duros (ver Carta Pesquera CP-500 del SHOA e IFOP) que impiden su desplazamiento más al sur.

Los fondos duros que atraviesan la plataforma a la altura de Carranza son un obstáculo al avance de las cohortes hacia el norte, así que en esa zona la densidad y la biomasa se incrementan varias veces por sobre el promedio, lo que es aprovechado por la flota de la VIII Región para obtener

altos rendimientos de pesca con lances breves. Superada esa región desfavorable al avance de las cohortes hacia el norte, los langostinos se encuentran con una vasta planicie frente a Iloca, donde se dispersan haciendo bajar su densidad. En esa zona actúa la flota de la V Región, que tiene que hacer muchos más lances de mayor duración para completar una buena pesca, pero que captura individuos de gran tamaño.

En este estudio hemos abordado de manera inicial el problema del flujo advectivo en el hábitat del langostino, precisamente en la zona de alta densidad donde está concentrado el potencial reproductivo, desplegando un correntómetro a 3 m del fondo. Los resultados de este muestreo sin extensión espacial apuntan en la dirección del modelo poblacional que presentamos: los registros de corrientes indican claramente que donde se concentra la producción de larvas el flujo advectivo es hacia el sur-este, tal como resulta conveniente para mantener a las larvas sobre la plataforma continental y transportarlas hacia el sur, donde se encuentra el área de crianza. Si duda que la pérdida larval debe ser enorme, pero el flujo es el apropiado para el transporte de las larvas hacia la zona del área de crianza, en el período en que las larvas son liberadas por las hembras (Gallardo *et al.* 1994).

#### **4.2. Evaluación de Stock**

El objetivo principal de este proyecto no es el conocer el funcionamiento de la población sino el de evaluar el stock. Sin embargo, el enfoque científico ayuda mucho a la tarea aplicada. Esto se demuestra al considerar que nuestras hipótesis acerca del funcionamiento de la población han servido para aplicar un muy apropiado diseño de evaluación directa del stock. De hecho, hemos muestreado el stock en el sentido de atravesar la geometría de la población y hemos incrementado el esfuerzo de muestreo donde la densidad ha sido máxima. Así se ha logrado mapear el stock y evaluar con una alta precisión su abundancia.

Para esta tarea hemos empleado dos herramientas de análisis estadístico. Una herramienta clásica basada en el diseño de muestreo, y una herramienta nueva basada en un modelo de las

correlaciones espaciales de la densidad. Ambas herramientas han coincidido en el resultado final, aunque con notables diferencias a nivel local. Este resultado final indica que la abundancia de esta extendida población debe estar con bastante certeza por sobre las 120.000 toneladas.

Debemos destacar el éxito obtenido en la aplicación de la geoestadística a la evaluación de stock del langostino colorado. Esta teoría y técnica es especialmente apropiada para muestreos equiespaciados, y su potencialidad está siendo crecientemente reconocida en el campo de la investigación pesquera a nivel internacional (Petitgas 1996). En nuestro caso, la buena correspondencia entre la geometría de la población y la de nuestro muestreo nos ha permitido hacer uso del concepto de varianzas extensivas, que a su vez sirven para evaluar la precisión de estimador global geoestadístico. Y esta precisión resultó ser muy alta, al menos comparable con la del estimador clásico basado en el diseño de muestreo.

La biomasa que hemos evaluado no es una biomasa de equilibrio. Está en una fuerte pendiente positiva de crecimiento poblacional (Fig. 49), de acuerdo con los resultados del modelo de biomasa dinámica que hemos aplicado. Y este resultado nos permite volver al último elemento de nuestro modelo poblacional del langostino colorado: es una población con una extensa estructura espacial que está en crecimiento y expansión, una expansión que no está gobernada por el transporte físico de reclutas, sino por el avance de las cohortes que se alejan de su lugar de nacimiento, en una dispersión irreversible y protegidas por un marco regulatorio especialmente cauteloso.

