



**Instituto de  
Investigación  
Pesquera**

# INFORME FINAL

---

**PROYECTO FIP 2002-12**

## **CONDICIÓN BIOLÓGICA DE JUREL EN ALTA MAR, AÑO 2003**

Talcahuano, octubre de 2004

**Avenida Colón 2780,  
Casilla 350,  
Talcahuano, Chile**  
Fax : +56-41-920410  
Tel : +56-41-920411  
e-mail: [inpesca@inpesca.cl](mailto:inpesca@inpesca.cl)  
<http://www.inpesca.cl>

**TITULO DEL PROYECTO** : Condición biológica de jurel en alta mar, año 2003

**REQUIRENTE** : Consejo de Investigación Pesquera (CIP)  
Fondo de Investigación Pesquera (FIP)  
Presidente CIP: Felipe Sandoval Precht

**UNIDAD EJECUTORA** : Departamento de Pesquerías  
Instituto de Investigación Pesquera  
Director: Dagoberto Arcos Rojas

**UNIDADES SUBCONTRATADAS** : Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción

Instituto de Fomento Pesquero

**JEFE PROYECTO** : Aquiles Sepúlveda Oróstica  
Biólogo Marino  
Instituto de Investigación Pesquera  
Casilla 350, Talcahuano, Chile  
Tel.: 56-41-920410  
Fax: 56-41-920411  
E-mail: [asepulveda@inpesca.cl](mailto:asepulveda@inpesca.cl)

---

**FIP 2002-12**  
**CONDICIÓN BIOLÓGICA DE JUREL EN ALTA MAR, AÑO 2003**

**Jefe Proyecto**

Aquiles Sepúlveda Oróstica

**AUTORES**

Aquiles Sepúlveda

Patricia Ruiz

Sergio Núñez

Rubén Alarcón

Ciro Oyarzún

Santiago Gacitúa

Renato Quiñones

María Ángela Barbieri

José Córdova

Marco Espejo



**Instituto de  
Investigación  
Pesquera  
Octava Región**

Talcahuano (Chile), 2004

## 1 PERSONAL PARTICIPANTE

PROFESIONAL	FUNCIÓN
<b>a) Instituto de Investigación Pesquera:</b>	
Aquiles Sepúlveda	Jefe de Proyecto Producción diaria de huevos y mortalidad. Biomasa desovante y estimación de varianzas. Informes
Rubén Alarcón	Modelos asignación de la edad. Estimaciones área de desove. Geoestadística. Informes
Sergio Núñez	Oceanografía e ictioplancton. Informes.
Patricio Torres	Crucero, oceanografía y plancton.
Flor Vejar	Preparación de cartas satelitales. Geoestadística.
Jorge Paramo	Análisis espacial de la densidad de huevos y larvas. Geoestadística
Luis Bustos	Crucero, plancton y adultos
Claudio Gatica	Crucero. Estimación de varianzas. Evaluación tamaños de muestra.
Claudio Pino	Crucero. Experimentos de incubación a bordo.
Patricia Ruiz	Crucero. Asignación de edades a huevos. Experimento de incubación a bordo. Frecuencia de tallas. Biomasa desovante
Hernán Rebolledo	Crucero. Análisis de la alimentación.
Carlos González	Coordinador Crucero. Preparación de cartas satelitales
Carolina Alarcón	Ictioplancton. Clasificación de estadios de desarrollo.
Francisco Gómez	Crucero.
Claudio Toro	Crucero.
Maximiliano Reyes	Ictioplancton
Katty Riquelme	Ictioplancton
<b>b) Instituto de Fomento Pesquero:</b>	
María Angela Barbieri	Coordinación. Procesamiento, análisis de datos y elaboración de informes.
José Córdova	Procesamiento, análisis de datos y preparación de informes.
Marcos Espejo	Preparación de crucero. Procesamiento, análisis de datos y preparación de informes.

Rodolfo Serra	Análisis de datos.
Manuel Rojas	Procesamiento y análisis de datos. Preparación de informes.
Victor Correa	Procesamiento y análisis de datos. Preparación de informes.
<b>c) Universidad de Concepción:</b>	
Ciro Oyarzún	Condición reproductiva. FPO, fecundidad.
Renato Quiñones	Análisis integrado. Relación huevos y larvas versus TSM
Santiago Gacitúa	Condición reproductiva. Fecundidad
Gustavo Aedo	Condición reproductiva.
Erik Daza	Condición reproductiva.
Elson Leal	Condición reproductiva.
D) COLABORADORES:	
Roberto Torres	Crucero.
Paulina Barraza	Crucero.
Claudio Castillo	Crucero.
Robinson Carrasco	Crucero.
Rubén Mena	Crucero.
Carlos Vera	Crucero.
Luis Varela	Crucero.
Carlos Pincheira	Crucero.
Marcela Gallardo	Crucero.

## 2 RESUMEN EJECUTIVO

---

Se analiza la abundancia y distribución de huevos y larvas de jurel, la condición reproductiva de los adultos, y la distribución espacial de las agregaciones en la principal área de desove en aguas oceánicas frente a Chile central. Para evaluar el área de desove, se llevó a cabo un crucero que involucró la participación de embarcaciones de la flota de cerco regional.

El crucero se desarrolló entre los días 10 y 22 de noviembre de 2003, utilizando 8 naves de pesca industrial que cubrieron simultáneamente el área de estudio, comprendida entre los 33° - 38°S y 75° - 92°W, a través de un muestreo sistemático de 16 transectas separadas cada 20 millas náuticas y estaciones dispuestas cada 18 millas náuticas a lo largo de cada transecta. En total se lograron 694 lances planctónicos para evaluar la abundancia de huevos y larvas, y 112 lances estratificados para evaluar la distribución vertical de huevos de jurel, obtenidos desde 28 estaciones de muestreo (en estratos: 0-25; 25-50; 50-75; 75-100). El crucero cubrió adecuadamente las isotermas de 15 – 18 °C, que representan rangos de temperatura superficial en las cuales se ha encontrado las mayores abundancias de huevos de jurel en estudios previos.

La distribución horizontal de la temperatura superficial del mar (TSM) evidenció un rango térmico entre 13° y 18°C para el área de estudio, con un predominio de las isotermas de 15° y 16°C, y detectándose un leve gradiente noroeste-sureste, donde temperaturas superiores a los 17°C se localizaron al norte de los 34°S. Se comparó la estructura térmica superficial con la de cruceros anteriores, en especial verificándose cambios en la posición de la isoterma de 16°C.

Se analizó el patrón de distribución del viento superficial para los diferentes años de realización de los cruceros de huevos y larvas de jurel, evidenciando una rotación anticiclónica en la zona de estudio, con menores intensidades en el cuadrante noroccidental del área de distribución, y magnitudes mayores en el sector costero donde predominaron los

vientos hacia el norte. Esto evidencia que la región de altas abundancias de huevos y larvas de jurel se asocia con áreas de bajas intensidades de viento, y en general, la región de desove de jurel estaría asociada a valores de turbulencia menores a  $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ .

De los 694 lances planctónicos, se logró una cobertura de un 60,4 y 38,9 % de estaciones positivas con huevos y larvas respectivamente, lográndose un grado de cobertura adecuado del área y núcleos de desove de jurel. La densidad promedio de huevos fue 131,5 huevos en  $10 \text{ m}^2$  y la de larvas de 49,9 larvas en  $10 \text{ m}^2$ , siendo ambas cifras inferiores a las registradas en cruceros anteriores. La distribución vertical de los huevos de jurel, muestra que si bien se encuentran presentes en los 4 estratos, éstos se concentran por encima de la profundidad base de la termoclina y en general se observa un decremento de tipo exponencial con el aumento de la profundidad de muestreo.

El análisis estructural, mediante el método geoestadístico, revela para los huevos de jurel la existencia de anisotropía zonal en la dirección Este-Oeste, donde el rango de las estructuras de huevos alcanzaron un tamaño de 99 mn y se detectaron 2 polígonos de estimación. En el caso de las larvas de jurel, se identificaron 14 focos de densidad, con un rango estructural de 110 mn, similar al obtenido para los huevos.

El área de desove se consideró como la extensión del número de estaciones positivas ( $647967 \text{ Km}^2$ ). En esta área, la producción diaria de huevos fue de 131,2 huevos en  $10 \text{ m}^2$  (IC: 86.9-171.3) y una tasa de mortalidad de 0,57 por día (IC: 0.9-0.3), siendo este valor de producción el más bajo registrado en lo que lleva de desarrollo este proyecto e inferior en casi 4 veces al valor reportado para el año 2001.

Las abundancias de los estadios tempranos de jurel se asocian significativamente con la temperatura superficial del mar, tanto para el crucero de 2003 como para 5 cruceros pasados. Las larvas y huevos de jurel presentan una clara preferencia por aguas cálidas mayores a  $15,6^\circ\text{C}$ , existiendo evidencia de rechazo a temperaturas mayores a  $20,5^\circ\text{C}$ .

En cuanto a la obtención de muestras de adultos de jurel, se realizaron 45 lances de pesca, que representaron el 70% del número total de lances propuestos al inicio del crucero. De estos, y en relación con el logro de muestras de jurel para los análisis biológicos, sólo un 67% de los lances de pesca realizados arrojaron resultados positivos para dichos objetivos. La estructura de tallas de jurel estuvo representada por ejemplares de entre 15 y 65 cm LH, con una moda en los 28 cm y un tamaño promedio de 29,3 cm.

La condición reproductiva de las hembras empleadas para los análisis de fecundidad e histología revelan en su mayoría hembras en estado de madurez III y un bajo porcentaje de hembras en estado IV. No obstante lo anterior se contó con un número de 23 hembras disponibles para el análisis de fecundidad. Acorde a los resultados provenientes de los adultos, la fecundidad parcial obtenida fue de 39.842 ovocitos (CV=18%), la fracción de hembras desovantes correspondió a un 9% de las hembras maduras (CV=15,6%).

El peso promedio de las hembras maduras se estimó en 394,7 g (CV: 12,5%) y la proporción de hembras en peso fue de 0,48 (CV: 4,2 %).

La biomasa desovante estimada para el área de estudio, y a partir de los estimados obtenidos durante el período de ejecución del crucero, fue de 1,9 millones de ton (CV=26,9%). En este proyecto se re-estimó las áreas de desove y la producción diaria de huevos obtenidas en los años 1999, 2000 y 2001, obteniéndose nuevos estimados de biomasa, acorde a las recomendaciones efectuadas por expertos de reconocida trayectoria internacional en estas metodologías y que no fueron requeridas previamente.

Las nuevas estimaciones de biomasa son comparadas con las generadas con modelos de evaluación indirecta y se concluye que éstas concuerdan con los estimados de los años 2000 y 2001, registrándose discordancias en 1999 y 2003.

La ecoprospección se efectuó a través de una operación rastrillo en el área de estudio, utilizando los equipos acústicos (ecosonda y sonar) de las embarcaciones. Para facilitar el análisis de los resultados la zona de estudio se dividió en tres sectores longitudinales:

costero (< 200 mn), oceánico (201 a 400 mn) y extra oceánico o alta mar (> 400 mn), así como en dos áreas latitudinales: norte (33°LS - 36°30'LS) y centro (36°31'LS – 38°LS), las que en conjunto conforman seis zonas.

Para facilitar el análisis de los resultados la zona de estudio se dividió en dos sectores longitudinales: costero (75°W - 84°W) y oceánico (84°01'W – 92°W), así como en dos áreas latitudinales: norte (33°LS - 36°LS) y centro (36°LS – 38°LS), las que en conjunto conforman cuatro zonas.

En el área prospectada el índice de cobertura (IC), expresado en unidades básicas de muestreo fue de 12,76%. Las distribuciones espaciales de los ecotrazos de jurel, reportados por el ecosonda, presentaron un incremento en el índice de cobertura (IC) hacia el sector de alta mar, evidenciando una mayor presencia del recurso hacia el sector oeste en la zona de estudio, lo cual también se observó a través de los cambios que presentaron los índice de presencia (IPE), clusters simples (CS) y clusters complejos (CC). La altura promedio de los ecotrazos fue de 21,8 m, con una profundidad media que alcanzó los 107,2 m.

Los huevos de jurel se encuentran más ampliamente distribuidos en el área de desove que los peces para el año 2003, esto se destaca a través del índice de Gini que alcanza valores de 0,48 y 0,86 respectivamente.

Se observa un cambio interanual en la dispersión de los huevos y peces, evidenciándose un comportamiento inverso, ya que cuando se alcanza altas densidades de huevos (diciembre 1998, noviembre 2000 y 2001), éstos presentan una distribución más homogénea en el plano horizontal (índice de Gini bajo), asociándose una baja presencia de jurel y una distribución heterogénea (índice de Gini alto), con más del 65% de los ecotrazos distribuidos entre la superficie y los 100 m en la columna de agua. Cuando se registra una densidad de huevos baja (noviembre 1997, diciembre 1999 y noviembre 2003), la situación es a la inversa y el jurel está más profundo. Se puede señalar que la estrategia espacial del jurel en el área de desove difiere de acuerdo a los cambios de densidad de sus productos de desove.

## TABLA DE CONTENIDOS

1	PERSONAL PARTICIPANTE .....	1
2	RESUMEN EJECUTIVO .....	3
3	OBJETIVO GENERAL .....	16
4	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	16
5	ANTECEDENTES .....	17
5.1	HIPOTESIS DE TRABAJO .....	20
5.1.1	Con respecto a la distribución y zonas de producción de huevos: .....	20
5.1.2	Con respecto a la distribución y agregaciones del recurso .....	20
6	METODOLOGIA .....	21
6.1	AREA Y EPOCA DE ESTUDIO .....	21
6.2	DISEÑO DE MUESTREO ICTIOPLANCTONICO .....	22
6.3	HUEVOS Y LARVAS DE JUREL .....	24
6.3.1	Muestras planctónicas .....	24
6.3.2	Estimación de índices de abundancia de huevos y larvas de jurel .....	26
6.3.3	Índices de abundancia de huevos y larvas .....	27
6.3.4	Determinación de la distribución vertical de huevos y larvas .....	28
6.3.5	Relación entre huevos y larvas y la temperatura superficial del mar .....	29
6.3.6	Análisis de la distribución espacial de la abundancia de huevos .....	31
6.4	MUESTREO OCEANOGRÁFICO .....	37
6.4.1	Temperatura Superficial del Mar .....	37
6.4.2	Vientos .....	38
6.4.3	Geostrofia .....	38
6.4.4	Caracterización Vertical .....	38
6.5	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS Y LA TASA DE MORTALIDAD INSTANTÁNEA DE HUEVOS .....	40
6.5.1	Experimentos de Incubación de Huevos de Jurel .....	40
6.5.2	Modelo para asignar la edad a los huevos .....	42
6.5.3	Producción diaria de huevos .....	43
6.5.4	Delimitación del área de desove .....	45
6.6	Caracterización de la condición reproductiva y fracción desovante .....	45
6.6.1	Plan crucero de adultos .....	46
6.6.2	Relaciones y variables biológicas .....	48
6.6.3	Vigilancia histológica del período reproductivo .....	51
6.6.4	Condición reproductiva del jurel en alta mar .....	52
6.7	BIOMASA DESOVANTE .....	58
6.8	ALIMENTACION .....	60

6.9	CARACTERIZACION DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS AGREGACIONES DE JUREL.....	63
6.9.1	Ecoprospección.....	63
6.9.2	Distribución espacial de las agregaciones de jurel.....	65
6.9.3	Morfología de las agregaciones y distribución batimétrica.....	68
6.9.4	Índice de abundancia.....	69
6.9.5	Análisis multitemporal de la distribución de los ecotrazos de jurel.....	70
7	RESULTADOS.....	72
7.1	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CONDICIONES OCEANOGRAFICAS.....	72
7.1.1	Datos de terreno (termómetros digitales).....	72
7.1.2	Información satelital.....	74
7.1.3	Vientos superficiales durante el crucero.....	80
7.1.4	Turbulencia y Transporte de Ekman.....	82
7.1.5	Corrientes geostróficas.....	83
7.1.6	Campo de distribución vertical.....	84
7.2	DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARVAS DE JUREL ..	89
7.2.1	Determinación de la distribución vertical de huevos y larvas.....	92
7.2.2	Relación entre huevos y larvas y la temperatura superficial del mar.....	95
7.2.3	Análisis de la distribución espacial de la abundancia de huevos.....	101
7.3	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS Y LA TASA DE MORTALIDAD INSTANTÁNEA DE HUEVOS.....	106
7.3.1	Distribución de edades.....	106
7.3.2	Producción diaria de huevos y mortalidad.....	107
7.4	CRUCERO DE ADULTOS.....	108
7.4.1	Estructura de tallas.....	110
7.4.2	Relación longitud-peso.....	112
7.5	CONDICIÓN REPRODUCTIVA.....	112
7.5.1	Estados de madurez sexual macroscópicos.....	112
7.5.2	Estados de madurez sexual microscópicos.....	115
7.5.3	Caracterización de los Folículos Postovulatorios (FPO).....	118
7.5.4	Índice gonadosomático (IGS).....	119
7.5.5	Fecundidad parcial de jurel durante el período de desove.....	120
7.5.6	Vigilancia histológica del período reproductivo.....	122
7.6	ESTIMACION DE LA BIOMASA DESOVANTE.....	125
7.7	ALIMENTACIÓN.....	128
7.7.1	Importancia relativa de las presas (IIR).....	129
7.7.2	Similitud trófica.....	131
7.8	CARACTERIZACION DE LAS AGREGACIONES DE JUREL.....	134
7.8.1	Distribución espacial y batimétrica.....	134
7.8.2	Distribución batimétrica en el ciclo de las 24 horas.....	140
7.8.3	Distribución multitemporal de ecotrazos de jurel (cruceros 1997-2003)...	144

8	DISCUSION.....	152
9	CONCLUSIONES.....	157
10	REFERENCIAS .....	160
11	ANEXO 1 .....	165
12	ANEXO 2 .....	176

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Transectas de ida y regreso asignadas a los barcos participantes proyecto FIP 2002-12.....	23
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario.....	25
<b>Tabla 3.</b> Resumen del número de lances planctónicos y estratificados obtenidos en el crucero de Noviembre de 2003.....	29
<b>Tabla 4.</b> Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales (adaptada de Holden y Raitt, 1975).....	47
<b>Tabla 5.</b> Escala de madurez microscópica.....	52
<b>Tabla 6:</b> Bitácora de pesca indicando nombre de la embarcación, número de lance, hora, latitud y longitud horquilla (LH), número de estómagos totales y número de estómagos con contenido.....	61
<b>Tabla 7:</b> Grupos de tamaños de jurel, definidos cada 5 cm de longitud de horquilla (LH)	61
<b>Tabla 8.</b> Embarcaciones, armador y transecta realizada en la zona de estudio 2003.....	64
<b>Tabla 9.</b> Resumen de los cruceros 9711, 9812, 9912, 2011, 2001-11 y 2003-11.....	71
<b>Tabla 10.</b> Estadística de la distribución de huevos de jurel entre 1997 y 2003 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima.....	90
<b>Tabla 11.</b> Estadística de la distribución de larvas de jurel entre 1997 y 2003 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) ( varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima.....	91
<b>Tabla 12.</b> Rangos de preferencia de las larvas y huevos de jurel respecto a la temperatura ambiental en la zona de estudio determinados mediante la metodología de Perry y Smith (1994) durante los cruceros realizados en la zona de estudio.....	99
<b>Tabla 13</b> Parámetros del variograma teórico ajustado a los registros de densidad de huevos (núm/10 m <sup>2</sup> ) y larvas (núm/10 m <sup>2</sup> ) de jurel. Bondad de ajuste: SCR = suma de cuadrados residuales.....	102
<b>Tabla 14</b> Area (mn <sup>2</sup> ) de los focos de distribución de larvas de jurel ( <i>Trachurus symmetricus</i> ) en el área de estudio.....	104
<b>Tabla 15.</b> Producción diaria de huevos y coeficiente de mortalidad total de huevos de jurel, noviembre de 1999, 2000, 2001 y 2003.....	108
<b>Tabla 16.</b> Resumen de los lances de pesca realizados durante el crucero de Noviembre de 2003.....	109
<b>Tabla 17.</b> Frecuencia de estados de madurez EMS macroscópicos por embarcación para el área prospectada.....	115
<b>Tabla 18.</b> Frecuencia de estados de madurez EMS macroscópicos por lance para cada embarcación.....	116
<b>Tabla 19.</b> Estados de madurez microscópicos de jurel, noviembre 2003.....	118
<b>Tabla 20.</b> Estimación de la fracción de hembras con folículos postovulatorios y frecuencia de desove obtenidas para cada lance (EMM:estado de madurez microscópico; FPO 0, 1 y 2: folículos postovulatorios día 0, 1 y 2; Frec Des 1, 2 y 1+2: fracción para FPO 1.....	119

<b>Tabla 19.</b> Frecuencia en número y porcentaje (en paréntesis) por semana de los distintos estados de madurez microscópicos obtenidos del monitoreo. ....	122
<b>Tabla 20.</b> Parámetros reproductivos de jurel y estimación de la biomasa desovante de jurel en aguas alta mar, frente a Chile centro-sur. ....	126
<b>Tabla 21.</b> Comparación entre la biomasa desovante del jurel estimada por el modelo de evaluación y el método de la producción diaria de huevos. ....	127
<b>Tabla 23.</b> Numero (N%), peso (P%), frecuencia de aparición (F%) e índice de importancia relativa (IIR) para las principales presas de jurel, Noviembre 2003. ....	130
<b>Tabla 24.</b> Índice de importancia relativa por grupo de tamaños de jurel .....	130
<b>Tabla 25.</b> Índice de cobertura (IC) de los ecotrazos reportados por el ecosonda en las macrozonas : norte costero, norte oceánico, norte extra oceánico, centro costero, centro oceánico, centro extra oceánico y total zona de estudio, 2003.....	136
<b>Tabla 26.</b> Índice de presencia (IPE) por cada 100 mn lineales y número de agregaciones por zona, 2003. ....	137
<b>Tabla 27.</b> Cluster simples (CS) y cluster complejos (CC) en porcentaje por categoría de abundancia y tipo de ecotrazo. ....	139
<b>Tabla 28.</b> Profundidad mínima, máxima, promedio y altura media por clase de abundancia y tipos de agregación, 2003. ....	143
<b>Tabla 29.</b> Presencia de ecotrazos (%) en la columna de agua a una profundidad superior e inferior de los 100 m, por categoría y tipo de ecotrazos.....	144
<b>Tabla 30.</b> Índice sintético de la presencia de huevos (IA), donde SAH es la superficie (mn <sup>2</sup> ) de estrato de alta densidad de huevos y ST superficie total (mn <sup>2</sup> ). ....	146
<b>Tabla 31.</b> Índice de presencia de ecotrazos IPE (Número de agregaciones por mn lineal) .....	147
<b>Tabla 32.</b> Profundidad media y alto promedio de las agregaciones y porcentaje de agregaciones entre la superficie y los 100 m de profundidad.....	149

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución espacial de las estaciones de muestreo realizadas en el crucero FIP 2002-12. Noviembre de 2003. ....	23
<b>Figura 2.</b> Distribución de transecto en la zona de estudio, 2003. ....	63
<b>Figura 3.</b> Tipología de los ecotrazos de jurel. ....	66
<b>Figura 4.</b> Distribución espacial de la TSM en el área de estudio a partir de datos de terreno ajustados de acuerdo el modelo de variograma obtenido. ....	73
<b>Figura 5.</b> (a) Semivariograma obtenido para los valores de TSM obtenidos en terreno (modelo esférico; nugget=0,001; sill= 1,178; rango= 768 y $r^2= 0.957$ ). (b) Validación cruzada para los valores de TSM obtenidos en terreno versus la TSM estimada a partir del modelo de variograma ajustado. Noviembre del 2003. ....	73
<b>Figura 6.</b> Imagen satelital de temperatura superficial del mar. (a) 08 de Noviembre de 2003, (b) 18 de Noviembre de 2003. ....	74
<b>Figura 7.</b> Variación semanal en la distribución espacial de la TSM para el período y área de estudio (Fuente: IGOSS). ....	76
<b>Figura 8.</b> Variación semanal de la distribución espacial de la anomalía de TSM para el área y período de estudio (Fuente: IGOSS). ....	76
<b>Figura 9.</b> Distribución espacial de TSM en el área de estudio para el mes de noviembre de los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003 (Fuente: IGOSS). ....	78
<b>Figura 10.</b> (a) Distribución temporal de las anomalías promedio mensuales de TSM para el área de estudio y el periodo comprendido entre los años 1982 a 2004. La flecha indica el mes de noviembre del 2003. (b) Distribución temporal de las anomalías promedio de TSM para el mes de noviembre durante el periodo comprendido entre los años 1982 a 2003. ....	79
<b>Figura 11.</b> Vientos de escaterometría durante el crucero realizado durante noviembre de 2003. ....	81
<b>Figura 12.</b> Vientos de escaterometría durante noviembre de los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003. ....	82
<b>Figura 13.</b> Distribución espacial de la turbulencia y del transporte de Ekman para los meses de noviembre de 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003. ....	83
<b>Figura 14.</b> Corriente geostrófica para el día 12 de noviembre de 2003 en el área de prospección de huevos de jurel. ....	84
<b>Figura 15.</b> Transectos realizados durante el crucero de noviembre de 2003 y que contaron con información de CTD. ....	85
<b>Figura 16.</b> Secciones verticales de temperatura (°C) para los cuatro transectos realizados durante noviembre de 2003. ....	86
<b>Figura 17.</b> Secciones verticales de salinidad (psu) para los cuatro transectos realizados durante noviembre de 2003. ....	87
<b>Figura 18.</b> Secciones verticales de densidad ( $\sigma_t$ ) para los cuatro transectos realizados durante noviembre de 2003. ....	87
<b>Figura 19.</b> Profundidad de la capa de mezcla para las cuatro transectas realizadas durante noviembre de 2003. ....	88
<b>Figura 20.</b> Densidad de huevos de jurel (huevos en 10 m <sup>2</sup> ) en el crucero 2003. ....	89

<b>Figura 21.</b> Cambios interanuales de las abundancias de huevos de jurel considerando las estaciones positivas y el total de estaciones. ....	90
<b>Figura 22.</b> Densidad de larvas de jurel (larvas en 10 m <sup>2</sup> ) en el crucero 2003. ....	91
<b>Figura 23.</b> Cambios interanuales de las abundancias de larvas de jurel considerando las estaciones positivas y el total de estaciones. ....	92
<b>Figura 24.</b> Localización de las estaciones de muestreo vertical estratificado de huevos. ....	93
<b>Figura 25.</b> Distribución vertical ponderada de huevos de jurel. ....	93
<b>Figura 26.</b> Distribución vertical de huevos de <i>Trachurus symmetricus</i> en aguas oceánicas de California (extraído de Ahlstrom, 1956). ....	94
<b>Figura 27.</b> Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre (A) huevos y (B) larvas de jurel y la temperatura superficial del mar durante el año 2003 de acuerdo al método de Perry & Smith (1994). Símbolos: línea sólida = frecuencia acumulada de la variable ambiental (f(t)); -●-●- = frecuencia acumulada de la variable ambiental * la densidad de huevos o larvas (g(t)); - - - = diferencia entre g(t) y f(t). S distancia máxima entre f(t) y g(t). P significancia estadística. ....	96
<b>Figura 28.</b> Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas o huevos de jurel y la temperatura superficial del mar (cruceros años 98 y 99). (A) larvas 1998, (B) huevos 1998, (C) larvas noviembre 1999, (D) huevos noviembre 1999, (E) larvas diciembre 1999, (F) huevos diciembre 1999. Símbolos: línea sólida = frecuencia acumulada de la variable ambiental (f(t)); -●-●- = frecuencia acumulada de la variable ambiental X la densidad de huevos o larvas (g(t)); - - - = diferencia entre g(t) y f(t). S distancia máxima entre f(t) y g(t). P significancia estadística. ....	97
<b>Figura 29.</b> Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas (ind/10 m <sup>2</sup> ) o huevos (huevos/m <sup>2</sup> ) de jurel y la temperatura superficial del mar para los cruceros realizados los años 2000, 2001 y 2003. (A) larvas 2000, (B) huevos 2000, (C) larvas 2001, (D) huevos 2001. Símbolos: línea sólida = frecuencia acumulada de la variable ambiental (f(t)); -●-●- = frecuencia acumulada de la variable ambiental * la densidad de huevos o larvas (g(t)); - - - = diferencia entre g(t) y f(t). S distancia máxima entre f(t) y g(t). P significancia estadística. ....	98
<b>Figura 30.</b> Distribución de frecuencias de temperatura superficial del mar en las áreas de alta mar donde se han realizado prospecciones de larvas y huevos de jurel. A = año 1998, B = Noviembre de 1999, C = Diciembre de 1999, D = año 2000, E = año 2001 y F = año 2003. ....	100
<b>Figura 31.</b> Frecuencia de temperatura superficial del mar en las áreas de alta mar donde se han realizado prospecciones de larvas y huevos de jurel considerando los cruceros realizados durante 1998, 1999, 2000, 2001 y 2003. ....	101
<b>Figura 32</b> Diagrama que muestra el polígono (línea azul) que representa el área total de evaluación de la distribución espacial de huevos y larvas de jurel ( <i>Trachurus symmetricus</i> ). ....	102
<b>Figura 33</b> Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de huevos (núm./10 m <sup>2</sup> ) de jurel ( <i>Trachurus symmetricus</i> ) en el área de estudio en noviembre de 2003. ....	103
<b>Figura 34</b> Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de huevos de jurel ( <i>Trachurus symmetricus</i> , núm./10 m <sup>2</sup> ) en el área de estudio en noviembre de 2003. ....	103

<b>Figura 35</b>	Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de larvas (núm./10 m <sup>2</sup> ) de jurel ( <i>Trachurus symmetricus</i> ) en el área de estudio en noviembre de 2003.	105
<b>Figura 36</b>	Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de larvas de jurel ( <i>Trachurus symmetricus</i> , núm/10 m <sup>2</sup> ) en la zona de estudio.	105
<b>Figura 37.</b>	Número de huevos por estadio de desarrollo de jurel, crucero noviembre 2003	106
<b>Figura 38.</b>	Número de huevos de jurel por grupos de edad provisionales de medio día, crucero noviembre, 2003.	107
<b>Figura 39.</b>	Distribución de los lances de pesca totales. Los círculos color café representan los lances positivos (n=33).	110
<b>Figura 40.</b>	Distribución de frecuencia de tallas de jurel durante el crucero de Noviembre de 2003.	111
<b>Figura 41.</b>	Distribución espacial del tamaño modal de jurel en los lances de pesca.	112
<b>Figura 42.</b>	Histograma de frecuencias de talla para el total de hembras utilizadas en la caracterización de los EMS y los cálculos del Índice gonadosomático (IGS).	113
<b>Figura 43.</b>	Frecuencia en porcentaje (%) de los distintos estados de madurez sexual (EMS) para las hembras de jurel en el área total prospectada.	114
<b>Figura 44.</b>	Frecuencia en porcentaje (%) de hembras analizadas por barco. a) Estados de madurez sexual (EMS) y b) Estados de madurez microscópicos.	117
<b>Figura 45.</b>	Variación del IGS promedio para el total de hembras de jurel con la longitud horquilla de los peces durante el crucero de prospección.	120
<b>Figura 47.</b>	Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y la longitud horquilla (cm.) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste lineal (n=23).	121
<b>Figura 48.</b>	Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y el peso eviscerado (g.) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste lineal (n=23).	122
<b>Figura 49.</b>	Frecuencia en porcentaje (%) de los distintos estados de madurez microscópicos para el total de hembras de jurel analizadas del monitoreo reproductivo.	124
<b>Figura 50.</b>	Frecuencia en porcentaje (%) de los distintos estados de madurez microscópicos por semana para las hembras obtenidas del monitoreo reproductivo.	124
<b>Figura 51.</b>	Distribución de frecuencia de tallas de los ejemplares empleados en los análisis de contenido estomacal, noviembre, 2003.	128
<b>Figura 52.</b>	Distribución espacial de jurel por grupos de tamaños.	131
<b>Figura 53.</b>	Dendograma de similitud trófica en jurel, separados por grupos de tamaños.	132
<b>Figura 54.</b>	Dendograma de similitud trófica en jurel, entre años.	133
<b>Figura 55.</b>	Distribución espacial de la abundancia de jurel detectada por ecosonda en la zona de estudio, 2003.	135
<b>Figura 56.</b>	Distribución espacial de la abundancia de jurel detectadas por sonar en la zona de estudio, 2003.	136
<b>Figura 57.</b>	Índice de presencia de ecotrazos (IPE) expresados en N° agreg / 100 mn alcanzados por ecosonda y por el sonar.	138
<b>Figura 58.</b>	Distribución de las agregaciones por clase de abundancia: a) total b) mala c) regular y d) buena, 2003.	141
<b>Figura 59.</b>	Distribución de la profundidad en el ciclo de 24 horas por clase de abundancia y tipo de agregación, 2003.	142
<b>Figura 59.</b>	Distribución espacial de la abundancia de huevos de jurel, Nov. 2003	145

<b>Figura 60.</b> Índice de cobertura total (IC %) relacionado con las áreas de alta densidad de huevos (IA %)	147
<b>Figura 61.</b> Curvas de Lorenz cruceros años 1997-2003: a) jurel y b) huevos de jurel	150
<b>Figura 62.</b> Índice de Gini determinado para el jurel () y para los huevos de jurel () entre de los cruceros de los años 1997-2003	151
<b>Figura 63.</b> Estimaciones directas de biomasa disponible a mediados de años por el método acústico y de biomasa desovante en noviembre por el método de la producción diaria de huevos	154

### **3 OBJETIVO GENERAL**

---

Estimar índices relativos de abundancia de huevos y larvas de jurel en el sector oceánico de Chile centro-sur y caracterizar las agregaciones del recurso en el área, durante el período de máxima actividad reproductiva.

### **4 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

---

- 4.1. Estimar índices de abundancia de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio.
- 4.2. Caracterizar la condición reproductiva de jurel en la zona de estudio y determinar el área de desove.
- 4.3. Determinar y caracterizar la distribución espacial de las agregaciones de jurel en la zona de estudio.

## 5 ANTECEDENTES

---

El jurel, *Trachurus symmetricus murphyi*, presenta una amplia distribución en el Pacífico Suroriental conformando dos unidades de stocks autosustentables, una localizada esencialmente frente a Perú y la otra frente a Chile, incluyendo en esta última a la fracción oceánica que se distribuye frente a las costas de la zona centro-sur sobre la cual operó una flota internacional, principalmente rusa, entre 1978 y 1991 (Serra 1991, Grechina et al. 1998).

A lo largo de las costas chilenas se identifican las siguientes unidades de pesquerías: a) zona norte (18° – 24°S), b) Caldera (27°S) - Coquimbo (29°S); y c) zona centro-sur (33° – 40°S). Estas pesquerías lograron una captura máxima de 4,4 millones de t en 1995. En 1997, la pesquería de jurel entra en crisis debido a la alta incidencia de jurel juvenil menor a la talla mínima legal de 26 cm de longitud horquilla en la zona centro-sur. Esta situación persistió en 1998, y sólo a contar del 2001 comienza un periodo de ordenamiento de la pesquería con la entrada en vigencia de la Ley de Capturas Máximas por Armador.

De acuerdo con Arcos et al. (2001) y Sepúlveda et al. (2003), la población de jurel está organizada en tres hábitat: a) una zona de crianza de juveniles, localizada en aguas oceánicas al norte de los 30°S; b) una zona de alimentación de adultos donde se congregan los adultos y ocurre el reclutamiento de juveniles de 2 a 3 años en la zona centro-sur; y c), un área de desove oceánica, la cual es visitada en primavera para llevar a cabo la reproducción. En el área de alimentación, cerca en la costa y a fines de otoño y comienzos del invierno, el jurel se distribuye conformando agregaciones densas entre la superficie y 230 m de profundidad, con el 39 – 90 % de las agregaciones entre la superficie y los 100 m de profundidad. Mientras que en primavera, cuando el jurel presenta una distribución más oceánica, éste se encuentra ampliamente distribuido en la columna de agua hasta 300 m de profundidad y sólo entre el 9 y 47,5 % se encuentra entre la superficie y los 100 m de profundidad. Entonces, el jurel se encuentra más ampliamente distribuido en la columna de

agua y más profundo, formando agregaciones más pequeñas en primavera - verano (Barbieri et al. 1999).

Durante la época de desove, la estrategia reproductiva del jurel es dispersarse en una gran área frente a Chile central (30 – 40° S, Barbieri et al., 1999). Evseenko (1987) sugirió que el desove del jurel está confinado a la Zona de Convergencia Subtropical, que se extiende desde Chile hasta los 150 – 160°W. Elizarov et al. (1993) encontró importantes núcleos de abundancia de huevos desde los 78° – 90° W en los 38° – 42° S frente a Chile, extendiéndose hasta cerca de 150°W al analizar más de 10 años con datos ictioplanctónicos. Por otra parte, por que el jurel está completamente maduro a los 3 – 4 años de edad, y cada hembra madura puede liberar varias tandas de huevos durante la época de desove (Macewicz y Hunter, 1993; Oyarzún y Gacitúa, 2003), podría ser factible estimar la biomasa desovante mediante el método de la producción diaria de huevos (Lasker, 1985; Hunter y Lo, 1993; Hunter y Lo, 1997).

La evaluación de stock de jurel se realiza utilizando modelos edad-estructurados (Serra et al. 2001, Cubillos 2001), los cuales requieren de índices de abundancia relativa o absolutas. En particular, se han utilizado datos de captura por unidad de esfuerzo estándar y las evaluaciones acústicas de biomasa realizadas frente a la zona centro-sur en otoño-invierno del periodo 1997-2001. Sin embargo, cambios operacionales en la flota debido al régimen de cuotas individuales, así como cambios en la disponibilidad de jurel en la zona costera podrían ser determinantes en las tasas de captura de la flota y en la evaluación acústica de la biomasa (Sepúlveda et al. 2003). Un ejemplo de ello ocurrió en invierno del 2002, cuando la evaluación acústica se realizó desde Valparaíso hasta el 40°S y hasta las 200 millas náuticas, cuando en realidad el jurel presentó una distribución oceánica por fuera de las 200 millas náuticas al sur de los 36°S, conformando una baja densidad. Los resultados fueron cerca de 1,9 millones de t en circunstancias que el 2001 se habían evaluado casi 6 millones de t (Córdova et al. 2002).

En 1997, un análisis de la condición desovante de jurel, distribución y abundancia de huevos y larvas en aguas oceánicas fue determinante para considerar seriamente la

posibilidad de contar con información nueva e independiente de la pesquería acerca de la situación del stock. Más tarde, se postuló que el Método de la Producción Diaria de Huevos (Lasker 1985) tenía la potencialidad de ser aplicado al jurel. En 1999, 2000, 2001 y 2003, el Fondo de Investigación Pesquera (FIP) ha demandado analizar las condiciones biológicas asociadas al jurel en alta mar para evaluar la factibilidad de aplicación de este método, considerando variadas interrogantes: ¿Cuáles son los límites oceánicos del desove de jurel? y ¿Cuál es la principal área de desove de este recurso?; ¿Cuál es la abundancia de huevos y larvas en alta mar, en la época del desove? ¿Qué diseño de crucero debe ser óptimo para cubrir el área oceánica de jurel? ¿Cuál es el comportamiento de las agregaciones de jurel en condición reproductiva en aguas oceánicas? ¿Es posible estimar la biomasa desovante de jurel con el MPDH? ¿Qué representa esta estimación? ¿Cuál es la importancia para la evaluación del stock y el manejo de la pesquería?

Luego de compilar y re-analizar los resultados obtenidos desde los diferentes años de ejecución de este proyecto, primeramente Cubillos et al. (2003) realizaron por primera vez estimaciones de la biomasa desovante de jurel a partir de las estimaciones de producción de huevos y parámetros reproductivos de los estudios FIP 99-14 (Sepúlveda et al., 2001), FIP 2000-10 (Cubillos et al. 2002), y FIP 2001-12 (Cubillos 2003); éstas estimaciones fueron determinantes para la evaluación del recurso en el 2002 (Cubillos 2002), ya que cambios en la disponibilidad y comportamiento de jurel fueron importantes al momento de realizar la evaluación acústica en invierno de 2002.

El Instituto de Investigación Pesquera ha realizado este tipo de estudios con el convencimiento de que las estimaciones de biomasa desovante de jurel, y los parámetros que definen la condición reproductiva del mismo, mejorarán con cada repetición anual del proyecto, tal y como fue planteado por el Dr. John Hunter y la Dra. Beverly Macewicz (NMFS, NOAA, USA) al revisar los resultados de los proyectos FIP 2000-10, FIP 2001-12 y en especial tras los resultados re-analizados en este estudio.

Se destaca que el éxito del proyecto depende en gran medida de la cooperación de la industria pesquera de la zona centro-sur, que ha puesto a disposición del proyecto las embarcaciones requeridas para ejecutar los cruceros.

## **5.1 HIPOTESIS DE TRABAJO**

El presente estudio se basa en la existencia de un área de desove principal del jurel localizada en la alta mar contigua a Chile centro-sur, la cual es recurrente a través de los años y en la que se manifiesta una alta actividad reproductiva entre los meses de noviembre-diciembre (Sepúlveda et al. 2001, Cubillos et al. 2003).

### **5.1.1 Con respecto a la distribución y zonas de producción de huevos:**

La hipótesis de trabajo señala que la extensión y localización de los núcleos de desove en esta área, son principalmente modulados por la distribución de masas de agua con temperaturas características de entre 15 y 18 °C, las que manifiestan desplazamientos latitudinales interanuales según se registren períodos fríos o cálidos en este sistema o bien por la intensificación o no de la Corriente de Deriva del Oeste.

### **5.1.2 Con respecto a la distribución y agregaciones del recurso**

La hipótesis sobre la distribución del jurel y su condición reproductiva sostiene que el jurel al desovar forma agregaciones de baja densidad. Las áreas de desove están condicionadas por rasgos ambientales, por lo que las agregaciones formadas por el jurel durante la fase reproductiva no son susceptibles de ser capturadas con redes de cerco y son de difícil detección por los equipos acústicos empleados de manera convencional.

## **6 METODOLOGIA**

---

El análisis de la condición biológica de jurel en alta mar, considera un muestreo intensivo de la producción total de huevos en el área de desove, y de los atributos biológicos de los adultos que están desovando en términos de la fecundidad media poblacional, fracción de hembras desovantes diarias, peso promedio de las hembras maduras, proporción de hembras durante el período de mayor actividad reproductiva, y la caracterización de la agregaciones de jurel en alta mar (Cubillos 2003). En este contexto, es altamente necesario limitar o circunscribir el área de desove en alta mar, identificar el periodo de máxima actividad reproductiva, determinar el mejor diseño de muestreo ictioplanctónico en relación con la distribución espacial de los huevos, y el diseño de muestreo de adultos en términos del número de lances necesarios.

### **6.1 AREA Y EPOCA DE ESTUDIO**

El área de estudio fue fijada entre los límites latitudinales comprendidos entre los 33°S y 38°S y longitudinales entre los 75°W y 92°W, área que fue cubierta por 8 embarcaciones industriales de cerco que desarrollaron 16 transectas separadas entre sí por 20 millas náuticas (ver sección 7.2).

Los límites latitudinales fueron fijados a través del análisis de una imagen satelital de temperatura superficial del mar, fijándose como límite sur la distribución de la isoterma de 15 °C durante la primera quincena de noviembre de 2003. El muestreo de huevos en el área de estudio se desarrolló entre el 10 y 20 de noviembre de 2003, ya que los antecedentes disponibles señalan que si bien la principal época reproductiva de jurel se extiende entre octubre y diciembre, muestra un notorio máximo en el mes de noviembre (Cubillos 2003).

## 6.2 DISEÑO DE MUESTREO ICTIOPLANCTONICO

Con el objeto de estimar índices de abundancia de huevos y larvas de jurel, determinar la producción y la tasa de mortalidad diaria de huevos, y dar así cumplimiento al Objetivo Específico 4.1, se ejecutó un muestreo planctónico que cubrió el área de estudio en alta mar.

El área de estudio quedó determinada por el despliegue del esfuerzo de muestreo que desarrolló cada una de las 8 embarcaciones. Al considerar que la distribución de huevos de jurel tiende a presentarse en aguas con temperatura superficial del mar mayores a 15 °C (Quiñones y Wiff, 2003), se consideró apropiado prospectar inicialmente el área al norte de la posición geográfica de la isoterma de 15 °C en el área de estudio.

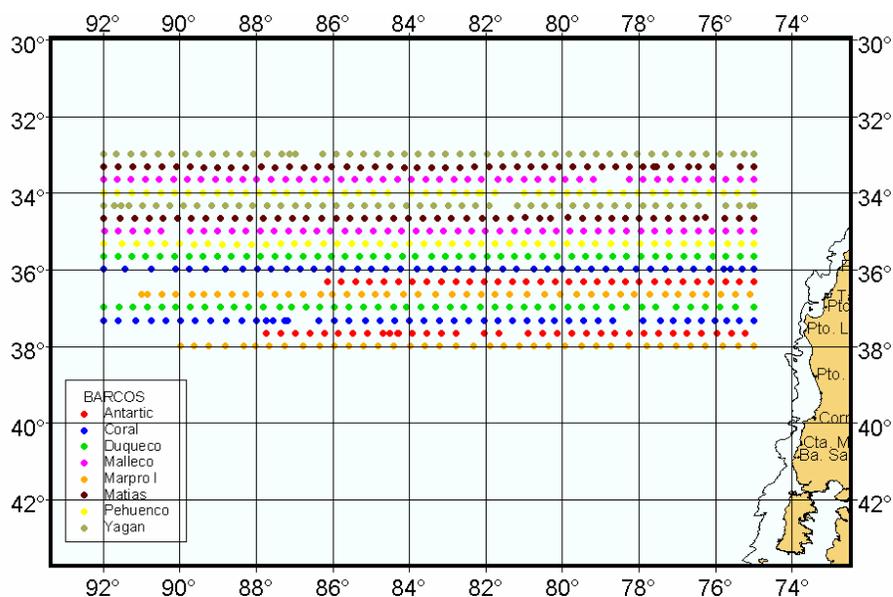
A cada una de las naves participantes se les asignó dos transectas a prospectar, una de ida navegando desde los 75° a los 92°W y otra de regreso desde los 92°W hasta los 75°W. Esto implica un total de 16 transectas dispuestas inicialmente entre los 33°00'S y los 38°00'S con una separación de 20 mn entre transectas. Se utilizó 20 mn entre transectas con el objeto de incrementar los límites latitudinales del área de estudio. Este incremento de 18 mn a 20 mn no tiene efectos en la distribución espacial ni en los estimadores de densidad media, tal y como se desprende del estudio que se detalla en el Anexo 1 y en los resultados obtenidos.

La estrategia de muestreo contempló que todas las naves iniciaran su recorrido cubriendo el área central de distribución desde los 75°W hasta los 92°W entre los 34°20'S y los 36°40'S. Luego, las 4 naves de las transectas 5 a 8 retornaron por las transectas 1 a 4 y las 4 naves de las transectas 9 a 12, lo hicieron por las transectas 13 a 16. Las latitudes asociadas a las transectas que cubrieron las 8 naves se detallan en la **Tabla 1**. La evaluación de la densidad de huevos de jurel se realizará sobre la base de 685 estaciones planctónicas, las cuales responden a un diseño de muestreo sistemático en una grilla de estaciones generadas por transectas paralelas separadas cada 20 millas náuticas y estaciones

planctónicas separadas cada 18 millas náuticas a lo largo de cada transecta (**Figura 1, Tabla 1**).