### **4.3. Estructura Poblacional**

El rango de tallas del stock de langostino colorado abarca desde los 6 a los 47 mm en hembras y de los 5 a los 50 mm en machos. Se sabía previamente que los machos crecen a tallas mayores que las hembras (Roa 1993). Los fondos que contienen individuos de talla comercial (>30 mm) se encuentran al norte de los 36° S, a partir de Punta Nugurne. Más al sur, la estructura de tallas está muy mezclada con clases anuales juveniles, por lo que no es recomendable operar allí con

finés comerciales. La distribución batimétrica es sorprendentemente restringida. Nuestro crucero inicialmente contenía transectas más extendidas en sentido longitudinal, pero las nulas capturas obtenidas a profundidades mayores que 190 m en la primera mitad del crucero, motivaron la reducción longitudinal de las transectas. De hecho, el langostino colorado forma una franja entre 130 y 160 m de profundidad en toda su extensión latitudinal. De acuerdo con estos resultados, la estructura poblacional del stock determina que los fondos de interés comercial se ubiquen al norte de Punta Nugurne y entre los 130 y 160 m de profundidad.

Las hembras de la rama del norte se encontraban en pleno estado reproductivo al momento del crucero, aunque algunas hembras de tallas mayores no presentaron huevos. Esto puede deberse a que ya habían liberado sus larvas sin dejar trazas de las cápsulas de los huevos, o a que sobre cierta talla la proporción de hembras que portan huevos vuelve a bajar, posiblemente porque es más difícil encontrar machos de la talla apropiada para la copula. Otro resultado notable en relación con el estado reproductivo de las hembras es que la talla media de madurez sexual (o de portación de huevos) está por sobre los 35 mm de longitud cefalotorácica. Este valor está muy por encima del estimado de Roa (1993), de sólo 27 mm. La información de Roa (1993) proviene de una evaluación directa realizada en 1991 entre Septiembre y Octubre, mientras que esta evaluación se realizó entre Octubre y Noviembre, así que ambas evaluaciones corresponden más o menos al mismo período del ciclo reproductivo anual de las hembras. La causa de esta notable diferencia en talla de madurez, puede estar relacionada con el tamaño de la población, puesto que en 1991 se evaluó la abundancia en 39 mil ton y el stock sólo llegaba hasta los 35°20'S (Roa y Bahamonde 1993). En la actualidad, se ha estimado la abundancia en 129 mil ton y la extensión de la población alcanza a los 34°S. Sería interesante analizar la información colectada en la pesquería entre 1992 y 1996, evaluar la talla de madurez media en todos esos años, y observar si ha ocurrido algún crecimiento sostenido de la talla media de madurez. Este ejercicio podría hacerse puesto que la actividad de pesca llega hasta Septiembre en cada año, así que se tendría el mismo período del ciclo reproductivo anual para toda la serie. El planteamiento de un mecanismo que ligue al tamaño de la población con la talla de madurez sexual está fuera del contexto de este

estudio de evaluación de stock, pero sería una tarea muy interesante desde el punto de vista de la ciencia de la ecología y de la teoría de la historia de vida.