**Tabla 1.** Transectas de ida y regreso asignadas a los barcos participantes proyecto FIP 2002-12

Transecta	Coordenada	Dirección	Nave
1	33°00'S	Regreso	YAGAN
2	33°20'S	Regreso	MATIAS
3	33°40'S	Regreso	MALLECO
4	34°00'S	Regreso	PEHUENCO
5	34°20'S	Ida	YAGAN
6	34°40'S	Ida	MATIAS
7	35°00'S	Ida	MALLECO
8	35°20'S	Ida	PEHUENCO
9	35°40'S	Ida	DUQUECO
10	36°00'S	Ida	CORAL I
11	36°20'S	Ida	ANTARTIC
12	36°40'S	Ida	MARPRO I
13	37°00'S	Regreso	DUQUECO
14	37°20'S	Regreso	CORAL I
15	37°40'S	Regreso	ANTARTIC
16	38°00'S	Regreso	MARPRO I



**Figura 1.** Distribución espacial de las estaciones de muestreo realizadas en el crucero FIP 2002-12. Noviembre de 2003.

## 6.3 HUEVOS Y LARVAS DE JUREL

### 6.3.1 Muestras planctónicas

En cada una de las estaciones de muestreo se realizaron arrastres planctónicos verticales desde los 100 m de profundidad hasta la superficie, con redes WP-2 de 303  $\mu$  de abertura de poro. Todas las redes fueron confeccionadas utilizando las mismas medidas de abertura de boca (0,6 m de diámetro), número y longitud de las porciones de red filtrante, así como la longitud de la sección no filtrante.

El material planctónico recolectado fue trasvasiado desde el copo colector de la red a frascos plásticos de 0,5 L de capacidad debidamente etiquetados. Las muestras fueron inmediatamente fijadas después de la colecta, con una solución de formalina en agua de mar con una concentración final de 5 % neutralizada con bórax (disodio tetraborato) con el objeto de evitar la autólisis de los individuos capturados y fijar el estado de desarrollo en que fueron colectados.

En el laboratorio del Instituto de Investigación Pesquera, las muestras de plancton se analizaron bajo lupa con el objeto de separar la totalidad del ictioplancton, identificando y separando los huevos y larvas de jurel según los criterios de Santander y Castillo (1971), para luego clasificarlos según estadios de desarrollo. Los criterios de clasificación de huevos han sido previamente formalizados y descritos *in extenso* por Sepúlveda et al. (2001), sobre la base de Moser y Ahlstrom (1985). Estos se resumen en la **Tabla 2**. Los estadios de desarrollo no identificables o desintegrados se les clasificó como huevos deteriorados.

**Tabla 2.** Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario.

ESTADIO	CARACTERISTICAS
Estadio I	La división celular no ha comenzado, sólo es posible diferenciar el polo animal vegetal (vitelo), el cual cubre 1/4 del corion.
Estadio II	Comienza con la primera división celular en dos blastómeros la cual se identifica por la formación de un surco que atraviesa el polo animal. También es posible observar la segunda división celular con la formación de otro surco perpendicular al anterior que genera cuatro células. Sucesivas divisiones poco diferenciables en cuanto al número de células pueden observarse constituyendo las llamadas mórulas, cuya característica más relevante es que las células son claramente diferenciables unas de otras. Este estadio finaliza con la formación del blastodisco en esta etapa la división celular alcanzado tal magnitud que no es posible diferenciar las células tomando en la superficie un aspecto rugoso.
Estadio III	Esta fase que se caracteriza por la formación clara del blastodermo como un tejido, donde no es posible diferenciar entre cada célula. Además, en esta etapa se origina la cavidad de segmentación a partir del último clivaje. Al término de este estadio puede observarse la formación del anillo germinal a partir de un engrosamiento en el margen del blastodermo el cual ocupa 1/3 del área del corion.
Estadio IV	Al comienzo de este estadio el embrión ocupa 1/3 del corion. El embrión se observa hacia un costado del blastodermo, pero en general muestra un engrosamiento mucho más intenso al estadio anterior. La cavidad de segmentación se diferencia claramente ocupando alrededor de un 1/3 del corion. Al final de este estadio el embrión alcanza un largo de 2/3 del corion y el blastoporo puede ser observado muy claramente en la mayoría de los casos.
Estadio V	Se caracteriza porque el blastodermo se ha condensado completamente en un embrión que alcanza un largo total de 1/2 del corion. El blastoporo se observa en un amplio rango de aberturas hasta alcanzar su cierre casi total, además comienzan a aparecer los somitos. También se diferencia la cabeza y vesículas óticas.
Estadio VI	Este estadio comienza cuando el blastoporo esta casi al cierre para posteriormente cerrarse completamente. Después se produce un engrosamiento del embrión en su región caudal que finaliza con el comienzo de la separación de la cola del vitelo, la cabeza se observar claramente definida con las vesículas óticas y además en este estadio se observa el lente primordial, los somitos se sitúan a lo largo de todo el cuerpo con excepción de la región caudal.
Estadio VII	Este estadio comienza cuando la cola ha comenzado a desprenderse del vitelo, para luego elongarse y alcanzar como máximo la mitad del largo de la cabeza de embrión. Además se observarse un desarrollo incipiente de la aleta caudal.
Estadio VIII	En este estadio la cola es mayor a 1/2 del largo del embrión alcanzando una longitud igual al largo de la cabeza del embrión. La punta de la cola se ha tornado más puntiaguda y se dobla en el eje del embrión hacia la derecha o izquierda (Figura 8).
Estadio IX	El ancho de la aleta caudal se ha incrementado diferenciándose claramente. El largo alcanzado por la cola es mayor a 1/3 de la altura del corion.
Estadio X	La cola alcanza una longitud mayor a 2/3 de la altura del corion. El ancho de la aleta embrional es casi igual al de la cola.
Estadio XI	La cola alcanza una longitud mayor a 2/3 de la altura del corion y alcanza la cabeza o la traspassa. El ancho de la aleta es mayor o doble al ancho de la cola.

### 6.3.2 Estimación de índices de abundancia de huevos y larvas de jurel

La densidad de huevos y larvas de jurel se estandarizó a número de individuos para una unidad de área estándar de 10 m<sup>2</sup>. Para ello, se midió el ángulo de cala de la red, que prácticamente no excedió los 15° debido al peso muerto que se utilizó para mantener la verticalidad de la operación. En estos casos, se determinó la longitud del cable necesaria para que alcanzara la profundidad deseada de 100 m. La distancia efectiva recorrida por la red fue multiplicada por el área de la boca de la red para estimar una estimación de volumen. Para llevar a la unidad estándar, el número de individuos por volumen se multiplicó por la profundidad de muestreo y por un factor de 10, i.e.

$$C = 10 * \frac{d}{w} * c \quad (1)$$

donde  $C$  es el número de huevos o larvas en una unidad de área de mar (10 m<sup>2</sup>),  $d$  es la profundidad máxima del lance (m),  $w$  es volumen de agua filtrado (m<sup>3</sup>), y  $c$  es el número de huevos o larvas en la muestra de plancton.

La profundidad máxima del lance ( $d$ ), fue obtenida a partir de la siguiente expresión:

$$d = \cos \alpha \cdot (L_0) \quad (2)$$

donde  $L_0$  es la cantidad de cable arriado (m),  $\cos(\alpha)$  es el coseno del ángulo registrado antes del virado de la red.

El volumen de agua filtrado ( $w$ ) se calculó por

$$w = Q * t \quad (3)$$

donde  $Q$  es el volumen de agua filtrado por unidad de tiempo (m<sup>3</sup>×s<sup>-1</sup>), y  $t$  es el tiempo empleado en el arrastre (s). El valor de  $Q$  se calculó por

$$Q = V * A \quad (4)$$

donde  $V$  es la velocidad de arrastre de la red expresada en  $m \times s^{-1}$ , y  $A$  es el área de la boca de la red ( $m^2$ ).

### 6.3.3 Índices de abundancia de huevos y larvas

Con propósitos comparativos, se considera los siguientes índices para la abundancia de huevos y larvas de jurel. Los resultados de estos índices se compararán con los de cruceros previos financiados por el FIP.

#### a) Densidad promedio

Para la estimación de la densidad media del total de estaciones se utilizó el siguiente estimador:

$$\hat{D} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (5)$$

donde  $D$  es la densidad promedio de todas las estaciones,  $d$  es la densidad en cada estación, y  $n$  el número total de estaciones (positivas y negativas). La varianza ( $\hat{V}(\hat{D})$ ) de este estimador se determinará según la expresión:

$$\hat{V}(\hat{D}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (d_i - \hat{D})^2 \quad (6)$$

#### b) Densidad promedio en estaciones positivas

Para estimar la densidad media de las estaciones positivas, se utilizará un estimador similar al anterior:

$$\hat{D}_{pos} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{pos}} d_{i pos}}{n_{pos}} \quad (7)$$

donde  $D_{pos}$  es la densidad promedio de las estaciones positivas,  $n_{pos}$  es el número de estaciones positivas; y  $d_{i pos}$  es la densidad de las estaciones positivas. La varianza del estimador viene dada por:

$$\hat{V}(\hat{D}_{pos}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{pos}} (d_{i pos} - \hat{D}_{pos})^2}{n_{pos}(n_{pos}-1)} \quad (8)$$

Para la confección de mapas de distribución y abundancia y asignación de categorías de densidad para huevos y larvas de jurel se utilizó el programa SURFER 8.0.

#### 6.3.4 Determinación de la distribución vertical de huevos y larvas

Con el objeto de analizar la distribución vertical de huevos y larvas, se consideró analizar cuatro estratos en la columna de agua: 0 – 25 m, 25 – 50 m, 50 – 75 m, y 75 – 100 m los cuales fueron muestreados con redes WP-2 de 0,6 m de área de boca y 0,33 mm de abertura de malla. Para analizar la distribución vertical se utilizó el método integrado, consistente en muestrear en una estación fija los diferentes estratos de profundidad. Se consideró adecuado utilizar un diseño de muestreo sistemático en tres embarcaciones, realizando un muestreo estratificado cada dos estaciones, contándose con 112 lances estratificados (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Resumen del número de lances planctónicos y estratificados obtenidos en el crucero de Noviembre de 2003.

Transecta	Latitud	PAM	Nº Lances planctónicos	Nº Lances Estratificados
1	33°00' S	Yagan	48	16
2	33°20' S	Matias	46	
3	33°40' S	Malleco	46	16
4	34°00' S	Pehuenco	43	
5	34°20' S	Yagan	47	24
6	34°40' S	Matias	46	
7	35°00' S	Malleco	45	20
8	35°20' S	Pehuenco	46	
9	35°40' S	Duqueco	43	
10	36°00' S	Coral	41	
11	36°20' S	Antartic	31	
12	36°40' S	Marpro I	43	20
13	37°00' S	Duqueco	45	
14	37°20' S	Coral	45	
15	37°40' S	Antartic	33	
16	38°00' S	Marpro I	37	16
<b>Total general</b>			<b>685</b>	<b>112</b>

### 6.3.5 Relación entre huevos y larvas y la temperatura superficial del mar

Para identificar la asociación entre la abundancia de huevos y larvas de jurel y las variables ambientales se utilizó el enfoque propuesto por Perry and Smith (1994) y Perry et al. (1994). En primer lugar, se calculó la distribución de frecuencia acumulada relativa (FRA) para la variable ambiental (i.e. temperatura superficial del mar). Posteriormente, se calculó la frecuencia acumulada relativa de la temperatura superficial multiplicada por la densidad de huevos o larvas (FRAD). Los estadios tempranos se expresaron en ind/10 m<sup>2</sup> con un límite espacial de la integración de 100 m de profundidad.

La comparación de la FRA con la FRAD entrega evidencia si los huevos y larvas de jurel están asociadas o disociadas con la variable ambiental. Si la densidad de huevos o larvas esta distribuida al azar con respecto a la variable ambiental, entonces las dos curvas tendrán pendientes similares y no serán significativamente diferentes. En contraste, si la densidad de

huevos o larvas están asociadas a un rango particular de la variable ambiental la pendiente de la FRAD debiera ser más pronunciada que aquella pendiente de la FRA. Lo contrario es válido para el caso de rechazo a un rango ambiental.

La FRA de la temperatura superficial del mar fue calculada mediante

$$f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(x_i) \quad (9)$$

con la función indicadora

$$I(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i \leq t; \\ 0, & \text{de otro modo} \end{cases} \quad (10)$$

donde  $t$  representa un índice que presenta un rango desde el menor al más alto valor de la temperatura superficial del mar con un tamaño de intervalo apropiado para la resolución deseada. En este caso el tamaño de intervalo seleccionado fue  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Con  $n$  = número total de lances planctónicos y  $x_i$  = temperatura superficial del mar dentro del rango  $t$  en el lance planctónico  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

Las FRAD se calcularon utilizando

$$g(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} I(x_i) \quad (11)$$

donde  $y_i$  = variable de densidad específica en el set  $i$  dentro del rango  $t$  de la variable ambiental (i.e. temperatura superficial del mar),  $\bar{y}$  = abundancia media de larvas o huevos del jurel.

Finalmente, usamos el método de Perry y Smith (1994) para determinar la fortaleza de la asociación entre la densidad de huevos o larvas de jurel y la temperatura superficial del mar a través de la evaluación del grado de diferenciación entre las curvas  $g(t)$  y  $f(t)$ . Para determinar la significancia estadística ( $P$ ) de la diferencia entre las curvas, se calcula la máxima distancia vertical absoluta entre  $g(t)$  y  $f(t)$  de la siguiente manera:

$$\max_{\forall t} |g(t) - f(t)| = \max_{\forall t} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \bar{y}}{\bar{y}} \right) I(x_i) \right| \quad (12)$$

y su probabilidad, bajo la hipótesis de una relación al azar entre ambas curvas, es evaluada a través de una distribución de frecuencia producida mediante Bootstrap para el estadístico de esta última ecuación (Crowley 1992). Después de determinar la diferencia máxima absoluta entre las dos curvas ( $s$ ), se procedió a compararla con la distribución de la diferencia absoluta máxima de 2000 repeticiones de remuestreo bootstrap para la abundancia de larvas y huevos de jurel y de la variable ambiental con probabilidad  $1/n$ .

### 6.3.6 Análisis de la distribución espacial de la abundancia de huevos

#### a) Enfoque geoestadístico

La distribución espacial de huevos y larvas de jurel es una realización de un proceso estocástico en el espacio, y los datos obtenidos en el crucero de evaluación de noviembre de 2003 se consideran una muestra de dicho proceso. Al respecto, la herramienta más adecuada para los fines de analizar la distribución espacial de huevos y larvas en el área de estudio es la geoestadística, técnicas de análisis que es conceptualmente sólidas, estadísticamente rigurosas, y visualmente informativas.

Por estos motivos es que está siendo utilizada con una frecuencia cada vez mayor en investigación bio-pesquera a nivel mundial, y se ha convertido en una herramienta de alta relevancia tanto en la descripción de la distribución espacial de recursos bentónicos (Freire *et al.*, 1992, González-Gurriarán *et al.*, 1993, Comeau *et al.*, 1998, Roa y Tapia 2000) y pelágicos (Maravelias *et al.*, 1996), como en estimaciones de biomasa (Conan 1985, Simard

*et al.*, 1992, Pelletier & Parma 1994, Maynou *et al.*, 1998). Este tipo de análisis ya ha sido aplicado con éxito en estudios anteriores respecto de los mismos tópicos tratados en este proyecto. Las técnicas geoestadísticas, para los efectos de este informe, fueron aplicadas a la cantidad total de huevos y larvas de jurel.

La estimación geoestadística se basa en la correlación espacial entre los datos en lugar de evitarla, como en el caso de un muestreo aleatorio, y permite obtener resultados insesgados prácticamente desde cualquier tipo de diseño muestral (Conan 1985, Petitgas 1996). No obstante, se obtiene una mayor precisión al aplicar este tipo de análisis bajo estrategias de muestreo de tipo regular (Conan 1985), como es el caso de este estudio. Las estimaciones locales de cada variable obtenidas durante el crucero fueron consideradas como una representación muestral del proceso aleatorio subyacente (*i.e.* campo de la densidad de huevos o larvas). Primero se realizó un análisis estructural que permitió caracterizar el proceso sobre la base de las propiedades de los datos, modelando el cambio en su disimilitud en función de la distancia entre ellos. Posteriormente, este modelo de correlación espacial fue utilizado durante una interpolación por *kriging puntual ordinario* para asignar ponderadores óptimos a las mediciones de la variable local densidad local en cada lance. El procedimiento básico del *kriging* lineal consiste en la interpolación sobre el área no muestreada mediante combinaciones lineales de las observaciones provenientes del área muestreada en la grilla de transectas. Los coeficientes de las combinaciones lineales son óptimos desde el punto de vista de las desviaciones cuadráticas esperadas entre las observaciones y las interpolaciones (Isaaks y Srivastava 1989).

## **b) Análisis Estructural**

Para el presente análisis se supuso la existencia de *estacionaridad de segundo orden*, es decir, que la media del proceso aleatorio bajo estudio es constante en toda el área de análisis y la covarianza entre dos puntos de muestreo depende sólo de sus distancias relativas (Isaaks y Srivastava 1989). La herramienta estructural a ser utilizada es el variograma, definido (Journel y Huijbregts 1978) como la esperanza de la variable aleatoria  $(Z(x) - Z(x+h))^2$ , o

$$2\gamma(x, h) = E\left((Z(x) - Z(x+h))^2\right) \quad (13)$$

Bajo la hipótesis intrínseca, es posible estimar el variograma  $2\gamma(h)$  a partir de los datos mediante el variograma experimental  $2\gamma^*(h)$ , que es la media aritmética de las diferencias al cuadrado entre dos mediciones experimentales,  $z(x_i) - z(x_i+h)$ , realizadas en dos puntos cualesquiera separados por el vector  $h$ , o sea:

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x_i) - z(x_i+h))^2 \quad (14)$$

donde  $N(h)$  es el número de pares de datos experimentales separados por el vector  $h$ . Realizaremos este cálculo en varias direcciones para investigar así la existencia de diferencias direccionales en la estructura del proceso (*i.e.* anisotropía).

Una vez calculado el variograma experimental, se ajustó un modelo estadístico que permitió relacionar la estructura observada con el proceso generador. Los dos modelos investigados fueron el esférico y el exponencial, que han sido apropiados para las estimaciones de densidad de huevos y larvas de sardina y anchoveta (Castro *et al.* 1997) y jurel en estudios anteriores (Cubillos *et al.*, 2000, 2002). Estos modelos están dados en términos del variograma por Cressie (1993), como

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left( \frac{3}{2} \left( \frac{\|h\|}{\beta} \right) \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{\|h\|}{\beta} \right)^3, & 0 < \|h\| \leq \beta \\ c_0 + c, & \|h\| \geq \beta \end{cases} \quad (15)$$

para el modelo esférico, y

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left( 1 - \exp\left(-\frac{\|h\|}{\beta}\right) \right), & h \neq 0 \end{cases} \quad (16)$$

para el modelo exponencial, donde  $c_0$  es el efecto *nugget*, que caracteriza la variabilidad de micro-escala,  $c$  es el valor asintótico o *sill* del variograma menos el *nugget*, y  $\beta$  es el rango del variograma, más allá del cual los datos ya no presentan correlación (para el modelo exponencial, el rango práctico es tres veces el rango teórico  $\beta=3\beta$ ).

### c) Ajuste Mínimo Cuadrático de Cressie

Los parámetros de cada modelo fueron estimados a partir del variograma experimental mediante el método de mínimos cuadrados descrito por Cressie (1993), y aplicado con éxito por Pelletier y Parma (1994) y por Roa y Tapia (2000), minimizando la sumatoria.

$$\sum_{i=1}^H N(h_i) \left( \frac{\hat{\gamma}(h_i)}{\gamma(h_i)} - 1 \right)^2 \quad (17)$$

donde  $H$  es el número de intervalos en que se divide la distancia entre puntos de muestreo. Con esta función de minimización cada residuo al cuadrado se pondera según  $N(h_i)$ , que es el número de pares utilizado para calcular  $\hat{\gamma}(h_i)$ , y según el inverso de  $\gamma(h_i)^2$ . Este procedimiento tiene la ventaja de disminuir la ponderación de pares menos representados en la muestra y aumentar la de puntos cercanos al origen del variograma, zona crucial en la estimación de los parámetros del modelo (Pelletier y Parma 1994).

### d) Validación Cruzada

Se realizó una validación cruzada de los parámetros del variograma teórico ajustado y de los parámetros a utilizar en la interpolación por *kriging* (*i.e.* parámetros del variograma teórico, radio de búsqueda, número máximo de pares a utilizar en la interpolación). El método de validación cruzada (Deutsch y Journel 1998) consistió en eliminar uno a uno los puntos en que se realizó el muestreo y utilizar el resto de los datos para estimar el valor de la variable en ese punto, utilizando el modelo de variograma y parámetros de *kriging* seleccionados (Maravelias *et al.*, 1996). De esta forma, se define el error de predicción en

cada localidad muestreada como la diferencia entre el valor medido y el estimado a partir del resto de los datos (Isaaks y Srivastava 1989). El objetivo final de este procedimiento es obtener un criterio de decisión para seleccionar una combinación dada de parámetros del variograma teórico y del *kriging*. El criterio de selección es el error medio cuadrado:

$$MSE = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{z^{*(k)}(x_i, y_i) - z(x_i, y_i)\} \right)^2 + \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \{(z^{*(k)}(x_i, y_i) - z(x_i, y_i))\}^2 \quad (18)$$

$$MSE = sesgo^2 + var_y$$

donde  $z^{*(k)}$  es la predicción por *kriging*,  $i$  indexa a las observaciones que en total son  $N$ , y  $y_i$  es una observación separada una distancia  $h_i$  de  $x_i$ . Un buen modelo de continuidad espacial debería entregar estimaciones cuyo sesgo y dispersión de residuos se aproximen a cero. Por lo tanto, la combinación seleccionada de modelo y parámetros de *kriging* fue aquella con el menor  $MSE$ . Sin embargo, el hecho de que la distribución univariada de los residuos cumpla con estas condiciones no es suficiente para garantizar que las predicciones del modelo espacial en localidades no visitadas serán de buena calidad. Por ello, y como ha sido sugerido por Isaaks y Srivastava (1989), se inspeccionó además el grado de sesgo condicional (*i.e.* correlación entre las magnitudes de las estimaciones y sus residuos) y de correlación existente entre los estimados y las observaciones. La selección del conjunto de parámetros con mínimo  $MSE$  estuvo restringida a aquellas combinaciones que cumplan con estos dos requisitos. Como un criterio de selección adicional se incorporó la distribución latitudinal de los residuos, con el objeto de asegurar que las estimaciones no sólo sean condicionalmente insesgadas respecto de cualquier rango de valores, sino también respecto de su posición espacial.

#### e) Mapeo por kriging

Los parámetros del variograma teórico y del *kriging* seleccionados después de la validación cruzada para cada variable, fueron utilizados para calcular las ponderaciones óptimas a ser asignadas a cada estimación local de la variable, para así estimar la misma  $\hat{z}(x_0, y_0)$  en cada uno de los nodos de la grilla de interpolación  $(x_0, y_0)$  utilizando.

$$Z^*(x_0, y_0) = \sum_{j=1}^n w_j Z(x_j, y_j) \quad (19)$$

donde  $w_j$  representa las ponderaciones asignadas a cada localidad muestreada. La suma de estas ponderaciones es igual a 1 (*i.e.* constituyen una combinación lineal convexa), y por lo tanto la estimación es insesgada ( $E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0$ ). Cada ponderación fue estimada de tal forma que el error de estimación ( $\sigma_k^{*2}(x_0)$ ), llamado *varianza de kriging*, sea minimizado (Simrad *et al.*, 1992).

**f) Determinación de áreas de focos de distribución de huevos/larvas**

El área de los focos de distribución de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio, se determinó a partir de la cuantificación de las subáreas que representan las estaciones positivas (con presencia de huevos/larvas). El criterio para determinar el área de los focos de distribución se basó en considerar el área mínima de presencia de huevos/larvas para cada estación de muestreo.

Dada la existencia de estaciones negativas (ausencia de huevos/larvas) al interior de un transecta, circundadas por estaciones positivas, éstas fueron consideradas como ceros locales y por lo tanto contribuyen a la estimación del área total de cada foco de distribución de huevos o larvas. Este criterio fue aplicado en los ejes norte-sur (entre transectas adyacentes) y este-oeste (entre estaciones sobre un mismo transecta). El esquema siguiente explica la forma en que son elegidas las celdas que definen un foco de abundancia de huevos/larvas.

○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	●	○	○
○	○	○	●	●	●	●	●	○
○	○	●	●	○	○	●	●	○
○	●	●	○	○	●	●	○	○
○	●	●	●	●	●	●	○	○
○	○	○	●	●	●	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○

En seguida, se procede a juntar las celdas de manera que los bordes definen los vértices del polígono de estimación, los que posteriormente son suavizados mediante la aplicación de medias móviles con distintos tamaños de agrupación y puntos de partida.

## 6.4 MUESTREO OCEANOGRÁFICO

### 6.4.1 Temperatura Superficial del Mar

El registro térmico superficial en cada una de las estaciones de muestreo (ver **Figura 1**), fue realizado mediante termómetros digitales Hanna Instruments – Mod. CheckTemp de 0,1 °C de precisión, a bordo de cada una de las embarcaciones participantes. Se efectuó un total de 743 registros de TSM durante el crucero.

Asimismo, la TSM fue evaluada mediante información proveniente de satélites para el período en que se realizó el crucero. En esta oportunidad, se contó con dos fuentes de datos: (a) Imágenes diarias de TSM provenientes del radiómetro de alta resolución (AVHRR) a bordo del satélite NOAA-16 (1,1 x 1,1 km), las cuales fueron recepcionadas por la estación SmarTrack del Instituto de Investigación Pesquera. Estas imágenes fueron corregidas atmosféricamente y posteriormente graficadas y georeferenciadas para obtener finalmente los valores de TSM para la región oceánica frente a Chile central; (b) Información de TSM mensual y semanal (y sus anomalías) provenientes del sitio web “Integrated Global Ocean Services System Products Bulletin (IGOSS)”:

[http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOSS/nmc/Reyn\\_SmithOIV2/.monthly/.ssta/](http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOSS/nmc/Reyn_SmithOIV2/.monthly/.ssta/)

La resolución espacial de estas imágenes es de 1° x 1° y para el análisis de esta información se construyó una serie de tiempo mensual que abarcó desde enero de 1982 hasta enero de 2004, comprendiendo el área entre los 30° y los 40°S, y desde la costa hasta los 92°W.

## 6.4.2 Vientos

El campo horizontal de vientos fue obtenido a través de: (a) el Programa del CERSAT (Centre ERS d'Archivage et de Traitement), base programática de los satélites ERS 1 y ERS 2, cuya información posee una resolución espacial de 1° x 1° y una temporal de una semana; (b) el Programa QuikScat, con una resolución espacial de 0,25 x 0,25° y temporal diaria. Con esta información se calculó los parámetros asociados al viento, turbulencia, estrés de viento y transporte de Ekman.

## 6.4.3 Geostrofia

La estimación de las corrientes geostroficas superficiales fue realizada en base a información de altimetría satelital (topografía de la superficie del mar; Programa AVISO), donde las corrientes son proporcionales a la inclinación de la topografía de la superficie del mar (también conocida como topografía dinámica). La aproximación geostrofica aplicada a un nivel del mar de referencia igual a cero, asume  $g$  y  $f$  esencialmente constantes en los primeros metros de la columna de agua, por lo que es posible ajustar las ecuaciones de estimación de las componentes ( $U_s$ ,  $V_s$ ) de la corriente geostrofica superficial:

$$U_s = -\frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad V_s = \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

Donde  $g$  es la constante de gravedad,  $f$  es el parámetro de Coriolis y  $\zeta$  es la altura de la superficie del mar sobre el nivel superficial de referencia (geoide).

## 6.4.4 Caracterización Vertical

La estructura vertical de la columna de agua fue evaluada en cuatro transectos al interior del área de prospección, situados a las latitudes de 33°00'S, 34°20'S, 36°40'S y

38°00'S. En cada una de las estaciones de muestreo de huevos de jurel, evaluadas en los transectos precitados, se realizaron perfiles verticales para el registro de la temperatura, la salinidad y la densidad del agua de mar mediante dos sondas CTD llevadas a bordo de las naves YAGAN y MARPRO I. Las sondas CTD utilizadas en este proyecto fueron: (a) CTD Meereschtechnik Elektronik - Mod. Memory Probe y (b) CTD SensorData – Mod. SD-6000. En la gran mayoría de las estaciones con CTD, se evaluó la columna de agua entre la superficie y un máximo de 100 m de profundidad.

En algunas estaciones de muestreo, se recolectó muestras de agua de mar a diferentes profundidades para el posterior análisis de salinidad, con el propósito de verificar el buen funcionamiento de los sensores de conductividad de las sondas CTD utilizadas. El análisis de salinidad se realizó en el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad de Concepción, mediante un salinómetro de inducción BECKMAN RS7C utilizando agua de mar estándar. El cálculo de la densidad del agua de mar fue realizado utilizando la ecuación internacional de estado del agua de mar de 1980 (Millero & Poisson, 1981, UNESCO, 1981a). Se calculó, además, la profundidad de la capa de mezcla (PCM, Kara et al., 2000) en cada una de las estaciones con perfiles oceanográficos.

## 6.5 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS Y LA TASA DE MORTALIDAD INSTANTÁNEA DE HUEVOS

### 6.5.1 Experimentos de Incubación de Huevos de Jurel

El PAM Duqueco fue equipado para realizar la actividad de incubación de huevos de jurel con el objeto de determinar el tiempo de desarrollo de los huevos en función de la temperatura. Para ello se instaló a bordo de la nave el sistema de incubación que consiste en:

- a) **Incubadores:** Recipientes de 20 L de capacidad, de boca ancha, que contienen agua de mar a temperatura constante. En este medio se deben colocar pequeños contenedores de agua de mar que servirán de medio de incubación de los huevos de jurel. Se intentó trabajar con tres incubadores a temperaturas de 14, 16 y 18 °C.
- b) **Sistema de refrigeración:** cuya función es bajar la temperatura del agua de los incubadores por debajo de la temperatura ambiente. Este sistema funciona haciendo pasar refrigerante a través de un serpentín el cual, por contacto directo, enfría el agua, contenida en un bidón de 60 L de capacidad, a temperaturas entre 2 y 4 °C. Luego, el agua fría es impulsada a través de mangueras hacia cada incubador, por donde circula, y finalmente vuelve al sistema de refrigeración para reiniciar el ciclo. De esta forma, se impide que la temperatura de los incubadores se eleve por sobre la temperatura deseada.
- c) **Termo Reguladores:** Aparatos que permiten elevar la temperatura del agua de cada incubador hasta la temperatura deseada y mantenerla constante.

Para la obtención de un número confiable de huevos a incubar se optó por utilizar lances planctónicos y fecundación de hembras hidratadas. Cada vez que se realizó un lance de plancton, la muestra fue observada bajo lupa para verificar la presencia de huevos de jurel en estado temprano de desarrollo. Se destaca que se debe contar con un número suficiente, y éstos deben ser separados inmediatamente de la muestra para ser colocados en los incubadores. Lamentablemente, no se pudo contar con un número suficiente de huevos

de jurel pues los estadios tempranos fueron escasamente observados en las muestras colectadas a bordo del PAM Duqueco, tanto en la transecta de ida como de vuelta.

En cuanto a los experimentos de fertilización, cada vez que se realizó un lance de pesca, se buscaron muestras de hembras hidratadas y machos maduros para colectar huevos y esperma. Una vez obtenidos los huevos, estos fueron enjuagados con agua de mar filtrada y posteriormente colocados en un recipiente limpio con agua de mar. El esperma se diluyó en agua de mar filtrada (2 - 3 ml de esperma en 500 ml de agua) para activar la motilidad de los espermios. Finalmente, se procedió a realizar la fertilización, vertiendo en el recipiente con los huevos aproximadamente unos 10 ml de la solución de espermios y se esperó 15 a 20 minutos para que se lleve a cabo el proceso. Una vez producida la fertilización, se procedió a colocar los huevos fertilizados en frascos limpios debidamente etiquetados con agua de mar filtrada y se introdujeron en los incubadores en cada una de las temperaturas a ensayar.

Se destaca que solamente en uno de los lances de pesca se logró obtener ejemplares adecuados como para poder realizar el experimento de fertilización con éxito. Sin embargo, los huevos no lograron avanzar más allá del estadio III. Una de las posibles causas es que los huevos no estaban lo suficientemente hidratados, es decir, el huevo es capaz de fertilizarse, pero no de completar su desarrollo embrionario hasta el final. Ya que la fertilización es un proceso factible de realizar, y que la limitante principal es encontrar hembras hidratadas, una vez concluido el crucero se realizó un segundo viaje en la misma embarcación los días 20-23 de noviembre con la finalidad de buscar estas hembras. Lamentablemente, no fue posible encontrar en los 5 lances que realizó el Pam Duqueco ninguna hembra con las características requeridas. Al parecer la zona en donde se muestreó no era favorable ya que el 72 % de las hembras muestreadas en esa oportunidad se encontraban inmaduras (estado II) el 26,1 % maduras (estado III) y sólo un 1,1 % se encontraba parcialmente hidratada.

### 6.5.2 Modelo para asignar la edad a los huevos

El cálculo de la producción diaria de huevos por unidad de área requiere de un método de asignación de edad a los huevos. En el presente crucero, se realizaron experimentos de incubación a bordo del Pam Duqueco para lograr obtener un nuevo modelo de asignación de edad. Lamentablemente, ese experimento no fue exitoso tal como se hace referencia en el punto 7.5.1. No obstante a lo anterior, se cuenta con un modelo descrito por [Cubillos \(2002a\)](#) que permite estimar la edad de un huevo en función de la temperatura y el estadio:

$$Y_{D,T} = 1,744 * \exp(-0,056 * T - 0,185 * D) * (D)^{2,671} \quad (20)$$

donde  $Y_{D,T}$  es la edad promedio (horas) del estadio  $D$  a la temperatura  $T$  ( $R^2 = 0,954$ ;  $p < 0,05$ ).

Este modelo fue ajustado a partir de incubaciones de huevos de jurel que consideran temperaturas de 17 y 19 °C, mientras que fuera de estos rangos la edad estimada consistirá en una extrapolación. Se debe señalar que el rango de edades teóricas extrapoladas parecen ser bastante razonables.

Se aplicó la metodología de [Lo \(1985\)](#) para corregir la estimación de la edad al tiempo de la colecta de huevos considerando un tiempo cero que corresponde a la hora del desove, asumiéndose a las 23:30 horas. La edad en horas de los huevos clasificados en estadios de cada estación se calculó con la Ecuación 16, mientras que la corrección considera un ajuste por la fracción del día desde la hora del desove hasta la colecta. Para ello, se utilizó:

$$Y_{D,T,k} = Y_{D,T} + k - f \quad (21)$$

donde  $Y_{D,T}$  es la edad estimada por el modelo estadio-temperatura dependiente,  $k$  es la hora de la colecta (lance), y  $f$  es la porción remanente que surge de la suma de la hora estimada y

la hora del desove menos 24 horas. Las desiciones de corrección según la hora de colecta son:

$$Y_{D,T,k} = \left[ \begin{array}{l} k < (f - g) \Rightarrow y_{D,T} - g \\ (f - g) < k < (f + g) \Rightarrow y_{D,T} + k - f \\ (f + g) < k \Rightarrow y_{D,T} + g \end{array} \right] \quad (22)$$

donde  $g$  es el doble de la desviación estándar promedio de la edad dentro de cada estadio.

### 6.5.3 Producción diaria de huevos

De acuerdo con [Picquelle y Stauffer \(1985\)](#), la producción diaria de huevos en el mar es el número de huevos promedio desovados por día, por unidad de área, en el rango de duración de un crucero que provee de datos de abundancia de huevos por edad. El intercepto a la edad cero de un modelo de mortalidad exponencial ajustado a los datos, representa un estimado de la producción diaria de huevos ( $P_0$ ).

Este año la estimación de  $P_0$  fue modificada con respecto a la metodología empleada los años anteriores (1999, 2000, 2001) y a la mencionada en la oferta técnica, debido principalmente a las recomendaciones surgidas del Taller de discusión de resultados del Proyecto FIP 2003-06 “Evaluación del stock desovante de Anchoqueta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2003”, el cual contó con la participación de la Dra Nancy Lo (NOAA, EEUU) y del Dr. Andrés Uriarte (AZTI, España) el cual se realizó los días 8 y 9 de enero del presente año en las dependencias del instituto. Las modificaciones básicamente están relacionadas con la reagrupación de las edades en cohortes diarias y a la inclusión de estaciones con valores cero, pero que estaban dentro del área de desove, a la data empleada en la regresión no lineal para la obtención de este parámetro y su varianza asociada.

La metodología a seguir fue la siguiente:

-Una vez asignadas y corregidas las edades para cada estadio de desarrollo identificado según lo explicado en el punto 7.5.1, las abundancias de huevos se agrupan por cohortes diarias (< 1, 2 y 3 días). El número de cohortes esperadas depende de la temperatura de cada estación, para este crucero la mayor edad esperada estuvo cercana a los 3 días, razón por la cual se emplearon las 3 cohortes antes mencionadas. La edad asignada a cada cohorte corresponde al promedio ponderado por el número de huevos encontrados en cada estadio. En el caso que una cohorte no esté representada en la estación (ausencia de huevos), se le asigna la edad esperada según la hora de colecta y la hora de desove (23:30 hrs) y su abundancia tendrá valor cero.

- Las estaciones negativas, pero que se encontraban dentro del área de desove se incluyeron en los análisis, asignándoles la edad esperada para cada cohorte según la hora de colecta y la hora de desove (23:30 hrs) al igual que lo explicado en el punto anterior.

-Los huevos menores a 3 horas no se incluyeron en los análisis debido a que se encuentran muy cercanos al desove (submuestreo), excluyendo también los huevos de edades mayores por encontrarse muy cercanos a la eclosión, para ello, se estimó en cada estación el 95% del mayor tiempo de desarrollo esperado según la temperatura del lugar. Todos los huevos que tuvieran una edad superior a ese porcentaje, fueron excluidos de los análisis.

La producción diaria de huevos,  $P_0$ , y su varianza, fue estimada de acuerdo con el siguiente modelo de mortalidad:

$$P_t = P_0 \exp(-Zt) + \varepsilon \quad (23)$$

donde

$P_t$  = Número de huevos por una unidad de área ( $m^2$ ) en la edad  $t$

$t$  = Edad en días de los huevos

$P_0$  = Producción diaria de huevos por una unidad de área ( $m^2$ )

$Z$  = Tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos

$\varepsilon$  = Término de error aditivo.

El modelo asume que todos los huevos son fertilizados y desovados a una hora fija, y que todos los huevos experimentan una tasa instantánea de mortalidad constante hasta la eclosión. Debido a la estructura aditiva del término error, se utilizó regresión no lineal minimizando las diferencias cuadráticas entre la producción de huevos estimada por el modelo y la observada, utilizando la rutina *nls* de S-plus.

#### **6.5.4 Delimitación del área de desove**

La identificación del área de desove es un aspecto fundamental, utilizándose diversos criterios para delimitar dicha área. Al respecto, se define como área de crucero o de estudio a la delimitada por los contornos de las estaciones muestreadas, sin realizar interpolaciones inter-transectas, y que viene dada por la suma de las áreas que representa cada estación de muestreo. El área de desove, en cambio se estimó por el patrón espacial de estaciones positivas, considerando el que puedan existir estaciones negativas al interior del área de desove y por ende contribuyen a la estimación de ésta. Este es un estimador del tipo estructural o de límite inferior.

#### **6.6 Caracterización de la condición reproductiva y fracción desovante**

El objetivo específicos 4.2 requiere que simultáneamente con el desarrollo del crucero de huevos se determinen parámetros relacionados con la dinámica reproductiva de ejemplares adultos. Para ello, se implementó un plan de muestreo para satisfacer los requerimientos de cada parámetro reproductivo. De acuerdo con la Oferta Técnica, se ha planteado analizar los siguientes indicadores reproductivos: a) Estados de madurez macroscópicos; b) Peso promedio de hembras maduras; c) Proporción sexual; d) Índice gonadosomático; e) Análisis histológico de la condición reproductiva; f) Fecundidad parcial y fecundidad media poblacional; y g) Fracción de hembras desovantes.

### **6.6.1 Plan crucero de adultos**

De acuerdo con la experiencia de cruceros anteriores (e.g. FIP 99-14, FIP 2000-10, FIP 2001-12), el jurel no conforma agregaciones de tipo comercial en alta mar. El recurso se encuentra altamente disperso y “abierto”, lo que impide el éxito de pesca. Por esta razón, se consideró apropiado un mínimo de ocho lances de pesca de carácter obligatorio con red de cerco en aguas abiertas (1 lance por día), distribuidos en cuatro lances de pesca en el track de ida y cuatro durante el regreso por cada embarcación, lo que totalizaría 64 lances de pesca.

En total se realizaron 45 lances de pesca, lo que representa 70 % del número total de lances propuestos al inicio del crucero. De estos, y en relación con el logro de muestras de jurel para los análisis biológicos, sólo un 67 % de los lances de pesca realizados arrojaron resultados positivos para dichos objetivos.

#### **a) Muestreo aleatorio**

En cada lance de pesca exitoso se realizó un muestreo aleatorio de ejemplares adultos de jurel de la captura. De éstos se obtuvo una muestra aleatoria de 300 ejemplares, a los cuales se les determinó el sexo. Los primeros 70 machos y 70 hembras fueron separados con el objeto de realizar un análisis biológico posterior (estómagos, peso total, peso eviscerado, estado de madurez sexual). A los 160 ejemplares restantes (machos y hembras) se les midió en su longitud horquilla y se registró la frecuencia al límite inferior de intervalos de 1 cm.

En el caso de las hembras, la frecuencia de individuos se registró por estado de madurez sexual de las gónadas según la escala macroscópica de madurez de cinco puntos (**Tabla 4**). En esta escala de madurez, un indicador de desove inminente lo constituye el EMS 4 que representa los ovarios hidratados. La hidratación de los ovocitos es un proceso que dura pocas horas, siendo una condición de los cardúmenes desovantes. A su vez, la

mayor proporción de individuos en el EMS 3 indicará una mayor actividad reproductiva poblacional.

**Tabla 4.** Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales (adaptada de Holden y Raitt, 1975).

EMS	ESTADO	ASPECTO GENERAL
I	Inmaduro	Ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, rosáceos, traslúcidos, ovocitos invisibles a simple vista.
II	Virgen madurando y en recuperación	Ovarios ocupan casi la mitad de la longitud la cavidad abdominal. Color rosado y ovocitos invisibles a simple vista.
III	Maduro	Los ovarios cubren cerca de 2/3 de la cavidad abdominal. Color rosado a amarillento. Aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e indistinguibles a simple vista. Se observan vasos sanguíneos superficiales.
IV	Hidratado	Los ovarios ocupan toda la cavidad abdominal. Color naranja opaco a rosado, casi transparentes, con vasos sanguíneos superficiales poco visibles. Al presionar fluyen ovocitos hidratados, transparentes, del doble de tamaño que los ovocitos de una gónada madura.
V	En regeneración	Ovarios flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Las paredes son delgadas, flojas y lumen grande. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en desintegración, oscurecidos o traslúcidos. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.

El muestreo biológico específico de los 70 machos y 70 hembras consistió en registrar la longitud horquilla, el peso total y eviscerado (g), extracción de estómagos, y extracción de las gónadas a las primeras 50 hembras maduras. La longitud de estos 140 ejemplares se agregó a los datos de frecuencia de longitud, mientras que las gónadas de las 50 primeras hembras maduras fueron fijadas en formalina al 10 % tamponada y etiquetadas con los datos de la hembra, barco, lance y número correlativo de la planilla de muestreo.

#### **b) Muestreo dirigido**

Una vez finalizado el muestreo aleatorio, se realizó un muestreo dirigido para contar con un número suficiente de hembras hidratadas con el objeto de utilizar estas muestras en la estimación de fecundidad parcial. Se destaca que la frecuencia de hembras hidratadas es

una propiedad de los cardúmenes desovantes más que de los individuos, razón por la cual el número de hembras hidratadas en cardúmenes no desovantes puede ser muy bajo. Debido a que la fecundidad parcial se relacionará con el tamaño y peso corporal de las hembras, interesa cubrir un rango amplio de tallas y peso corporal. Se consideró como criterio buscar la mayor cantidad de hembras hidratadas en los primeros lances, y luego de contar con un número suficiente bajar a un tamaño mínimo de 30 hembras hidratadas, a las cuales se les medirá la longitud horquilla y el peso eviscerado en formularios apartes. Las gónadas de estas hembras fueron guardadas en formalina al 10 % tamponada con los datos de la hembra, barco, lance y número correlativo de la planilla. Estas muestras fueron rotuladas con el nombre hidratadas para diferenciarlas del muestreo aleatorio de las gónadas que serán utilizadas para la estimación de la fracción de hembras desovantes diarias.

## 6.6.2 Relaciones y variables biológicas

### a) Relación longitud - peso

Se utilizó las mediciones de longitud horquilla (cm) y peso total (g) de los ejemplares muestreados para determinar la relación longitud-peso, cuya forma es la siguiente:

$$W = a \cdot L^b \quad (24)$$

donde  $L$  es la longitud horquilla (cm),  $W$  es el peso total (g), y los parámetros  $a$  y  $b$  fueron estimados por medio de regresión no-lineal.

El peso promedio de las hembras maduras es estimado a partir del tamaño fijo de la submuestra de 50 hembras maduras por lance, este peso está determinado por

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (25)$$

y la varianza por

$$V\hat{A}R(\bar{W}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{W}_i - \bar{W})^2}{\bar{m}^2 n(n-1)} \quad (26)$$

donde  $\bar{W}$  es el peso promedio de hembras maduras,  $\bar{W}_i$  es el peso promedio de hembras maduras en el lance  $i$ ,  $m_i$  es el número de peces muestreados del lance  $i$ , y  $n$  es el número total de lances,  $\bar{m} = \sum_{i=1}^n m_i / n$ .

### **b) Proporción sexual y estados de madurez sexual macroscópicos**

Una sub-muestra aleatoria fue utilizada para estimar la proporción sexual. Se define por  $y_i$  al peso de la submuestra y  $\bar{R}_i$  como la fracción en peso de la submuestra que es atribuible a las hembras. Se destaca que tanto los peces maduros como inmaduros fueron incluidos en la estimación debido a que es imposible distinguir entre machos maduros e inmaduros. Por lo tanto se asume que la razón de sexos, en peso, es la misma para peces maduros e inmaduros. Para ahorrar esfuerzos de muestreo,  $\bar{R}_i$  y  $y_i$  son estimados más que valores medidos directamente.

El peso promedio para cada sexo fue estimado para cada lance a partir de la submuestra ( 70 machos y 70 hembras). El peso total, de cada sexo en la submuestra, se estimó multiplicando el número observado de peces de ese sexo por su peso promedio:

$$\hat{W}_i^H = y_i^H \bar{W}_i^H \quad (27)$$

$$\hat{W}_i^M = y_i^M \bar{W}_i^M \quad (28)$$

donde  $\hat{W}_i^k$  ( $k= H, M$ ) es el peso total estimado del sexo  $k$  en la submuestra  $i$ ;  $y_i^k$  es el número de peces del sexo  $k$  en la submuestra  $i$ ; y  $\bar{W}_i^k$  es el peso promedio del sexo  $k$  en la

submuestra  $i$ . Luego  $y_i$  fue estimado por la suma del peso total estimado de machos más hembras

$$\hat{y}_i = \hat{W}_i^F + \hat{W}_i^M \quad (29)$$

y  $\bar{R}_i$  fue estimado utilizando el peso total estimado de hembras dividido por  $\hat{y}_i$

$$\bar{R}_i = \frac{\hat{W}_i^F}{\hat{y}_i} \quad (30)$$

La proporción total de hembras en peso será estimada por:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{R}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (31)$$

donde  $m_i$  es el número de hembras maduras en el lance  $i$ , y su varianza por:

$$V\hat{A}R(\bar{R}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{R}_i - \bar{R})^2}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n(n-1)} \quad (32)$$

donde  $\bar{R}$  es la proporción en peso promedio de hembras maduras,  $\bar{R}_i$  es la proporción en peso de hembras maduras en el lance  $i$ ,  $m_i$  es el número de hembras maduras del lance  $i$ , y  $n$  es el número total de lances.

A cada ejemplar se le determinó el sexo a través de la observación directa de las gónadas y las hembras fueron clasificadas a bordo en estados de madurez mediante criterios macroscópicos (tamaño, forma, color etc.). Se identificaron cinco estados de madurez sexual macroscópica para las hembras, los cuales correspondieron a: 1 inmaduro, 2 madurando, 3 maduro, 4 hidratado, y 5 en regeneración según la escala de 5 puntos (**Tabla 4**).

### c) Índice gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) fue determinado a partir de las hembras del muestreo biológico de cada lance de pesca (muestreo aleatorio), utilizando la siguiente expresión:

$$IGS = \frac{G}{W - G} \times 100 \quad (33)$$

donde  $G$  representa el peso del ovario y  $W$  es el peso total. La medición y el peso de los ejemplares se realizó a bordo de las embarcaciones, mediante ictiómetros y balanzas de contrapeso; en tanto que el peso de las gónadas de las hembras se realizó con posterioridad en el laboratorio a partir de muestras fijadas en formalina al 10% o desde material congelado directamente a bordo.

#### 6.6.3 Vigilancia histológica del período reproductivo

A contar de la segunda semana de octubre se realizó una vigilancia histológica del periodo reproductivo de jurel. Las muestras fueron obtenidas a bordo de las embarcaciones de cerco, y consisten en un muestreo aleatorio de las capturas. A los ejemplares de la muestra se les mide en su longitud total y peso, y las 30 primeras hembras en estado de madurez macroscópica en maduración, madura o hidratada fueron seleccionadas para el análisis histológico. Los ovarios fueron pesados y preservados en formalina, y una muestra de cada ovario fue sometida al tratamiento histológico clásico de deshidratación alcohólica, inclusión en parafina sólida, cortes en micrótopo y tinción en Hematoxilina y Eosina.

La clasificación de los estados de madurez sigue el criterio de una escala de cuatro estadios, y tratándose de una especie desovante parcial, el estado más avanzado determina la clasificación de madurez e que cada individuo (**Tabla 5**). En cada ovario se identificó la presencia o ausencia de las siguientes estructuras: ovocitos que no han comenzado la vitelogénesis; ovocitos que se encuentren en los primeros estados de la vitelogénesis; ovocitos en vitelogénesis avanzada; ovocitos maduros (vitelogénesis completa); ovocitos hidratados, y folículos postovulatorios.

**Tabla 5.** Escala de madurez microscópica.

<b>Estado</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
Estado I	Inactivos	Son aquellos ovarios que presentan sólo ovocitos que aún no han comenzado la vitelogénesis.
Estado II	Previtelogéneis	Son aquellos ovarios que pudiendo presentar la mayoría de los ovocitos sin iniciar la vitelogénesis, también se presentan ovocitos con las típicas vacuolas lipídicas precursoras del vitelo.
Estado III	Vitelogénesis	En las especies que son desovantes totales, se presenta una sola moda de ovocitos, y en este caso todos presentarían en su interior gránulos de vitelo. En los desovantes parciales, como es el caso del jurel, se presentan ovocitos en todos los estados, pero siendo la moda más avanzada aquella de ovocitos con vitelo y una capa coriónica notable y fácilmente distinguible.
Estado IV	Maduros	La moda más avanzada se presenta con el citoplasma completamente lleno de vitelo. Se puede diferenciar en este estado aquellos ovocitos que comienzan su hidratación o que se encuentren francamente hidratados. Se incluye también en este estado a aquellos ovarios que aunque no presentaren ovocitos llenos de vitelo si presenten folículos postovulatorios ya que son signo evidente de un desove ocurrido en las últimas 24 horas.

#### **6.6.4 Condición reproductiva del jurel en alta mar**

La condición reproductiva del jurel en aguas oceánicas se realiza partir de estados microscópicos de madurez y de fecundidad. Las muestras de ovarios fueron obtenidas abordo, las cuales fueron inmediatamente fijados en formalina al 10% tamponada que se preparó de acuerdo con la metodología expuesta por [Hunter \(1985\)](#), [Oliva et al. \(1989\)](#), [Rojas y Oliva \(1993\)](#), consistente en 16,2 L de agua destilada, 117 g de fosfato de sodio dibásico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), 72 g de fosfato de sodio monobásico ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), y 1,8 L solución de formaldehído (37 %).

##### **a) Análisis microscópicos**

Las gónadas de hembras preservadas en formalina neutralizada fueron procesadas en el laboratorio. El peso de cada par de gónadas se realizó utilizando una balanza con una precisión de 0,01 g. Posteriormente, se efectuó una postfijación en solución Bouin (requiere la transferencia del ovario en etanol al 70 %). Este fijador conserva adecuadamente la morfología

tisular, con el fin de completar la fijación y completar la desnaturalización de las proteínas de las regiones profundas de la submuestra para el análisis histológico.

Una vez terminada la fijación, el proceso de deshidratación de los ovarios se realizó en Paraplast. Posteriormente, se efectuó cortes histológicos de 5  $\mu\text{m}$  de espesor los cuales fueron teñidos con hematoxilina y contrastados con eosina. La hematoxilina es el colorante más versátil y ampliamente usado en la técnica histológica. Se emplea para demostrar núcleo celular, se convierte en hamateína por oxidación. La hematoxilina-eosina colorante nuclear (aniónico) y colorante citoplasmático (catiónico).

#### **a) Clasificación de la madurez gonadal**

Las variaciones de las condición reproductiva será determinada a través del análisis de la distribución los estados de madurez de los ovarios, aplicando la escala microscópica específica (**Tabla 5**), basada en los criterios señalados por [Oliva \*et al.\* \(1982\)](#).

#### **b) Fecundidad parcial**

Para la determinación de la fecundidad parcial en el presente proyecto se aplicó una el método gravimétrico descrito por [Hunter \*et al.\* \(1985\)](#) que se basa en el conteo de los ovocitos hidratados en una porción del ovario como estimador de la fecundidad parcial Todos los ovarios clasificados como hidratados y en estado avanzado de maduración fueron sometidos a un examen histológico, descartando aquellos con indicios de desove (presencia de folículos postovulatorios).

Para el conteo, el líquido superficial fue absorbido con papel filtro y luego se obtuvo una submuestra de la mitad más grande del ovario, tomando dos segmentos del tejido: uno del centro y otro de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. En cada una de las dos submuestras de 0,14 g (promedio) se contabilizó los huevos bajo microscopio estereoscópico. El promedio del número de ovocitos hidratados de las dos submuestras

(Hunter et al., 1985) fue utilizado para estimar el número total de ovocitos hidratados del ovario mediante la siguiente expresión:

$$\bar{F}_i = \bar{n} * W_i \quad (34)$$

donde  $\bar{F}_i$  es la fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario),  $\bar{W}_i$  es el peso húmedo del ovario (g), y  $\bar{n}$  es el número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.

### c) Fecundidad parcial por hembra madura y fecundidad media poblacional

La fecundidad parcial se determinó utilizando las hembras colectadas en el área de muestreo. La relación entre la fecundidad parcial (número de ovocitos hidratados) y el peso del cuerpo de las hembras (peso eviscerado) se obtuvo mediante técnicas de regresión. La fecundidad media poblacional y su varianza se estimó siguiendo la metodología descrita por Hunter et al. (1985):

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{F}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (35)$$

donde  $\bar{F}$  es la fecundidad media poblacional,  $m_i$  es el número de hembras en el lance  $i$ ,  $\bar{F}_i$  es el promedio de la fecundidad parcial en el lance  $i$ .

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

$$Var(\bar{F}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{(\bar{F}_i - \bar{F})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + (w_i^* - w_h^*) s_\beta^2 \right]}{\left( \sum_{i=1}^n (m_i / n) \right)^2 n} \quad (36)$$

donde  $\bar{F}$  es el estimado de la fecundidad media poblacional,  $\bar{F}_i$  es el promedio de la fecundidad para el lance  $i$ ,  $s_h^2$  es la varianza de la regresión,  $n_h$  es el número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión,  $\bar{W}_i^*$  es el peso corporal promedio para el lance  $i$ ,  $\bar{W}_h^*$  es el peso corporal promedio de hembras utilizadas en la regresión,  $s^2(\beta)$  es la varianza de la pendiente de la regresión, y  $n$  es el número de lances.

#### **d) Caracterización de los folículos postovulatorios de jurel**

Para la caracterización de los folículos postovulatorios se utilizó todas las hembras que histológicamente fueron clasificadas como maduras, agrupadas según los lances y días de pesca. Debido a la baja disponibilidad de agregaciones de jurel, no fue posible contar con un ciclo de 24 horas para diferenciar entre los distintos estadios foliculares, de tal manera que sólo se estimó la proporción de hembras con folículos postovulatorio reconocibles. La caracterización de los folículos postovulatorios y el cálculo de la frecuencia de desove, se basó en el criterio utilizado por [Hunter y Goldberg \(1980\)](#), donde cada ovocito hidratado está rodeado por un folículo alargado y fino, una capa epitelial de células granulosas y una única capa externa de tejido conectivo de células con algunos capilares sanguíneos. Durante la ovulación los ovocitos completamente hidratados son liberados desde sus folículos. El folículo vacío o folículo postovulatorio no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, éste se deteriora rápidamente y es reabsorbido.

Para usar los folículos postovulatorios en la estimación de la frecuencia de desove es necesario dividir el proceso de deterioración y reabsorción del folículo en series de diferentes estadios histológicos, cada uno con una edad asignada. La edad de los folículos postovulatorios puede ser determinada claramente hasta 48 horas después del desove, posterior a eso, la estructura es fácilmente confundible con estructuras atrésicas. Los criterios para clasificar por edad los folículos postovulatorios se basan en los diferentes estadios de degeneración por los que ellos atraviesan, la definición de éstos se llevó a cabo en base a criterios discretos de las características citológicas y morfohistológicas (tamaño,

forma aparente, aspectos de las células de la granulosa y del lumen). Las principales características según [Hunter y Goldberg \(1980\)](#), son las siguientes:

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

#### e) Frecuencia de hembras maduras desovantes por día

Cuando el muestreo de hembras hidratadas o de hembras con folículos postovulatorios de día 1 ó de día 2 no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes en el lance  $i$  puede ser estimado por:

$$S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} \circ \frac{m_{1,i}}{m_i} \circ \frac{m_{2,i}}{m_i} \quad (37)$$

donde:

$$m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i} \quad (38)$$

y cada uno de los términos corresponden a:

$m_{hi}$  = Número de hembras hidratadas en el lance  $i$ .

$m_{1i}$  = Número de hembras de día 1 en el lance  $i$ .

- $m_{2i}$  = Número de hembras de día 2 en el lance  $i$ .  
 $m_{ai}$  = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con folículos postovulatorios con una edad menor de 9 horas, FPO nuevos)  
 $m_i$  = Número de hembras maduras en el lance  $i$ .  
 $S_i$  = Fracción desovante en el lance  $i$ .

Debido a que los lances de pesca se realizaron muy cercanos de la hora del desove y con red de cerco (Alheit, 1985), podría haber un sesgo en el número de hembras hidratadas. Fue necesario realizar una corrección del sesgo relativo al número de hembras hidratadas, se asume que el número de hembras con folículos postovulatorios de día 1 ( $24 \leq \text{FPO} \leq 48$  hr) es la mitad del número de hembras hidratadas. De esta manera,  $m_{hi}$  se reemplazó por:

$$m_{h,i} = 2 \times m_{1,i} \quad (39)$$

de tal forma que la fracción de hembras desovantes de día 1 es:

$$S_{1,i} = \frac{m_{1,i}}{2 \times m_{1,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{1,i}}{m_{y,i}} \quad (40)$$

y la fracción desovante de hembras de día 2 es:

$$S_{2,i} = \frac{m_{2,i}}{2 \times m_{1,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{2,i}}{m_{y,i}} \quad (41)$$

donde  $S_i$  es la fracción corregida de hembras con folículos postovulatorios del día 1 ó de hembras del día 2, en el lance  $i$ . El número de hembras que no ha desovado se estima por:  $m_{a,i} = m_i - m_{0,i} - m_{1,i} - m_{2,i} - m_{h,i}$  (se recuerda que  $m_{a,i}$  incluye las hembras con FPO nuevos menores a 9 hrs,  $m_{0,i}$ ), mientras que el número corregido de hembras maduras para el lance  $i$  viene dado por la siguiente expresión  $m_{y,i} = 2 \times m_{1,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$ .

Finalmente, la estimación de la fracción de hembras desovantes diarias para el lance  $i$  se realizó promediando las ecuaciones (42) y (43), mediante la siguiente expresión:

$$\bar{S}_i = \frac{S_{1,i} + S_{2,i}}{2} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2 \sum [2 \times m_{1,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}]} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2 \sum m_{y,i}} \quad (42)$$

La fracción de hembras desovantes promedio se estimó según la siguiente expresión:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (43)$$

con varianza igual a:

$$Var(\bar{S}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left( \frac{m_{y,i}}{\bar{m}} \right)^2 (\bar{S}_i - \bar{S})^2 \quad (44)$$

donde:  $\bar{S}$  es la fracción promedio de hembras desovantes por día en todos los lances,  $m_{yi}$  es el número corregido de hembras maduras en el lance  $i$ ,  $\bar{m}$  es el número promedio corregido de hembras maduras, i.e.

$$\bar{m} = \sum \frac{m_{y,i}}{n} \quad (45)$$

## 6.7 BIOMASA DESOVANTE

Según [Stauffer y Picquelle \(1980\)](#) la estimación de la biomasa desovante puede ser formulada mediante:

$$B = \frac{P_0 A \times k \times W}{R \times F \times S} \quad (46)$$

donde  $B$  es la biomasa desovante (toneladas),  $P_0$  es la producción diaria de huevos (huevos  $\times m^{-2} \times d^{-1}$ );  $W$  es el peso promedio de hembras maduras (g),  $R$  es la proporción en peso de hembras maduras,  $F$  es la fecundidad media poblacional, número de huevos por hembra madura por vez;  $S$  es la fracción de hembras maduras desovantes por día;  $A$  es el área de desove (en  $m^2$ );  $y$ ,  $k$  es un factor de conversión de gramos a toneladas.

Stauffer y Picquelle (1980), basados en el modelo delta de Seber (1973), demostraron que el sesgo aproximado y la varianza para el estimador de biomasa son función de las varianzas y covarianzas muestrales. El sesgo ( $b$ ) está dado por:

$$E[B] = \bar{B} + b \quad (47)$$

donde  $E[B]$  es el valor esperado de la biomasa y  $\bar{B}$  es el estimado de la Ec. (43). El sesgo puede estimarse aproximadamente de la siguiente forma:

$$b \cong \bar{B}(CV(R)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + COVS) \quad (48)$$

donde  $CV$  representa el coeficiente de variación del parámetro estimado y  $COVS$ , corresponde a la suma de términos que incorpora las respectivas covarianzas:

$$COVS = \frac{COV(PW)}{PW} - \frac{COV(PR)}{PR} - \frac{COV(PF)}{PF} - \frac{COV(PS)}{PS} - \frac{COV(WR)}{WR} - \frac{COV(WF)}{WF} - \frac{COV(WS)}{WS} \\ + \frac{COV(RF)}{RF} + \frac{COV(RS)}{RS} + \frac{COV(SF)}{SF} \quad (49)$$

Si se ignora el sesgo, la varianza aproximada del estimado está dada por:

$$Var(B) \cong \bar{B}^2 \times (CV(P)^2 + CV(W)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + 2 \times COVS) \quad (50)$$

En términos generales, la covarianza de los parámetros se estima a partir de las estimaciones promedio para cada lance, según la expresión:

$$COVS = \sum_i \sum_{i < j} sign \frac{COV(X_i, X_j)}{X_i X_j} \quad (51)$$

donde  $X$  representa estimaciones de los parámetros de adultos, los subíndices  $i$  y  $j$  representan diferentes parámetros de adultos; e.g.  $X_i = F$  y  $X_j = W$ . El signo de cualquiera de

los dos términos es positivo si ambos están en el numerador o denominador de la ecuación, en caso contrario es negativo.

La estimación de la biomasa desovante se comparó con las estimaciones realizadas para los años 1999, 2000 y 2001.

## 6.8 ALIMENTACION

Las muestras fueron obtenidas de 23 lances de pesca (positivos), realizados por ocho embarcaciones pesqueras, distribuidos en toda la zona de estudio. En cada lance de pesca se separó en promedio un total de 90 ejemplares, a los cuales se les determinó sexo, peso (g) y longitud de horquilla (LH), con el número y posición geográfica del lance respectivo. Los estómagos extraídos de estos individuos, fueron debidamente etiquetados y almacenados en cámaras de congelación a bordo de cada embarcación a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ , para su posterior análisis en laboratorio. El número total de estómagos obtenidos se presenta en la **Tabla 6**, señalando la fracción de estómagos con contenido.

El análisis del contenido estomacal implicó la identificación de los ítem presa al nivel taxonómico más bajo posible, dependiendo del grado de digestión de la muestra. Posterior a la identificación de las presas, se utilizó los métodos gravimétrico, numérico y frecuencia de aparición (Hynes, 1950).

Para el análisis de los distintos patrones alimenticios se construyeron arbitrariamente seis grupos de tamaños representando la totalidad de los ejemplares capturados (**Tabla 7**).

**Tabla 6:** Bitácora de pesca indicando nombre de la embarcación, número de lance, hora, latitud y longitud horquilla (LH), número de estómagos totales y número de estómagos con contenido.

DD	MM	AA	Barco	Lance	Hora	Latitud	Longitud	Moda (cm)	LH (cm) Prom.	Muestra (numero)	Estómagos (%) c/contenido
12	11	2003	Antartic	1	8:50	36°20'	79°22'	27	37,6	105	40
17	11	2003	Antartic	3	12:29	37°40'	84°30'	34	33,9	41	54
11	11	2003	Coral	1	16:30	36°00'	75°47'	32	34,9	25	100
12	11	2003	Coral	2	19:30	36°00'	80°45'	21	22,1	140	49
13	11	2003	Coral	3	20:40	36°00'	86°09'	36	38,6	28	86
14	11	2003	Coral	4	20:22	36°00'	90°46'	26	29,9	140	21
16	11	2003	Coral	5	20:36	37°20'	84°22'	27	28,9	87	61
17	11	2003	Coral	6	19:56	37°20'	80°19'	24	23,6	27	41
13	11	2003	Malleco	1	19:03	35°00'	78°57'	45	44,0	100	79
15	11	2003	Malleco	2	9:57	35°00'	86°58'	28	28,7	100	25
17	11	2003	Malleco	3	21:35	33°40'	87°19'	25	25,9	100	71
18	11	2003	Malleco	4	16:10	33°40'	83°33'	26	27,9	60	40
13	11	2003	Marpro I	3	20:40	36°40'	82°53'	45	40,0	85	24
17	11	2003	Marpro I	6	21:55	38°00'	83°09'	36	38,3	114	71
18	11	2003	Marpro I	7	18:10	38°00'	79°36'	28	27,9	140	23
19	11	2003	Marpro I	8	16:00	38°00'	75°44'	36	34,7	120	48
13	11	2003	Matias	2	9:50	34°40'	83°39'	40	40,9	99	33
14	11	2003	Matias	3	11:01	34°41'	88°35'	26	28,3	140	53
11	11	2003	Pehuenco	1	18:11	35°20'	75°54'	30	36,3	100	73
13	11	2003	Pehuenco	2	21:50	35°20'	86°28'	28	27,9	50	92
16	11	2003	Pehuenco	3	22:19	34°00'	84°20'	25	26,4	50	70
14	11	2003	Yagan	4	21:55	34°20'	90°15'	28	29,6	139	83
16	11	2003	Yagan	5	21:45	33°00'	85°53'	26	26,3	140	36
				<b>23</b>				<b>27</b>	<b>31,6</b>	<b>2130</b>	<b>51</b>

**Tabla 7:** Grupos de tamaños de jurel, definidos cada 5 cm de longitud de horquilla (LH)

Grupo	Longitud Horquilla (cm)	
	Desde	Hasta
I	< 25	25
II	26	30
III	31	35
IV	36	40
V	41	45
VI	46	>46

Se calculó la importancia relativa de cada taxón presa en la dieta de jurel mediante el Índice de Importancia Relativa (IIR) de Pinkas *et al.* 1971, (modificado, *fide* Hyslop 1980).

$$IIR_i = \log[(N_i\% + P_i\%) * F_i\% + 1] \quad (52)$$

Este índice relaciona el porcentaje en número (N%), el peso (P%) y la frecuencia de aparición (F%) del taxón presa *i*.

La similitud trófica se estimó mediante el índice de similitud de Czekanowski, o Bray-Curtis, también conocido como índice de similitud porcentual (Bloom, 1981)

$$IST = \frac{2 \sum_{i=1}^n \min(x_{ij}, x_{ik})}{\sum_{i=1}^n (x_{ij} + x_{ik})} \quad (53)$$

donde: mín es el peso menor entre  $x_{ij}$  y  $x_{ik}$ ;  $x_{ij}$  denota la presencia del *i*-ésimo taxón presa en la *j*-ésima clase de tamaño del predador,  $x_{ik}$  denota la presencia del mismo taxón presa en la *k*-ésima clase de talla del predador y *n* es el número total de taxa presas. Según Bloom (1981) este índice es el que mejor refleja la similitud entre grupos, sin sobrestimar ni subestimar la sobre posición, por lo que se considera más ventajoso en este tipo de estudios.

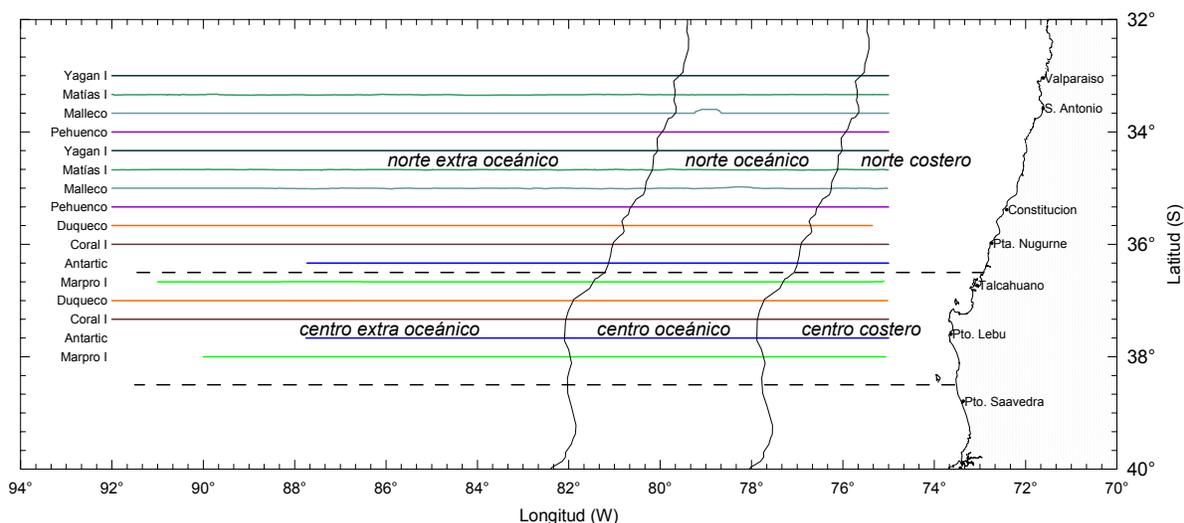
En los análisis sólo se consideraron las presas que aportaron con más del 1% en peso del contenido estomacal total. Para la construcción de los dendrogramas se utilizó el criterio de enlace de pares no ponderados, utilizando promedios aritméticos (Sneath y Sokal, 1973). La significancia de agrupamiento se determinó mediante la metodología desarrollada por Arancibia (1988), que consiste en obtener el promedio de las similitudes entre pares de variables para la matriz de similitud.

## 6.9 CARACTERIZACION DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS AGREGACIONES DE JUREL

El crucero de investigación contempló una prospección acústica, pesca de identificación, caracterización ambiental (temperatura), estaciones de plancton verticales y muestreo de tallas de jurel. A bordo de cada nave participante se tomaron registros acústicos.

### 6.9.1 Ecoprospección

La zona de estudio se extendió en sentido latitudinal desde los 33°S (Valparaíso) hasta los 38°S (sur de Pto. Lebu), en sentido longitudinal desde los 75° W hasta los 92° W, alrededor de 1000 mn (**Figura 2**). La superficie muestreada en el estudio fue de aproximadamente de 240.000 mn<sup>2</sup>.



**Figura 2.** Distribución de transecto en la zona de estudio, 2003.

La zona fue explorada por 8 embarcaciones de empresas pesqueras que habitualmente operan en la pesquería del jurel centro-sur (**Tabla 8**). La ecoprospección consideró la realización de 16 transectos perpendiculares a la costa y paralelo entre sí, con una separación de 20 mn entre transecto. Cada embarcación efectuó dos transectos a una

velocidad de 12 nudos, recorriendo una distancia aproximada de 12.714 millas lineales (**Figura 2**).

**Tabla 8.** Embarcaciones, armador y transecta realizada en la zona de estudio 2003.

<b>EMBARCACION</b>	<b>ARMADOR</b>	<b>TRANSECTAS</b>
YAGAN	CIA. PESQUERA CAMANCHACA S.A.	1-5
MATIAS	PESQUERA BAHIA CORONEL	2-6
MALLECO	SOUTHPACIFIC KORP S.A.	3-7
PEHUENCO	PESQUERA BIO-BIO S.A.	4-8
DUQUECO	PESQUERA BIO-BIO S.A.	9-13
CORAL I	SOCIEDAD PESQUERA LANDES S.A.	10-14
ANTARTIC	PESQUERA SAN JOSE	11-15
MARPRO I	PESQUERA DEL NORTE	12-16

La ecoprospección se efectuó con los equipos acústicos (ecosonda y sonar) de las embarcaciones, se registró la información del ecosonda, la observación de este equipo fue continua la que para efecto de análisis se discretizó en unidades básicas de muestreo (ubm) de 6 minutos. Se aplicó el diseño de prospección propuesto por Barbieri et al. (1999), que considera los procedimientos de diseño del crucero y análisis propuesto por el ICES (Simmonds et al. 1991, MacLennan y Simmonds 1992).

#### **a) Ecosonda**

Para cada registro ecotrazo se determinó su posición (latitud y longitud) y su profundidad, los que se clasificaron en los tipos: cardumen, estrato, disperso e individual (**Figura 3**) y las categoría de abundancia, que a su vez se dividieron en:

- sin presencia de jurel
- mala: cuando los niveles de captura esperada (nce) eran inferiores a 20 toneladas.
- regular: cuando los nce eran de 21 a 200 t y
- buena: cuando los nce eran superiores a 200 toneladas.

## b) Sonar

Simultáneamente a la observación en el ecosonda, con el sonar se reportaron los contactos clasificados en los niveles de abundancia (buena, regular y mala). Los sonares fueron operados bajo los siguientes criterios: ángulo de barrido 360°, rango de búsqueda 1.500 m, ángulo de incidencia 3° (tilt), ganancia (TVG) intermedia.

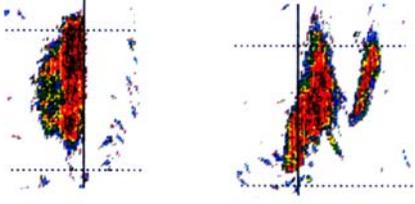
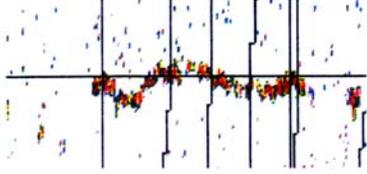
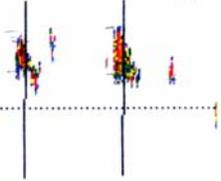
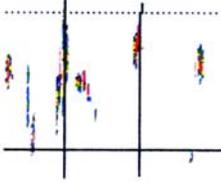
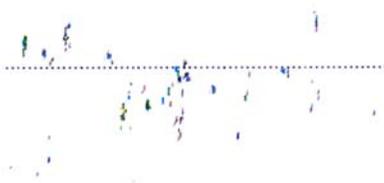
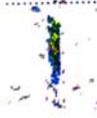
### 6.9.2 Distribución espacial de las agregaciones de jurel

La cartografía de la distribución del jurel, en la zona prospectada, se efectuó realizando un levantamiento gráfico de la información por categoría de abundancia (alta, media y baja) georeferenciada.

A modo de facilitar el análisis de los resultados la zona de estudio se dividió en seis macrozonas:

	Longitudinal	Latitudinal
norte – costero	hasta 200 mn	33° 00'LS – 36° 30'LS
norte – oceánico	201 – 400 mn	33° 00'LS – 36° 30'LS
norte – extra oceánico o alta mar	400 – 1000 mn	33° 00'LS – 36° 30'LS
centro - costero	hasta 200 mn	36° 31'LS – 38° 00'LS
centro – oceánico:	201 – 400 mn	36° 31'LS – 38° 00'LS
centro extra oceánico o alta mar	400 – 1000 mn	36° 31'LS – 38° 00'LS

### TIPOS DE ECOTRAZOS DE JUREL

1) Cardumen	
2) Estrato denso	
3) Estrato medio	
4) Estrato disperso	
5) Disperso	
6) Individual	

**Figura 3.** Tipología de los ecotrazos de jurel.

### a) Índice de cobertura (IC) en el área de estudio

A partir de la información obtenida con el ecosonda y sonar en la ecoprospección del área de estudio, se determinó el índice de cobertura, el IC que expresa la cantidad de ubm positivas presente en una unidad de distancia recorrida:

$$IC (\%) = \frac{\sum_{n=1}^M UBM^{+}}{\sum_{n=1}^N UBM} \times 100 \quad (54)$$

donde:

$UBM^{(+)}$  = número de unidades básicas de muestreo con recurso jurel  
 $UBM$  = número de unidades básicas de muestreos en el área

A partir de la información obtenida con el sonar y ecosonda se estimó el índice de presencia de los ecotrazos.

### b) Índice de presencia de ecotrazos (IPE)

Este índice (IPE) corresponde al número de agregaciones presentes por milla náutica lineal. En cada transecta se determinó la posición de los ecotrazos y cada transecta se discretizó con un paso de retardo de una milla náutica. Los ecotrazos se agruparon en clusters considerando el número de cardúmenes observados por unidad de distancia (1 mn).

De acuerdo a la cantidad de cardúmenes presentes por milla náutica recorrida, se clasificó la información en cluster de cardumen simple (CS) cuando se registraron menos de 1,5 cardúmenes por milla náutica y clusters complejos (CC) cuando el número de ecotrazos fue mayor. La estimación del número promedio de cardúmenes por clusters fue de acuerdo a lo propuesto por Soria et al. (1998), además se determinó la distancia promedio de agregaciones por transecto.

### 6.9.3 Morfología de las agregaciones y distribución batimétrica

#### a) Altura y profundidad de las agregaciones

La altura de las agregaciones se estimó a partir de la posición batimétrica de los ecotrazos en la columna de agua:

$$A = Prof_{inf} - Prof_{sup} \quad (55)$$

La altura promedio por tipo ( $j$ ) de ecotrazo ( $et$ ) estaba dada por:

$$A_{prom_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} A_{ji}}{\sum_{i=1}^{n_i} et_{ji}} \quad (56)$$

La profundidad de los ecotrazos se determinó de la lectura de los ecogramas y su profundidad promedio estaba dada por:

$$A = ((Prof_{inf} + Prof_{sup}) / 2) + 5 \quad (57)$$

donde:

$Prof_{sup}$  = profundidad superior del ecotrazo en m

$Prof_{inf}$  = profundidad inferior del ecotrazo en m

### b) Distribución batimétrica de las agregaciones

La distribución batimétrica y temporal del jurel se describe para los tipos de agregaciones (cardúmenes, estratos, disperso e individual) y las clases de agregaciones (buena, regular y mala) considerando la posición batimétrica de los ecotrazos en un ciclo de 24 horas.

### 6.9.4 Índice de abundancia

Durante el desarrollo de la ecoprospección se obtuvo información hidroacústica a bordo del PAM “Marpro I”, la cual se almacenó en medios magnéticos con el fin de determinar los valores de densidad acústica (NASC). Actividad que actualmente se encuentra en proceso. Se trabajó con un Econtegrador OSSIAN conectado a ecosonda Kaijo:

	<b>Econtegrador</b>	<b>Ecosonda</b>
Marca	Micrel	Kaijo
Modelo	OssianP	Memo Color 110
Frecuencia	50 KHz	50 KHz
Tipo de haz	simple	simple
Potencia		1,2 KW
Escala		250 m

La información acústica fue procesada con el software MOVIES que procesa los datos provenientes del ecosonda OSSIAN, se determinaron los valores de densidad acústica (NASC) y se calculó el índice de abundancia como:

$$ID = \frac{\sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^{N_j} NASC_{ij}}{\sum_{j=1}^T N_j} \times \hat{C}_b \quad (t / mn^2) \quad (58)$$

donde:

$NASC_{ij}$	:	densidad acústica de la i-ésima ubm en la transecta j
$N_j$	:	número de ubms en la transecta j
T	:	número de transectas en la zona de prospección
$\hat{C}_b$	:	factor de conversión de eointegración

Al procesar la información acústica de la transecta no se observó presencia de jurel.

### **6.9.5 Análisis multitemporal de la distribución de los ecotrazos de jurel**

Se comparan seis cruceros que se realizaron a fines de primavera, cinco entre los años 1997 y 2001 (**Tabla 9**). Estos tienen diferentes diseño en la prospección (tipo de transectos, distancia entre transecta) asimismo sólo parte del área prospectada se replica entre años.

Para poder parangonar la distribución y la morfología de los ecotrazos, se generan estratos considerando la densidad de la distribución de los huevos de jurel: i) estrato sin presencia de huevos, ii) estrato regular presencia de huevos: 1 – 500 ind/10m<sup>2</sup> y iii) estrato alta presencia de huevos: >500 ind/10m<sup>2</sup>. Por cada estrato (por crucero) se estima el IC por tipos de ecotrazos (cardumen, estrato, disperso e individual) por niveles de abundancia de los ecotrazos (mala, regular y buena), profundidad y altura de los ecotrazos e IPE.

**Tabla 9.** Resumen de los cruceros 9711, 9812, 9912, 2011, 2001-11 y 2003-11

<b>Crucero</b>	<b>Latitud (Sur)</b>	<b>Longitud (Oeste)</b>	<b>Area Total mn<sup>2</sup></b>	<b>Millas náuticas lineales</b>	<b>Nº de Barcos</b>	<b>Tipo de muestreo</b>	<b>Distancia entre transectas</b>
Nov. 1997	36° 00' – 40° 00'	74° 54' – 84° 07'	108.078	4.299	4	Zig Zag	30 mn
Dic. 1998	33° 00' – 39° 00'	75° 00' – 86° 00'	231.340	4.947	5	Zig Zag	75 mn
Dic. 1999	35° 06' – 38° 24'	74° 00' – 86° 00'	114.917	6.401	6	Lineal	18 mn
Nov. 2000	32° 06' – 37° 48'	75° 00' – 92° 00'	306.327	16.134	10	Lineal	18 mn
Nov. 2001	32° 05' - 37° 50'	75° 00' - 92° 00'	288.406		10	Lineal	18 mn

Se estima el grado de agregación del jurel y los huevos, mediante la determinación del índice de Gini a partir de la aplicación de la curva de Lorenz. Esta se construye representando en el eje-x el porcentaje acumulado del área, mientras que el eje-y el porcentaje acumulado de los niveles de abundancia del jurel o de los huevos.

Si los organismos están homogéneamente distribuidos, la curva de Lorenz correspondería a la función identidad, pero si están concentrados la curva tiende hacia abajo y hacia la derecha. El Índice de Gini o índice de concentración, se estima como dos veces el área comprendida entre la función identidad y la curva de Lorenz (Myers and Cadigan, 1995).

## 7 RESULTADOS

---

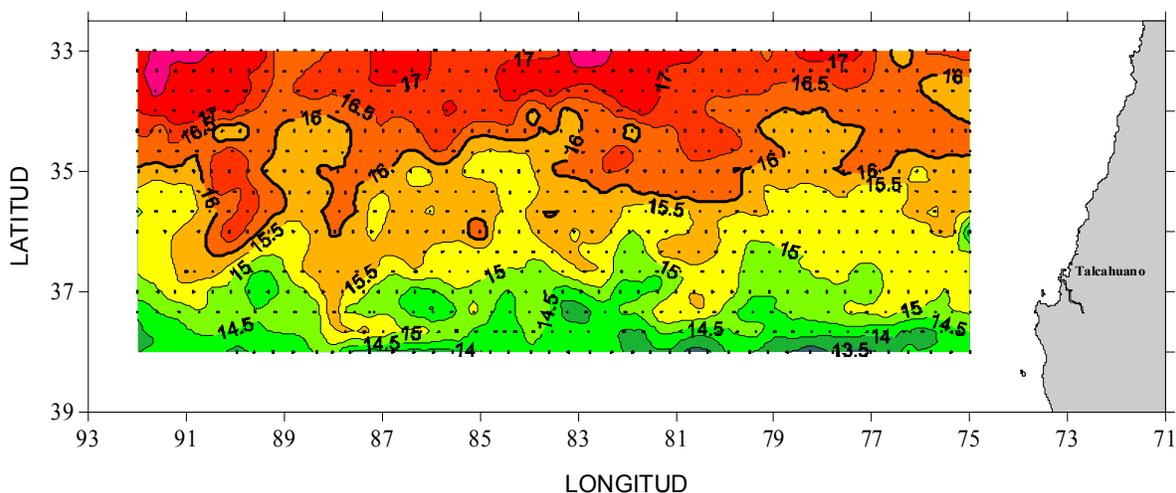
### 7.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

#### 7.1.1 Datos de terreno (termómetros digitales)

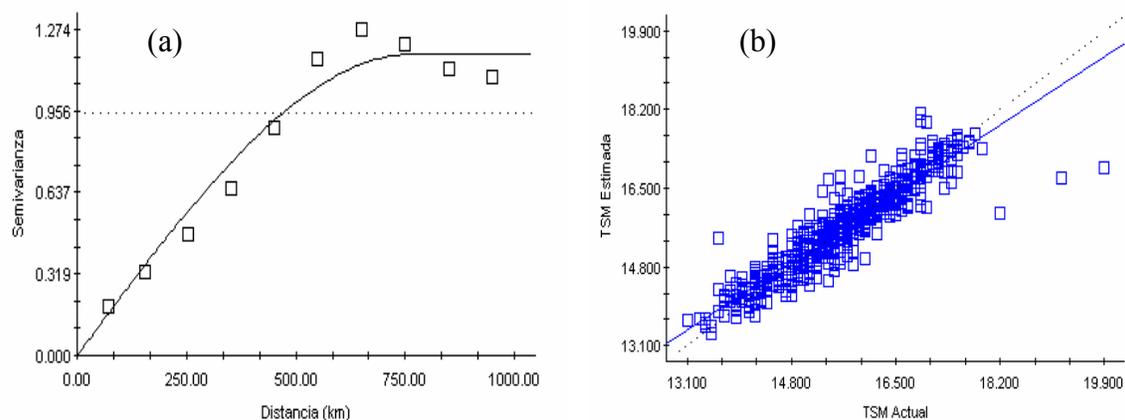
En cada una de las estaciones de muestreo consideradas para la evaluación de huevos de jurel, se registró la temperatura superficial del mar mediante termómetros digitales. Los datos de terreno, ajustados geoestadísticamente de acuerdo al modelo de variograma, revelaron un rango térmico entre los 13° y los 18°C.

La distribución horizontal de la TSM (**Figura 4**) evidenció un leve gradiente noroeste-sureste, con la presencia de aguas más cálidas ( $> 16^{\circ}\text{C}$ ) hacia el norte de los 35°S y aguas comparativamente más frías ( $< 14^{\circ}\text{C}$ ) en el límite austral del área prospectada. Gran parte del área de estudio estuvo dominada por las isothermas de 15 y 16°C. Aguas con temperaturas superiores a los 17 °C estuvieron restringidas al extremo norte del área de estudio (al norte de los 34°S).

El análisis geo-estadístico realizado sobre la información de TSM obtenida mediante termómetros digitales, entregó como resultado un semivariograma ajustado a un modelo esférico (nugget=0,001; sill= 1,178; rango= 768 y  $r^2= 0.957$ ) como se indica en la **Figura 5**. La validación cruzada para el modelo geo-estadístico ajustado, que relaciona los valores de TSM medidos en terreno con los valores de TSM estimados por la interpolación, entregó un coeficiente de determinación de 0,861 (**Figura 5**).



**Figura 4.** Distribución espacial de la TSM en el área de estudio a partir de datos de terreno ajustados de acuerdo el modelo de variograma obtenido.

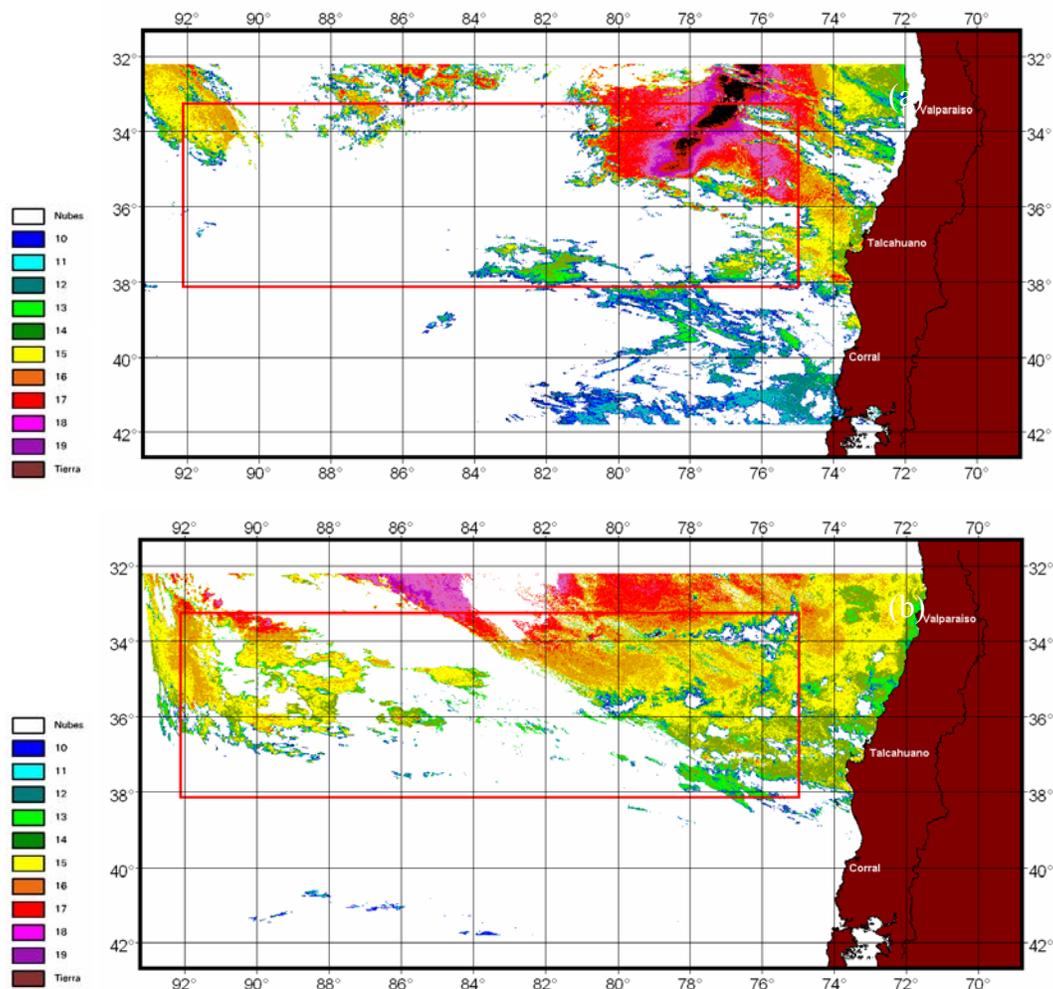


**Figura 5.** (a) Semivariograma obtenido para los valores de TSM obtenidos en terreno (modelo esférico; nugget=0,001; sill= 1,178; rango= 768 y  $r^2= 0.957$ ). (b) Validación cruzada para los valores de TSM obtenidos en terreno versus la TSM estimada a partir del modelo de variograma ajustado. Noviembre del 2003.

### 7.1.2 Información satelital

Durante el periodo de estudio, las condiciones climáticas se caracterizaron por la alta presencia de nubes, lo que dificultó la obtención de imágenes satelitales (AVHRR) de buena calidad. No obstante, se obtuvo dos imágenes representativas del periodo de estudio los días 8 y 18 de noviembre de 2003.

Al inicio del crucero (8/11/03) se observó la presencia de aguas cálidas ( $> 19^{\circ}\text{C}$ ) en la zona noreste del área de estudio (**Figura 6a**), mientras que hacia el final del crucero (18/11/03) la distribución de TSM en el área de estudio estuvo caracterizada por la presencia de aguas de  $16^{\circ}\text{C}$ , y levemente más cálidas ( $> 17^{\circ}\text{C}$ ) en el sector noroccidental (**Figura 6b**).

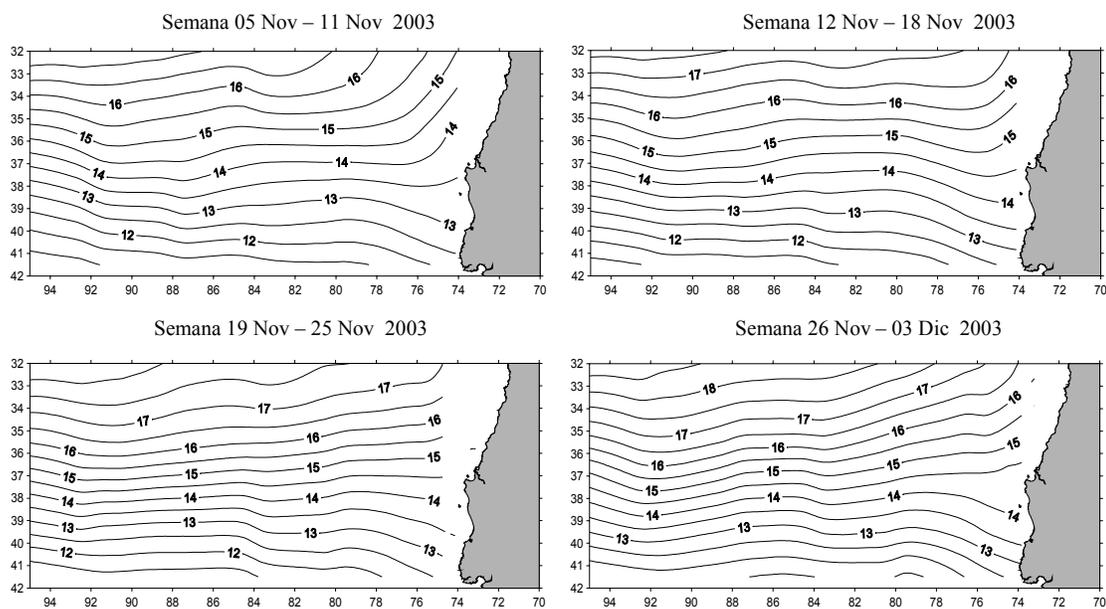


**Figura 6.** Imagen satelital de temperatura superficial del mar. (a) 08 de Noviembre de 2003, (b) 18 de Noviembre de 2003.