La distribución espacial del potencial reproductivo revela que una enorme proporción del mismo se encuentra al norte del puerto de Constitución, a más de 2 grados de latitud del área de crianza (Fig. 8). De aquí surge la pregunta de si las larvas producidas por esa fracción tienen alguna posibilidad de alcanzar el área de crianza, lo que equivale a preguntarse si la fracción del stock adulto que se encuentra más al norte aporta o no a la renovación de la población. Tomando en cuenta que la larvas reclutan al área de crianza principalmente en Abril (Gallardo *et al.* 1994) y que nacen en Noviembre (Palma y Arana 1990), tienen aproximadamente 6 meses para alcanzar el área de crianza. Suponiendo con máximo simplismo que las larvas describen una trayectoria lineal desde los  $34^{\circ}40'S$  (latitud media de la fracción del stock al norte de Constitución, ver Fig. 8) hasta los  $36^{\circ}50'S$  (latitud media del área de crianza, ver Fig. 8), se tiene que deben ser transportadas advectivamente a lo largo de una extensión de  $2^{\circ}10'$  ó 241 km. La velocidad de transporte advectivo promedio tendría que ser de 40 km/mes, ó de 1,6 cm/s. Las velocidades registradas por nuestro correntómetro anclado en los  $35^{\circ}55'S$  fueron de 10 cm/s cerca del fondo. Sin embargo, las larvas no describen una trayectoria advectiva lineal y se desplazan hacia la zona más superficial de la columna de agua, donde los flujos netos pueden alejarlas de la zona de crianza. En cualquier caso, es evidente que mientras más al norte nazca una larva menos oportunidad tiene de alcanzar el área de crianza. Es muy posible entonces, que el potencial reproductivo de la fracción norte del stock (ver Fig. 8) se pierda en gran parte, y éste por lo tanto aporte escasamente a la renovación poblacional. ¿Puede este resultado constituir la base de una estimación natural de excedente productivo anual, sobre el cuál se pudiera determinar una cuota ecológicamente basada? Además, ¿puede este resultado constituir una extensión del concepto de poblaciones fuente y poblaciones sumidero elaborado por Pulliam (1988)? Desafortunadamente, el nivel de conocimiento sobre la vida larval del langostino colorado es todavía muy primitivo para responder estas preguntas.

#### 4.4. Fauna Acompañante

La fauna acompañante en la pesca de arrastre de langostino colorado es muy escasa. Constituyó tan sólo un 15% de la captura total en peso, y de esta fracción, la mitad estuvo constituida por pesca de merluza común (*Merluccius gayi*). Las restantes especies de la fauna acompañante registraron incidencias menores que 3%. De hecho, puede concluirse que la pesquería de langostino colorado es monoespecífica, lo que confirma estudios previos (Roa *et al.* 1995a).

A pesar de la baja representación de otras especies en la captura, fue posible indentificar dos agrupaciones en el análisis comunitario: por sobre los 200 m de profundidad y por debajo de los 200 m. El langostino, como ya se ha señalado previamente, habita los fondos por sobre los 200 m así que su agrupación natural de especies está constituida por este grupo más somero, que sólo contiene 3 especies: el mismo langostino, la merluza común, y el lenguado de ojos grandes (*Hippoglossina macrops*).

#### 4.5. Ambiente Oceanográfico

Las corrientes en el fondo en el período de estudio tuvieron una componente sureste claramente predominante, la que está provocada por la circulación oceánica adjunta o por los vientos más que por el régimen de mareas. Estas corrientes de fondo tienen el sentido apropiado para transportar a las larvas recién eclosionadas hacia el área de crianza. Sin embargo, no se obtuvieron registros de las corrientes más superficiales ni se conoce la dinámica de movimientos verticales de las larvas, por lo que es todavía muy especulativo referirse a la trayectoria de las larvas y al aporte que hace cada fracción latitudinal del stock a la renovación del mismo. Lo único claro es que cuando las larvas eclosionan en la zona de mayor concentración del potencial reproductivo (Pta. Nugurne, donde fue anclado el correntómetro) las corrientes las transportan a una velocidad de 3,7 cm/s hacia el área de crianza, que está a sólo 60 km de distancia.

La densidad de langostino colorado no se relaciona con las variables hidrográficas medidas en este estudio. Estas variables, específicamente temperatura, salinidad y concentración de oxígeno

disuelto, no parecen tener capacidad predictiva en relación con la abundancia del langostino. Nuestra impresión es que el langostino vive en un ambiente oceanográfico bien definido, caracterizado por bajas concentraciones de oxígeno y salinidades relativamente altas, típicas de la contracorriente de Günther (Gallardo *et al.* 1996), pero que a nivel local los procesos de cambio de la abundancia se relacionan más con la presencia de fondos duros o de la batimetría que con las variables hidrográficas. Bahamonde *et al.* (1986) sugirieron que los cambios de abundancia global del stock durante la década del 80 fueron debidos a cambios en las condiciones oceanográficas. Nuestros resultados y aquellos de Gallardo *et al.* (1994), Roa *et al.* (1995b) y Ernst (1996) indican que la población no está controlada por las variables hidrográficas, sino que estas conforman el “clima” en el que habita el langostino, es decir un rango de condiciones más o menos favorables, pero no determinantes.

## **5. CONCLUSIONES**

### **5.1. Modelo de Funcionamiento de la Población**

- 5.1.1. El stock de langostino colorado entre 34° y 37° de latitud sur es genéticamente homogéneo
- 5.1.2. Existe una única área de crianza con presencia de juveniles de edad 0 y 1 (años) entre los 36°15' y 36°40' latitud sur (aproximadamente), aunque también hay asentamiento larval en las cercanías de esta región.
- 5.1.3. Desde el área de crianza las cohortes se dispersan durante toda su vida principalmente hacia el norte (Achira, Carranza, Pichilemu) pero también hacia el sur (Golfo de Arauco).

### **5.2. Evaluación de Stock**

- 5.2.1. El langostino colorado se distribuye entre los 34° y los 37° de latitud sur, y entre los 120 y 160 m de profundidad.
- 5.2.2. La biomasa del langostino colorado por el enfoque diseño-basado es de 132 mil toneladas, con un intervalo de confianza que va entre 119 y 145 mil toneladas, y por el enfoque modelo-basado la biomasa es de 123 mil toneladas, con un coeficiente de variación menor que 8%.
- 5.2.3. El stock de langostino colorado está en un proceso de fuerte crecimiento, y recuperándose de un período de sobreexplotación en la década de los 70 y 80.

### **5.3. Estructura Poblacional**

- 5.3.1. Los langostinos varían en tallas desde 5 mm hasta 50 mm de longitud cefalotorácica, con una amplia estructura de tallas y edades en el Golfo de Arauco, incluyendo langostinos juveniles, mientras que hacia el norte la estructura de tallas y edades se va haciendo más estrecha y con una presencia cada vez mayor de langostinos de gran tamaño.
- 5.3.2. El stock presenta globalmente una mezcla 1:1 de hembras y machos, pero a nivel local existe una amplia variabilidad, especialmente en el extremo norte donde predominan ampliamente los machos.
- 5.3.3. Aunque el predominio de hembras ovíferas es mayor más al norte, la máxima concentración de potencial reproductivo se produce en el área de Pta. Nugurme (33°55'S), lo que se debe a la gran concentración de abundancia de langostino en esa zona.

#### **5.4. Fauna Acompañante**

- 5.4.1. La presencia de fauna acompañante en las pescas de arrastre de langostino colorado es muy baja (15% en peso), con un predominio fuerte de la merluza común y del lenguado de ojos grandes.
- 5.4.2. Existen dos grupos faunísticos: uno somero y que coincide con la máxima presencia de langostino colorado (120 a 160 m) dominado por la merluza común y el lenguado de ojos grandes, y uno más profundo caracterizado principalmente por el camarón nylon y peces del borde del talud.