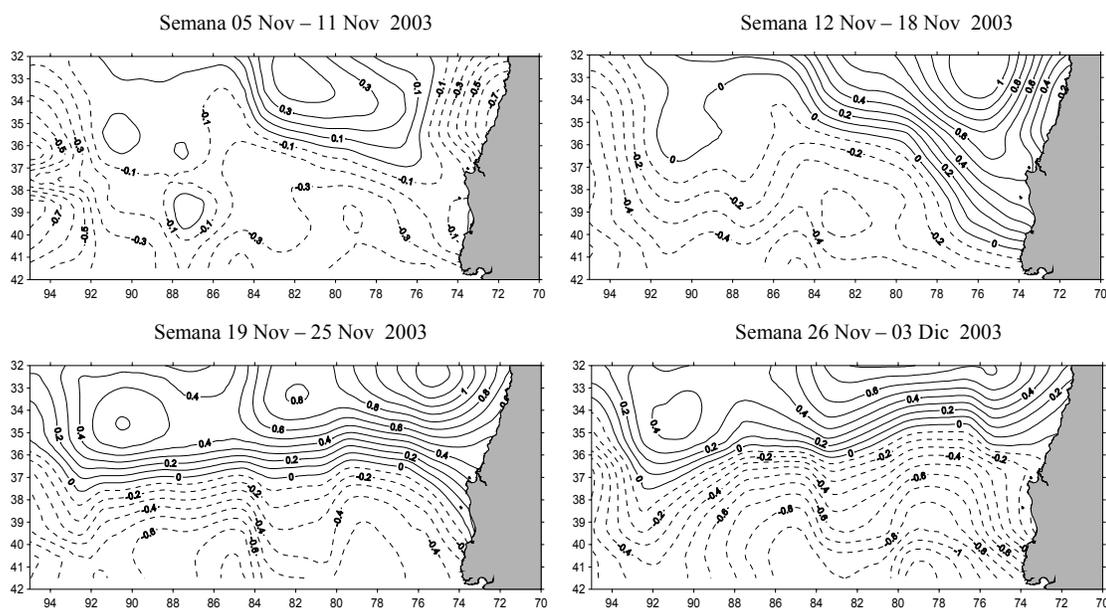
Se graficó también la información semanal de TSM proveniente de programa IGOSS, para el mes de noviembre de 2003. El inicio del mes de noviembre de 2003, estuvo caracterizado por el dominio de las isotermas de 14, 15 y 16°C a lo largo de toda el área de estudio.

Durante la semana del 12 al 18 de noviembre, que correspondió a la semana en la cual se llevó a cabo el crucero de investigación, se observó un leve desplazamiento de estas isotermas hacia el sector sur, desplazamiento que continuó registrándose durante la semana del 19 al 25 de noviembre donde fue evidente la presencia de aguas comparativamente más cálidas ( $>17^{\circ}\text{C}$ ). Esta situación (**Figura 7**) se mantuvo hacia el término del mes de noviembre (semana del 26 de noviembre al 3 de diciembre).

Por su parte, las anomalías de TSM para el sector de estudio, considerando el mes de noviembre de 2003, muestran la presencia de anomalías cálidas en la zona noreste (5-11 de Noviembre) con valores superiores a  $+0,3^{\circ}\text{C}$ , mientras en la zona sur se observó anomalías negativas de  $-0,2^{\circ}\text{C}$ . Durante el período del crucero, gran parte de la zona noreste y costera del área de estudio estuvo dominada por anomalías cálidas, con valores de hasta  $+1^{\circ}\text{C}$ , las que alcanzaron los  $84^{\circ}\text{W}$  en el sector norte, mientras que en el sector más oceánico se observó anomalías levemente negativas o cercanas a cero. Por último, las dos últimas semanas de noviembre de 2003 reportaron una situación similar, con anomalías positivas en toda el área de estudio, principalmente desde los  $37^{\circ}\text{S}$  hacia el norte, verificándose un claro gradiente norte-sur (**Figura 8**).



**Figura 7.** Variación semanal en la distribución espacial de la TSM para el período y área de estudio (Fuente: IGOSS).



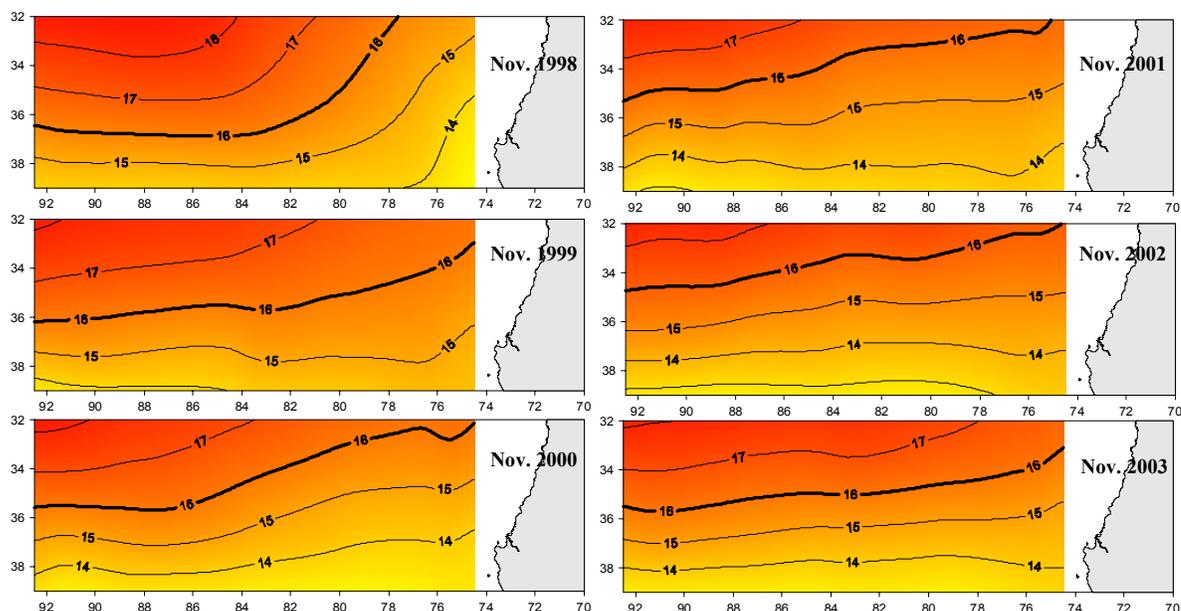
**Figura 8.** Variación semanal de la distribución espacial de la anomalía de TSM para el área y período de estudio (Fuente: IGOSS).

Con el propósito de contrastar la distribución superficial de temperatura reportada para este crucero, con la registrada en cruceros de similar naturaleza realizados en los años 1998, 1999, 2000 y 2001, se graficó las cartas de TSM para el mes de noviembre, utilizando información satelital proveniente del programa IGOSS. Los resultados revelaron aguas comparativamente más cálidas ( $> 18^{\circ}\text{C}$ ) en noviembre de 1998, donde se observó un claro desplazamiento hacia el sur de la isoterma de  $16^{\circ}\text{C}$  alcanzando casi los  $37^{\circ}\text{S}$  al oeste de los  $84^{\circ}\text{W}$ , y una proyección hacia el norte de las isotermas de  $16$ ,  $15$  y  $14^{\circ}\text{C}$ , verificando aguas más frías en la región oriental del área de estudio.

Durante noviembre de 1999 se observó aguas comparativamente más frías, con un desplazamiento de la isoterma de  $16^{\circ}\text{C}$  hacia el norte, la cual alcanzó los  $36^{\circ}\text{S}$  en el sector occidental, mientras que en la zona oriental se verificó un leve ascenso de las isotermas de  $16$  y  $15^{\circ}\text{C}$  hacia el norte. En contraste, durante los meses de noviembre de 2000, 2001 y 2002, se verificó un importante desplazamiento de la isoterma de  $16^{\circ}\text{C}$  hacia el norte del área de estudio, alcanzando los  $35^{\circ}\text{S}$  en el sector occidental y el límite norte en el sector oriental, verificando la presencia de aguas más frías en el área de estudio. A diferencia de los años anteriores, no se observó un cambio de dirección de las isotermas a medida que se acercan al continente.

Consecuentemente, se observó la paulatina desaparición de la isoterma de  $18^{\circ}\text{C}$  del área de estudio y se verificó la isoterma de  $13^{\circ}\text{C}$  en el límite austral del área de prospección (noviembre 2001 y 2002).

Para noviembre de 2003 se observó un leve desplazamiento de la isoterma de  $16^{\circ}\text{C}$  hacia el sur, alcanzando los  $35^{\circ}\text{S}$  en el sector occidental, mientras que no se observó una proyección hacia el norte de las isotermas de  $14$ ,  $15$  y  $16^{\circ}\text{C}$  en el sector oriental del área de estudio (**Figura 9**).

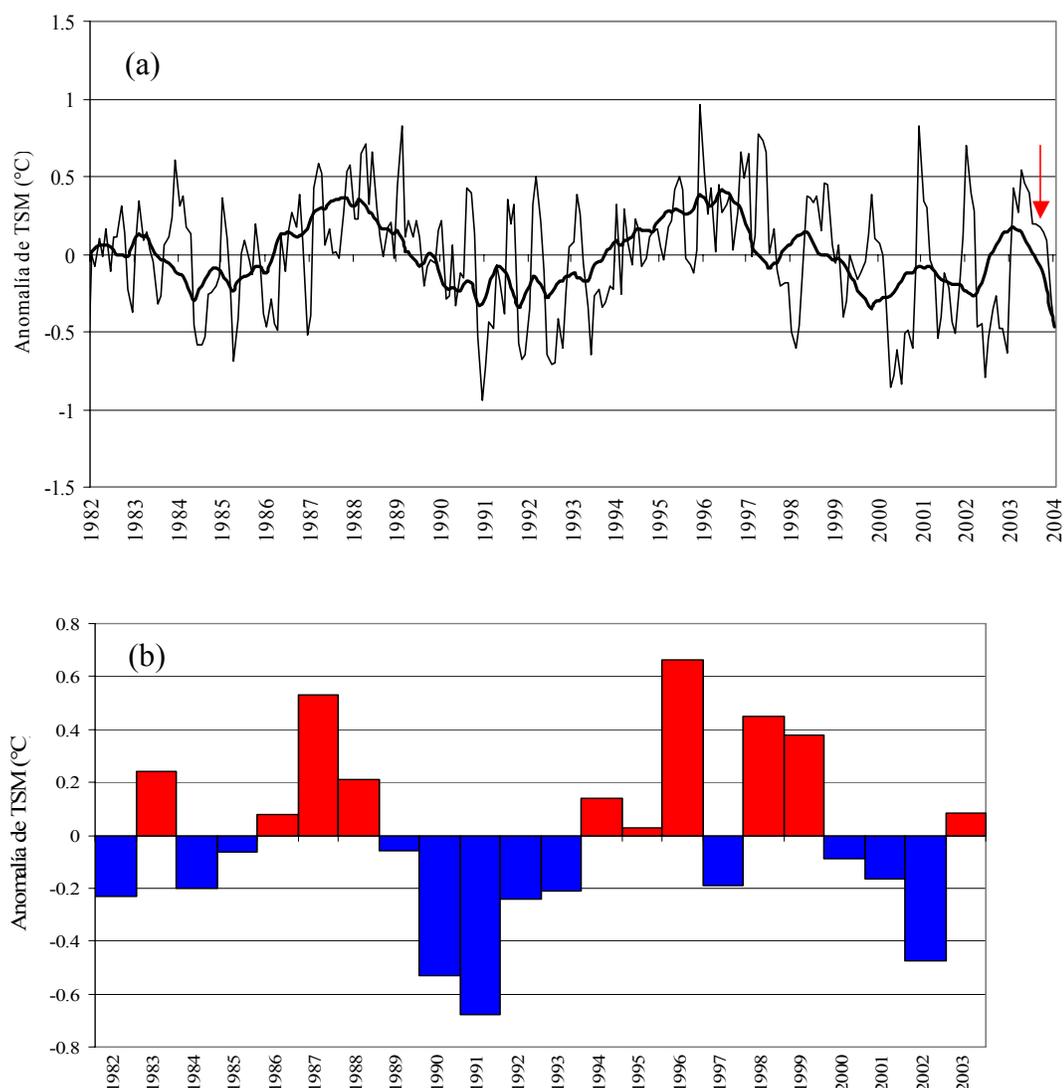


**Figura 9.** Distribución espacial de TSM en el área de estudio para el mes de noviembre de los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003 (Fuente: IGOSS).

El análisis temporal de las anomalías de TSM promedio mensuales para el periodo comprendido entre enero de 1982 a enero de 2004 se presenta en la **Figura 10**. El análisis integra, en la escala mensual, las temperaturas superficiales para el área delimitada entre los 30° y los 40°S y entre los 75° y los 92°W, dando muestra de la variabilidad intra- e inter-anual en el área de prospección. De acuerdo a la información reseñada, queda en evidencia la alternancia de periodos cálidos y fríos a lo largo de la serie temporal y que concuerdan con los antecedentes de la manifestación de eventos El Niño y la Niña frente a las costas de Chile central. Cabe destacar que los estudios sobre la distribución de huevos de jurel en la región de estudio han estado insertos en la fase fría de evolución interanual observada entre 1999 y 2002 (**Figura 10a**).

A mediados del año 2002, se observó un incremento en la temperatura en el área de estudio con leves anomalías positivas de TSM, lo que fue válido también hacia el primer semestre del año 2003, lo que podría entenderse como un nuevo cambio de fase (hacia una fase cálida), no obstante dicha proyección no se validó para el segundo semestre de 2003.

Por otra parte, la **Figura 10b** muestra una serie de tiempo similar, pero sólo para el mes de noviembre de cada año, confirmando la alternancia de periodos cálidos y fríos, el predominio de anomalías positivas durante noviembre de 1998 y 1999 y de anomalías negativas en noviembre de 2000-2002; sin embargo, para el mes de noviembre de 2003 se observa nuevamente la presencia de leves anomalías positivas en el área de estudio.



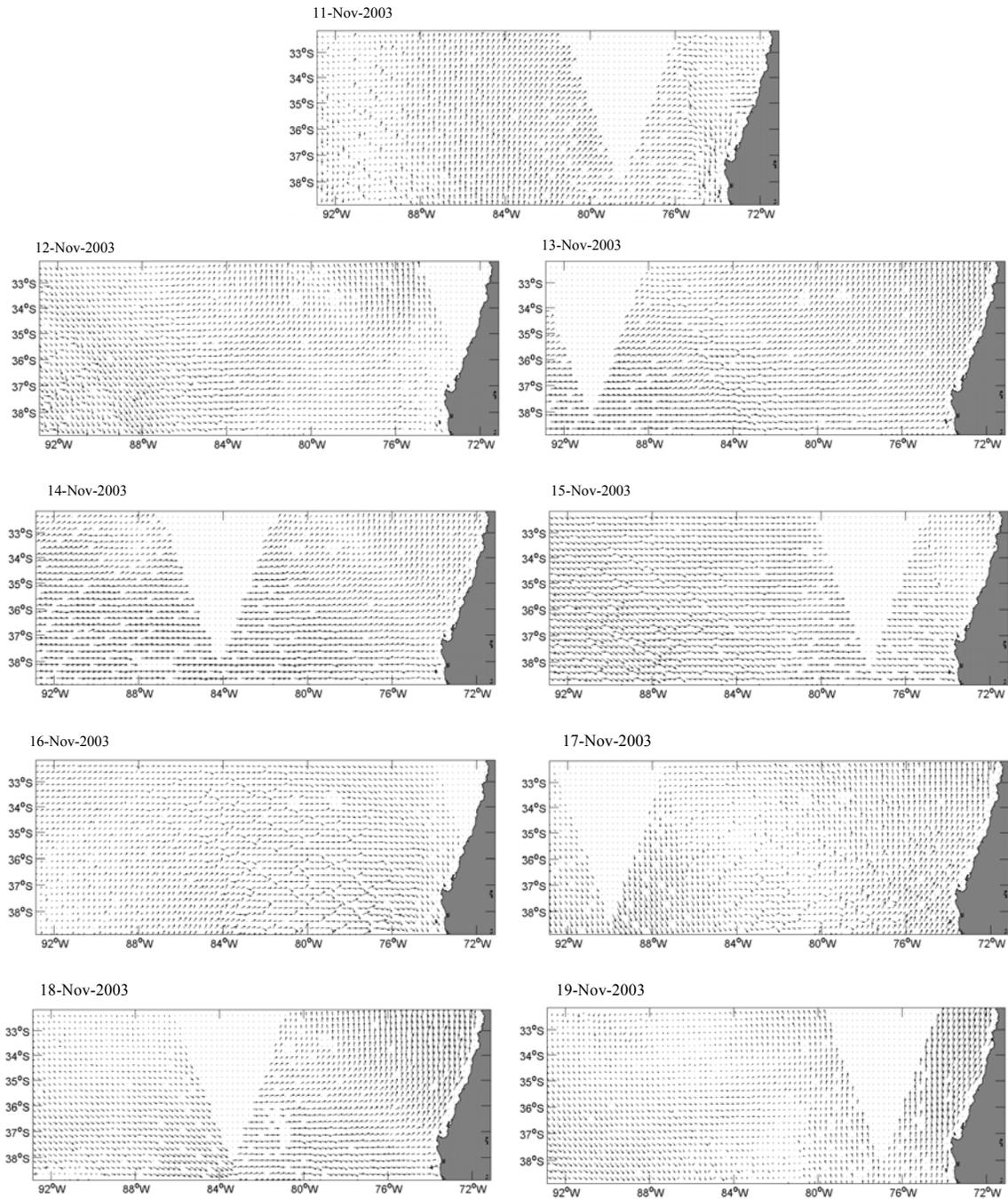
**Figura 10.** (a) Distribución temporal de las anomalías promedio mensuales de TSM para el área de estudio y el periodo comprendido entre los años 1982 a 2004. La flecha indica el mes de noviembre del 2003. (b) Distribución temporal de las anomalías promedio de TSM para el mes de noviembre durante el periodo comprendido entre los años 1982 a 2003.

### 7.1.3 Vientos superficiales durante el crucero

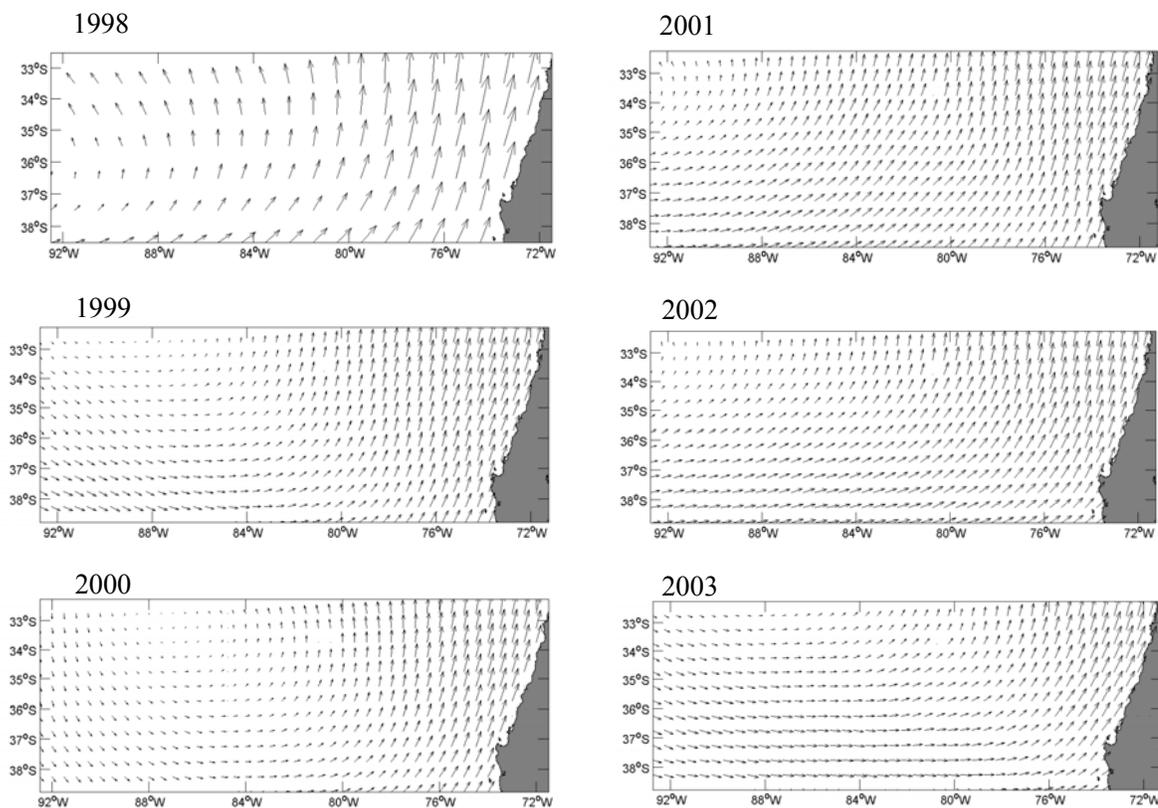
La **Figura 11** muestra la evolución espacial y temporal de los vientos superficiales en la zona de estudio desde el 11 al 19 de noviembre de 2003. La mayoría de las imágenes de viento para el período de estudio evidencian el patrón de rotación anticiclónico (e.g., días 12, 13, 14, 17, 18 y 19 de noviembre); con vientos moderados a bajos en el sector central del área de estudio, evidenciando en algunas oportunidades diferencias zonales vinculadas con la disminución de la intensidad del viento en la costa, hacia los días 15 y 16 de noviembre, y por el contrario, un aumento en los días 18 y 19 de noviembre.

Con el propósito de contrastar el patrón de viento superficial reportados para este crucero, con el registrado en cruceros de similar naturaleza para el mes de noviembre de los años 1998, 1999, 2000 y 2001, se graficó cartas de vientos mensuales utilizando la información satelital proveniente de los programas ERS y QuikScat (**Figura 12**).

El patrón de distribución del viento superficial fue similar en todos los períodos contrastados, evidenciando una rotación anticiclónica, menores intensidades en el cuadrante noroccidental del área de distribución, y magnitudes mayores en el sector costero donde predominaron los vientos hacia el norte. Lo anterior evidencia que la región de altas abundancias de huevos y larvas de jurel se asocian con intensidades bajas de viento.



**Figura 11.** Vientos de escaterometría durante el crucero realizado durante noviembre de 2003.

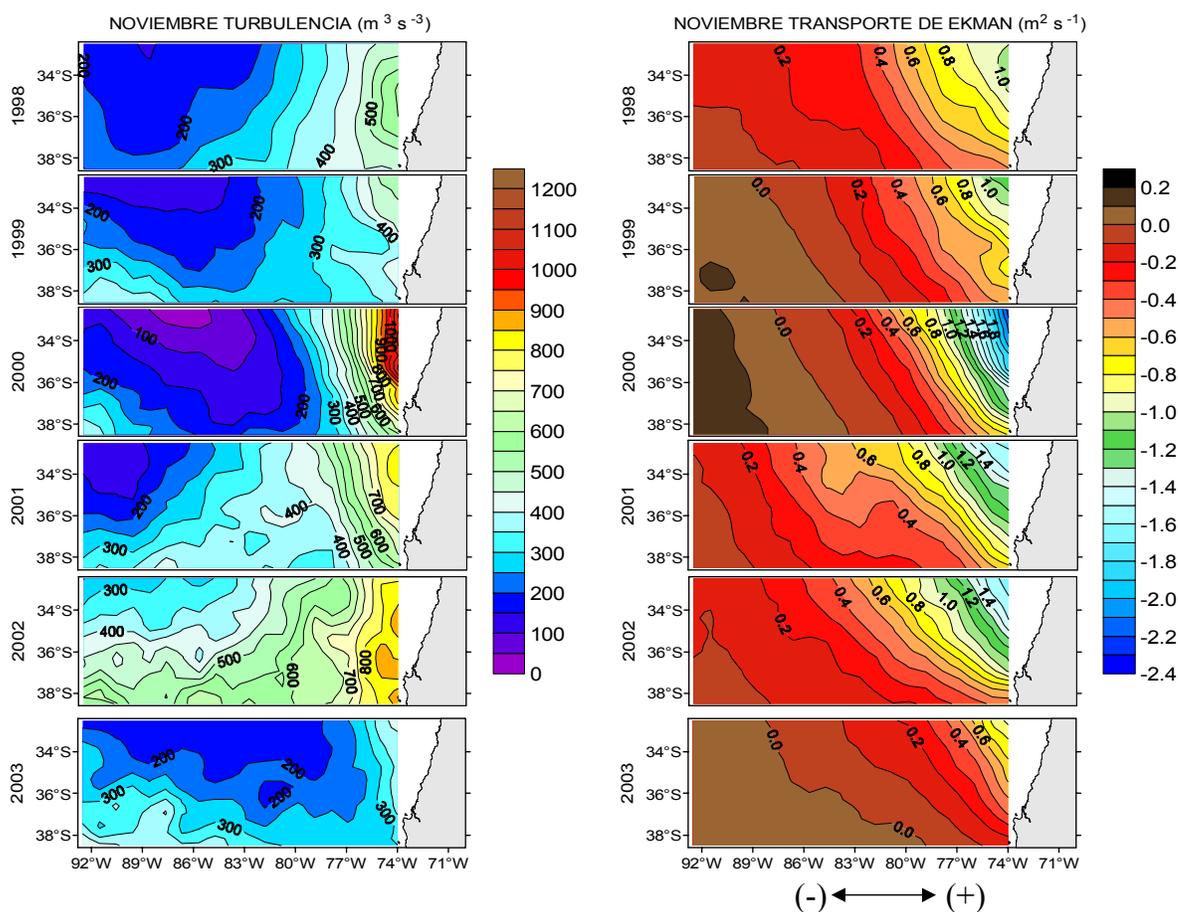


**Figura 12.** Vientos de escaterometría durante noviembre de los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.

#### 7.1.4 Turbulencia y Transporte de Ekman

El patrón de distribución de la turbulencia y del transporte de Ekman para los meses de noviembre entre los años 1998 y 2003 se presentan en la **Figura 13**. La turbulencia evidenció valores comparativamente más altos en el sector oriental del área de estudio, que se intensifican en noviembre del período 2000-2002 ( $800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ ), en tanto que en noviembre de los años 1998, 1999 y 2003 se evidenció magnitudes significativamente menores en la región costera ( $< 400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ ) siendo la distribución del índice de turbulencia muy similar entre los años 1999 y 2003. En general, la región de desove de jurel situada en la región oceánica frente a Chile central estuvo asociada con valores de turbulencia menores a  $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$  (**Figura 13**), con la excepción de noviembre de 2002 donde se detectó magnitudes significativamente superiores y de noviembre de 2001 donde estos valores estuvieron restringidos al vértice noroccidental del área de prospección.

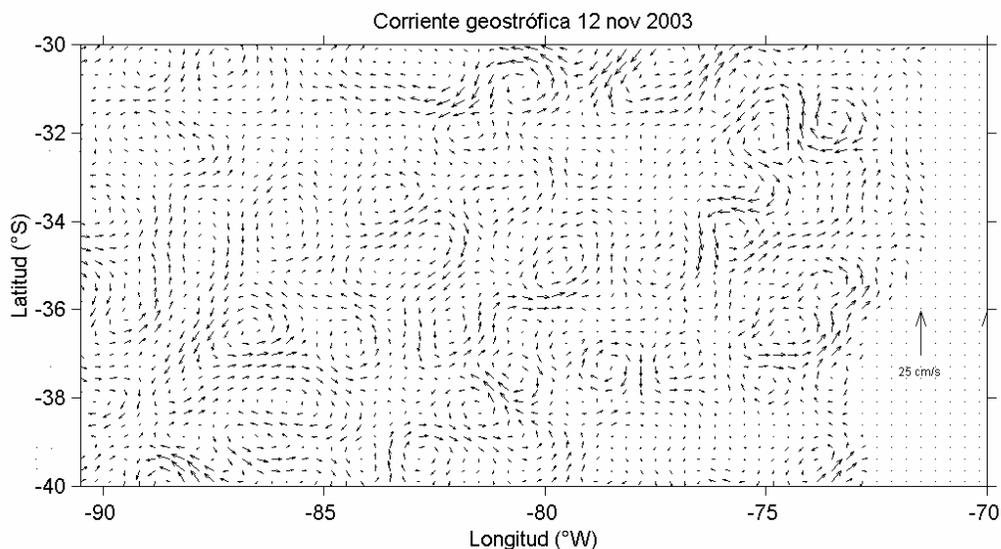
El transporte de Ekman presentó un patrón similar en todos los períodos evaluados, evidenciando muy bajos valores de transporte hacia fuera de la costa en la región situada al oeste de los 77°S, mostrando un claro gradiente meridional que se intensificó en el período 2000-2002 (**Figura 13**).



**Figura 13.** Distribución espacial de la turbulencia y del transporte de Ekman para los meses de noviembre de 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.

### 7.1.5 Corrientes geostróficas

La estimación de corrientes geostróficas superficiales se realizó en base a la imagen de altimetría obtenida para el día 12 de noviembre de 2003. La **Figura 14** muestra la presencia corrientes con velocidades bajas ( $< 6 \text{ cm s}^{-1}$ ) en el área comprendida entre los 32 y 38°S, y entre los 76 y 91°W, con la presencia de algunos anillos (ciclónicos y anticiclónicos) y meandros, los que se intensifican justamente al norte y al sur del área de distribución de huevos de jurel.



**Figura 14.** Corriente geostrofica para el día 12 de noviembre de 2003 en el área de prospección de huevos de jurel.

### 7.1.6 Campo de distribución vertical

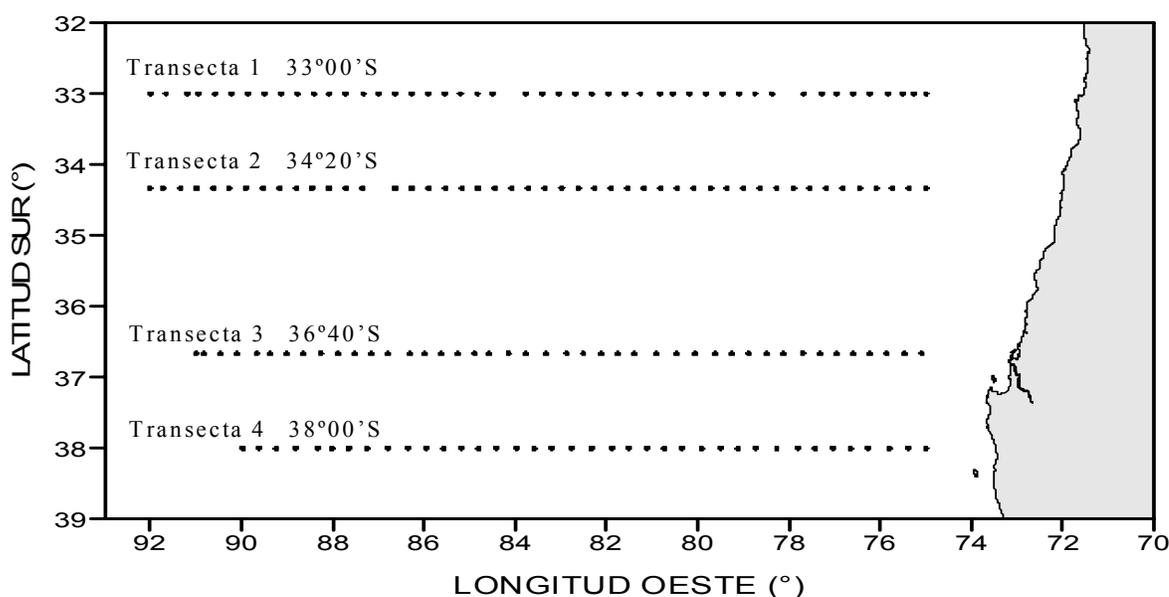
#### a) Secciones verticales de temperatura

La disposición geográfica de las transectas que contaron con perfiles verticales de CTD se muestran en la **Figura 15**. La transecta 1, ubicada en el extremo norte del área de prospección ( $33^{\circ}00'S$ ), estuvo caracterizada por la presencia de aguas con temperaturas superiores a los  $16,5^{\circ}C$  en el estrato superficial (sobre los 40 m), situación que se verificó a lo largo de todo el transecto, y valores superiores a  $17^{\circ}C$  en el extremo occidental del transecto (**Figura 16**). La zona de estratificación vertical de temperatura estuvo situada alrededor de los 30 m de profundidad en las estaciones más cercanas a la costa, termoclina que se profundiza y debilita hacia el sector occidental, para alcanzar los 90 m de profundidad.

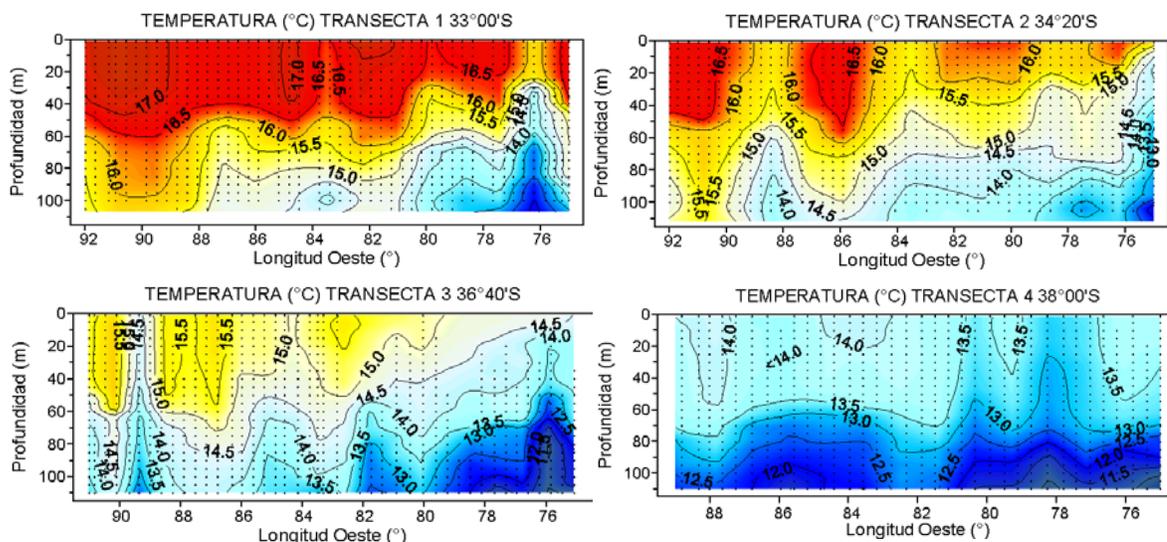
La transecta 2 evidenció el predominio de aguas comparativamente más frías bajo los 50 m de profundidad, a excepción de las estaciones más oceánicas del transecto, donde la columna de agua mostró un gradiente vertical significativamente menor. El estrato

superficial evidenció aguas con menor temperatura que la transecta anterior, evidenciándose lentes de aguas comparativamente más cálidas ( $> 16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Se detectó una termoclina bien desarrollada sólo en el extremo oriental de la transecta, situada entre los 10 y 30 m de profundidad, estratificación que se debilita y profundiza hacia el extremo occidental de la sección. En tanto, la transecta 3 ubicada en los  $36^{\circ}40'S$  evidenció aguas significativamente más frías que las transectas anteriores, quedando bien caracterizada por la distribución de las isotermas de  $14$  y  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la ausencia de aguas con temperaturas superiores a los  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el estrato superficial (0-30m). La estructura térmica vertical de esta transecta evidenció una termoclina débil que se profundiza hacia el océano y aguas con temperaturas menores a  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$  bajo los 60 m de profundidad observadas al este de los  $82^{\circ}\text{W}$ .

Por último, la transecta 4 muestra una situación térmica distinta a la reseñada para las transectas anteriores, evidenciando el dominio de aguas frías (menores a  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), escasa estratificación vertical, que se verificó bajo los 80 m de profundidad, y ausencia de diferencias laterales costa-océano (**Figura 16**).



**Figura 15.** Transectos realizados durante el crucero de noviembre de 2003 y que contaron con información de CTD.

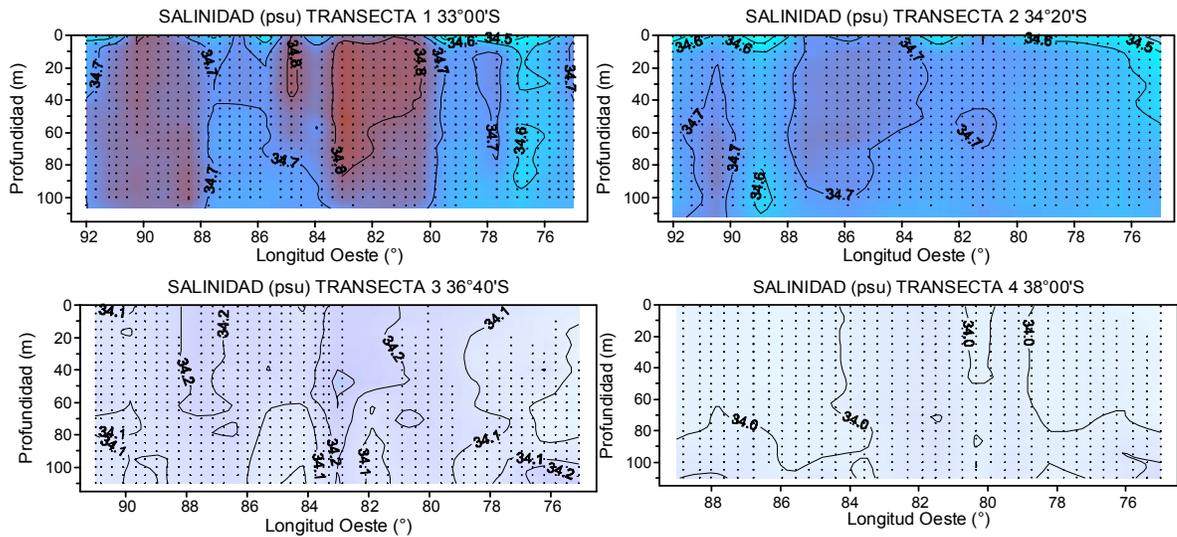


**Figura 16.** Secciones verticales de temperatura (°C) para los cuatro transectos realizados durante noviembre de 2003.

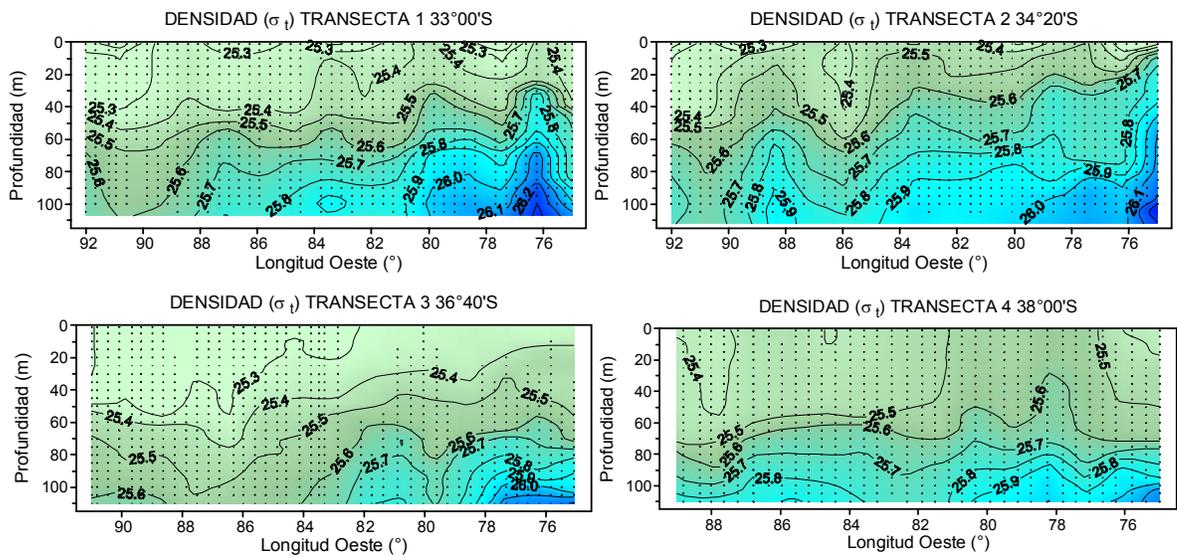
### b) Secciones verticales de salinidad y densidad

La salinidad en las transectas 1 y 2 evidenció valores significativamente mayores ( $> 34,6$  psu) comparada con los valores de salinidad registrados en las secciones situadas más al sur ( $< 34,3$  psu). No obstante, todas las transectas evaluadas evidenciaron una distribución vertical homogénea (**Figura 17**), sin presencia de haloclinas, y sin diferencias longitudinales (costa-oceano).

La densidad, en cambio, presentó una distribución vertical similar a la reseñada para la temperatura, que se caracterizó por: a) la presencia de gradientes laterales (costa-oceano) importantes de densidad, con aguas menos salinas en el sector oceánico de las secciones, desde los  $84^{\circ}$ W al océano, lo que fue particularmente válido para las secciones 1 y 2; b) se verificó una pycnoclina más desarrollada en las estaciones orientales de los transectos del norte (secciones 1 y 2), que se profundiza y debilita hacia el sector oceánico; c) la presencia de aguas subsuperficiales más densas vinculadas al sector oriental y bajo los 50 m de profundidad; y d) una capa de mezcla que se incrementa hacia el océano y hacia las transectas del sur del área de estudio (**Figura 18**).



**Figura 17.** Secciones verticales de salinidad (psu) para los cuatro transectos realizados durante noviembre de 2003.

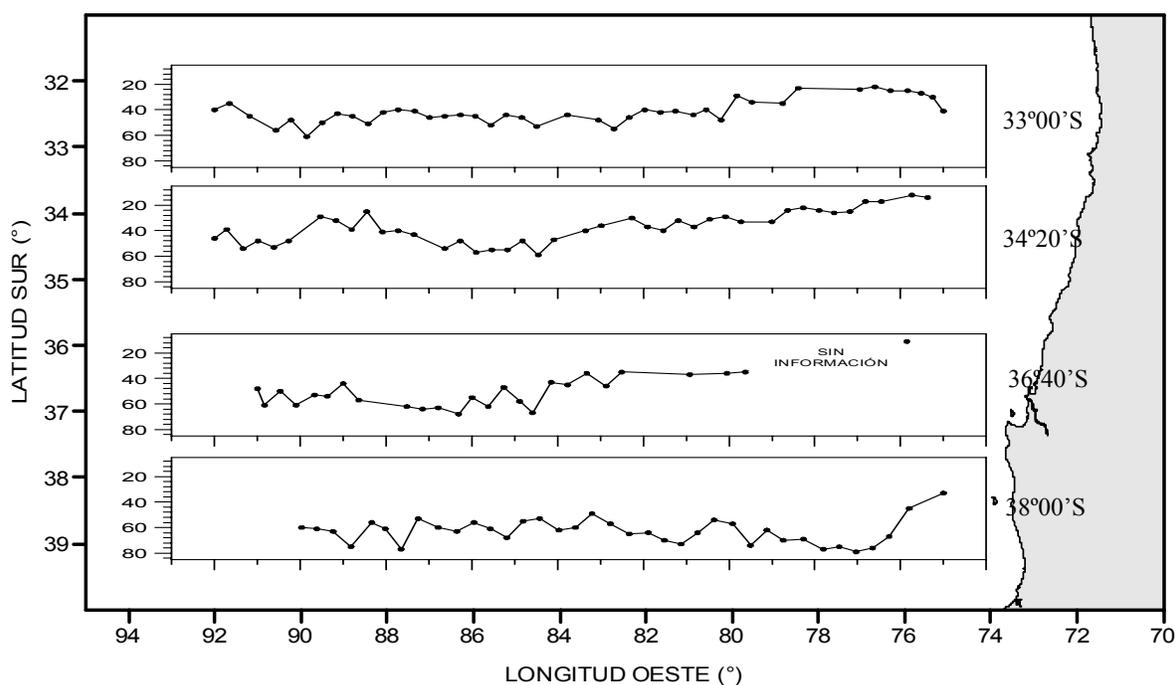


**Figura 18.** Secciones verticales de densidad ( $\sigma_t$ ) para los cuatro transectos realizados durante noviembre de 2003.

### c) Profundidad de la capa de mezcla

La profundidad de la capa de mezcla (PCM) evidenció valores mayores hacia el sector sur del área de estudio; asimismo, presentó valores bajos (no más de 20 m) en las estaciones ubicadas más costeras, para luego incrementar hacia las estaciones más oceánicas de los transectos, alcanzando los 60 m de profundidad (**Figura 19**).

Lo anterior fue válido para todas las transectas, a excepción de la situada al sur del área de estudio, que no evidenció diferencias laterales y se mantuvo entre los 60 y los 90 m de profundidad.

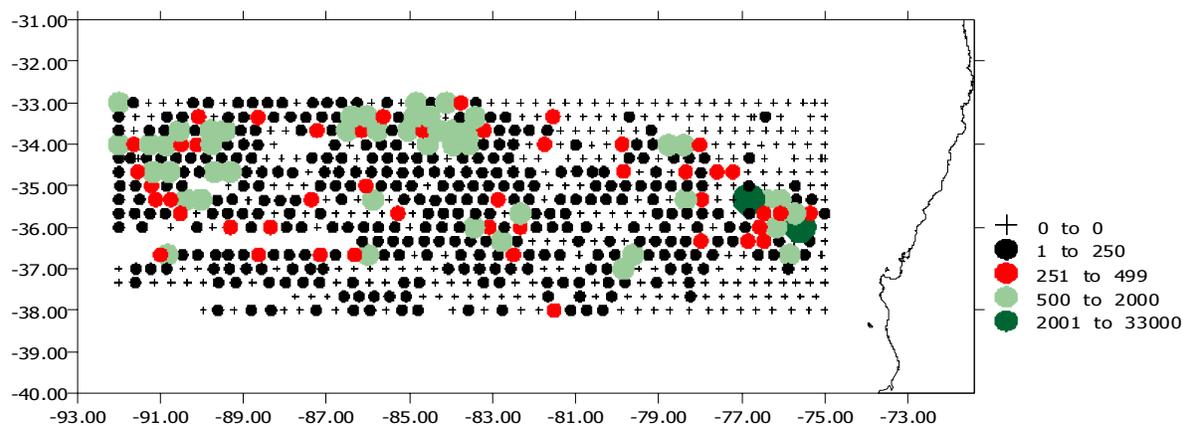


**Figura 19.** Profundidad de la capa de mezcla para las cuatro transectas realizadas durante noviembre de 2003.

## 7.2 DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARVAS DE JUREL

Durante el crucero de noviembre de 2003 y al igual que en años anteriores, se observó una amplia cobertura de huevos de jurel en el área de estudio, sin que se destaque alguna región en particular por mostrar zonas extensas, con mayor concentración de huevos (**Figura 20**). El límite noroeste revela presencia de huevos de jurel en bajas densidades, mientras que el límite sur prácticamente revela la ausencia de áreas de desove. Las estaciones positivas (con presencia de huevos de jurel), representan un 60% de la muestra total (694 estaciones) lo que es un indicio de un adecuado grado de cobertura espacial de las áreas de desove y de la existencia de diversos núcleos de desove.