#### **5.5. Ambiente Oceanográfico**

- 5.5.1. El langostino colorado habita un ambiente hidrográfico caracterizado por altas salinidades y bajas concentraciones de oxígeno, correspondiente a la contracorriente de Günther.
- 5.5.2. En la zona de máximo potencial reproductivo, el transporte advectivo neto en el fondo es sur-este, hacia el área de crianza, con velocidades promedio de 3,7 cm/s.
- 5.5.3. A nivel local, las variables oceanográficas tienen una capacidad predictiva nula en relación con las variables poblacionales.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, P. J. (1991) Age, growth, and mortality of the northern shrimp *Pandalus borealis* Krøyer in Pavlov Bay, Alaska. Fish. Bull. (U.S.), 89: 541-553.
- Acuña, E., H. Arancibia, A. Mujica, K. Brokordt y C. Gaymer (1995) Estudio biológico-pesquero del langostino amarillo (*Cervimunida johni*) en la III y IV Región, mediante el uso de la flota arrastrera con base en Coquimbo. Informe Final Proyecto U. C. del Norte-Sede Coquimbo/Instituto de Investigación Pesquera VIII Región/Empresas Pesqueras de Coquimbo, 107 págs. + 2 anexos.
- Akaike, H. (1973) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. pp. 268-281 in 2nd International Symposium on Information Theory. B.N. Petrov and F. Csaki (editors), Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest. Reprinted in 1992 as pg 610-624 in Breakthroughs in Statistics, Volume 1. S, Kotz and N. Johnson (editors). Springer Verlag, New York.
- Alverson, D.L., and W.T. Pereyra (1969) Demersal fish explorations in the northeastern Pacific Ocean. An evaluation of exploratory fishing methods and analytical approaches to stock size and yield forecasts. J. Fish. Res. Bd. Canada, 26: 1985-2001.
- Anon. (1991) Normativa de veda recurso langostino colorado durante 1991. Informe Técnico. Subsecretaría de Pesca, Ministerio de Economía, República de Chile, 25 pp.
- Arana, P. (1990) Crecimiento del langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) en la zona centro-sur de Chile. Informe Técnico, Universidad Católica de Valparaíso.
- Arancibia, H. (1988) Cluster analysis: the use of a simple statistical method in the identification of groups. ICES C.M. 1988/D:12. Stat. Comm., Ref. Dem. Fish. Comm., 18 p.

- Arancibia, H. (1993) Evaluación directa del stock de merluza común en la zona centro-sur. Sección Fauna Acompañante, 27 p. + 60 figs.
- Arancibia H. y S. Mora (1992) Cuantificación de la abundancia de merluza común (*Merluccius gayi*) por el método del área barrida. Informe Final Proyecto 1. Programa Básico de Investigación del Recurso Merluza Común. Instituto de Investigación Pesquera/ Instituto de Fomento Pesquero/Empresas Pesqueras El Golfo y Biobío, 21 p. + 3 figs.
- Bahamonde, N., G. Henríquez, A. Zuleta, H. Bustos, and R. Bahamonde (1986) Population dynamics of the squat lobster, Family Galatheididae, in Chile. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 92:245-268.
- Bergström, B. (1992) Growth, growth modelling and age determination of *Pandalus borealis*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 83: 167-183.
- Bustos, E., O. Aracena, S. Mora y S. Palma (1982) Estudio de crecimiento y edad en el recurso langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*, H. Milne-Edwards 1837). Informe Técnico IFOP, 120 pp.
- Carpenter, J. H. (1965) The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. Limnol. Oceanogr., 10: 141-143.
- Conover, W.J. (1971) Practical non parametric statistics. John Wiley and Sons, Inc., USA, 462 p.
- Cressie, N.A.C. (1993) Statistics for spatial data. Wiley, New York.
- D'Amours, D. (1993) The distribution of cod (*Gadus morhua*) in relation to temperature and oxygen level in the Gulf of St. Lawrence. Fish. Oceanogr., 2(1): 24-29.

- Englund, E., and A. Sparks (1988) Geo-EAS (geostatistical environmental assessment software) user's guide. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nev.
- Ernst, B. (1996) Estudio de la dispersión de *Pleuroncodes monodon* (H. Milne Edwards, 1837) en ambientes homogéneos y estimación de parámetros poblacionales en el foco de Punta Achira. Tesis para optar al Grado de Magister en Oceanografía, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- F.A.O. (1987) Catálogo de artes de pesca industrial. Segunda Edición. Fishing News Books Ltd., U.K.
- Foote, K., and G. Stefánsson (1993) Definition of the problem of estimating fish abundance over an area from acoustic line-transect measurements of density. ICES J. mar. Sci., 50: 369-381.
- Fournier, D.A., J.R. Sibert, and M. Terceiro (1991) Analysis of length frequency samples with relative abundance data for the Gulf of Maine northern shrimp (*Pandalus borealis*) by the MULTIFAN method. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48: 591-598.
- France, R., J. Holmes, and A. Lynch (1991) Use of size-frequency data to estimate the age composition of crayfish populations. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48: 2324-2332.
- Francis, R.I.C.C (1984) An adaptive strategy for stratified random trawl surveys. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 18: 59-71.
- Freire, J., E. González-Gurriarán, and I. Olaso (1992) Spatial distribution of *Munida intermedia* and *M. sarsi* (Crustacea: Anomura) on the Galician Continental Shelf (NW Spain): Application of Geostatistical Analysis. Estuar. Coast. Shelf Sci., 35(6): 637-648.