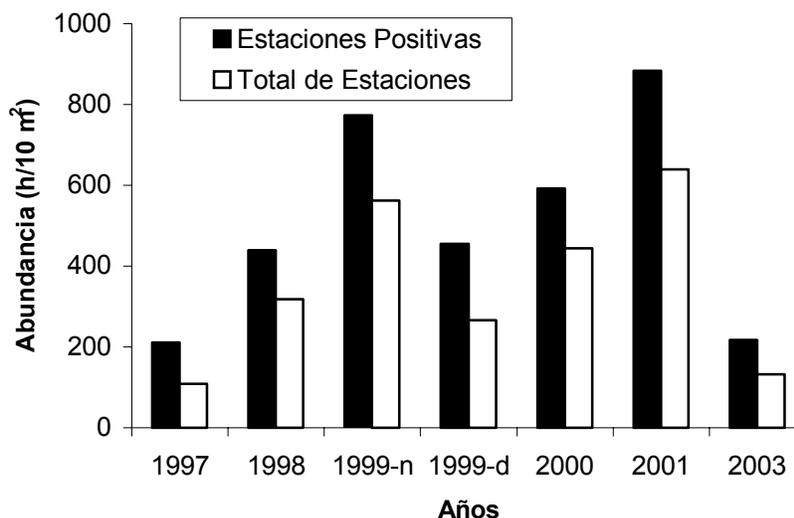
Sin embargo, las estaciones positivas representan un porcentaje de cobertura inferior al observado en los cruceros efectuados en años anteriores (**Tabla 10**). La densidad media es de 131,5 huevos en 10 m<sup>2</sup>, siendo notoriamente inferior a las registrada en noviembre de años anteriores y sólo comparable a las observada en noviembre de 1997 (**Figura 12**).



**Figura 20.** Densidad de huevos de jurel (huevos en 10 m<sup>2</sup>) en el cruceo 2003.

**Tabla 10.** Estadística de la distribución de huevos de jurel entre 1997 y 2003 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima

Estadísticos	1997	1998	1999-n	1999-d	2000	2001	2003
Estaciones	66	173	751	363	880	661	694
Estaciones positivas	34	125	546	212	660	478	419
%	51,5	72,3	72,7	58,4	75,0	72,3	60,4
D	108,5	317,9	561,7	266,3	444,2	639,4	131,5
Var(D)	506,9	1903,2	3460,7	400,9	339,1	1777,0	97,0
EE(D)	22,5	43,6	58,8	20,0	18,4	42,2	10,0
Dpos	210,6	440,0	772,6	455,9	592,2	884,2	217,9
Var(Dpos)	1938,1	3653,6	6550,6	1177,8	603,1	2946,3	221,3
EE(Dpos)	44,0	60,4	80,9	34,3	24,6	54,3	14,9
Dmin	26,2	30,1	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
Dmax	1176,2	3917,7	26844,1	3501,4	5199,1	11353,1	2900,2

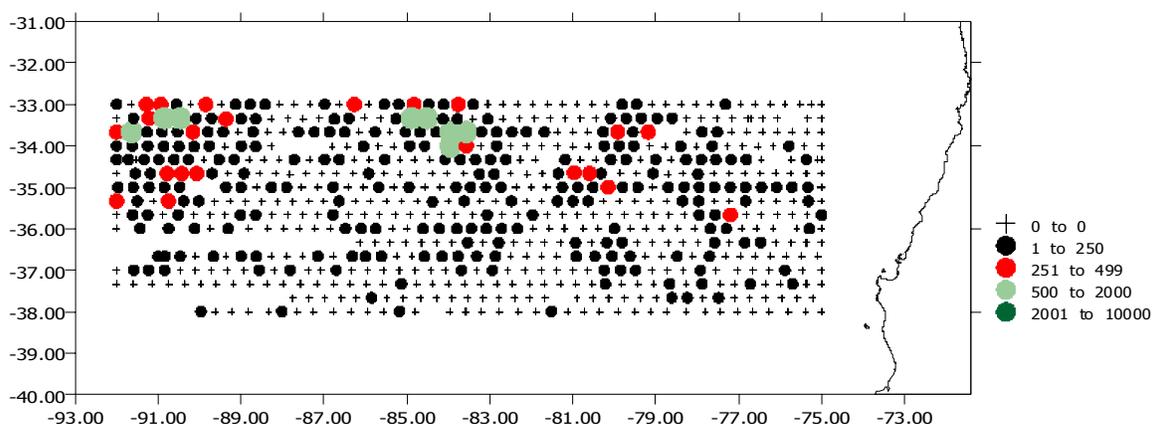


**Figura 21.** Cambios interanuales de las abundancias de huevos de jurel considerando las estaciones positivas y el total de estaciones.

En el caso de las larvas de jurel, éstas muestran un alto grado de distribución y repartición principalmente en el centro-norte del área de estudio. El límite norte acusa estaciones positivas principalmente entre los 83 y 92° W, mientras que el límite sur revela estaciones positivas con abundancia baja (**Figura 22**).

La proporción de estaciones positivas con larvas es menor que para los huevos (38,9%) y muy inferior a los porcentajes que mostraron las larvas en noviembre de otros años (**Tabla 11**), al igual que los huevos de jurel esta cifra es sólo comparable a la observada en noviembre de 1997 (**Figura 14**).

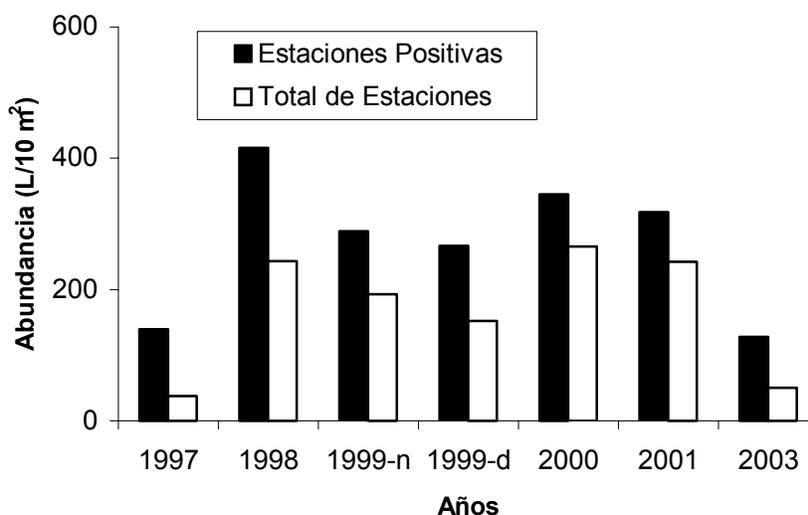
La densidad media de larvas es de 49,9 larvas en 10 m<sup>2</sup>, cifra igualmente inferior a los valores medios obtenidos en noviembre de años anteriores.



**Figura 22.** Densidad de larvas de jurel (larvas en 10 m<sup>2</sup>) en el cruceo 2003.

**Tabla 11.** Estadística de la distribución de larvas de jurel entre 1997 y 2003 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) ( varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima.

Estadísticos	1997	1998	1999-n	1999-d	2000	2001	2003
Estaciones	66	173	751	363	880	661	694
Estaciones positivas	18	101	501	207	678	504	270
%	27,3	58,4	66,7	57,0	77,0	76,2	38,9
D	38,0	243,0	192,6	152,0	266,0	242,4	49,9
Var(D)	62,3	1130,5	97,8	134,7	125,4	163,6	19,2
EE(D)	7,9	33,6	9,9	11,6	11,2	12,8	4,4
Dpos	139,4	416,2	288,7	266,5	345,2	317,9	128,4
Var(Dpos)	873,6	3330,5	220,0	415,0	211,3	233,9	89,8
EE(Dpos)	29,6	57,7	14,8	20,4	14,5	15,3	9,5
Dmin	21,4	30,1	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
Dmax	425,2	2803	2794,1	2157,4	3395,3	2864,8	1379,3

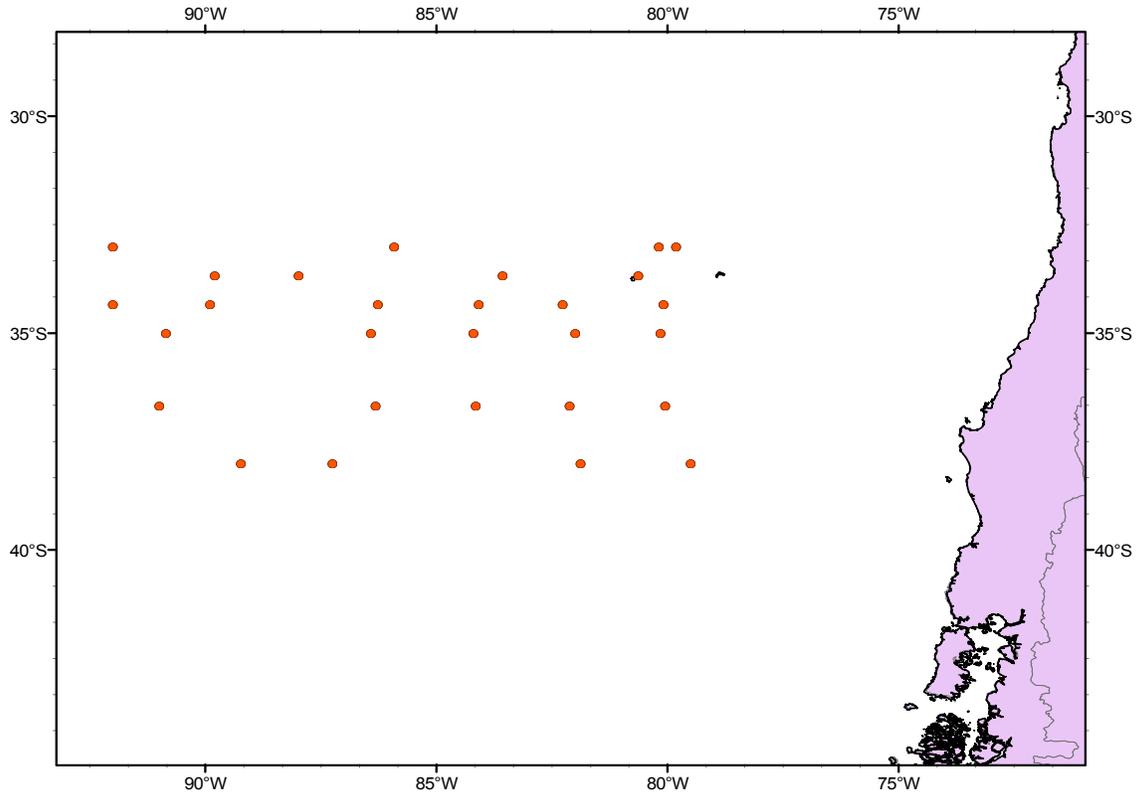


**Figura 23.** Cambios interanuales de las abundancias de larvas de jurel considerando las estaciones positivas y el total de estaciones.

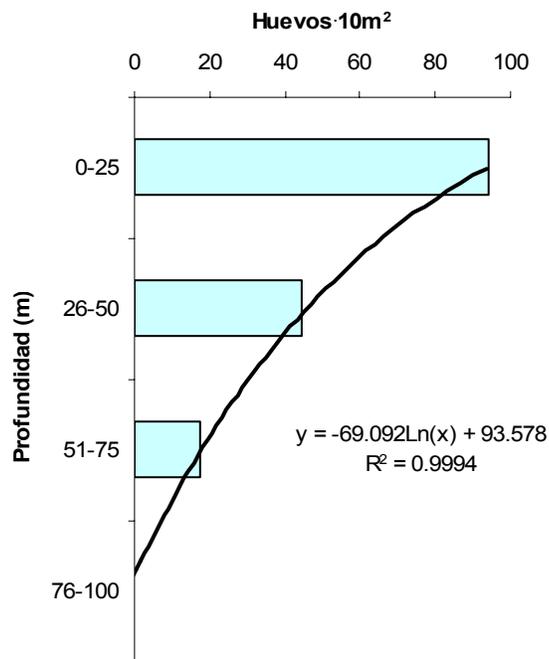
### 7.2.1 Determinación de la distribución vertical de huevos y larvas

En la **Figura 24** se representa la localización de 28 estaciones de muestreo vertical de huevos, las cuales fueron dispuestas sistemáticamente a lo largo de los transectos que efectuaron 3 embarcaciones durante el crucero de noviembre de 2003. Se efectuaron entre 4 y 6 estaciones de muestreo vertical, dispuestas en 6 transectas. En cada estación se efectuaron lances verticales en cuatro estratos discretos desde la profundidad máxima de 100 m (0-25 m, 25-50 m, 50-75 m, 75-100 m). En 4 lances no se obtuvieron huevos de jurel, por lo que estos lances no fueron considerados en los análisis.

De acuerdo a los resultados obtenidos tras la ponderación de los 28 lances se obtiene una relación decreciente de la densidad media de huevos al incrementar la profundidad del estrato (**Figura 25**).



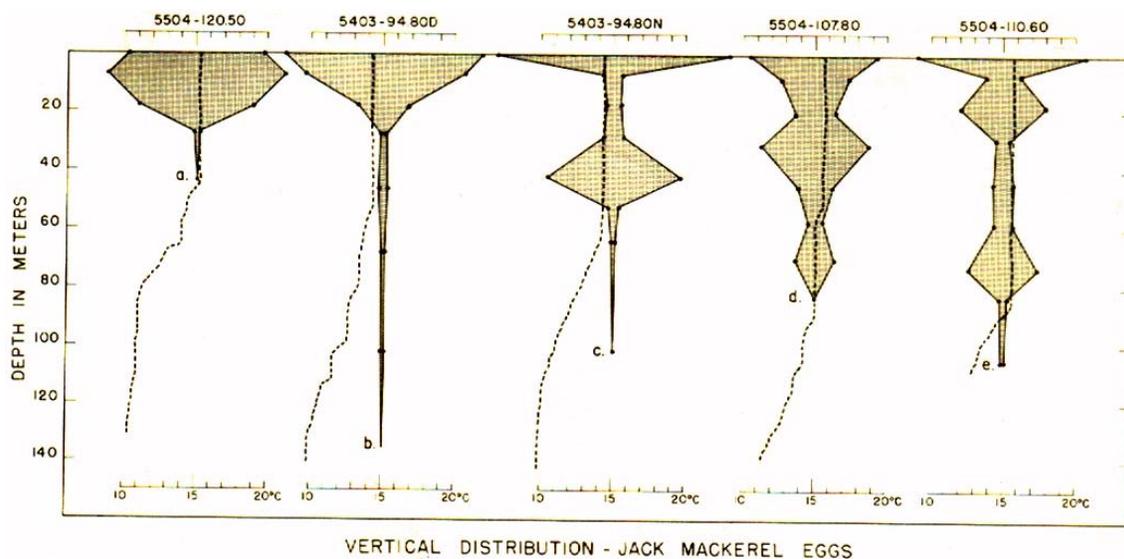
**Figura 24.** Localización de las estaciones de muestreo vertical estratificado de huevos.



**Figura 25.** Distribución vertical ponderada de huevos de jurel.

Acorde con los resultados obtenidos y contrastando con la profundidad media de la termoclina para toda el área de estudio, se observa que en promedio la mayor proporción de huevos de jurel se encuentran en los estratos superiores a 76 m de profundidad.

Este resultado, es concordante con lo señalado por Ahlstrom (1956) en relación a que las mayores densidades de huevos se observan por sobre la termoclina y principalmente dentro de los primeros 25 m en columnas de agua con termoclina somera (20 a 30 m) y en el caso de termoclinas más profundas, se observa densidades máximas en estratos más profundos, cuyo límite lo impone prioritariamente la profundidad base de la termoclina (ver **Figura 26**).



**Figura 26.** Distribución vertical de huevos de *Trachurus symmetricus* en aguas oceánicas de California (extraído de Ahlstrom, 1956).

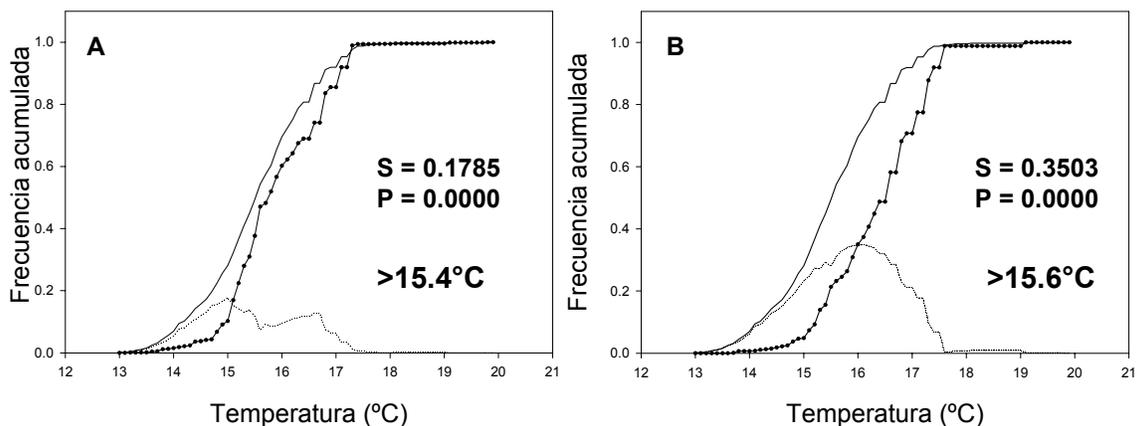
### 7.2.2 Relación entre huevos y larvas y la temperatura superficial del mar

Durante la presente prospección se encontraron asociaciones significativas ( $P < 0.0001$ ) entre la abundancia de estadios tempranos de jurel y los rangos de temperatura superficial del mar observados en el crucero, como se muestra en la **Figura 27**.

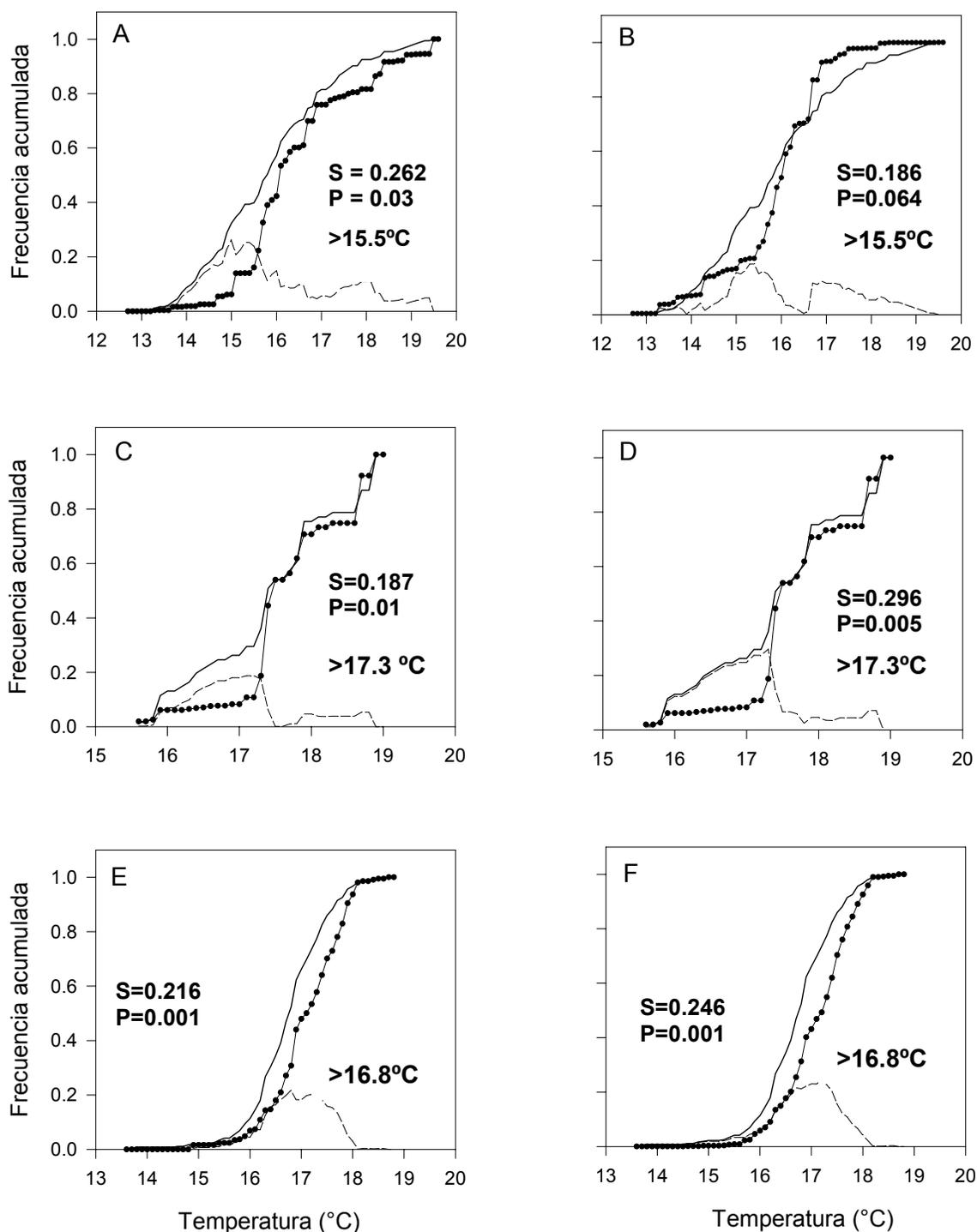
La fuerte asociación encontrada entre la temperatura superficial del mar y la densidad de los estadios tempranos del jurel durante el año 2003, es consistente con lo que se observa al aplicar la metodología de Perry y Smith (1994) a los datos obtenidos en otros cruceros de investigación en las zonas oceánicas del jurel en periodo primavera (**Figuras 28, 29**). Sin embargo, aunque se aprecia cierta variabilidad entre cruceros en los rangos preferenciales de temperatura, tanto para huevos y larvas (**Tabla 12**), siempre se detectan preferencias por las aguas más cálidas presentes.

Solamente durante el crucero de Noviembre-Diciembre de 2000, se detectó un rango de rechazo de los estadios tempranos con respecto a temperaturas mayores a 20,5°C (**Figura 29, Tabla 12**).

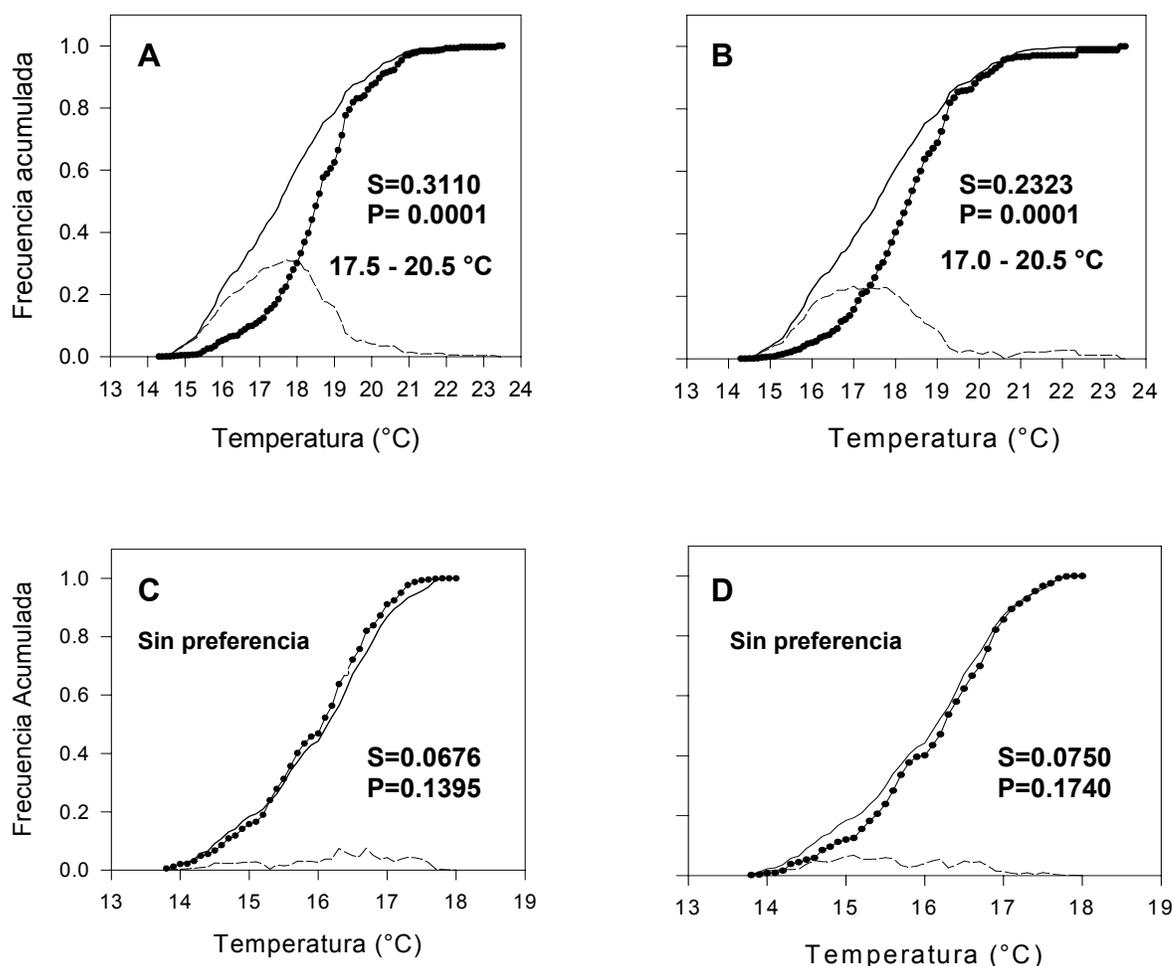
Cabe destacar que durante dicho crucero se presentaron las mayores temperaturas registradas en la zona de estudio durante las prospecciones realizadas, presentando un rango entre 14,4 y 23,5 °C (**Figura 30, 31**).



**Figura 27.** Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre (A) huevos y (B) larvas de jurel y la temperatura superficial del mar durante el año 2003 de acuerdo al método de Perry & Smith (1994). Símbolos: línea sólida = frecuencia acumulada de la variable ambiental ( $f(t)$ ); -•-•- = frecuencia acumulada de la variable ambiental \* la densidad de huevos o larvas ( $g(t)$ ); - - - = diferencia entre  $g(t)$  y  $f(t)$ . S distancia máxima entre  $f(t)$  y  $g(t)$ . P significancia estadística.



**Figura 28.** Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas o huevos de jurel y la temperatura superficial del mar (cruceros años 98 y 99). (A) larvas 1998, (B) huevos 1998, (C) larvas noviembre 1999, (D) huevos noviembre 1999, (E) larvas diciembre 1999, (F) huevos diciembre 1999. Símbolos: línea sólida = frecuencia acumulada de la variable ambiental ( $f(t)$ ); -●-●- = frecuencia acumulada de la variable ambiental X la densidad de huevos o larvas ( $g(t)$ ); - - - = diferencia entre  $g(t)$  y  $f(t)$ . S distancia máxima entre  $f(t)$  y  $g(t)$ . P significancia estadística.



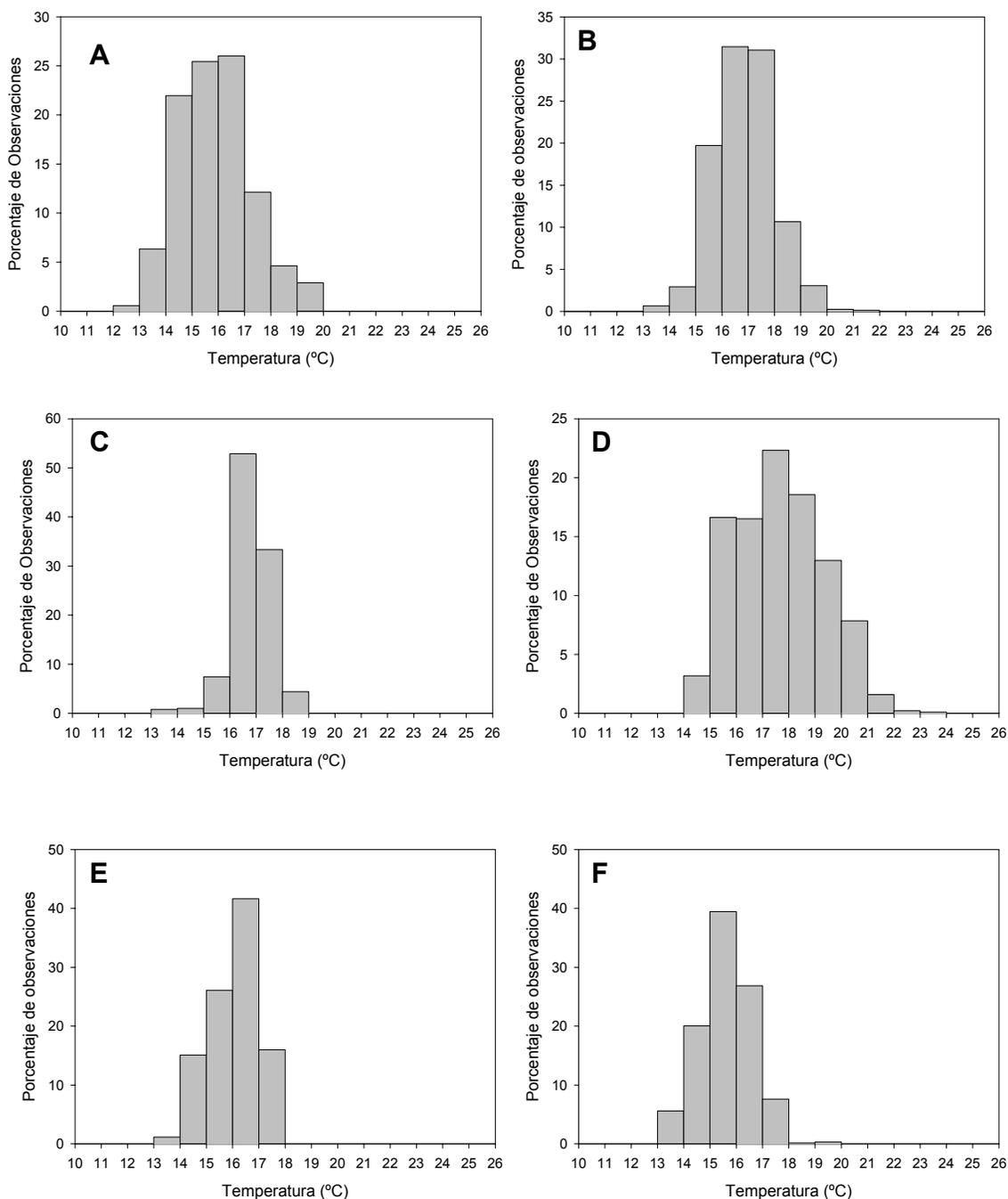
**Figura 29.** Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas ( $\text{ind}/10 \text{ m}^2$ ) o huevos ( $\text{huevos}/\text{m}^2$ ) de jurel y la temperatura superficial del mar para los cruceros realizados los años 2000, 2001 y 2003. (A) larvas 2000, (B) huevos 2000, (C) larvas 2001, (D) huevos 2001. Símbolos: línea sólida = frecuencia acumulada de la variable ambiental ( $f(t)$ ); -●-●- = frecuencia acumulada de la variable ambiental \* la densidad de huevos o larvas ( $g(t)$ ); - - - = diferencia entre  $g(t)$  y  $f(t)$ . S distancia máxima entre  $f(t)$  y  $g(t)$ . P significancia estadística.

El único año en que no se ha encontrado una fuerte asociación entre la temperatura superficial del mar y la distribución de los estadios tempranos de jurel en alta mar corresponde al año 2001 (**Tabla 12**). Esta carencia de asociación detectada durante el año 2001, se debe al hecho que el área de estudio presentó un rango de temperatura superficial del mar bastante homogéneo en comparación con otros años (**Figura 30**). En consecuencia, las larvas y huevos se distribuían en una zona con rangos ambientales de temperatura que no presentaban horizontalmente una heterogeneidad suficiente para generar diferencias detectables.

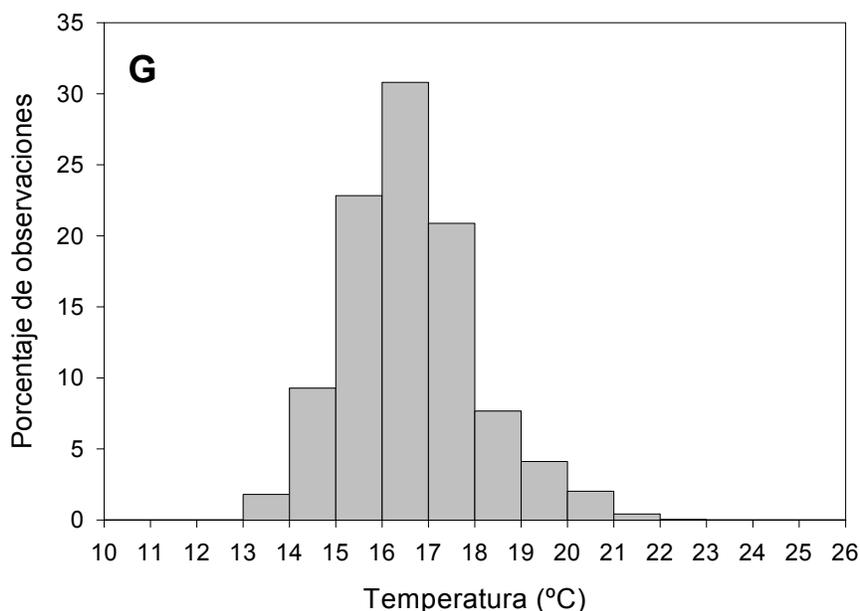
En conclusión, la información disponible proveniente de los seis cruceros realizados en la zona de estudio demuestra que las larvas y huevos del jurel presentan una clara preferencia por aguas cálidas mayores a 15,6°C, existiendo evidencia que indicaría rechazo a temperaturas mayores a 20,5 °C.

**Tabla 12.** Rangos de preferencia de las larvas y huevos de jurel respecto a la temperatura ambiental en la zona de estudio determinados mediante la metodología de Perry y Smith (1994) durante los cruceros realizados en la zona de estudio.

<b>Crucero</b>	<b>Rango de Preferencia °C Huevos</b>	<b>Rango de Preferencia °C Larvas</b>
Noviembre 2003	>15,4	>15,6
Noviembre 2001	Sin rango preferencial	Sin rango preferencial
Noviembre-Diciembre 2000	17-20,5	17,5-20,5
Diciembre 1999	> 16,8	> 16,8
Noviembre 1999	>17,3	>17,3
Diciembre 1998	>15,5	>15,5
<b>Total</b>	>15,6	>15,8



**Figura 30.** Distribución de frecuencias de temperatura superficial del mar en las áreas de alta mar donde se han realizado prospecciones de larvas y huevos de jurel. A = año 1998, B = Noviembre de 1999, C = Diciembre de 1999, D = año 2000, E = año 2001 y F = año 2003.

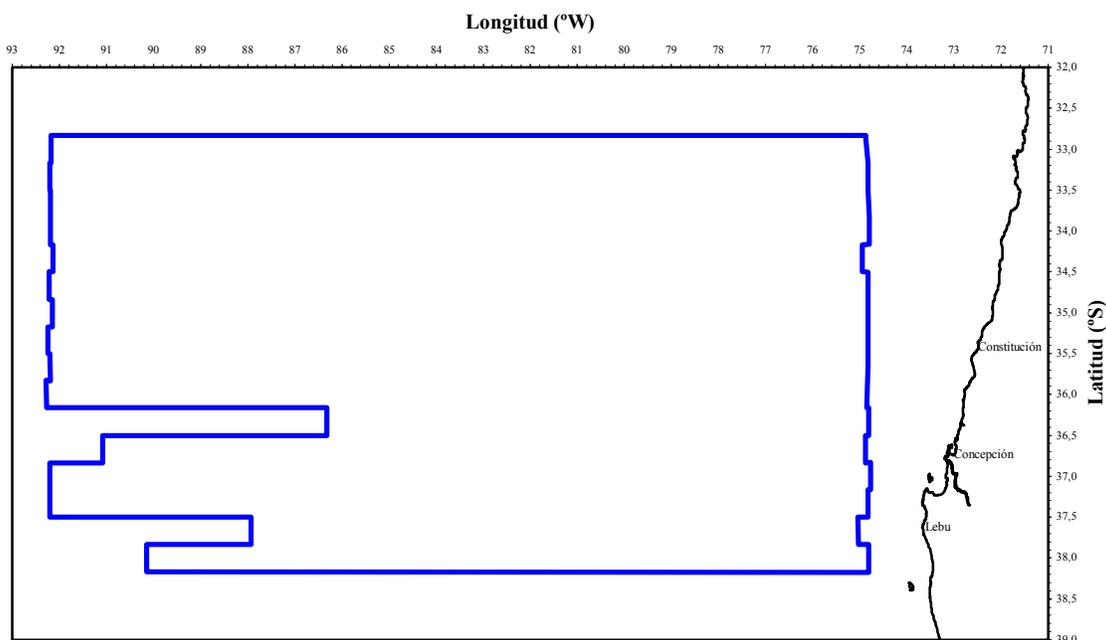


**Figura 31.** Frecuencia de temperatura superficial del mar en las áreas de alta mar donde se han realizado prospecciones de larvas y huevos de jurel considerando los cruceros realizados durante 1998, 1999, 2000, 2001 y 2003.

### 7.2.3 Análisis de la distribución espacial de la abundancia de huevos

#### a) Huevos

En el área de estudio (**Figura 32**), el análisis estructural reveló que el rango de las estructuras alcanzaron un tamaño de aproximadamente 99 mn, lo que no permitió identificar núcleos de abundancia. Por lo tanto, en el área de estudio, el área de desove o distribución espacial de huevos, es un único polígono que alcanzó un área de 284.223,5 mn<sup>2</sup> (**Figura 33**), representando 89,5% del área total de evaluación. Adicionalmente, el análisis estructural reveló anisotropía zonal en la dirección Este-Oeste, habiéndose ajustado un modelo esférico al variograma experimental. La **Tabla 13** entrega los parámetros del variograma teórico ajustados a los registros de densidad de huevos (núm./10 m<sup>2</sup>) (**Figura 34**).

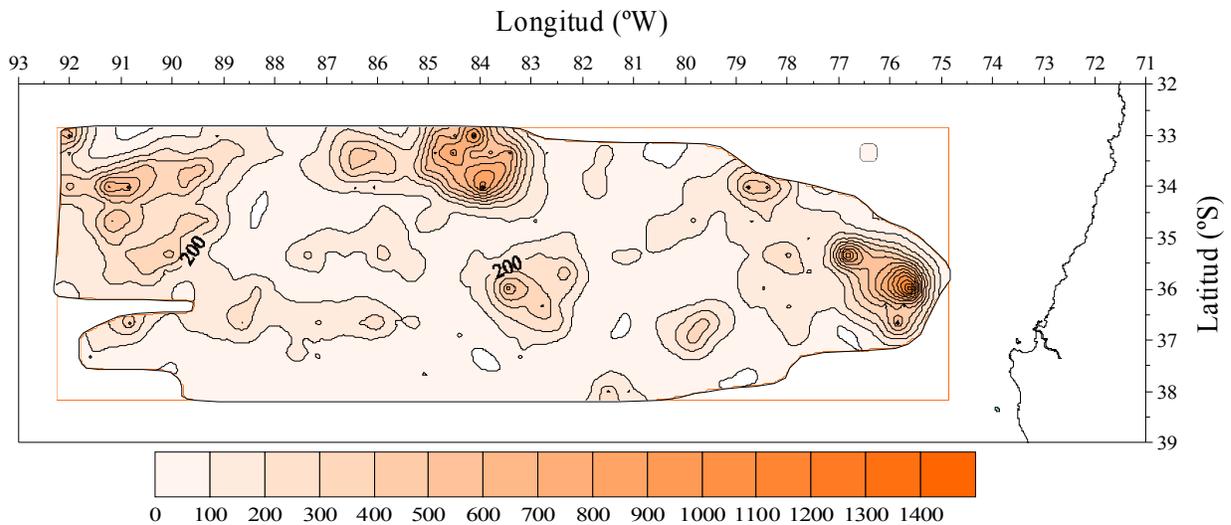


**Figura 32** Diagrama que muestra el polígono (línea azul) que representa el área total de evaluación de la distribución espacial de huevos y larvas de jurel (*Trachurus symmetricus*).

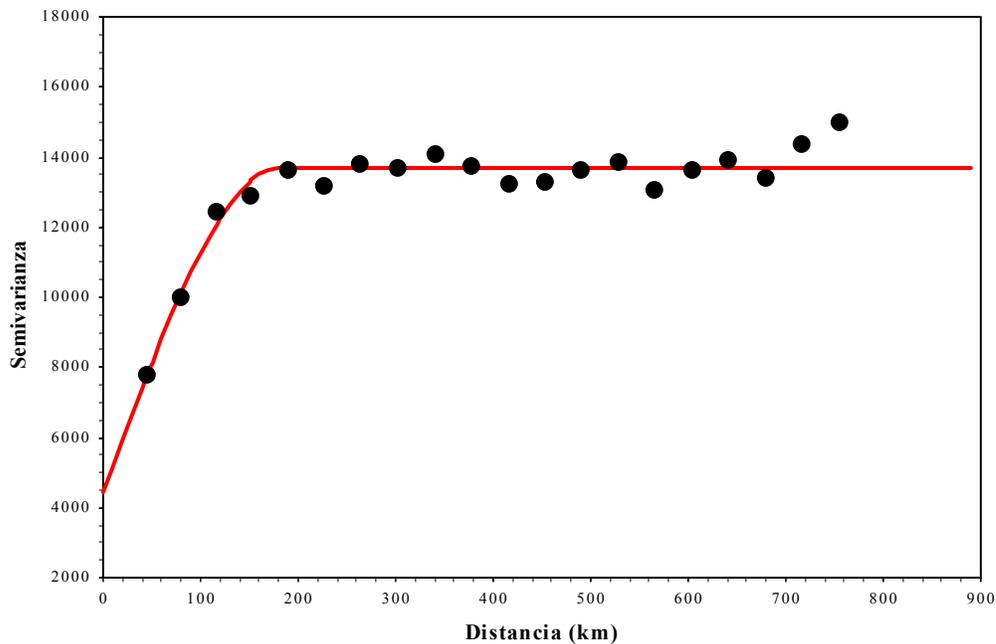
**Tabla 13** Parámetros del variograma teórico ajustado a los registros de densidad de huevos (núm/10 m<sup>2</sup>) y larvas (núm/10 m<sup>2</sup>) de jurel. Bondad de ajuste: SCR = suma de cuadrados residuales.

Parámetros	Huevos	Larvas
Modelo	Esférico	Esférico
Rango (mn)	99,046	110,084
Umbral ( <i>sill</i> )	9270,233	994,739
Efecto pepita (nugget)	4440,156	351,241
SCR	3.770.460,3	192.199,0

En el área de estudio se observó un pequeño polígono de distribución de huevos (**Figura 34**) dado por la existencia de una estación positiva, con un área de 373,9 mn<sup>2</sup>, equivalente a 0,12% del área de evaluación, que no puede ser considerado dentro del área de desove, tanto por su superficie, como por la distancia que la separa del área de desove antes descrita.



**Figura 33** Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de huevos (núm./10 m<sup>2</sup>) de jurel (*Trachurus symmetricus*) en el área de estudio en noviembre de 2003.



**Figura 34** Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de huevos de jurel (*Trachurus symmetricus*, núm./10 m<sup>2</sup>) en el área de estudio en noviembre de 2003.

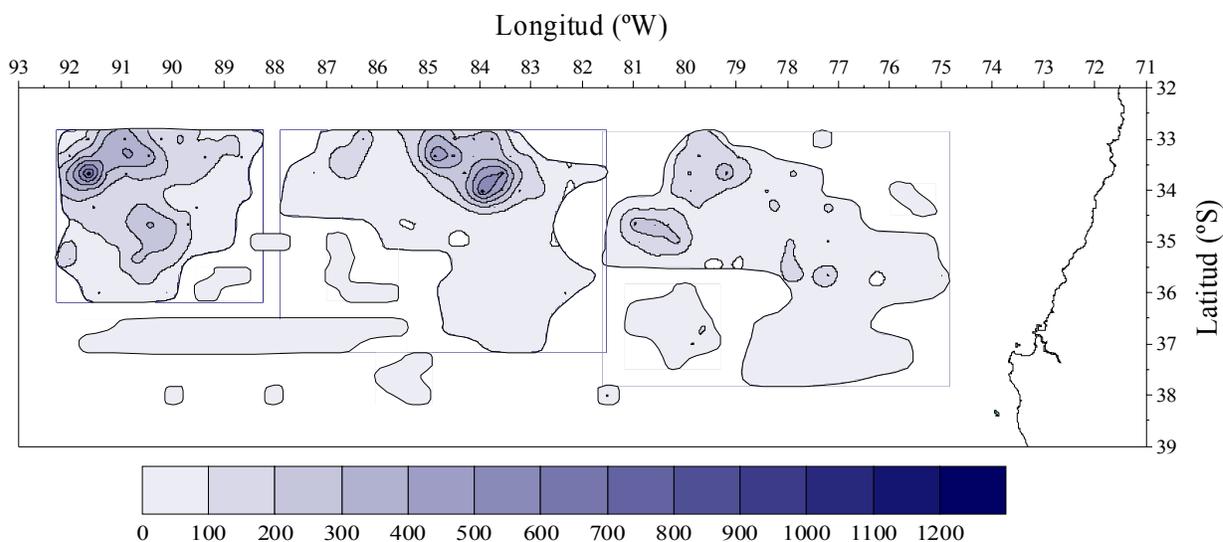
**b) Larvas**

La distribución de larvas de jurel en el área de estudio, al igual que en el caso de los huevos, presentó anisotropía zonal en la dirección Este-Oeste. El análisis estructural reveló que el rango de las estructuras alcanzaron un tamaño de aproximadamente 110 mn (**Tabla 14**). A diferencia de la distribución espacial de huevos, la distribución espacial de la densidad de larvas (núm./10 m<sup>2</sup>) se presentó más fragmentada, habiéndose identificado 14 focos de densidad (**Figura 35**), alcanzando en conjunto un área total de 189.541,2 mn<sup>2</sup> (**Tabla 14**), equivalente a 59,7% del área de evaluación y 66,6% del área de distribución de la densidad de huevos, respectivamente.