- Gallardo, V.A., S. Enríquez-Briones, R.Roa, G. Acuña, J.I. Cañete y M. Baltazar (1993) Biología del langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) y especies afines. Monografías Biológicas Centro EULA-Chile, Faranda F. y O. Parra (Eds.)
- Gallardo, V.A., J.I. Cañete, R. Roa, S. Enríquez-Briones, and M. Baltazar (1994) Recruitment of the squat lobster *Pleuroncodes monodon* on the continental shelf off central Chile. *Journal of Crustacean Biology*, 14: 665-669.
- Gallardo, V.A., R. Roa, F.D. Carrasco, J.I. Cañete, S. Enríquez-Briones, and M. Baltazar (1996) Bathymetric and seasonal patterns in the benthic sublittoral megafauna off central Chile. *Journal of the Marine Biological Association of the U.K.*, 76: 311-326.
- Gelman, A., J.B. Carlin, H.S. Stern, and D.B. Rubin (1995) *Bayesian Data Analysis*. Chapman and Hall, New York.
- González-Gurriarán, E., J. Freire, and L. Fernández (1993) Geostatistical analysis of spatial distribution of *Liocarcinus depurator*, *Macropipus tuberculatus* and *Polybius henslowii* (Crustacea: Brachyura) over the Galician continental shelf (NW Spain). *Mar. Biol.*, 115: 453-461.
- Hilborn, R., and C.J. Walters (1992) *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall. 570 pp.
- Journel, A.G., and C.J. Huijbregts (1978) *Mining geostatistics*. Academic Press, London.
- Keckler, D. (1994) *SURFER for Windows user's guide*. Golden Software Inc., Golden, CO.
- Koyama, T. (1974) Study of stern trawl. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 77: 171-247.

- May B., and Ch. Krueger (1990) Starch gel electrophoresis and histochemical visualization of proteins. *In* Whitmore, D.H. (Ed.) *Electrophoretic and Isoelectric Focus in Techniques in Fisheries Management*. 350 pp.
- Macdonald, P.D.M., and T.J. Pitcher (1979) Age groups from size-frequency data: a versatile and efficient methods of analysing distribution mixtures. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36: 987-1001.
- Maravelias, C.D., D.G. Reid, E.J. Simmonds, and J. Haralabous (1996) Spatial analysis and mapping of acoustic survey data in the presence of high local variability: geostatistical application to North Sea herring (*Clupea harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53: 1497-1505.
- Melo, T. (1980) Teoría de corte directo en paños de redes de pesca. *Inv. Mar. UCV*.
- Morizot D.C., and M.E. Schmidt (1990) Starch gel electrophoresis and histochemical visualization of proteins. *In* Whitmore, D.H. (Ed.) *Electrophoretic and Isoelectric Focus in Techniques in Fisheries Management*. 350 pp
- Okubo, A. (1980). *Diffusion and ecological problems: mathematical models*. Springer-Verlag, New York.
- Palma, S. y P. Arana (1990) Aspectos reproductivos del langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) en la zona centro-sur de Chile. *Estud. Doc. U. Cat.* 1/90 (mimeo), 65 pp.
- Page, F., R. Losier, S. Smith, and K. Hatt (1994) Associations between cod, and temperature, salinity and depth within the Canadian groundfish bottom trawl surveys (1970-93) conducted within NAFO divisions 4VWX and 5Z. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1958: 160 pp.

- Peñailillo, T. y G. Henríquez (1988) Distribución y abundancia del recurso langostino colorado en el área de la pesquería 1988. Informe Técnico IFOP.
- Perry, R. I., and S. J. Smith (1994) Identifying habitat associations of marine fishes using survey data: an application to the northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 589-602.
- Perry, I. R., M. Stocker, and J. Fargo (1994) Environmental effects on the distributions of groundfish in Hecate Strait, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1401-1409.
- Petitgas, P. (1993) Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application. *ICES J. mar. Sci.*, 50: 285-298.
- Petitgas, P. (1996) Geostatistics and their applications to fisheries survey data. *In* Megrey, A., and E. Moskness (Eds.) *Computers in Fisheries Research*. Chapman & Hall, London. pp. 113-142.
- Pond, S., and G.L. Pickard (1983) *Introductory Dynamic Oceanography*. Pergamon Press, 241 pp.
- Pulliam, K.R. (1988). Sources, sinks and population regulation. *Am. Nat.*, 132:652-661.
- Ralston, S., and D.T. Tagami (1992) An assessment of the exploitable biomass of *Heterocarpus laevigatus* in the main Hawaiian islands. 1. Trapping surveys, depletion experiment, and length structure. *Fish. Bull. (U.S.)*, 90: 494-504.
- Restrepo, V.R., and R.A. Watson (1991) An approach to modeling crustacean egg-bearing fractions as a function of size and season. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 1431-1436.

- Ricker, W.E. (1975) Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can., 191: 382 pp.
- Roa, R. (1993a). Análisis metodológico pesquería langostino colorado. Informe Técnico IFOP, 86 pp.
- Roa, R. (1993b) Annual growth and maturity function of the squat lobster *Pleuroncodes monodon* in central Chile. Mar. Ecol. Prog. Ser., 97: 157-166.
- Roa, R., and R. Bahamonde (1993). Growth and expansion of an exploited population of the squat lobster (*Pleuroncodes monodon*) after 3 years without harvesting. Fish. Res., 18: 305-319.
- Roa, R., P.V. Alegría y A. Rivera (1993). Investigación monitoreo 1993 pesquería langostino colorado. Informe Técnico, IFOP, 74 pp.
- Roa, R., R. Ugarte y A. Rivera (1995a) Informe Final Proyecto FIP Evaluación del Recurso y la Pesquería de Langostino Colorado de la Zona Centro-Sur, 1994. Informe Técnico, IFOP.
- Roa, R., V.A. Gallardo, B. Ernst, M. Baltazar, J.I. Cañete, and S. Enríquez-Briones (1995b) Nursery ground, age structure and abundance of juvenile squat lobster *Pleuroncodes monodon* on the continental shelf off central Chile. Mar. Ecol. Prog. Ser., 116: 47-54.
- Roa, R., H. Pool y A. Rivera (1996) Informe Final Proyecto FIP Análisis de la Pesquería y Evaluación Indirecta del Stock de Langostino Colorado de la Zona Centro Sur, 1995. Informe Técnico, IFOP.

- Roa, R., I. Payá (1995) Captura total permisible 1996 del recurso langostino colorado. Informe Técnico, Compañía Pesquera Camanchaca S.A.
- Roa, R., and B. Ernst (1996) Age structure, annual growth, and variance of size-at-age of the shrimp *Heterocarpus reedi*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 137: 59-70.
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M. and G. Kitagawa (1986) Akaike Information Statistics. KTK Scientific Publishers, Tokyo and D. Reidel Publishing. Dordrecht.
- Salomon, J. (1981) Contribución al estudio de la evaluación geométrica de una red de arrastre de fondo de dos paneles. Tesis, Esc. Ciencias del Mar, UCV.
- Simard, Y., P. Legendre, G. Lavoie, and D. Marcotte (1992) Mapping, estimating biomass, and optimizing sampling programs for spatially autocorrelated data: case study of the northern shrimp (*Pandalus borealis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49: 32-45.
- Smith, S.J. (1990) Use of statistical models for the estimation of abundance data from groundfish trawl survey data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47: 894-903.
- Smith, S. J., and F. H. Page (1996) Associations between Atlantic cod (*Gadus morhua*) and hydrographic variables : implications for the management of the 4VsW cod stock. ICES J. mar. Sci. 53: 597-614.
- Smith, S. J., R. Losier, F. Page, and K. Hatt (1994) Associations between haddock, and temperature, salinity and depth within the Canadian groundfish bottom trawl surveys (1970-93) conducted within NAFO divisions 4VWX and 5Z. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1959:70 pp.