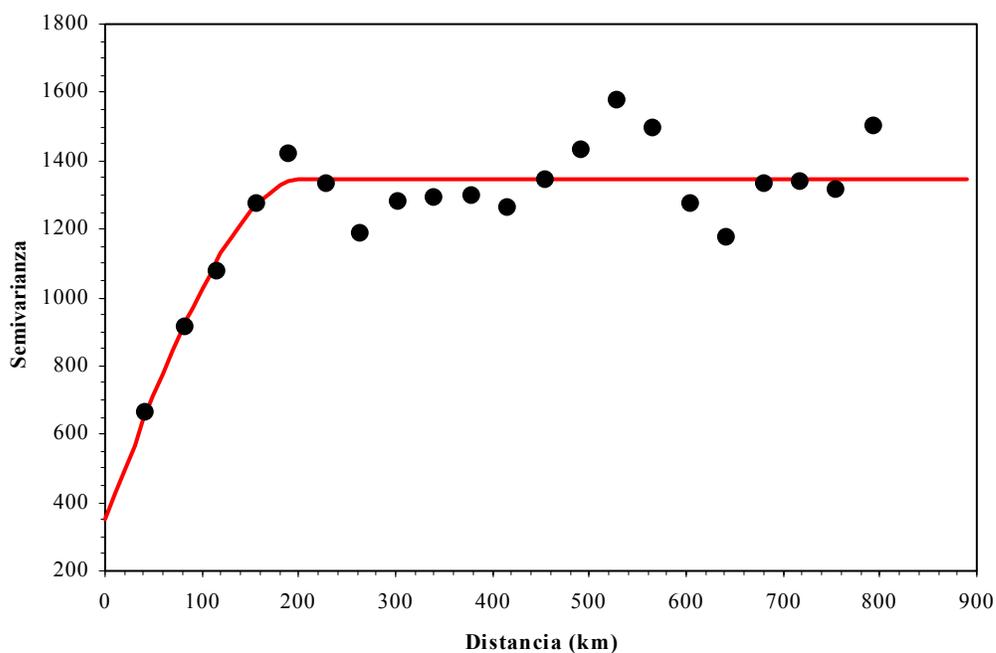
El modelo de variograma teórico ajustado al variograma experimental que representa la continuidad espacial de la densidad de larvas de jurel en el área de estudio correspondió al modelo esférico, cuyos parámetros se entregan en la **Tabla 14 (Figura 36)**.

**Tabla 14** Área (mn<sup>2</sup>) de los focos de distribución de larvas de jurel (*Trachurus symmetricus*) en el área de estudio.

Foco	Área (mn <sup>2</sup> )
1	378,8
2	1.207,0
3	62.319,7
4	56.349,6
5	38.785,4
6	6.772,6
7	3.106,1
8	907,0
9	1.576,6
10	14.020,8
11	2.783,7
12	496,6
13	425,3
14	412,8
Total	189.541,2



**Figura 35** Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de larvas (núm./10 m<sup>2</sup>) de jurel (*Trachurus symmetricus*) en el área de estudio en noviembre de 2003.

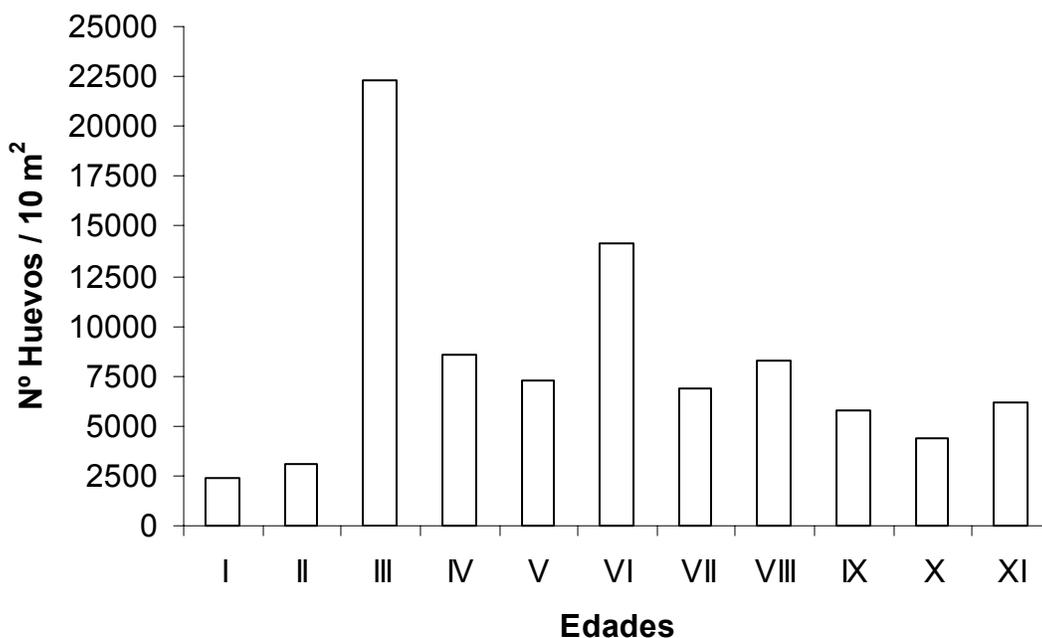


**Figura 36** Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de larvas de jurel (*Trachurus symmetricus*, núm/10 m<sup>2</sup>) en la zona de estudio.

### 7.3 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS Y LA TASA DE MORTALIDAD INSTANTÁNEA DE HUEVOS

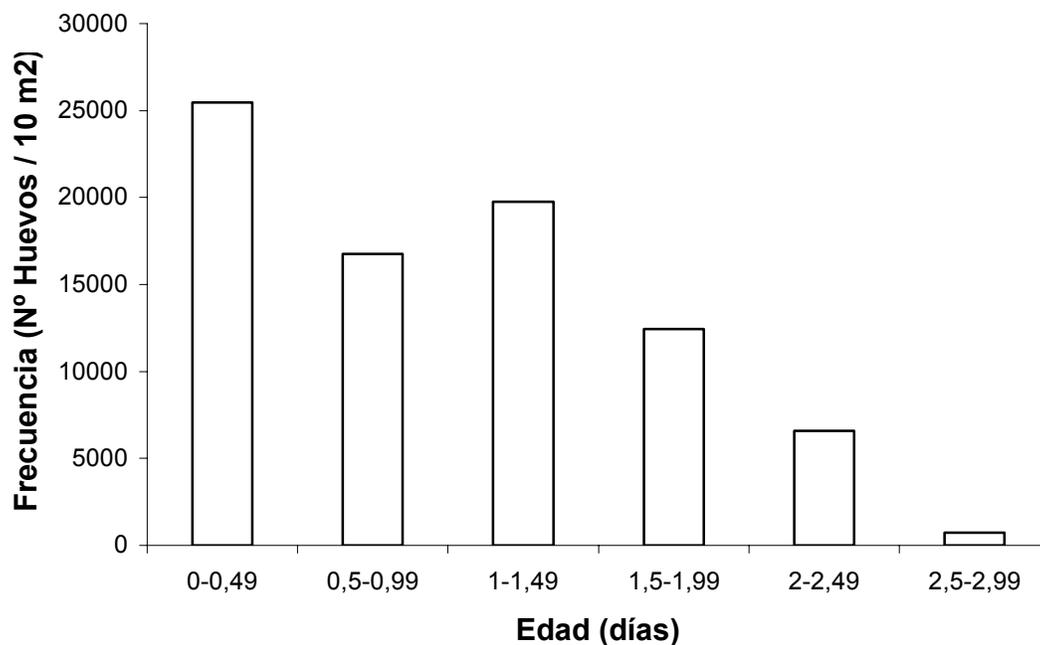
#### 7.3.1 Distribución de edades

El número de huevos por estadios se presenta en la **Figura 37**, observándose una marcada abundancia del estadio 3 (cerca a los 23.000 huevos / 10 m<sup>2</sup>). Se destaca la baja representatividad de los estados 1 y 2, confirmando la necesidad de excluir gran parte de estos huevos en la estimación de la producción diaria de huevos y tasa de mortalidad, debido a que no están bien representados en la muestra ( submuestreo).



**Figura 37.** Número de huevos por estadio de desarrollo de jurel, crucero noviembre 2003

Con respecto al número de huevos agrupados por grupos de edad provisionales de medio día, se observa que domina en la muestra el grupo de edad 0-0,49 días, presentándose un decaimiento gradual de los otros grupos de edad. La edad máxima observada en este crucero, no superó los tres días (**Figura 38**).



**Figura 38.** Número de huevos de jurel por grupos de edad provisionales de medio día, crucero noviembre, 2003.

### 7.3.2 Producción diaria de huevos y mortalidad

Este año se realizaron modificaciones en la estimación de la producción diaria de huevos y la tasa instantánea de mortalidad, tal como se explicó con más detalle en el **punto 6.5.3**. Estos cambios estuvieron básicamente relacionadas con la reagrupación de las edades en cohortes diarias y a la exclusión en los análisis, de los huevos que no estuvieran bien representados en la muestra (< de tres horas) y los que presentaran edades muy cercanas a la eclosión. Otra modificación importante fue la inclusión de estaciones con abundancia cero, pero que se encontraban dentro del área del crucero.

El propósito de estas modificaciones es mejorar año a año estas estimaciones para estandarizar el método de la mejor manera posible y de esta forma hacer comparables los resultados obtenidos con los proyectos de años anteriores. En la **Tabla 15**, se presenta el resumen estadístico de la producción diaria de huevos y la tasa instantánea de mortalidad

para el año 2003 y su comparación con los años anteriores (1999-2000-2001) bajo los mismos criterios metodológicos antes mencionados.

La producción diaria de huevos de jurel el año 2003 fue muy inferior a la obtenida los años anteriores y no comparable con ningún año de estudio. Al comparar esta producción con la del año 2001 se observa que la producción experimentó una disminución significativa de casi 4 veces su valor. El año 2000 y año 2001 son muy similares, no presentando diferencias significativas. Destaca la alta producción del año 1999, la cual es casi 5 veces mayor que la reportada el año 2003 y un 33-34% más alta que la reportada para los años 2000 y 2001 respectivamente. Las tasas de mortalidad no presentan grandes diferencias entre años (**Tabla 15**). Al considerar el área de desove absoluta, se tiene que si bien esta área experimentó un leve incremento de un 8 % con respecto al año 2001, la producción de huevos ponderada por el área de estudio sigue manteniendo la misma tendencia, es decir en el 2003 la producción de huevos fue significativamente más baja que el año 2001 y que todos los años anteriores.

**Tabla 15.** Producción diaria de huevos y coeficiente de mortalidad total de huevos de jurel, noviembre de 1999, 2000, 2001 y 2003.

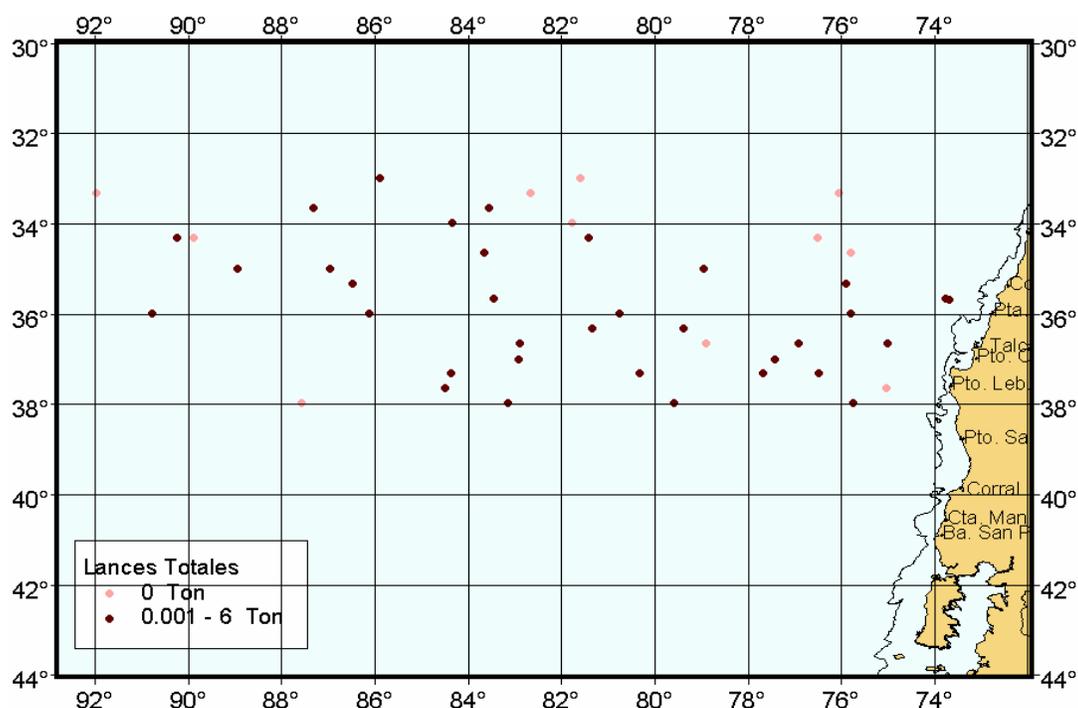
Años	Po (ind/10m <sup>2</sup> )	CV	95 % L C	Z (d <sup>-1</sup> )	CV	95% L C	Area desove (km <sup>2</sup> )	n
1999	695,6	15,0	551,3 - 939,3	0,78	24,4	1,0 - 0,5	663746,7	1157
2000	520,9	7,0	461,7 - 613,5	0,78	11,5	0,9 - 0,6	823077,4	1252
2001	518,8	9,1	423,1 - 682,7	0,43	18,6	0,6 - 0,3	600320,2	1154
2003	131,2	10,0	86,9 - 171,3	0,57	17,5	0,9 - 0,3	647967,7	1174

#### 7.4 CRUCERO DE ADULTOS

Se realizaron 45 lances de pesca distribuidos ampliamente en el área de estudio (**Figura 39**) sobre cardúmenes pequeños de jurel del tipo estrato disperso y machas, detectados en los equipos acústicos de las embarcaciones. Las capturas logradas en estos lances no superaron las 6 toneladas y el total de captura acumulada fue de 25 toneladas. (**Tabla 16**). Se destaca que de estos lances, solamente el 68 % arrojó resultados favorables para la evaluación de la condición biológica de jurel en el área y periodo de estudio.

**Tabla 16.** Resumen de los lances de pesca realizados durante el crucero de Noviembre de 2003.

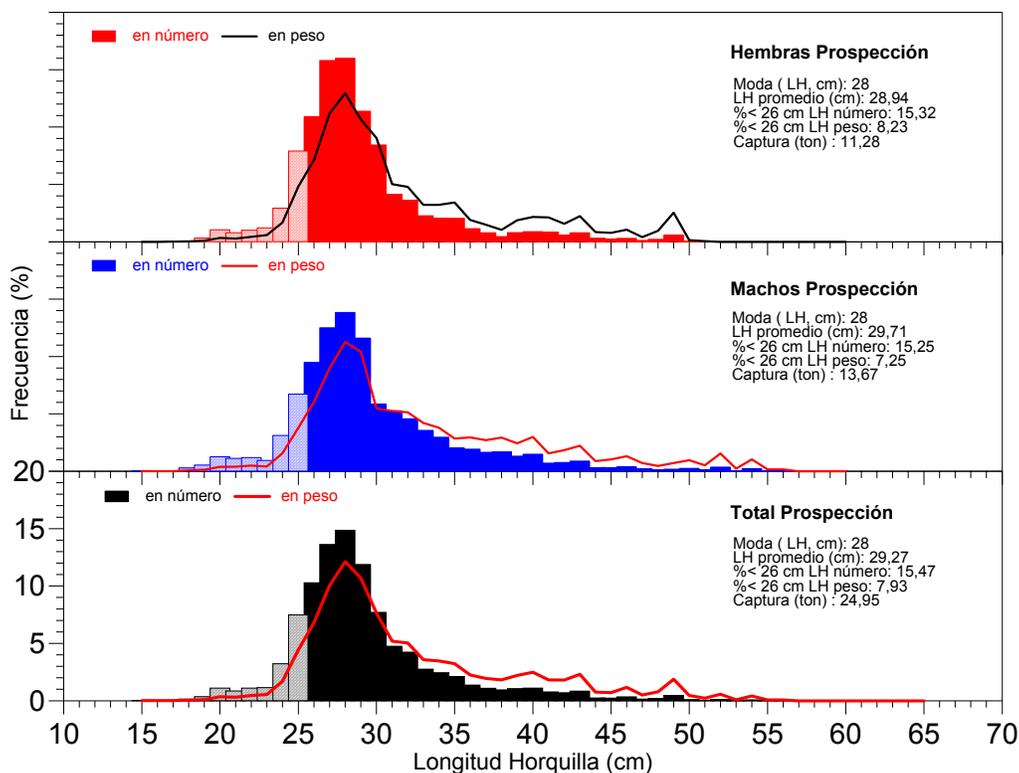
N°	dd	mm	aa	Hora	Latitud	Longitud	Captura(ton)	Especie	PAM
1	11	11	2003	20:06	34° 20'	76° 30'	0	sin pesca	Yagan
2	12	11	2003	21:39	34° 20'	81° 24'	0,07	Jurel	
3	13	11	2003	21:30	34° 20'	89° 54'	0	sin pesca	
4	14	11	2003	21:55	34° 20'	90° 15'	0,3	Jurel	
5	16	11	2003	21:45	33° 00'	85° 53'	0,5	Jurel	
6	17	11	2003	21:06	33° 00'	81° 35'	0	sin pesca	
7	12	11	2003	08:50	36° 20'	79° 22'	0,03	Jurel	Antartic
8	12	11	2003	20:20	36° 20'	81° 20'	0,1	Jurel	
9	17	11	2003	12:29	37° 40'	84° 30'	0,01	Jurel	
10	19	11	2003	13:02	37° 40'	75° 01'	0	Jurel	Coral I
11	11	11	2003	16:30	36° 00'	75° 47'	6	Jurel	
12	12	11	2003	19:30	36° 00'	80° 45'	1	Jurel	
13	13	11	2003	20:40	36° 00'	86° 08'	0,025	Jurel	
14	14	11	2003	20:22	36° 00'	90° 47'	1	Jurel	
15	16	11	2003	20:36	37° 20'	84° 22'	0,15	Jurel	
16	17	11	2003	19:56	37° 20'	80° 19'	0,5	Jurel	
17	18	11	2003	11:00	37° 20'	77° 40'	1	Jurel	
18	18	11	2003	18:50	37° 20'	76° 29'	3	Jurel	
19	11	11	2003	20:50	36° 40'	75° 00'	1	Jurel	Marpro I
20	12	11	2003	20:25	36° 40'	78° 53'	0	Jurel	
21	13	11	2003	20:40	36° 40'	82° 53'	0,01	Jurel	
22	14	11	2003	21:27	36° 40'	76° 54'	0,001	Jurel	
23	16	11	2003	21:15	38° 00'	87° 34'	0	Jurel	
24	17	11	2003	21:55	38° 00'	83° 09'	0,1	Jurel	
25	18	11	2003	18:10	38° 00'	79° 35'	1	Jurel	Pehuenco
26	19	11	2003	16:00	38° 00'	75° 44'	1	Jurel	
27	11	11	2003	18:11	35° 20'	75° 54'	3	Jurel	
28	13	11	2003	21:50	35° 20'	86° 28'	2	Jurel	
29	16	11	2003	22:19	34° 00'	84° 20'	2	Jurel	
30	17	11	2003	14:30	34° 00'	81° 46'	0	Jurel	
31	11	11	2003	19:24	34° 40'	75° 48'	0	Jurel	Matías
32	13	11	2003	09:50	34° 40'	83° 39'	0,003	Jurel	
33	14	11	2003	11:01	35° 00'	88° 56'	0,5	Jurel	
34	15	11	2003	12:44	33° 20'	91° 58'	0	Jurel	
35	17	11	2003	10:40	33° 20'	82° 39'	0	Jurel	
36	18	11	2003	20:00	33° 20'	76° 03'	0	Jurel	
37	13	11	2003	19:03	35° 00'	78° 57'	0,5	Jurel	Malleco
38	15	11	2003	09:57	35° 00'	86° 58'	1	Jurel	
39	17	11	2003	21:35	33° 40'	87° 19'	0,05	Jurel	
40	18	11	2003	16:10	33° 40'	83° 33'	0,05	Jurel	
41	21	11	2003	18:32	35° 42'	73° 41'	0,03	Jurel	
42	22	11	2003	11:05	35° 41'	73° 45'	0,05	Jurel	
43	13	11	2003	08:03	35° 40'	83° 27'	1	Jurel	Duqueco
44	17	11	2003	07:00	37° 01'	82° 55'	0,5	Jurel	
45	18	11	2003	11:02	37° 02'	77° 25'	0,5	Jurel	



**Figura 39.** Distribución de los lances de pesca totales. Los círculos color café representan los lances positivos (n=33).

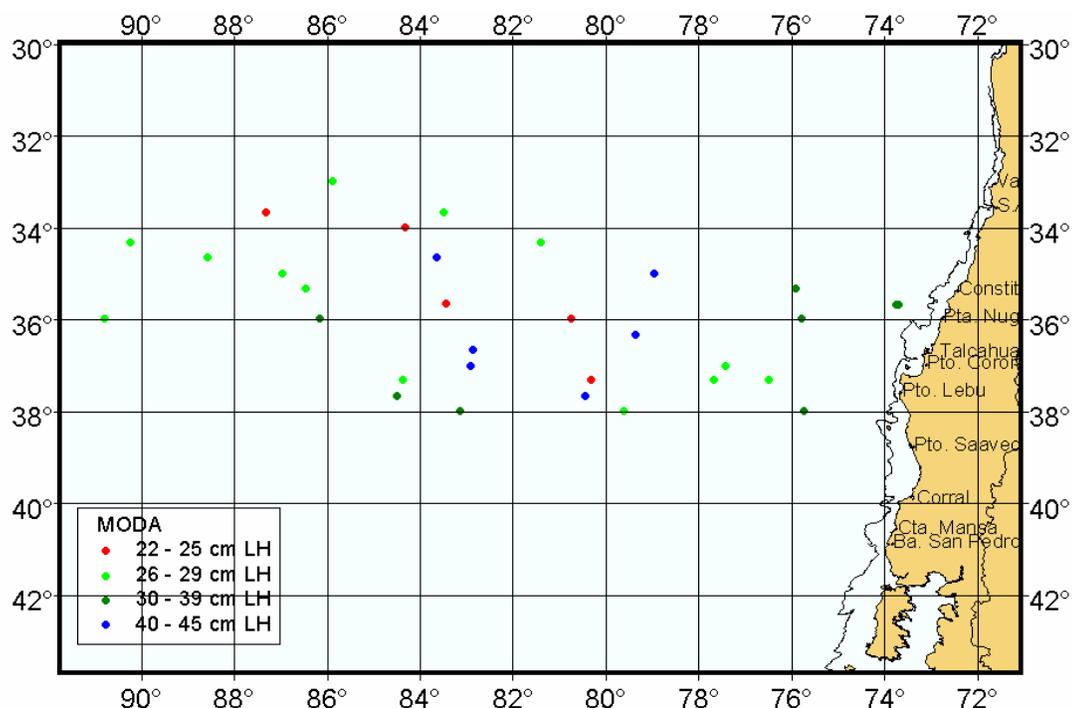
#### 7.4.1 Estructura de tallas

Los datos de distribución de frecuencia de tallas de jurel en un total de 32 lances de pesca, reveló un rango de tamaños comprendidos entre los 18 y 60 cm de longitud horquilla (LH), cuyo tamaño modal estuvo centrado en los 28 cm LH y determinando una longitud promedio de 29,2 cm LH. El aporte de jurel bajo los 26 cm LH fue de 15,7 % en número y 7,8 % en peso. La estructura de tamaños por sexo fue similar a la descrita para ambos sexos; esto es, una talla promedio de 28,9 y 29,7 cm LH para hembras y machos, respectivamente (**Figura 40**).



**Figura 40.** Distribución de frecuencia de tallas de jurel durante el crucero de Noviembre de 2003.

La distribución del tamaño modal de jurel para todos los lances obtenidos, reveló una mezcla de ejemplares juveniles y adultos, sin que se observe un patrón de diferenciación espacial en las modas principales, predominando en toda el área de estudio tamaños modales entre 26 – 29 cm LH (**Figura 41**).



**Figura 41.** Distribución espacial del tamaño modal de jurel en los lances de pesca.

#### 7.4.2 Relación longitud-peso

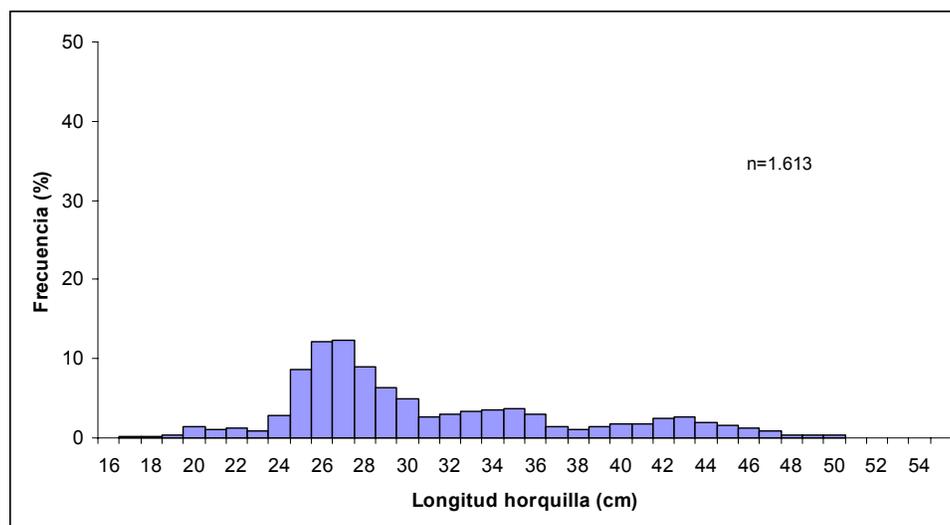
La relación longitud-peso fue establecida a partir de 1705 ejemplares machos con parámetros  $a = 0,0166$  y  $b = 2,8579$  ( $r^2 = 0,9597$ ) y con 1613 hembras con parámetros  $a = 0,0145$  y  $b = 2,899$  ( $r^2 = 0,9555$ ). Para ambos sexos, los parámetros de la relación longitud-peso fueron:  $a = 0,0157$  y  $b = 2,874$  ( $r^2 = 0,9576$ ;  $n = 3318$ ).

### 7.5 CONDICIÓN REPRODUCTIVA

#### 7.5.1 Estados de madurez sexual macroscópicos

La distribución de frecuencias de talla para el total de las hembras que fueron utilizadas en la caracterización de los Estados de Madurez Sexual (EMS) e Índice Gonadosomático (IGS) ( $n=1.613$ ) muestra que el 61% de los ejemplares se encontraban entre los 17 y 30 cm de longitud horquilla (LH) con una moda principal alrededor de los 27

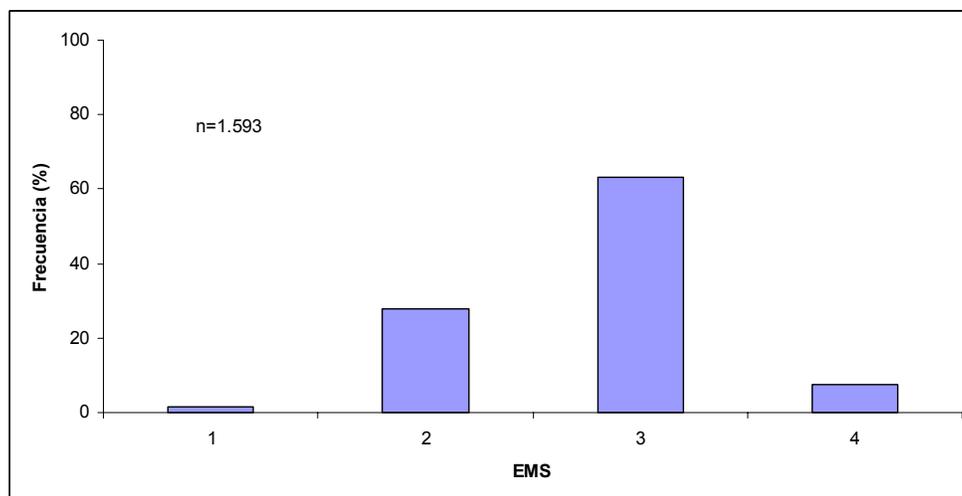
cm y al parecer tres pequeñas modas secundarias alrededor de los 35, 43 y 20 cm de LH (**Figura 42**), pero con muy pocos ejemplares en las clases de tamaño superiores (frecuencias menores al 5%).



**Figura 42.** Histograma de frecuencias de talla para el total de hembras utilizadas en la caracterización de los EMS y los cálculos del Índice gonadosomático (IGS).

De acuerdo a la información recolectada del crucero de prospección se identificaron a bordo 4 estados de madurez sexual macroscópica (EMS) para las hembras de acuerdo a la escala presentada en la **Tabla 17**, los cuales corresponden a: 1: inmaduro 2: madurando; 3: maduro; 4: hidratado. En general para el total de los individuos analizados se observa que el 63% se encuentra en estado 3 o maduro, un 28% en estado 2 (madurando) y sólo un 7% en estado 4 (hidratado), con sólo unos pocos peces en estado 1 o inmaduros (2%; **Figura 43**).

Al separar los individuos por cada embarcación (**Figura 44a**; **Tabla 18**) se puede observar que en el caso del barco Pehuenco el 99% de los ejemplares presentaban un estado 3 de madurez. En el caso de las restantes embarcaciones (Antarctic, Duqueco, Malleco, Marpro I, Matias, Yagan) el estado de madurez 3 (maduro) fue el principal en la muestra con proporciones superiores al 50%, seguido por los estados 2 y 4 de madurez; la excepción la constituyó la embarcación Coral, donde el estado de madurez principal fue el 2 (en maduración) con una frecuencia del 54% seguido por los estados 3 (36%) y 4 (9%). La proporción de hembras hidratadas en todos los casos fue inferior al 20%.



**Figura 43.** Frecuencia en porcentaje (%) de los distintos estados de madurez sexual (EMS) para las hembras de jurel en el área total prospectada.

Al considerar las frecuencias de los distintos estados de madurez (EMS) por lance para cada barco (**Tabla 18**) se observa una situación similar a la anterior, siendo los estados 3 y 4 los más importantes. Se realizaron entre 2 y 8 lances de pesca por embarcación, siendo aquellos realizados por la embarcación Coral los que resultaron positivos en todos los lances; se destaca el lance 2 donde el 92% de los peces presentaba gónadas en estado 2 de madurez macroscópico y los lances 5, 6 y 7 donde sobre el 50% se encontraba en el mismo estado. En general, para el resto de las embarcaciones, se observa que el estado de madurez 3 (maduro) es el principal con frecuencias superiores al 40% y con algunos casos donde el 100% de los peces se encuentra en este estado (Yagan: Lance 4). Sin embargo, algunas excepciones se obtuvieron desde las embarcaciones Antartic (Lance 2), Pehuenco (Lance 3), Malleco (Lance 2) y Marpro I (Lance 7), donde se observó nuevamente el estado 2 (en maduración) mayormente representado. Además, destaca que el estado 4 o hidratado no resultó ser el principal en ninguno de los lances realizados por las embarcaciones a diferencia de los años anteriores, encontrándose en algunos casos incluso ausentes de las muestras (ver embarcaciones Matias y Yagan).

**Tabla 17.** Frecuencia de estados de madurez EMS macroscópicos por embarcación para el área prospectada.

PAM	EMS			
	1	2	3	4
Antartic	8,82	14,71	63,24	13,24
Coral	0,00	54,10	36,39	9,51
Duqueco	0,00	32,46	52,88	14,66
Malleco	0,00	22,67	63,67	13,67
Marpro I	2,15	27,47	69,10	1,29
Matias	0,00	23,53	76,47	0,00
Pehuenco	7,69	17,58	70,88	3,85
Yagan	0,00	0,69	98,61	0,00

### 7.5.2 Estados de madurez sexual microscópicos

Para la caracterización de los estados microscópicos de madurez de jurel se analizaron 1001 preparaciones histológicas de los ovarios de jurel. En cada preparación se identificó la presencia o ausencia de las siguientes estructuras: ovocitos que no han comenzado la vitelogénesis; ovocitos que se encuentren en los primeros estados de la vitelogénesis; ovocitos en vitelogénesis avanzada; ovocitos maduros (vitelogénesis completa); ovocitos hidratados y Folículos Postovulatorios (FPO).

Del total de cortes histológicos analizados (1001 individuos), se observó que la mayor proporción de ejemplares (79,9%; 800 ejemplares) se encontró en proceso de desove, ya sea maduros, hidratados o con folículos postovulatorios. El resto fue clasificado en los estados I (5,8 %), II (10,7%) y III (3,6 %) (**Tabla 19**).

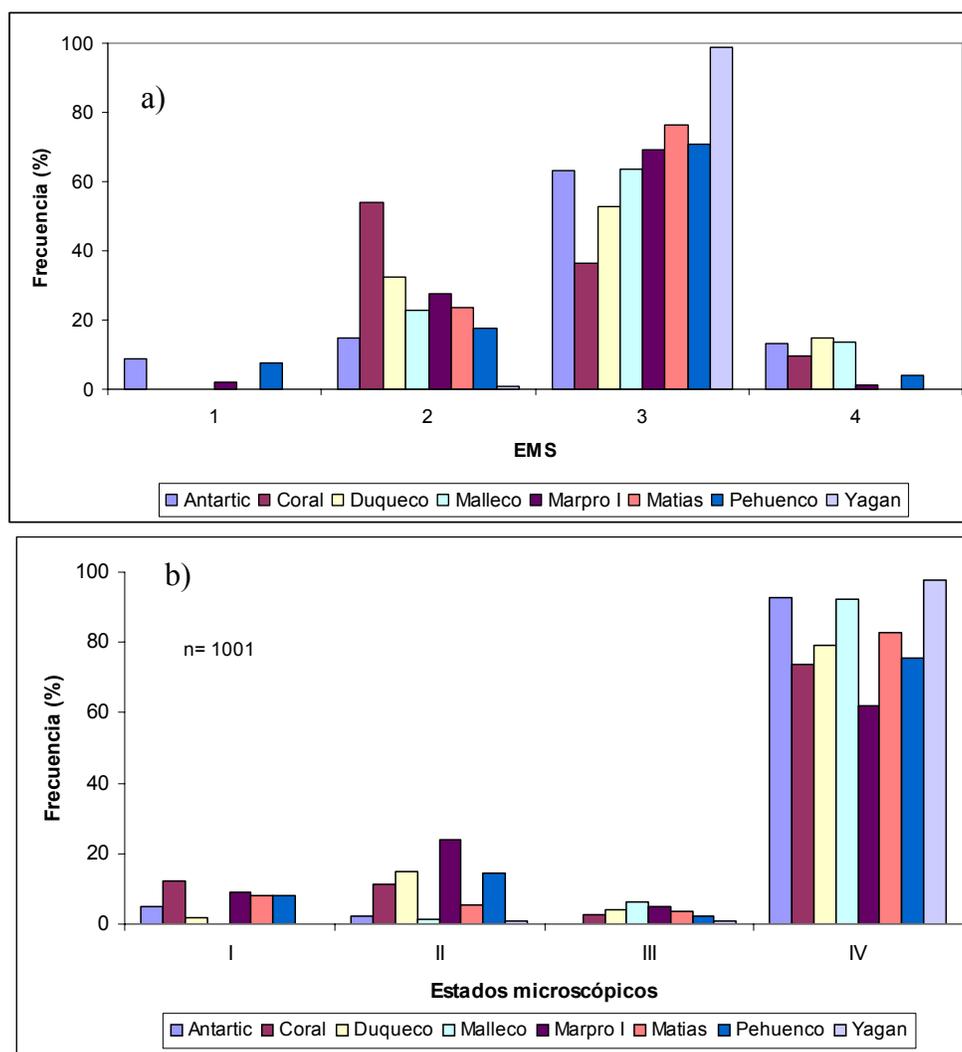
Al realizar el análisis separado por cada embarcación se observa que sobre el 62% de las hembras se encontraban en EMS 4 o hidratados, presentándose los otros estados con frecuencias inferiores al 25% (**Figura 44b**).

**Tabla 18.** Frecuencia de estados de madurez EMS macroscópicos por lance para cada embarcación.

PAM	lance	EMS			
		1	2	3	4
Antartic	L1	6,67	6,67	77,78	8,89
	L2	0,00	60,00	40,00	0,00
	L3	16,67	22,22	33,33	27,78
Coral	L1	0,00	20,00	50,00	30,00
	L2	0,00	92,31	6,15	1,54
	L3	0,00	11,11	44,44	44,44
	L4	0,00	22,86	54,29	22,86
	L5	0,00	51,22	43,90	4,88
	L6	0,00	53,57	41,07	5,36
	L7	0,00	64,81	35,19	0,00
Duqueco	L1	0,00	37,14	42,86	20,00
	L2	0,00	2,82	81,69	15,49
	L3	0,00	68,00	26,00	6,00
Malleco	L1	0,00	11,29	83,87	4,84
	L2	0,00	47,30	35,14	17,57
	L3	0,00	5,66	79,25	15,09
	L4	0,00	37,70	36,07	26,23
	L5	0,00	0,00	98,00	2,00
Marpro I	L3	0,00	12,24	81,63	6,12
	L6	0,00	15,56	84,44	0,00
	L7	7,14	50,00	42,86	0,00
	L8	0,00	23,19	76,81	0,00
Matias	L2	0,00	6,06	93,94	0,00
	L3	0,00	34,62	65,38	0,00
Pehuenco	L1	0,00	9,84	80,33	9,84
	L2	28,00	34,00	38,00	0,00
	L3	0,00	12,68	85,92	1,41
Yagan	L2	0,00	20,00	80,00	0,00
	L4	0,00	0,00	100,00	0,00
	L5	0,00	0,00	98,57	0,00

Finalmente, destaca para el total de las preparaciones analizadas y que fueron asignadas a los distintos estados de madurez microscópica (**Tabla 19**), se observó un importante número de ovocitos atrésicos, con un porcentaje de preparaciones que correspondió al 41,6% de las muestras (415 de 1001 preparaciones).

Comparado con el año 2001, este porcentaje de atresias disminuyó levemente ya que dicho año fue de un 49% (195 de 415 preparaciones). Esta alta presencia de ovocitos atrésicos corresponderían a aquellos ovocitos que no son viables de ser desovados, por diferentes razones, entre las que destacan, inviabilidad, condiciones oceanográficas desfavorables, estrés, etc. Los efectos de esta presencia de atresias podrían estar influenciando las tandas de ovocitos que serán desovadas y que finalmente podrían influir sobre la fecundidad parcial y poblacional.



**Figura 44.** Frecuencia en porcentaje (%) de hembras analizadas por barco. a) Estados de madurez sexual (EMS) y b) Estados de madurez microscópicos.

**Tabla 19.** Estados de madurez microscópicos de jurel, noviembre 2003.

Estado de Madurez	Muestra total	
	Frecuencia	%
Clase		
I	58	5,8
II	107	10,7
III	36	3,6
IV	800	79,9
<b>Total</b>	<b>1001</b>	<b>100</b>

### 7.5.3 Caracterización de los Folículos Postovulatorios (FPO)

Para la estimación de la proporción de estadios foliculares, se diferenciaron los estadios foliculares de acuerdo a la caracterización descrita por Hunter y Goldberg (1980), estableciéndose Folículos Postovulatorios FPO de día 0, 1 y 2. La distinción entre los distintos estados foliculares, se basa como lo describe Macewicz y Hunter (1993) en que, el proceso de degeneración y reabsorción de los FPO es un proceso continuo. Por esa razón, las estructuras que se usan como indicadoras de la “edad” de los FPO, son aquellas que reflejen algún cambio evidente, en este caso, el tamaño y la forma del folículo.

Las estimaciones de la proporción de folículos postovulatorios variaron entre 0,0 y 0,23; con una proporción promedio de 0,09 (**Tabla 20**). Asumiendo que una gran proporción de folículos postovulatorios son de día 1 y 2, del resultado anterior se puede obtener una fracción de hembras en desove por día de un 9%.

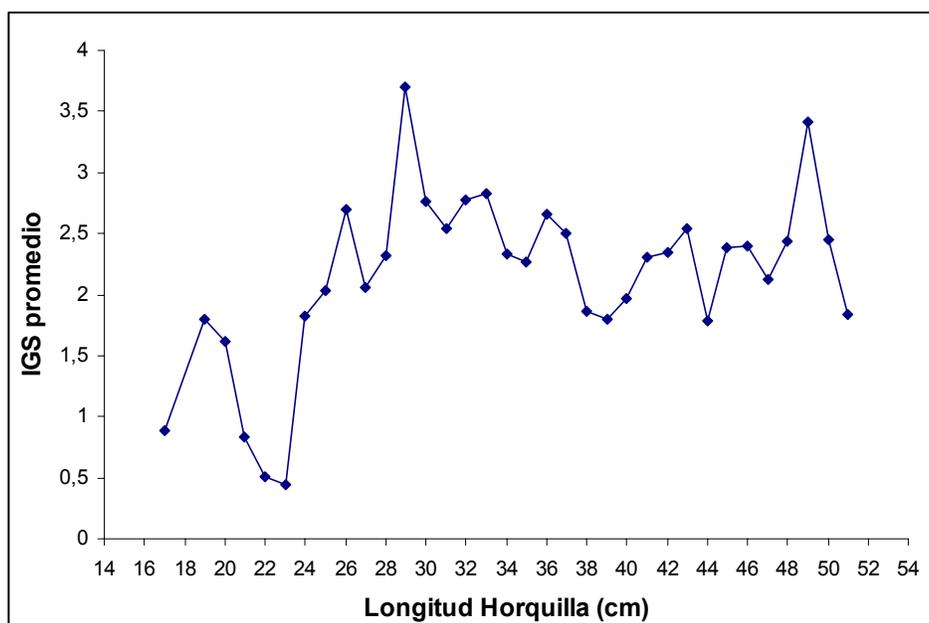
**Tabla 20.** Estimación de la fracción de hembras con folículos postovulatorios y frecuencia de desove obtenidas para cada lance (EMM:estado de madurez microscópico; FPO 0, 1 y 2: folículos postovulatorios día 0, 1 y 2; Frec Des 1, 2 y 1+2: fracción para FPO 1, 2 y 1+2).

Lance	Día	Hora	EMM 1	EMM 2	EMM 3	EMM 4	EMM 5	FPO 0	FPO 1	FPO 2	Frec Des 1	Frec Des 2	Frec Des 1+2
1	13	20:40	2	6	0	35	1	3	4	9	0,08	0,19	0,14
2	17	21:55	0	2	0	42	0	0	1	0	0,02	0,00	0,01
3	18	18:10	11	23	4	11	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
4	19	16:00	4	13	5	26	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
5	12	21:39	0	0	0	4	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
6	14	21:55	0	0	1	44	2	2	5	6	0,10	0,12	0,11
7	16	21:45	0	1	0	42	1	3	13	13	0,23	0,23	0,23
8	11	18:11	0	6	0	35	0	1	1	4	0,02	0,10	0,06
9	13	21:50	12	15	3	18	0	0	1	0	0,03	0,00	0,01
10	16	22:19	0	0	0	57	0	9	8	3	0,14	0,05	0,10
11	12	8:50	2	1	0	35	4	0	4	0	0,11	0,00	0,05
12	13	19:03	0	0	0	41	2	3	7	7	0,15	0,15	0,15
13	15	9:57	0	1	4	23	10	0	7	0	0,22	0,00	0,11
14	17	21:35	0	1	3	38	5	7	8	2	0,17	0,04	0,11
15	18	16:10	0	0	3	10	13	1	1	2	0,07	0,14	0,10
16	11	16:30	1	1	0	6	2	2	2	0	0,25	0,00	0,13
17	12	19:30	6	6	0	4	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
18	13	20:40	0	1	0	6	2	0	1	3	0,11	0,33	0,22
19	14	20:22	6	4	1	38	0	0	4	2	0,09	0,05	0,07
20	16	20:36	0	0	2	16	1	1	1	1	0,05	0,05	0,05
21	13	9:50	0	2	0	60	0	0	11	9	0,18	0,15	0,16
22	11	11:01	12	5	5	60	1	0	4	3	0,05	0,04	0,05
23	13	8:03	1	6	2	29	2	0	4	1	0,10	0,03	0,06
24	17	6:55	1	8	0	50	4	0	13	3	0,20	0,05	0,12
25	18	11:02	0	4	3	9	0	0	1	0	0,06	0,00	0,03

#### 7.5.4 Índice gonadosomático (IGS)

El índice gonadosomático fue calculado para cada una de las hembras de jurel y posteriormente promediados por intervalos de 1 cm de talla observándose una tendencia relativa a aumentar desde los 18 cm hasta los 30 cm de LH, manteniéndose estable hasta los 40 cm para luego sufrir una fuerte disminución desde su mayor valor obtenido en los 49 cm de LH (**Figura 45**). La situación de disminución del IGS hacia las tallas superiores se puede asociar a que en esas clases de tamaño las observaciones son muy escasas por lo que

es muy subjetiva la estimación del índice. Por otro lado, también se podría pensar que en caso del jurel el proceso de crecimiento de las gónadas llega hasta un tamaño máximo por razones de limitación de espacio dentro de la cavidad celómica.



**Figura 45.** Variación del IGS promedio para el total de hembras de jurel con la longitud horquilla de los peces durante el crucero de prospección.

### 7.5.5 Fecundidad parcial de jurel durante el período de desove

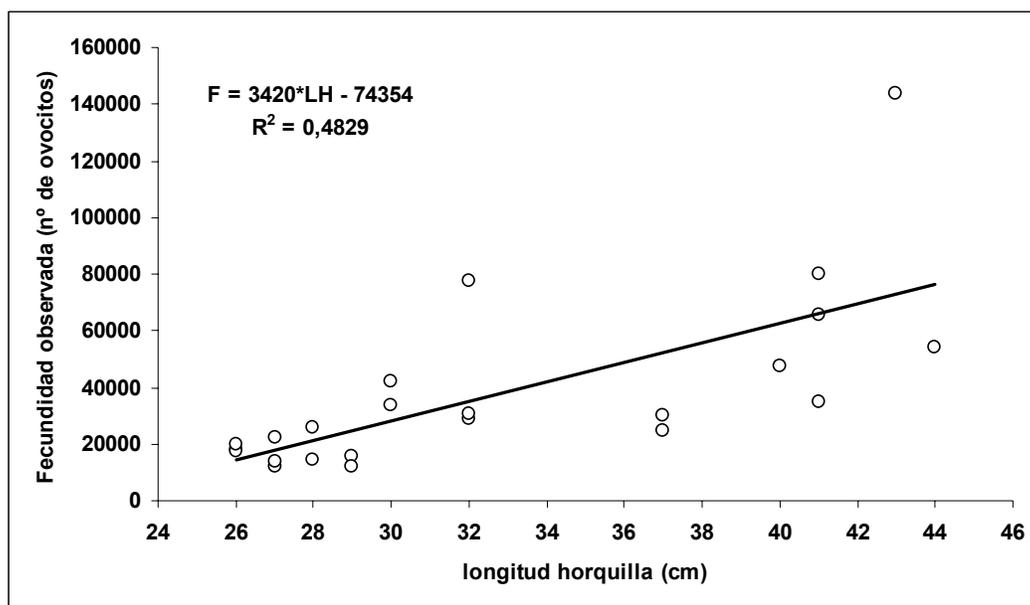
Para el cálculo de la fecundidad parcial se obtuvieron, de muestreos dirigidos realizados a bordo de las diferentes embarcaciones que participaron en el crucero, 117 gónadas que fueron consideradas macroscópicamente hidratadas de las cuales sólo 23 efectivamente se encontraban en esa condición histológica y no presentaban Folículos Postovulatorios (FPO), por lo que las muestras susceptibles de ser utilizadas para la estimación de fecundidad, de 117 gónadas originalmente, fue de 23.

El rango de tamaños de las hembras hidratadas fluctuó entre los 26 y 44 cm de longitud horquilla (LH) con una talla promedio de 33 cm, se observa que existirían al parecer dos grupos modales, entre los 26 y 32 cm de LH y otro entre los 37 y 44 cm de LH,

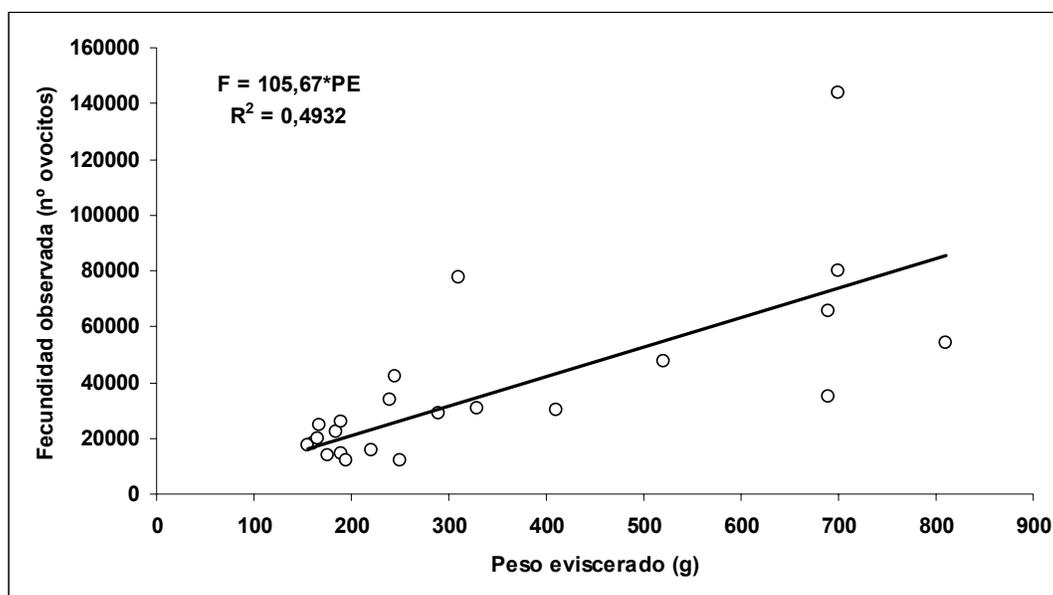
lo que concuerda con 2 de las 4 modas de la distribución de frecuencias de tallas para el total de las muestras (Ver **Figuras 42 y 46**).

La relación entre la fecundidad observada (F) y la longitud horquilla (LH) se estableció utilizando todos ejemplares de jurel. Se probaron los modelos lineal, potencial y exponencial, siendo el mejor ajuste para los datos el de tipo lineal, obteniéndose un  $r^2$  de 0,4829 ( $p < 0,001$ ). El modelo ajustado fue  $F = 3420 * LH - 74354$  (**Figura 47**).

De manera similar, el modelo mejor ajustado para la fecundidad parcial y el peso eviscerado de las hembras de jurel fue el lineal ( $r^2 = 0,4967$ ,  $p < 0,0001$ ), obteniéndose el modelo  $F = 98,678 * PE + 3347,3$ . Este modelo presentó un intercepto que no fue significativo de tal manera que se adoptó el siguiente modelo forzado a pasar por el origen:  $F = 105,67 * PE$  ( $r^2 = 0,4932$ ,  $p < 0,0001$ , **Figura 48**).



**Figura 47.** Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y la longitud horquilla (cm.) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste lineal (n=23).



**Figura 48.** Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y el peso eviscerado (g.) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste lineal (n=23).

### 7.5.6 Vigilancia histológica del período reproductivo

Se procesaron los ovarios de 302 ejemplares a partir de la segunda semana de octubre hasta la tercera semana de diciembre, de los cuales se obtuvieron 131 preparaciones histológicas (**Tabla 19**). En la misma tabla se puede observar la cantidad de individuos asignados a cada estadio histológico, y en las **Figuras 49** y **50** se presenta en términos porcentuales la representatividad para el total y en cada semana de muestreo.

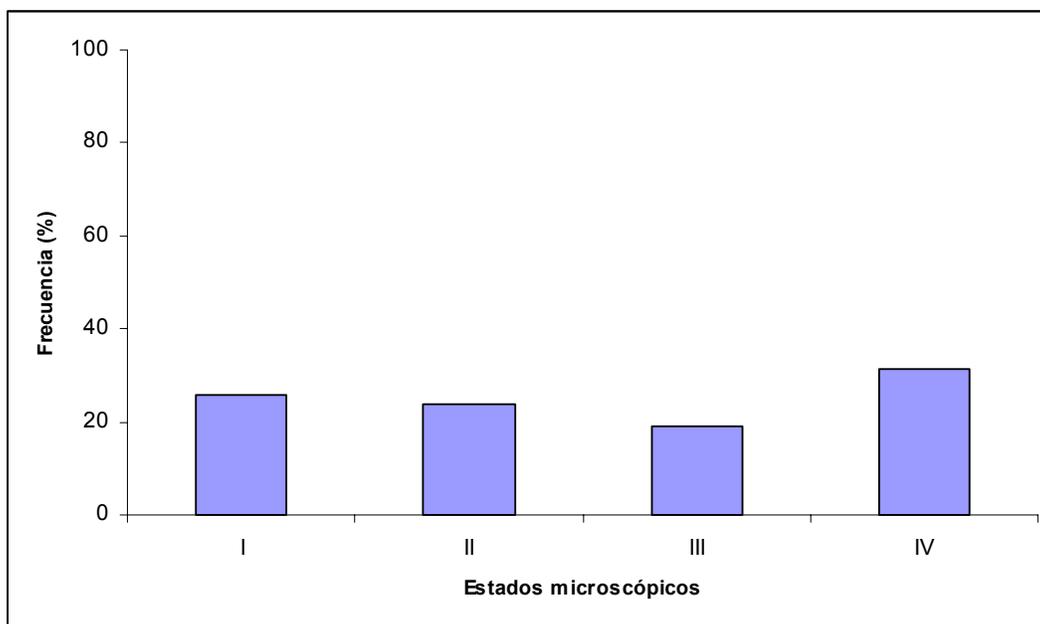
**Tabla 19.** Frecuencia en número y porcentaje (en paréntesis) por semana de los distintos estados de madurez microscópicos obtenidos del monitoreo.

Fecha	E. microscópicos				Total
	I	II	III	IV	
10-Oct	2 (11,1)	7 (38,9)	8 (44,4)	1 (5,6)	18
17-Oct	8 (26,7)	11 (36,7)	9 (30,0)	2 (6,7)	30
06-Nov	4 (25,0)	4 (25,0)	4 (25,0)	4 (25,0)	16
29-Nov	2 (6,9)	4 (13,8)	3 (10,3)	20 (69,0)	29
12-Dic	18 (62,1)	3 (10,3)	1 (3,4)	7 (24,1)	29
17-Dic	0 (0,0)	2 (22,2)	0 (0,0)	7 (77,8)	9
<b>TOTAL</b>	<b>34 (26,0)</b>	<b>31 (23,7)</b>	<b>25 (19,1)</b>	<b>41 (31,3)</b>	<b>131</b>

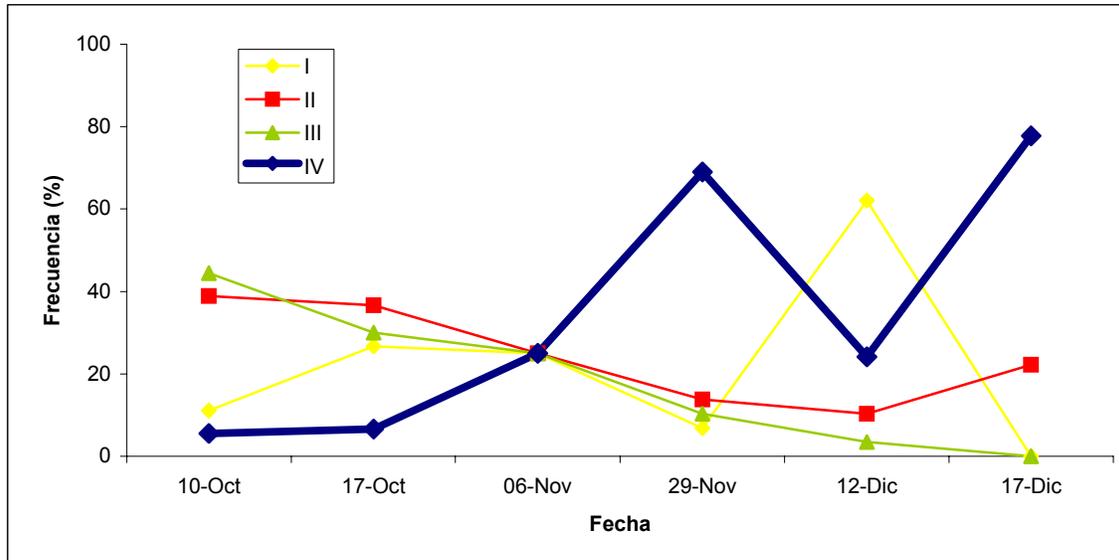
En general se observa para todo el periodo una predominancia de ejemplares en estado IV (maduros) con una frecuencia del 31%, seguido por el estado 1 (inactivos), 2 (previtelogénesis) y 3 (vitelogénesis) con frecuencias de 26%, 24% y 19%, respectivamente (**Figura 49**).

Al separar las muestras para las semanas analizadas se observa que al principio del monitoreo (semanas del 10 y 17 de octubre), predominaron los estados II y III de madurez con frecuencias superiores al 35%, con muy pocos ejemplares maduros o estado IV (menor al 7%), también destaca el porcentaje de hembras inmaduras (sobre el 25%) para las mismas semanas (**Figura 50**). Posterior al 17 de octubre, en el periodo comprendido entre el 6 de noviembre y 19 de diciembre se observa mayores proporciones de peces en estado IV o maduros, llegando a 69% para la semana del 29 de noviembre y a 78% para la última semana del monitoreo (**Figura 50**). Lamentablemente, el tamaño de muestra de esa semana es muy pequeño (sólo 9 individuos) como para establecer alguna conclusión, además, no se pudo continuar con el monitoreo luego de esa fecha (**Tabla 19**). Sin embargo, la tendencia observada, a aumentar la proporción de hembras histológicamente maduras, hace suponer que el proceso de máxima actividad reproductiva habría estado centrado hacia fines de noviembre y principios de diciembre.

Finalmente, se debe destacar que si bien los resultados anteriores podrían estar indicando una tendencia a un máximo de desove desplazado hacia fines de noviembre (posterior al crucero de prospección), lo más probable es que aquellos peces analizados no participen en el evento de desove principal de la especie y correspondan a ejemplares de maduración tardía o a aquellos jureles llamados “de roca” que parcialmente participan de la migración a la zona principal de desove y que fueron capturados por la flota.



**Figura 49.** Frecuencia en porcentaje (%) de los distintos estados de madurez microscópicos para el total de hembras de jurel analizadas del monitoreo reproductivo.



**Figura 50.** Frecuencia en porcentaje (%) de los distintos estados de madurez microscópicos por semana para las hembras obtenidas del monitoreo reproductivo.

## 7.6 ESTIMACION DE LA BIOMASA DESOVANTE

Uno de los aspectos más importantes que se enmarcan en las perspectivas de aplicación de este estudio dicen relación con la estimación de la biomasa desovante de jurel en la principal área de desove. Sin embargo, debido a la estrategia reproductiva del jurel surgen algunas limitantes, como también ventajas, que deben ser consideradas al momento de estimar la biomasa desovante.

Las limitaciones más importantes dicen relación con el bajo número de lances de pesca que es posible de obtener durante los 10 – 12 días de duración de un crucero como éste, lo que se debe principalmente al comportamiento del recurso en aguas oceánicas. En efecto, el jurel se encuentra conformando agregaciones muy pequeñas y dispersas, las que hacen que el éxito de pesca con red de cerco sea limitado o bajo. En este contexto, los parámetros reproductivos provenientes de las hembras desovantes de jurel, tal como la fracción de hembras desovantes diarias, el peso promedio de las hembras maduras, como también la fecundidad parcial están sustentados en un bajo número de lances. A pesar de esto, se ha ido mejorando paulatinamente en este aspecto tanto en el número de lances positivos que son obtenidos, como en la estimación y consolidación de los parámetros reproductivos que son estimados.

En 1999 no se pudo contar con un número suficiente de lances con hembras hidratadas para estimar la fracción de hembras desovante y la fecundidad no se estimó a partir de éstas, sino más bien a través del método de la moda más avanzada (Sepúlveda et al., 2001). En el 2000, aunque se contó con un número adecuado de hembras hidratadas (histológicamente clasificadas así), la fecundidad se determinó separando los ovocitos de más de 700  $\mu\text{m}$ . En el caso de la fracción de hembras desovantes, en 1999 no se contó con estimaciones de este parámetro a través de los folículos postovulatorios (FPO). En el 2000, si bien es cierto se identificó las hembras con folículos postovulatorios, a éstos no se les asignó edad y la fracción de hembras desovantes se estimó asumiendo la mitad de la proporción de los FPO totales.

En la estimación de biomasa desovante por el método de la producción diaria de huevos, usualmente es la producción diaria de huevos el parámetro sujeto a mayor incertidumbre, con coeficientes de variación del orden de 30 – 40% en la anchoveta (Claramunt com. pers.). En el caso del jurel (ver **Tabla 15**), la producción diaria de huevos ha sido estimada con una mayor precisión ( $CV < 15\%$ ), esto debido principalmente, a la alta incidencia de estaciones positivas en el área de estudio (mayor al 70%). Esta característica constituye una ventaja para la estimación de la biomasa desovante a pesar de la limitación contenida en los parámetros reproductivos de los adultos.

Al considerar que se tiene mayor confianza en los estimados anuales de producción diaria de huevos, la biomasa desovante de jurel se ha estimado considerando las mejores estimaciones disponibles de cada parámetro reproductivo en el 2000, 2001 y 2003; mientras que para 1999 se ha utilizado un supuesto conservativo (**Tabla 20**).

**Tabla 20.** Parámetros reproductivos de jurel y estimación de la biomasa desovante de jurel en aguas alta mar, frente a Chile centro-sur.

AÑOS	Peso (g)	Fecundidad Parcial (n° ovocitos)	Frecuencia de Desove	Proporción Sexual	Producción de Huevos (huevos $\times$ m <sup>-2</sup> $\times$ d <sup>-1</sup> )	Area de Desove ( $\times 10^{11}$ m <sup>2</sup> )	Biomasa Desovante (t)
1999	191,8	26610 <sup>a</sup>	0,126 <sup>a</sup>	0,433 <sup>a</sup>	69,563	6,637	6637467
2000	211,0	26069	0,148	0,472	52,086	8,231	4967250
2001	223,7	27150	0,103	0,393	51,875	6,003	6316787
2003	394,7	39846	0,090	0,480	13,119	6,479	1884762

<sup>a</sup>Se asume el promedio de los parámetros de los años 2000 y 2001.

La varianza de las estimaciones de biomasa desovante para los años 2000 y 2001, alcanzó coeficientes de variación de 41,5 y 8,2 % respectivamente. El mayor coeficiente de variación de la biomasa para el 2000 se debe a la fecundidad (40,2%) de ese año. Para el año 2003, se obtiene un coeficiente de variación de 26,9%, siendo la producción diaria de huevos ( $CV=23,7\%$ ), el principal factor de contribución a la estimación de biomasa

Cubillos (2001) realizó estimaciones de biomasa desovante de jurel a partir de la evaluación de stock sobre la base del siguiente modelo de estimación:

$$SSB_t = \sum_{a=2}^m \mu_a w_a N_{a,t} \exp(-0,75 \times Z_{a,t})$$

donde  $SSB_t$  es la biomasa desovante que sobrevive al primero de octubre,  $a$  indica edades y  $t$  años,  $\mu_a$  es la ojiva de madurez sexual,  $w_a$  es el peso promedio a la edad,  $N_{a,t}$  es la abundancia a comienzos de cada año,  $Z_{a,t}$  es la tasa de mortalidad total, y 0,75 es un factor que permite generar mortalidad hasta el 30 de septiembre (=9/12).

La comparación entre las estimaciones de biomasa desovante realizadas por el MPDH y las estimaciones de Cubillos (2001) son bastante coincidentes en términos de la magnitud (**Tabla 21**). Sin embargo, el MPDH subestima la biomasa en el 2000 y 2001 en relación con el modelo de evaluación indirecta. Esto se puede deber a la incerteza propia del modelo de evaluación en los años más recientes y también debido a que existen otras áreas de desove de este recurso que no son evaluadas. Sin embargo, una importante parte de la fracción desovante del modelo de evaluación estaría representada en la estimación contenida mediante el MPDH de jurel.

**Tabla 21.** Comparación entre la biomasa desovante del jurel estimada por el modelo de evaluación y el método de la producción diaria de huevos.

Años	Modelo SSB (t)	MPDH B.Desovante (t)	Razón MPDH/SSBt
1999	2705550	6637467	2,45
2000	4308000	4967250	1,15
2001	5665220	6316787	1,12
2003	a	1884762	a

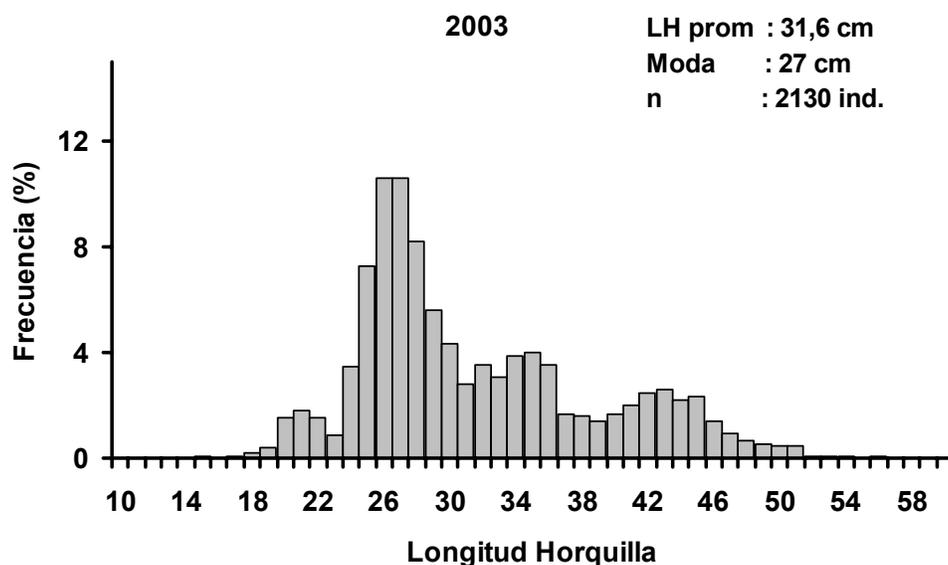
a: en proceso de estimación

Se considera que, tal y como los Dr. John Hunter y Beverly Macewicz (NOAA, USA) lo han expuesto en su revisión y evaluación del proyecto FIP 2000-10 y FIP 2001-12 en los talleres de discusión, las estimaciones de biomasa desovante por el MPDH mejorarán con cada repetición anual. Esto, posteriormente, se traducirá en información relevante para la evaluación y diagnóstico del recurso.

Las estimaciones generadas con el método de evaluación y las obtenidas en este estudio, mediante el MPDH, son independientes entre sí y se concluye que el MPDH es un método que permite generar estimaciones absolutas de biomasa desovante en el área de estudio.

## 7.7 ALIMENTACIÓN

El número total de estómagos analizados fue de 2.130, de los cuales el 50,1% de estos presentaron contenido. La distribución de frecuencia de tallas de los ejemplares colectados para el análisis de contenido estomacal, reveló un rango de tamaños comprendido entre 15 y 56 cm de longitud de horquilla (LH), cuyo grupo modal principal estuvo centrado en 27 cm, y dos modas secundarias no muy bien definidas de rango 35 – 43 cm (**Figura 51**).



**Figura 51.** Distribución de frecuencia de tallas de los ejemplares empleados en los análisis de contenido estomacal, noviembre, 2003

Las distribuciones de tallas obtenidas de las capturas realizadas en cruceros anteriores, no registró una variación significativa en los grupos modales, salvo el año 1999, donde la moda alcanzó los 24 cm. Los tamaños muestrales en los últimos años han tenido un aumento significativo, alcanzando su máximo durante el crucero del año 2003. (**Tabla 22**)

**Tabla 22.** Resumen por año de la estructura de tamaños de jurel.

Años	Moda	LH	Muestra	Estómagos (%)
	cm	Promedio	(numero)	Con-contenido
1999	24	27,7	609	41
2000	27	28,9	1330	30
2001	26	28,3	1164	18
2003	27	31,6	2130	51

### 7.7.1 Importancia relativa de las presas (IIR)

Se identificaron 12 ítem presa, de los cuales los crustáceos dominaron como grupo en el espectro trófico de jurel. Dentro de estos, las presas que presentaron un alto grado de digestión se agruparon como restos de crustáceos, debido a la imposibilidad de identificar, tanto el numero como tipo de especie..

Los resultados del análisis de importancia relativa de presas en el área de estudio, reveló que el principal taxón presa fueron los eufáusidos (IIR= 3,33), dominando tanto en número, peso y frecuencia de aparición, seguidos por larvas de bivalvos, huevos de crustáceos, copépodos y mictófidios. (**Tabla 23**)

**Tabla 23.** Numero (N%), peso (P%), frecuencia de aparición (F%) e índice de importancia relativa (IIR) para las principales presas de jurel, Noviembre 2003.

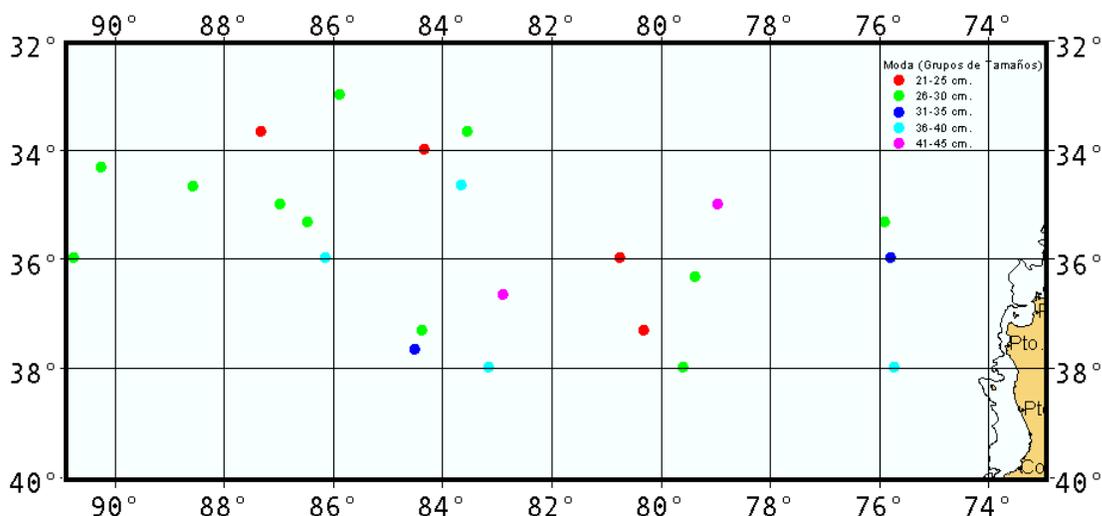
Item presa	Código	N	N%	P	P%	F	F%	IIR
Eufáusidos	Euf.	11355	31,45	1747	73,29	300	20,42	3,33
Restos de Crustáceos	R.crst.	0	0,00	456	19,15	723	49,22	2,97
Larvas de Bivalvos	Biv.	8052	22,30	22	0,94	71	4,83	2,05
Huevos de Crustáceos	H crst.	9848	27,27	5	0,21	32	2,18	1,78
Copépodos	Cop.	4876	13,50	5	0,22	55	3,74	1,72
Mictófidos	Mic.	73	0,20	125	5,23	120	8,17	1,66
Salpas	Sal.	536	1,48	14	0,59	99	6,74	1,18
Ostrácodos	Ostr.	867	2,40	1	0,03	42	2,86	0,90
Larvas de Peces Indeterminadas	L. Pec.	353	0,98	7	0,29	6	0,41	0,18
Anfípodos	Anf.	86	0,24	1	0,05	13	0,88	0,10
Larvas de Crustáceos	L. Crst.	47	0,13	0	0,01	1	0,07	0,00
Larvas de Gastrópodos	L.gast.	4	0,01	0	0,00	3	0,20	0,00
Zoea	Zoea	10	0,03	0	0,00	4	0,27	0,00

En cuanto al análisis de IIR por grupos de tamaños, los eufáusidos, fueron la presa de mayor importancia en todos los grupos, obteniendo su valor máximo en el grupo II (26-30 cm LH), sin embargo los peces (mictófidos), aun teniendo una alta representatividad en todos los conglomerados, adquieren importancia en individuos de tallas intermedias (35-45 cm LH) (**Tabla 24**)

**Tabla 24.** Índice de importancia relativa por grupo de tamaños de jurel

Gru-tño	euf.	mic.	r.crst.	cop.	ostr.	anf.	sal.	h cru.	p idet.	l cru.	biv.	lgast.	zoea.
I	2,9	1,7	3,5	3,0	0,4		0,8						
II	3,6	1,4	2,7	1,2	0,8	0,2	0,2	1,7	0,6			0,0	0,0
III	3,3	2,0	3,3	1,7	1,5	0,2	0,4	2,1	0,1	0,1	0,2	0,0	
IV	3,3	2,4	3,2	1,0	1,2	0,3	0,5	2,3			1,7		
V	2,2	2,3	3,2	0,1	0,0	0,0	2,4	1,7	0,0		3,3		
VI	2,6	0,1	3,3	0,0		0,1	2,4	1,2	0,5		3,3		

Cabe destacar la marcada diferencia que se observa en ejemplares de tallas inferiores a 30 cm, donde los copépodos alcanza su máximo valor (IIR 3,0), mientras que en individuos mayores a 40 cm, las salpas aparecen con un alto valor de IIR. (**Figura 52**)

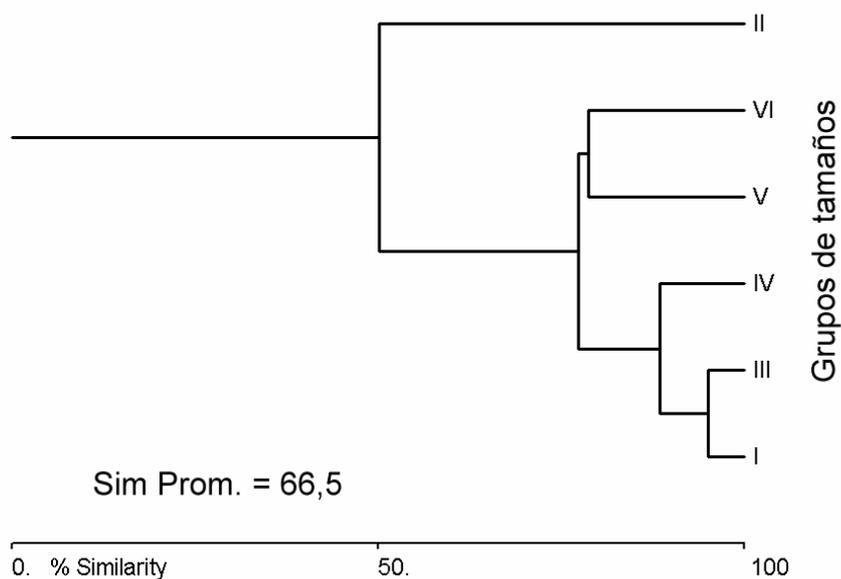


**Figura 52.** Distribución espacial de jurel por grupos de tamaños.

### 7.7.2 Similitud trófica

La similitud trófica por grupos de tamaños arroja un valor promedio de 66,5% (Figura 53). Al analizar a los individuos en conjunto, se observa la formación de 2 conglomerados, mostrando una estrecha relación entre los grupos I - III - IV, debido al consumo preferentemente de eufáusidos y restos de crustáceos. A su vez en los grupos de tamaño V – VI, donde las presas de mayor consumo fueron las salpas, mictófidis y larvas de bivalvos. El grupo II (26-30 cm LH) difiere de ambos conglomerados, básicamente por un alto consumo de eufáusidos (88% en peso)

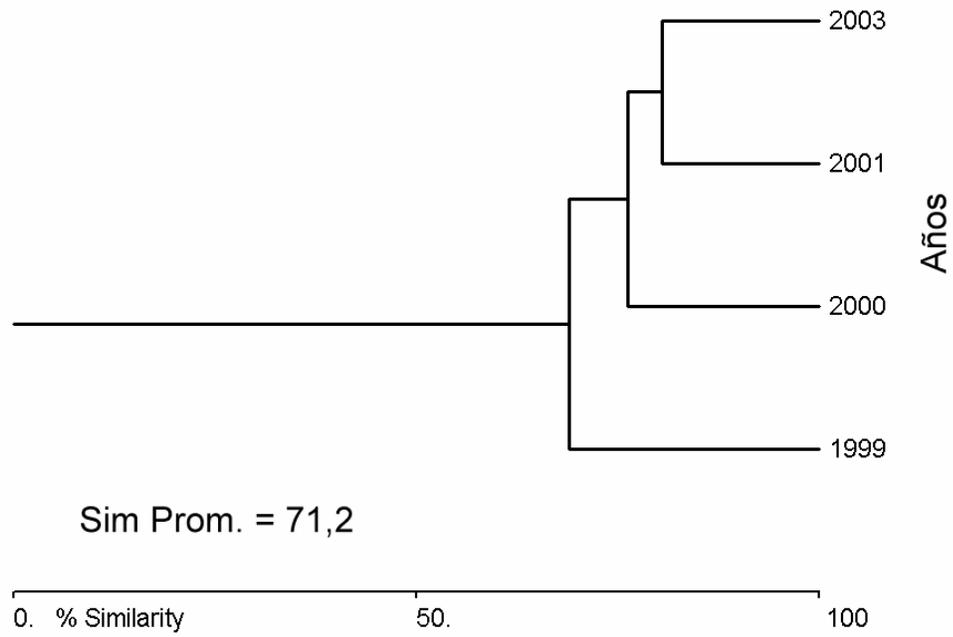
En general se observa una clara disimilitud en el consumo de alimento en peso, entre individuos de tallas inferiores a 36 cm de longitud e individuos de tallas superiores.



**Figura 53.** Dendrograma de similitud trófica en jurel, separados por grupos de tamaños.

Al comparar la similitud trófica entre años (cruceos anteriores), no se observan cambios relevantes en el consumo de alimento (similitud promedio entre años de 71,2%) , si bien el año 1999 es el más disímil del resto, esto es debido básicamente a la presencia de gonodostomátidos, con un aporte importante en peso, pero poco significativo en número como en ocurrencia.

En general a lo largo de los años en esta zona de estudio el sistema alimentario a sido estable, con muy pocas variaciones en los hábitos alimenticios (**Figura 54**).



**Figura 54.** Dendrograma de similitud trófica en jurel, entre años.

## **7.8 CARACTERIZACION DE LAS AGREGACIONES DE JUREL**

### **7.8.1 Distribución espacial y batimétrica**

#### **a) Distribución espacial de jurel**

La distribución espacial de los ecotrazos del jurel reportados por el ecosonda, muestra que el recurso se ubicó ampliamente en toda la zona de estudio, predominando en los lugares donde se detectó recurso los ecotrazos de abundancia de clase “baja”, en tanto las mayores densidades de jurel caracterizadas por ecotrazos definidos como “buena” y “regular”, fueron bastante limitados. Los ecotrazos clase buena fueron escasos y se localizaron en el sector extra oceánico en el área norte, mientras que los tipos regular se presentaron dispersos entre Valparaíso y Talcahuano (**Figura 55**). Esta distribución espacial no mostró zonas importante de concentración del recurso (stock parental), sin más bien focos puntales de alta densidad y la alta recurrencia de niveles bajos abundancia, coincidiendo con el patrón de distribución espacial observado en ecoprospecciones anteriores realizadas en la zona de estudio.

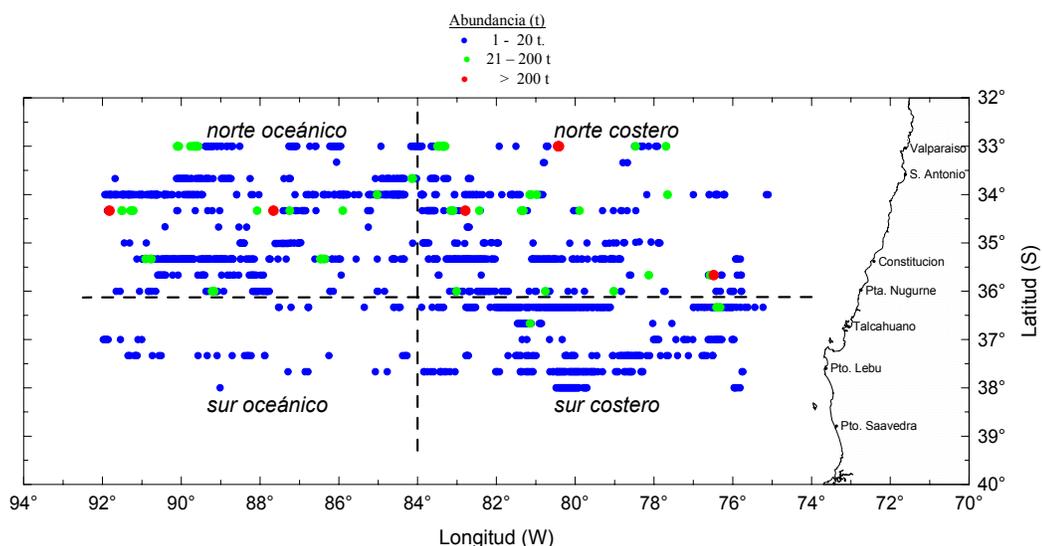
La distribución espacial de los ecotrazos reportados por sonar, muestra una distribución más restringida que la señalada por el ecosonda (**Figura 56**), manteniendo el predominio de ecotrazos de clase “baja” dispersos entre San Antonio y Lebu, con categorías regulares escasa y solo dos registro de clase buena ubicados en 34°S - 81°W y 34°20’S - 79°W.

#### **- Índice de cobertura con ecosonda**

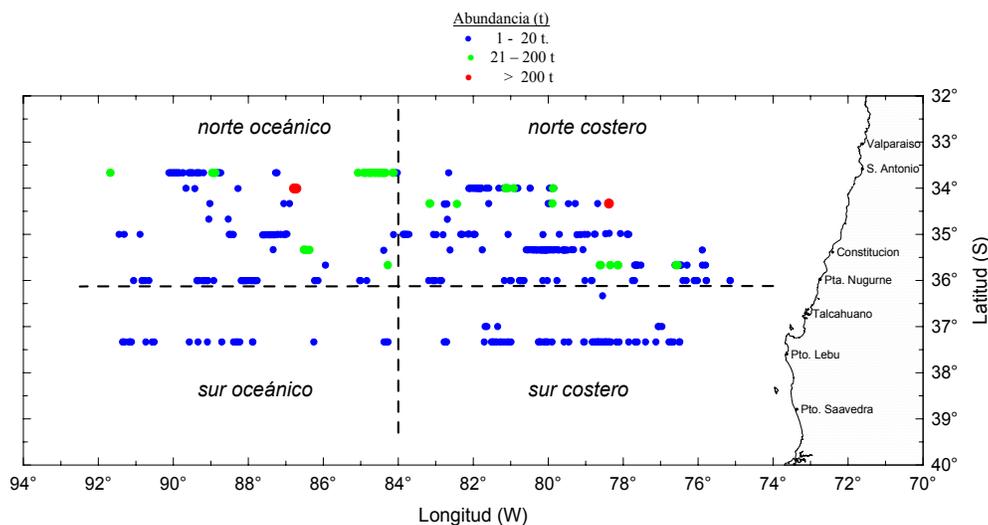
En los 16 transectos realizados en la ecoprospección se observaron un total de 11.930 ubm, de las cuales en 1.527 ubm se detectó presencia de jurel, con un índice de cobertura (IC) de 12,75%. En el sector denominado norte-oceánico se presentó el más alto IC (5,38%) y en el sur oceánico, se observó el más bajo (0,44%); mientras que en los sectores costeros norte y sur, el IC alcanzó un 3,41% y 3,52%, respectivamente (**Tabla 25**).

Respecto a la tipología de los ecotrazos registrados en la zona de estudio, éstos fueron clasificados de acuerdo a 3 niveles de captura esperados: “bajo”, “regular” y “buena”. Los ecotrazos tipo “buena” presentaron un IC de 0,07%, los tipo regular alcanzaron un IC de 0,54% y los bajos representaron el IC más alto con 12,14% (**Tabla 25**). En los sectores sur-oceánico y sur-costero predominó la clase mala o baja, no se reportaron ecotrazos de la clase buena y la clase regular estuvo pobremente representada (0,03%), especialmente en el sector sur-costero. En tanto, en el sector norte se presentó más alta la presencia de la clase regular con algunos registros de la clase buena tanto en el sector oceánico como en el costero.

Los ecotrazos tipo cardúmenes no se presentaron en el área sur-oceánica, su presencia se incrementó hacia el norte del área de estudio, tanto en el sector oceánico como en el costero. Aumentó la presencia de jurel en el sector norte-oceánico, donde se registraron los distintos tipo de agregaciones (cardumen, estrato, disperso e individual), lo que indica una mayor presencia del recurso hacia el sector oeste, sin embargo la mayor presencia de ecotrazos tipo cardúmenes y la categoría alta se registró en el sector norte-costero (**Tabla 25**).



**Figura 55.** Distribución espacial de la abundancia de jurel detectada por ecosonda en la zona de estudio, 2003.



**Figura 56.** Distribución espacial de la abundancia de jurel detectadas por sonar en la zona de estudio, 2003.

**Tabla 25.** Índice de cobertura (IC) de los ecotrazos reportados por el ecosonda en las macrozonas : norte costero, norte oceánico, norte extra oceánico, centro costero, centro oceánico, centro extra oceánico y total zona de estudio, 2003.

	Categorías de Abundancia	Tipo de ecotrazos					Total					
		Cardumen	Estrato	Disperso	Individual	Total		Cardumen	Estrato	Disperso	Individual	Total
<b>Total</b>	Baja	0,48	0,81	7,88	2,96	<b>12,14</b>						
	Regular	0,05	0,18	0,18	0,13	<b>0,54</b>						
	Buena	0,05	0,00	0,01	0,01	<b>0,07</b>						
	<b>Total</b>	<b>0,58</b>	<b>0,99</b>	<b>8,07</b>	<b>3,11</b>	<b>12,75</b>						
		<b>Oceánico</b>					<b>Costero</b>					
<b>Norte</b>	Baja	0,20	0,21	3,33	1,35	<b>5,09</b>	0,27	0,17	1,90	0,77	<b>3,11</b>	
	Regular	0,05	0,08	0,12	0,03	<b>0,27</b>		0,08	0,06	0,11	<b>0,25</b>	
	Buena	0,01			0,01	<b>0,02</b>	0,04		0,01		<b>0,05</b>	
	<b>Total</b>	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>	<b>3,45</b>	<b>1,39</b>	<b>5,38</b>	<b>0,31</b>	<b>0,25</b>	<b>1,97</b>	<b>0,88</b>	<b>3,41</b>	
<b>Sur</b>	Baja		0,01	0,27	0,17	<b>0,44</b>	0,02	0,43	2,38	0,68	<b>3,50</b>	
	Regular							0,02	0,01		<b>0,03</b>	
	Buena											
	<b>Total</b>		<b>0,01</b>	<b>0,27</b>	<b>0,17</b>	<b>0,44</b>	<b>0,02</b>	<b>0,44</b>	<b>2,39</b>	<b>0,68</b>	<b>3,52</b>	

**- Índice de cobertura con sonar**

En los transectos realizados en la ecoprospección se observaron un total de 418 contactos con el sonar con presencia de jurel, presentando un índice de cobertura (IC) de 3,50%, de los cuales 0,03% se alcanzan por la categoría buena, 0,17% por la regular y 3,31 por la baja.

**- Índice de presencia de ecotrazos**

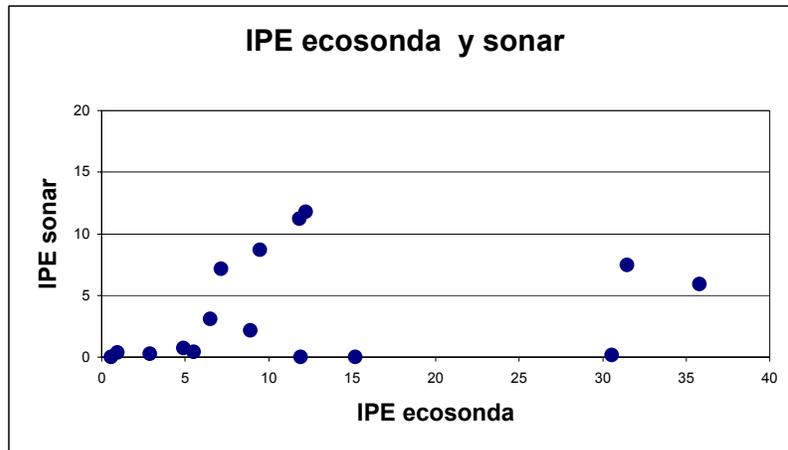
El análisis de las agregaciones reportadas por el ecosonda presentes por cada milla náutica lineal, medido a través de índice de presencia (IPE), indica los más altos valores se ubicaron en la zona sector sur-costero (16,4 agregaciones/100mn) y norte-oceánico (16,3 agregaciones/100mn), en este último se reportó en mayor número de agregaciones con 644, mientras que la menor cantidad de ecotrazos de jurel se presentó en el sector sur-oceánico (**Tabla 26**).

**Tabla 26.** Índice de presencia (IPE) por cada 100 mn lineales y número de agregaciones por zona, 2003.

Zona	IPE (N° agreg / 100 mn)	N° agreg x Zona
<b>Norte Costero</b>	9,2	408
<b>Norte Oceánico</b>	16,3	644
<b>Sur Costero</b>	16,4	422
<b>Sur Oceánico</b>	3,0	53
<b>Total</b>	<b>12,0</b>	<b>1527</b>

Con el ecosonda por transecta el IPE varía entre 1 a 36 N° agreg / 100 mn, con una media de 12,25 ( $\pm 10,94$ ), mientras que con el sonar el IPE sólo alcanza 12 N° agreg / 100

mn y en tres transectos no se reportan ecotrazos, el IPE alcanza una media de 3,71 N° agreg / 100 mn ( $\pm 4,29$ ). En la **Figura 57** se aprecia el IPE del ecosonda y en del sonar por transecta, no se observa una relación entre ambos, esto se debe principalmente a que las ganancias de los sonares empleadas por las embarcaciones no detectan convenientemente los ecotrazos de la categoría baja o débiles.



**Figura 57.** Índice de presencia de ecotrazos (IPE) expresados en N° agreg / 100 mn alcanzados por en ecosonda y por el sonar

#### - Cluster simples y complejos

En la ecoprospección se apreciaron 1353 ecotrazos de los cuales 1210 son simples (CS) y 143 (CC) son complejos, estos corresponden a un 89,4% clusters simples y 0,6% de cluster complejos. En general, los clusters simples (1,5 agregaciones por millas náutica) fueron los más recurrentes en la zona de estudio, concentrando el mayor número de cluster los sectores oceánico-norte, tanto del tipo simple y complejo ( $>1,5$  agregaciones por millas náutica) con la presencia con el 39,9% de los clusters (CS = 33,9% y CC= 6,1%), el segundo por el sector sur costero donde se aprecia el 30% de los cluster (**Tabla 27**). Resultado que junto a índices anteriormente señalados, ratifican la mayor cobertura espacial de la distribución del jurel hacia el sector oceánico del área de estudio.

**Tabla 27.** Cluster simples (CS) y cluster complejos (CC) en porcentaje por categoría de abundancia y tipo de ecotrazo.

<b>Área Total</b>											
		Baja	Regular	Buena	Total						
	CS	85,7	4,4	0,4	89,4						
	CC	9,8	0,2	0,1	10,6						
	Total	95,5	4,6	0,4							
<b>Océánico</b>						<b>Costero</b>					
		Baja	Regular	Buena	Total	Baja	Regular	Buena	Total		
<b>Norte</b>	CS	32,3	2,2	0,1	33,9	20,9	1,9	0,2	22,9		
	CC	5,6	0,1	0,0	6,1	3,0	0,1	0,1	3,3		
	Total	37,9	2,3	0,1	39,9	23,9	2,1	0,3	26,2		
<b>Sur</b>	CS	3,8	0,0	0,0	3,8	28,7	0,2	0,0	28,9		
	CC	0,1	0,0	0,0	0,1	1,1	0,0	0,0	1,1		
	Total	3,8	0,0	0,0	3,8	29,8	0,2	0,0	30,0		
<b>Océánico</b>						<b>Costero</b>					
		Cardumen	Estrato	Disperso	Individual	Total	Cardumen	Estrato	Disperso	Individual	Total
<b>Norte</b>	CS	2,3	2,4	23,8	9,8	33,9	1,9	2,1	15,2	5,5	22,9
	CC	0,0	0,1	3,1	1,1	6,1	0,2	0,1	1,1	1,1	3,3
	Total	2,3	2,4	26,9	10,9	39,9	2,1	2,1	16,3	6,7	26,2
<b>Sur</b>	CS	0,0	0,1	2,4	1,3	3,8	0,1	3,8	19,7	5,7	28,9
	CC	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,7	0,1	1,1
	Total	0,0	0,1	2,4	1,4	3,8	0,1	3,8	20,4	5,8	30,0

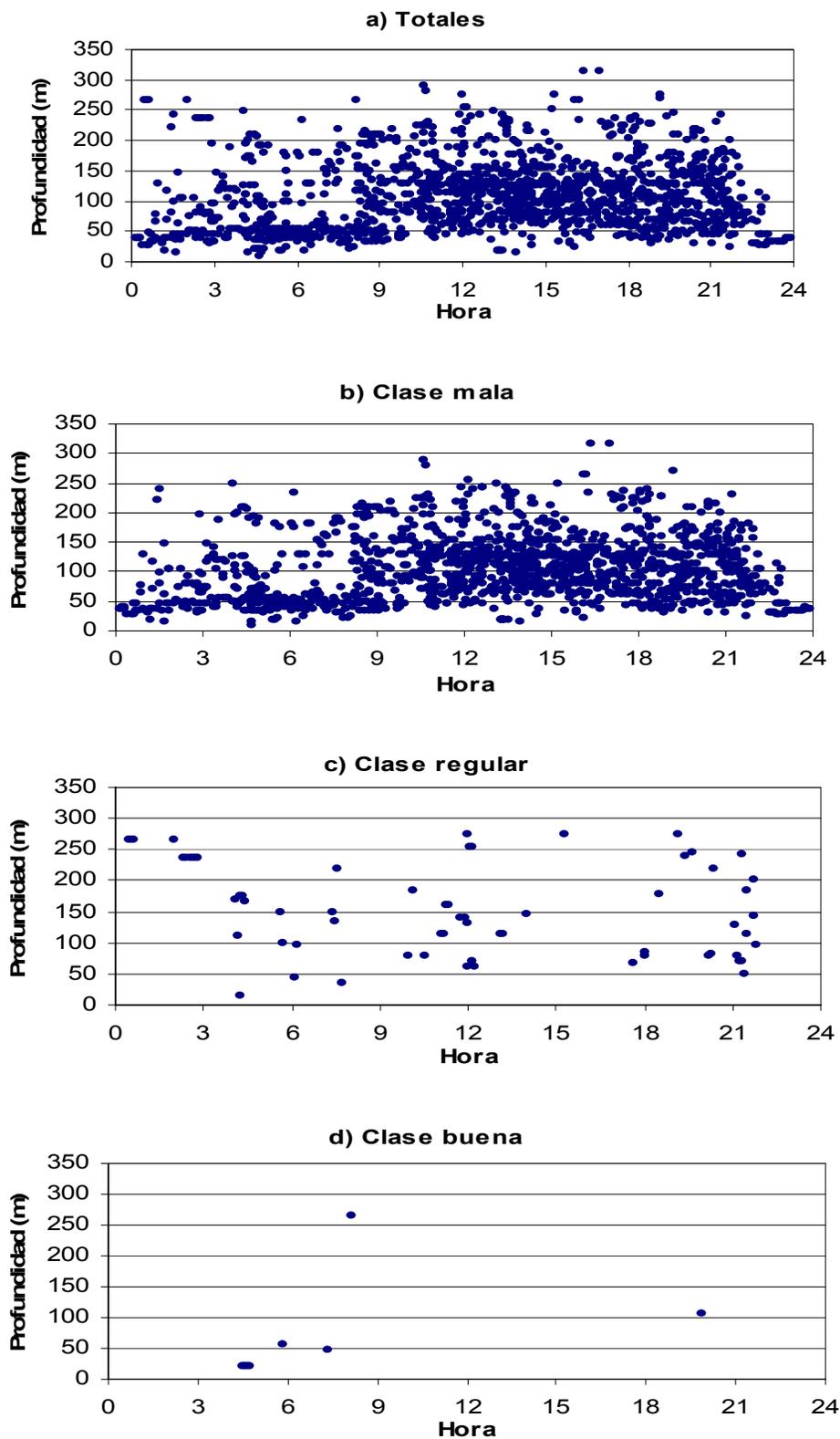
## 7.8.2 Distribución batimétrica en el ciclo de las 24 horas

Los resultados de la información de los ecosondas analizada para el período de un día, para la prospección realizada en la zona de estudio se presentan en las **Figuras 58 y 59**.