- Sobarzo, M., D. Figueroa, and D. Arcos (1996) Water exchange between a bay and the coastal waters, a case study: Concepción Bay, Chile. Enviado a Estuarine, Coastal and Shelf Science.
- Thompson, S.K. (1990) Adaptive cluster sampling. J. of the Amer. Stat. Assoc., 784-786.
- Thompson, S.K. (1991a) Adaptive cluster sampling. Designs with primary and secondary units. Biometrics, 47: 1103-1115.
- Thompson, S.K. (1991b) Stratified adaptive cluster sampling. Biometrika, 78: 389-397.
- Thompson, S.K. (1992) Sampling. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- UNESCO (1981) The practical salinity scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. UNESCO Tech. Papers in Marine Science 36.
- UNESCO (1983) Algorithms for computations of fundamental properties of seawater. UNESCO Tech. Papers in Marine Science 44.
- Yáñez, E. y M.A. Barbieri (1983) Aplicación de métodos de inercia: estudio de la repartición de la fauna demersal en la región de Valparaíso (33°S-72°W). Análisis de la estructura espacial del langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) en la zona central de Chile. En P. Arana (Ed.) Recursos Marinos del Pacífico. pp. 295-319.
- Wackernagel, H. (1995) Multivariate geostatistics. Springer-Verlag, Berlin.

## Anexo 1

### Contenido del diskette “BASE DE DATOS”

Archivo	Tamaño	Tipo de Archivo	Contenido
bitacora.xls	106 Kb	MS Excel 5.0	Datos pesqueros y ambientales
facomp.xls	40 Kb	MS Excel 5.0	Fauna acompañante por lance
lon-sex.zip <sup>1</sup>	532 Kb	WinZip (comprimido)	Datos de longitud-sexo por lance
lonpesex.zip <sup>2</sup>	203 Kb	WinZip (comprimido)	Datos de longitud-peso-sexo por lance
est-ctd.xls	11 Kb	MS Excel 5.0	Posición de estaciones CTD
perf-ctd.zip <sup>3</sup>	40 Kb	WinZip (comprimido)	Perfiles de CTD por estación

<sup>1</sup> : Todos los archivos que contiene son hojas de cálculo MS Excel con nombre LS-Ln.XLS, donde *n* es el número del lance (ver archivo bitácora).

<sup>2</sup> : Todos los archivos que contiene son hojas de cálculo MS Excel con nombre LPS-Ln.XLS, donde *n* es el número del lance (ver archivo bitácora).

<sup>3</sup> : Todos los archivos que contiene están en formato ASCII, y se llaman CTD-*n*.DAT, donde *n* es el número de la estación (ver archivo EST-CTD.XLS).

## Anexo 2

### Contenido del diskette “INFORME FINAL”

Este diskette contiene un solo archivo llamado FIP96-23.ZIP. Este archivo comprimido, que tiene un tamaño de 1,3 Mb, contiene a su vez los siguientes archivos:

<b>Archivo</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Tipo de Archivo</b>	<b>Contenido</b>
pinfin2a.doc	2,9 Mb	MS Word 6.0	Parte I. Documento informe final
pinfin2b.doc	1,4 Mb	MS Word 6.0	Parte II. Documento informe final
pinfin2c.doc	1,6 Mb	MS Word 6.0	Parte III. Documento informe final
portada.doc	265 Kb	MS Word 6.0	Portada y hoja con lista de autores
resejec.doc	29 Kb	MS Word 6.0	Resumen ejecutivo
indice.doc	11 Kb	MS Word 6.0	Indice general
intabfig.doc	21 Kb	MS Word 6.0	Indice de tablas y figuras