Las agregaciones o ecotrazos se distribuyeron desde la superficie hasta los 300 m de profundidad, durante el ciclo de 24 horas, con escasos registros por sobre este nivel de profundidad. Esta distribución en profundidad es sustentada principalmente por el aporte de la abundancia “baja” y “regular”, mientras que para la clase “buena” la distribución fue más someras, con valores bajo los 100 m de profundidad, exceptuando un registro ubicado sobre 250 m (**Figura 58**).

En relación al ciclo diario, las abundancias “baja” y “regular” estuvieron presentes las 24 horas, mientras que ecotrazos de clase “buena” sólo se registraron en una fracción del período, el cual va preferentemente desde las 5:00 a 8:00 horas (**Figura 58d**). En este sentido, es importante indicar que las agregaciones de jurel tipo cardumen presentes en abundancias de clase “buena”, se registraron en los períodos de transición asociado a orto y ocaso (**Figura 58**).

La mayor profundidad de los ecotrazos de abundancia “baja” y “regular”, se explica por la amplia distribución batimétrica de los distintos tipos de agregaciones (tipo estrato, disperso e individual) los cuales alcanzan los 300 m. Es importante señalar que las agregaciones de tipo cardumen para la clase de abundancia “baja”, muestran una leve tendencia a ubicarse en aguas más someras durante el período de máxima oscuridad, no sobrepasando los 100 m de profundidad (**Figura 58**).



**Figura 58.** Distribución de las agregaciones por clase de abundancia: a) total b) baja o mala c) regular y d) buena, 2003.

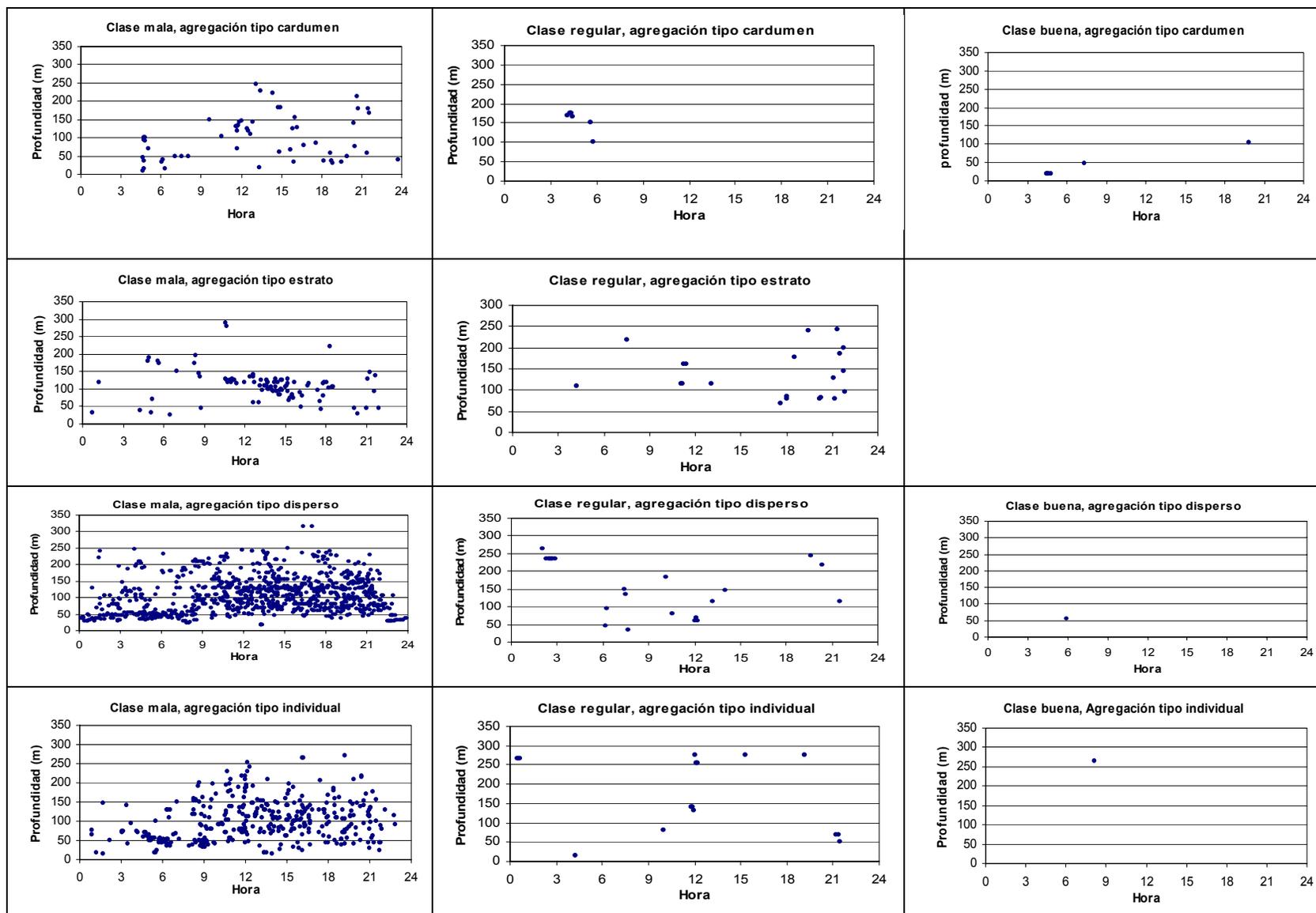


Figura 59. Distribución de la profundidad en el ciclo de 24 horas por clase de abundancia y tipo de agregación, 2003

- **Altura y profundidad de las agregaciones**

Durante el estudio, la altura y profundidad media de los ecotrazos fue de 31,15 y 107,2 m respectivamente. De acuerdo a la abundancia la altura fluctuó entre los 21,8 m para la clase “buena” y los 33,6 m para la categoría “regular”, mientras que para los tipos de agregaciones, la altura media varió desde 16,3 m para el tipo “cardumen” a 37,4 m para los dispersos (**Tabla 28**).

**Tabla 28.** Profundidad mínima, máxima, promedio y altura media por clase de abundancia y tipos de agregación, 2003.

<b>Abundancia</b>	<b>P.Min. (m)</b>	<b>P.Max. (m)</b>	<b>P.Media (m)</b>	<b>Altura (m)</b>
Baja	84,8	115,9	105,3	31,1
Regular	133,0	166,7	154,9	33,6
Buena	53,1	74,9	69,0	21,8
<b>Total</b>	<b>86,7</b>	<b>117,8</b>	<b>107,2</b>	<b>31,2</b>

<b>Agregación</b>	<b>P.Min. (m)</b>	<b>P.Max. (m)</b>	<b>P.Media (m)</b>	<b>Altura (m)</b>
Cardumen	84,5	100,8	97,7	16,3
Estrato	95,3	125,0	115,1	29,7
Disperso	83,9	121,3	107,6	37,4
Individual	91,5	109,6	105,5	18,0
<b>Total</b>	<b>86,7</b>	<b>117,8</b>	<b>107,2</b>	<b>31,2</b>

La profundidad media de los ecotrazos alcanzó los 107,2 m, con un rango que fluctuó entre los 69,0 m para la categoría “buena” y de 154,8 m para la categoría “regular” (**Tabla 28**). Los ecotrazos tipo cardumen se reportaron más someros a 97,6 m y los tipos estratos, dispersos e individuales bajos los 100 m como promedio. En cuanto al rango de profundidad los ecotrazos totales se distribuyeron de 86,7 m a 117,8 m (**Tabla 28**).

El 49,7% de los ecotrazos se reportan entre la superficie y los 100 m de profundidad, en relación a las categorías de abundancia la baja se encuentra equitativamente distribuidos

en dos estratos (sobre y bajo los 100 m de profundidad) y las agregaciones disperso e individuales (**Tabla 29**).

**Tabla 29.** Presencia de ecotrazos (%) en la columna de agua a una profundidad superior e inferior de los 100 m, por categoría y tipo de ecotrazos.

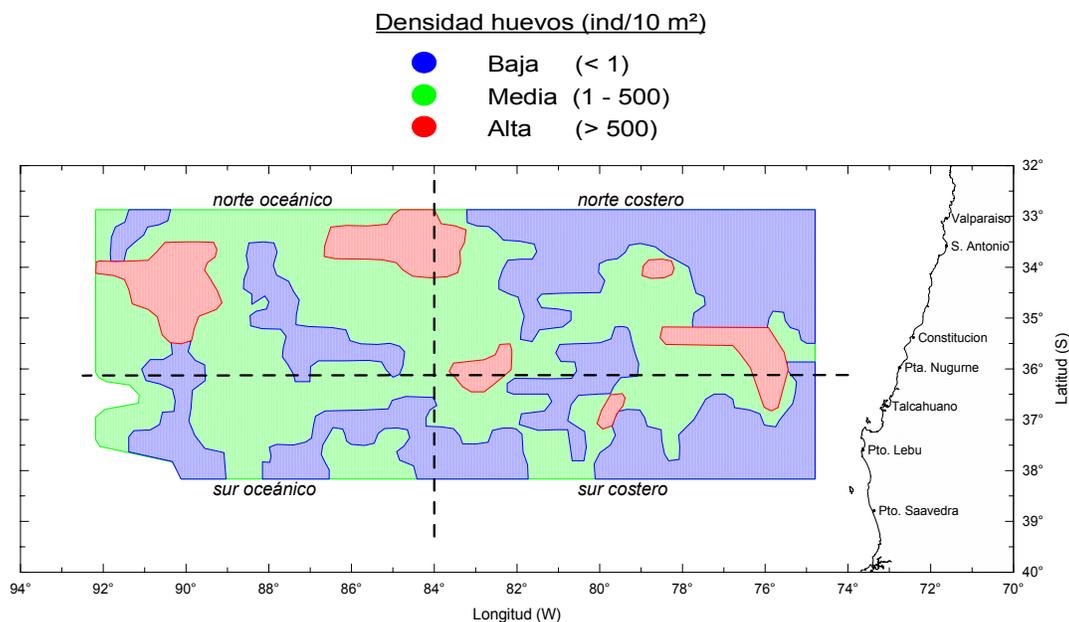
<b>Abundancia</b>	<b>&lt;= 100 m</b>	<b>&gt; 100 m</b>	<b>Total</b>
Baja	48,0	47,2	<b>95,2</b>
Regular	1,3	2,95	<b>4,3</b>
Buena	0,4	0,13	<b>0,5</b>
<b>Total</b>	<b>49,7</b>	<b>50,3</b>	

<b>Agregaciones</b>	<b>&lt;= 100 m</b>	<b>&gt; 100 m</b>	<b>Total</b>
Cardumen	2,55	2,03	<b>4,6</b>
Estrato	2,95	4,8	<b>7,8</b>
Disperso	31,9	31,4	<b>63,3</b>
Individual	12,4	11,9	<b>24,3</b>
<b>Total</b>	<b>49,8</b>	<b>50,2</b>	

### 7.8.3 Distribución multitemporal de ecotrazos de jurel (cruceros 1997-2003)

Desde 1997 a 2003 se ha efectuado seis cruceros (**Tabla 9**) un crucero dentro del marco de los proyectos de prospección de jurel, huevos y larvas de jurel en altamar, cabe recordar que el año 2002 el crucero no fue realizado debido a la falta de embarcaciones disponibles.

Las cartas de distribución de huevos de jurel correspondiente a noviembre 2003 se presenta en la **Figura 59**, el 5,6 % del área corresponde al área de alta presencia de huevos (> 500 Ind/10m<sup>2</sup>), el 18,5% a la de presencia media (1-500 Ind/10m<sup>2</sup>) y baja (<1 Ind/10m<sup>2</sup>).



**Figura 59.** Distribución espacial de la abundancia de huevos de jurel, Nov. 2003

### **Índice de cobertura (IC) y morfología de las agregaciones**

Por clase de abundancia del jurel: i) buena (captura esperada mayor a 200 t), ii) regular (captura esperada entre 20 y 200 t y iii) baja (captura esperada menor a 20 t) se estima el índice de cobertura en las áreas tipificadas como: i) sin presencia de huevos de jurel, ii) con presencia calificada como regular y iii) con presencia calificada como alta (superior a 500 ind/10m<sup>2</sup>). Para cada clase el IC es estimado por tipo de ecotrazo (cardumen, estrato, disperso e individual).

Los resultados de la estimación de este índice indican que:

- en los años 1997, 1999 y 2003 los IC son altos, estos son más altos en las áreas calificadas sin presencia y regular presencia de huevos, mientras que en el área calificada como de alta presencia de huevos el IC es incipiente. En las áreas de alta presencia de jurel los IC son bajos pero la participación mas importante se encuentra en las áreas categorizadas sin huevos.

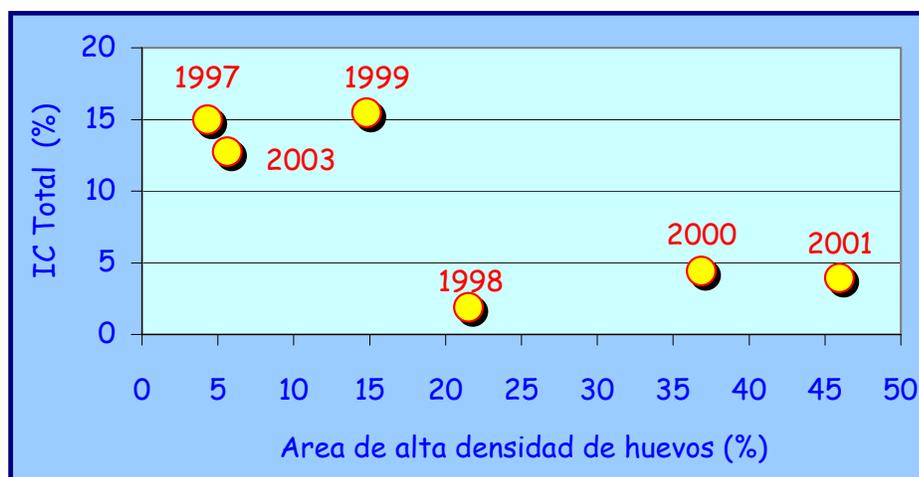
- en los años 1998, 2000 y 2001 los IC son bajos, en el caso de la categoría de abundancia de jurel mala, los IC alcanzan valores cercanos al 1% 4% y 3% respectivamente, se presentan preferentemente los ecotrazos del tipo disperso e individual, en las áreas calificadas sin presencia de huevos y regular. En el caso de la categoría de abundancia de jurel regular, los IC son muy bajos no alcanzando el 0,4%. Para la categoría de abundancia de jurel buena el IC es incipiente sólo en el año 2000 (Cubillos et al, 2003).

Al comparar la distribución de los huevos y de los ecotrazos de jurel se observa que, en las áreas donde se presentan los huevos no se detecta presencia de jurel o ésta es muy baja. Este resultado ratifica lo propuesto en el proyecto anterior (Cubillos et al, 2003).

En la **Tabla 30** se presenta el índice sintético de la presencia de huevos (IA). Se advierte un aumento en los años 2000 y 2001, al relacionar el IA con el respectivo IC, se observa que en los años 1997 y 1999 el IC es más alto cuando el IA es más bajo. Al año 2003 se obtiene el IA más bajo del período 1997 - 2003. Estos resultados confirman lo propuesto en el proyecto que lo antecede FIP 2001- 12, se puede señalar que el índice de cobertura (IC) es inversamente proporcional a la extensión del área de alta presencia de huevos, estimada como una relación porcentual con respecto al área total (**Figura 60**).

**Tabla 30.** Índice sintético de la presencia de huevos (IA), donde SAH es la superficie (mn<sup>2</sup>) de estrato de alta densidad de huevos y ST superficie total (mn<sup>2</sup>).

<b>Año</b>	<b>ST (mn<sup>2</sup>)</b>	<b>SAH (mn<sup>2</sup>)</b>	<b>IA (%)</b>
<b>1997</b>	108.078	4.691	<b>4,3</b>
<b>1998</b>	231.340	49.788	<b>21,5</b>
<b>1999</b>	114.917	17.027	<b>14,8</b>
<b>2000</b>	306.327	112.828	<b>36,8</b>
<b>2001</b>	263.945	103.947	<b>39,4</b>
<b>2003</b>	248.785	14.023	<b>5,6</b>



**Figura 60.** Índice de cobertura total (IC %) relacionado con las áreas de alta densidad de huevos (IA %)

### Índice de presencia de ecotrazos (IPE)

En 1997, 1999 y 2003 los IC son altos alcanzando 14,97%, 15,46% y 12,75%, respectivamente. En consecuencia, en esos cruceros se encontraron los más altos índices de presencia de ecotrazos, con 0,12 agregaciones por milla náutica lineal (IPE) y la mayor participación corresponde a los ecotrazos de la categoría de abundancia baja. Mientras que en los otros tres años, el IPE es bajo alcanzando sólo 0,037 agregaciones por milla náutica lineal en los años 2000 y 2001. Los ecotrazos tipo cardumen presentan el IPE más bajo en los seis cruceros, confirmando la hipótesis de que el jurel forma agregaciones muy poco compactas en el momento del desove (**Tabla 31**).

**Tabla 31.** Índice de presencia de ecotrazos IPE (Número de agregaciones por mn lineal)

Crucero	IPE
Nov. 1997	0,12096
Dic. 1998	0,0099
Dic. 1999	0,1297
Nov. 2000	0,0373
Nov. 2001	0,0372
Nov. 2003	0,1200

## **Presencia y distribución de los clusters**

En los cruceros de 1997, 1999 y 2003 se reportan las más altas presencias de clusters simples alcanzando los 538, 635 y 1210 respectivamente, en los años 1999 y 2003 se presentan los números más altos de clusters complejos con 91 y 143 clusters respectivamente. Para hacer comparables estos estimados entre cruceros, se determina el índice de presencia de clusters expresados en número de clusters/10000 mn<sup>2</sup>. Estos índices son más altos en los años 1997, 1999 y 2003 con 50, 55 y 49 clusters simples/10000 mn<sup>2</sup>, en el año 2003 se reportan 5 clusters complejos/10000 mn<sup>2</sup>. En los años 2000 y 2001 se presenta un valor intermedio con 17 y 18 clusters simples/10000 mn<sup>2</sup>. Estos resultados son coherentes con los indicados anteriormente que a mayor número de clusters por mn<sup>2</sup>, el tamaño del área de alta presencia de huevos es menor.

## **Distribución batimétrica y altura de los ecotrazos**

Se ha presentado un cambio en la distribución batimétrica del jurel en el período de estudio, en los años 1997, 1999 y 2003 la profundidad media de las agregaciones era de 136, 102 y 107,2 m respectivamente, y sólo el 19,8%, 44,5% y 49,8% de las agregaciones se reportaban entre la superficie y 100 m de profundidad. En los años 1998, 2000 y 2001 el 65,3%, 77,7% y el 74,1% de las agregaciones se presentó entre la superficie y los 100 m de profundidad, se ratifica lo señalado en el proyecto FIP 2001-12, que en los años donde el IC es bajo y el IA es alto, el jurel presenta una distribución batimétrica más somera (**Tabla 32**).

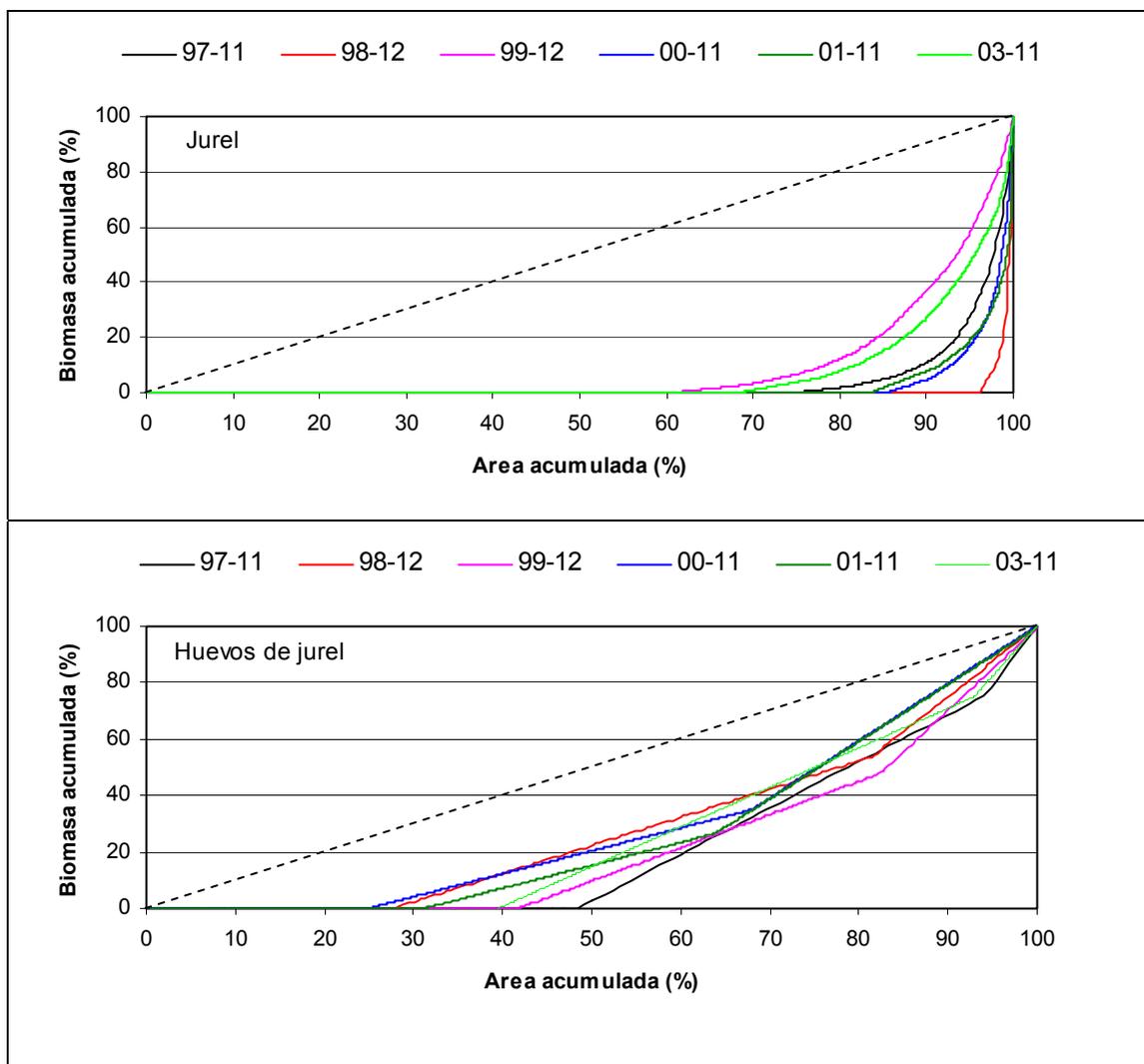
La altura promedio de los ecotrazos presenta entre 16 y 31,2 m, alcanzándose la mayor altura en el crucero de noviembre del año 2003 (**Tabla 32**).

**Tabla 32.** Profundidad media y alto promedio de las agregaciones y porcentaje de agregaciones entre la superficie y los 100 m de profundidad.

<b>Crucero</b>	<b>Profundidad Media (m)</b>	<b>Alto Promedio (m)</b>	<b>&lt;= 100 m</b>
<b>Nov. 1997</b>	136,2	28,0	19,8
<b>Dic. 1998</b>	84,0	16,0	65,3
<b>Dic. 1999</b>	102,0	25,0	44,5
<b>Nov. 2000</b>	67,0	24,6	77,7
<b>Nov. 2001</b>	69,0	17,1	74,1
<b>Nov. 2003</b>	107,2	31,2	49,8

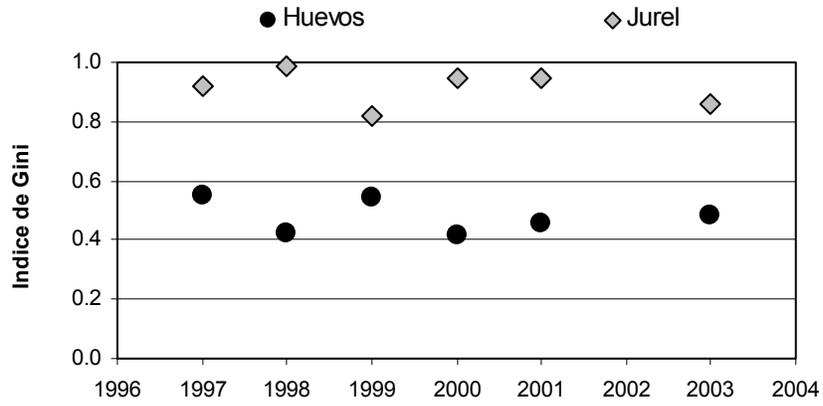
### **Índice de Gini y curva de Lorenz**

El índice de concentración entrega un comportamiento diferente para el jurel contrastado con los huevos de jurel. Las curvas de Lorenz construídas para el jurel (**Figura 61**), muestran un mayor grado de agregación para el recurso que para los huevos. Entre años también se registran diferencias. En los cruceros de los años 1999 y 2003 el jurel presenta una distribución menos agregada, esto corresponde a los años en que los índices de cobertura son más altos; mientras que en el año 1998, el jurel se encuentra altamente agregado (**Figura 61a**) y a diferencia de esto, los huevos de jurel muestran un comportamiento inverso; ya que en el año 1998 éstos presentan una distribución menos agregada y el año 1999, una de las más agregadas (**Figura 61b**).



**Figura 61.** Curvas de Lorenz cruceros años 1997-2003: a) jurel y b) huevos de jurel

El índice de Gini para el jurel varía entre 0,816 para el año 1999 y 0,984 para el año 1998. En el caso de los huevos, los valores más bajos se obtienen los años 2000 y 1998 y el más alto en 1999. Se observa un comportamiento inverso de la dispersión de huevos de jurel y el jurel adulto, ya que los huevos se encuentran más dispersos cuando el jurel está más agregado (**Figura 62**).



**Figura 62.** Índice de Gini determinado para los adultos (◇) y para los huevos de jurel (●) entre de los cruceros de los años 1997-2003

## 8 DISCUSION

---

Las condiciones ambientales evaluadas a través de la temperatura superficial del mar (TSM) indican que el límite sur del crucero se realizó prácticamente en aguas con 14 – 15 °C, las que delimitarían la distribución del desove de jurel (Elizarov et al., 1993; Quiñones y Wiff, 2002). Las isotermas de 15 y 16 °C fueron cubiertas al interior del área de estudio, con TSM de hasta 18 °C, rangos de TSM que han estado asociados con el mayor volumen de huevos de jurel en estudios previos.

La densidad media de huevos de jurel fue de 132,5 huevos en 10 m<sup>2</sup> y la de larvas fue de 50,8 larvas en 10 m<sup>2</sup>, ambas densidades son inferiores a las encontradas en años anteriores y sólo se comparan al crucero de noviembre de 1997. No obstante lo anterior, la distribución de huevos y larvas de jurel permitió lograr un grado adecuado de cobertura espacial de las áreas y núcleos de desove. Este indicador, nos hace tener en consideración los posibles efectos de la época en la cual se efectuó el crucero que puede haber estado adelantado respecto del máximo de desove y acorde con los estudios efectuados por investigadores de la Ex – URSS, la producción anual de huevos se incrementa notoria y abruptamente al inicio de la época de desove y muestra una disminución más alargada hacia los meses de diciembre y enero (Dejnik et al. 1994).

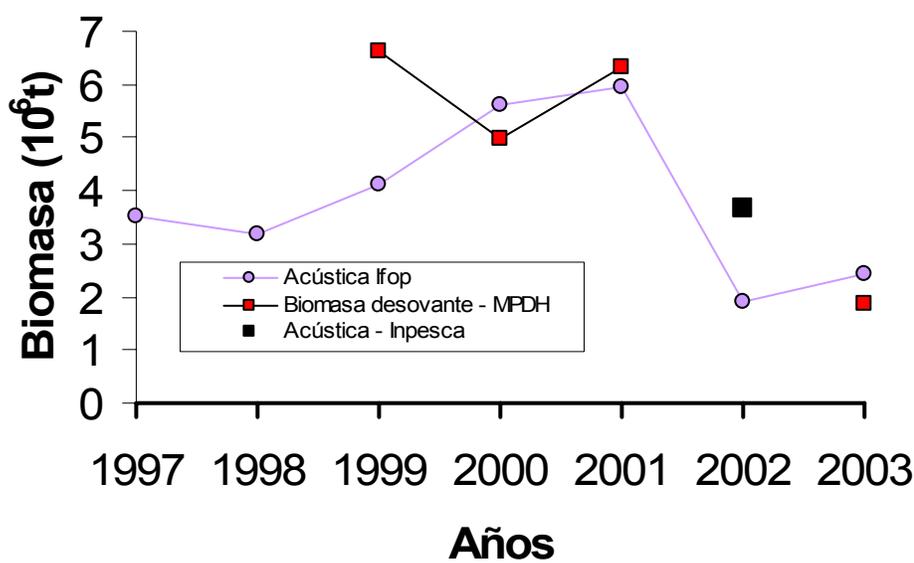
Con respecto al muestreo de adultos cabe destacar el alto número de lances de pesca con muestras de jurel adecuadas para caracterizar la condición reproductiva de las hembras, proporción sexual, y posterior estimación de los parámetros que permiten determinar la biomasa desovante. A su vez, la estructura de tallas es más robusta que en años anteriores. ya que entre 1999 y 2000, prácticamente un poco más del 90% de los ejemplares cubría el rango comprendido entre los 20 y 30 cm de longitud horquilla. Actualmente, el rango de tallas 30 – 40 cm aparece bien cubierto lo que es particularmente importante al momento de establecer la fecundidad parcial en función del peso corporal.

La condición reproductiva microscópica de las hembras empleadas para los análisis histológicos y de fecundidad, revelan que la mayoría de éstas ( sobre el 60% de la muestra total) se encontraron en estado de madurez IV, pero el porcentaje de atresia observado en las muestras fue bastante alto (>40%), lo que representa el efecto de posibles cambios ambientales y/o biológicos que podrían haber afectado la viabilidad y capacidad reproductiva del jurel durante el año 2003, aspecto que puede haber tenido ingerencia en la producción diaria de huevos registrada (13,1 huevos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>), valor casi 4,5 veces inferior al estimado en los cruceros de 1999, 2000 y 2001.

En este estudio se realizaron modificaciones en la metodología de estimación del área de desove y en la producción diaria de huevos, no solo para el año del estudio sino que también para los estimados de los años 1999, 2000 y 2001. Estas modificaciones implicaron nuevas estimaciones de la biomasa desovante.

Al agrupar los diferentes estimados de biomasa desovante en el área de estudio, como un posible índice auxiliar de los modelos de evaluación del stock de jurel y sobreponerlos con los generados a través de los estudios de evaluación acústica que se han realizado en el marco de proyectos FIP y uno efectuado por INPESCA en el año 2002, se observa un patrón similar de tendencia y de niveles de biomasa para los distintos indicadores presentados (**Figura 63**).

En las evaluaciones efectuadas en los años 2002 y 2003, se observan más bajos niveles de biomasa, contrariamente a los resultados que muestran una estructura de tamaños más robustecida en las fracciones adultas del stock de jurel. Un elemento que se debe tener en consideración, es que en ambos años el jurel se ha distribuido ampliamente y ha mostrado un hábito casi totalmente oceánico durante la época invernal y este aspecto podría estar afectando su disponibilidad en las zonas costeras y en la de desove. También se debe tener en consideración que el desove de noviembre de 2003 y la notablemente baja producción diaria de huevo de jurel, quizás se deba a que aún no se alcanzaba el máximo de desove en este recurso.



**Figura 63.** Estimaciones directas de biomasa disponible a mediados de años por el método acústico y de biomasa desovante en noviembre por el método de la producción diaria de huevos.

Las prospecciones tienen diferentes diseños y estos se pueden dividir en dos etapas, la primera considera los cruceros de los años 1997 y 1998, donde se efectuaron transectos tipo zig-zag y la segunda 1999, 2000, 2001 y 2003 con transectos perpendiculares a la costa. A partir de los resultados de la primera etapa se observó que la distribución de los huevos está asociada con la temperatura, por lo que la posición de las transectas depende de ésta, ya que la distribución del jurel como los otros grandes peces pelágicos es ambiente referenciada. Por esta razón, el área prospectada difiere año a año. Como las superficies prospectadas entre cruceros difieren en ubicación y tamaño, para poder comparar los resultados entre cruceros se estandarizan los resultados estimándose índices como el índice de cobertura (IC), el índice de presencia de ecotrazos (IPE), índice sintético de área de presencia de huevos (IA) y el número de clusters por 10000  $\text{mm}^2$ .

Los resultados obtenidos en los cruceros 1997 - 2003 han permitido plantear hipótesis acerca de la distribución del jurel y su condición reproductiva. Los resultados alcanzados en el crucero del año 2003 permiten ratificar que en los años 1997, 1999 y 2003 se obtienen

altos índices de cobertura 14,97, 15,46 y 12,75, alto índice de presencia de ecotrazos, un bajo índice sintético de presencia de huevos con valores de 4,3; 14,8 y 5,6 respectivamente. Mientras que en los años 1998, 2000 y 2001 se presenta una situación inversa. Los índices de Gini permiten verificar del jurel y los huevos tienen un comportamiento inverso. Estos resultados permiten verificar en el proyecto anterior (Cubillos et al, 2003), que en las áreas donde se presentan los huevos no se detecta presencia de jurel o esta es muy baja. Este resultado ratifica lo propuesto.

Los resultados antes señalados se complementan con los cambios que se producen en el uso vertical del espacio en los años 1997, 1999 y 2003 el jurel se encuentra a profundidades medias que superan los 100 m y menos del 50% de los ecotrazos se presenta en la columna de agua entre la superficie y los 100 m, mientras que en los años 1998, 2000 y 2001 el jurel se distribuye a una menor profundidad media (entre 67 y 84 m) y más del 60% de los ecotrazos se encuentran entre la superficie y los 100 de profundidad.

Al comparar los diferentes índices señalados podemos indicar que en el periodo de estudio se presentan dos situaciones sustantivamente diferentes, la primera los cruceros realizados en noviembre 1997, diciembre 1999, noviembre 2003 que se caracteriza por alta presencia de jurel y baja de huevos en efecto la densidad de huevos alcanzada es de sólo 108, 266 y 132 huevos/m<sup>2</sup> respectivamente. La segunda situación se aprecia en los cruceros realizados en diciembre 1998, noviembre 2000 y 2001 que presenta baja presencia de jurel y alta de huevos con una densidad de 317, 444 y 639 huevos/m<sup>2</sup>. En cada una de estas situaciones hay un diferente uso del espacio tanto en el plano vertical como el horizontal.

Según lo descrito por Cubillos et al. 2002, en el área de desove el jurel se encuentra en aguas oligotrófica, en el presente crucero se encontró que se presenta en aguas bajos índices de turbulencia, bajos gradientes térmicos.

El jurel al desovar forma agregaciones de baja densidad, el jurel al desovar cambia su estrategia del uso del espacio. Se plantean algunas interrogantes e implicancias ecológicas: i) el riesgo de prelación sobre las larvas y los huevos se reduce por encontrarse en áreas de

baja abundancia de predadores, ii) baja competición por el alimento durante los estadios larvales, reducción de la competición interespecíficas entre larvas, iii) los peces y las larvas de jurel pueden sobrevivir en áreas oligotróficas durante el periodo de desove.

## 9 CONCLUSIONES

---

La densidad media de huevos de jurel fue de 132,5 huevos en 10 m<sup>2</sup> y la de larvas fue de 50,8 larvas en 10 m<sup>2</sup>, ambas densidades son inferiores a las encontradas en años anteriores y sólo se comparan al crucero de noviembre de 1997.

La distribución de huevos y larvas de jurel permitió lograr un grado adecuado de cobertura espacial de las áreas y núcleos de desove. El área de desove se estimó en 647.900 km<sup>2</sup>.

En este estudio se realizaron modificaciones en la metodología de estimación del área de desove y en la producción diaria de huevos, no solo para el año del estudio sino que también para los estimados de los años 1999, 2000 y 2001. Estas modificaciones implicaron nuevas estimaciones de la biomasa desovante.

La producción diaria de huevos fue de 13,1 huevos·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, valor casi 4,5 veces inferior al estimado en los cruceros de 1999, 2000 y 2001.

La estructura de tallas de la fracción desovante es más robusta que en años anteriores. ya que entre 1999 y 2000, prácticamente un poco más del 90% de los ejemplares cubría el rango comprendido entre los 20 y 30 cm de longitud horquilla. Actualmente, el rango de tallas 30 – 40 cm aparece bien cubierto.

La fecundidad parcial media estimada es de 39.846 ovocitos, valor notoriamente más alto que en años anteriores, sin embargo este parámetro es consistente con el mejoramiento de la estructura de tallas de la fracción desovante y con notable incremento en el peso medio de las hembras maduras (394,5 g).

La fracción desovante de hembras fue estimada en 9% y la proporción sexual en peso de las hembras maduras del stock fue de 0,48.

La estimación de la biomasa desovante fue de 1,9 millones de ton, valor más bajo de la serie de cruceros efectuados hasta la fecha. Se infiere que el crucero se efectuó en la fase de desarrollo de la curva de producción diaria de huevos y no necesariamente en el máximo de desove.

No se detectaron diferencias en el patrón general de alimentación del jurel a lo largo de los años en esta zona de estudio.

La distribución espacial de jurel muestra que este se ubicó ampliamente en toda la zona de estudio, predominando los ecotrazos de abundancia clase “mala”, en tanto las mayores densidades (ecotrazos definidos como “buena” y “regular”) fueron bastante limitados. Patrón que es similar a lo registrado en anteriores prospecciones llevadas a cabo en la zona de estudio.

En el área prospectada el índice de cobertura , expresado como unidades básicas de muestreo positivas presentes en la unidad de distancia recorrida fue de  $IC = 12,76\%$ . Predominaron los ecotrazos de abundancia clase “mala” (captura esperada menor a 20 toneladas).

El área norte (33 a 36 30'LS) presenta un incremento del IC hacia el sector de alta mar, situación que también es observada a través de otros índices espaciales; índice de presencia (IPE), clusters simples (CS) y clusters complejos (CC).

La altura media de los ecotrazos fue de 31,15 m y fluctuó entre los 21,8 m para la clase “buena” y los 33,6 m para la categoría “regular”, mientras que para los tipos de agregaciones, la altura media varió desde 16,3 m para el tipo cardumen a 37,4 m para los dispersos.

La profundidad media de los ecotrazos alcanzó los 107,2 m, con un rango que fluctuó entre los 69,0 m para la categoría “buena” y de 154,8 m para la categoría “regular”. Los ecotrazos tipo cardumen estuvieron más someros a 97,6 m y los tipos estratos, dispersos e individuales bajo los 100 m como promedio.

En los años (diciembre 1998, noviembre 2000 y 2001) que se presenta una alta abundancia de huevos (entre 317 y 639 huevos/m<sup>2</sup>) estos está menos concentrado (índice de Gini bajo), se reporta una baja presencia de jurel en el área de estudio, con un alto de índice de concentración (índice de Gini alto) y una distribución vertical mas superficial (65% del jurel entre la superficie y los 100 de profundidad). En los años como el año 2003 que la densidad es baja la situación es a la inversa. Este evidencia un cambio en la estrategia espacial del jurel en el área de desove y de acuerdo a la abundancia de huevos.

## 10 REFERENCIAS

---

- Ahlstrom, E. H. 1956. Eggs and larvae of anchovy, jack mackerel and Pacific mackerel. Calif. Oceanic Fish. Invest. Prog. Rep. 33-42.
- Arancibia, H. 1988. Cluster analysis: The use of a simple statistical method in identification of groups. ICES. C.M./D:12 Statistics cttee., Ref. Demersal Fish Cttee., 18p.
- Arcos, D.F., L.A. Cubillos. & S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño effects off Chile. Progress in Oceanography, 49:597-617.
- Barbieri, M.A., J. Córdova, S. Lillo, H. Peña, A. Grechina, S. Núñez, A. Sepúlveda, L. Miranda & H. Rebolledo. 1999. Análisis de la estructura del stock de jurel fuera de las aguas jurisdiccionales. Informes Técnicos FIP-IT/97-05B, 121 pp.
- Castro, L., R. Roa, D. Figueroa, H. Arancibia, M. Sobarzo, R. Quiñones & M. A. Retamal. 1997. Áreas de desove de anchoveta y sardina comun. Proyecto FIP 96-11. Áreas de desove de la anchoveta y sardina común en Chile central. Universidad de Concepción. Chile.
- Comeau, M., G.Y. Conan, F. Maynou, G. Robichaud, J.C. Therriault & M. Starr (1998) Growth, spatial distribution, and abundance of benthic stages of the snow crab (*Chionoecetes opilio*) in Bonne Bay, Newfoundland, Canada. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55: 262–279.
- Conan, G.Y. (1985) Assessment of shellfish stocks by geostatistical techniques. ICES C.M., 30 (mimeo).
- Córdova, J., M.A. Barbieri & M. Espejo. 2002. Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE de Chile. FIP 2002-02. Instituto de Fomento Pesquero. 204 pags + figs.
- Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons. New York. 900 pp.
- Cubillos, L. 2001. Situación del stock de jurel y perspectivas de su explotación en el 2002. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), 10(2):1-35.
- Cubillos, L. 2002. Situación del stock de jurel y perspectivas de su explotación para el 2003. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), Talcahuano, 11(2):1-38.
- Cubillos, L. (ed.) 2003. Condición biológica de jurel en alta mar, año 2001. Informe Técnico FIP-IT/2001-12. 193 p.

- Cubillos, L., P. Ruiz & A. Sepúlveda. 2003. Indices de abundancia de huevos y larvas, producción y mortalidad diaria, y estimación de la biomasa desovante de jurel. *In: Cubillos, L. (ed.) Condición biológica de jurel en alta mar, año 2001, Informe Técnico FIP-IT/2001-12. 193 p.*
- Cubillos, L., M.A. Barbieri, C. Oyarzún, S. Gacitúa & G. Aedo. 2002. Condición biológica del jurel en alta mar. Instituto de Investigaciones Pesqueras, Instituto de Fomento Pesquero Universidad de Concepción, FIP 2000-10, 75pp + Anexos Tablas y Figuras.
- Dejnik, T.V., M.M. Nevinskiy, G.Z. Galaktionov, A.A. Nesterov & G.P. Rudometkina. 1994. Estimación de la fracción desovante del stock de jurel según estudios de ictioplancton. *In: D. Arcos y A. Grechina (Eds.) Biología y pesca comercial del jurel en el Pacífico Sur, pag. 161-166.*
- Deutsch, C.V. & A.G. Journel. 1998. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. 2nd Ed. Oxford University Press, New York. 369 p.
- Elizarov, A.A., A.S. Grechina, B.N. Kotenev, & A.N. Kuznetsov. 1993. Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the South Pacific. *Journal of Ichthyology* 33, 86-104.
- Evseenko, S.A. 1987. Reproduction of Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the southern Pacific. *Journal of Ichthyology* 27, 151-160.
- Freire, J., E. González-Gurriarán & I. Olaso. 1992. Spatial distribution of *Munida intermedia* and *M. sarsi* (Crustacea: Anomura) on the Galician continental shelf (NW Spain): application of geostatistical analysis. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 35: 637-648.
- González-Gurriarán, E., J. Freire & L. Fernández. 1993. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Liocarcinus depuratus*, *Macropipus tuberculatus* and *Polybius henslowii* (Crustacea: Brachyura) over the Galician continental shelf (NW Spain). *Marine Biology*, 115: 453-461.
- Grechina, A.S., S. Núñez & D. Arcos. 1998. Biología reproductiva del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el Pacífico sur. *In: Arcos, D. (ed.) Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, p. 77-99.*

- Holden, M.J. & D.F.S. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Téc. FAO. Pesca (115), Rev. 1, 211 p.
- Hunter, J. & S. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin, 77(3): 641-652.
- Hunter, J., & N.C.H. Lo. 1993. Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. Bulletin of Marine Science 53, 723-727.
- Hunter, J., & N.C.H. Lo. 1997. The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. Ozeanografika 2, 41-69.
- Hynes, H. 1950. The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the foods of fishes. J. Anim. Ecol. 19(1):36-58.
- Hyslop, E. 1980. Stomach contents analysis. A review of methods and their application. J. Fish. Biol., 17:411-429.
- Lasker, R. (ed.), 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36.
- Macewicz, B. & R. Hunter. 1993. Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. CalCOFI Rep., Vol. 34. 112-121.
- MacLennan, D. & J. Simmonds. 1992. Fisheries acoustics. Chapman Hall, London: 325 pp.
- Maynou, F.X., F. Sardá & G.Y. Conan. 1998. Assessment of the spatial structure and biomass evaluation of *Nephrops norvegicus* (L.) populations in the northwestern Mediterranean by geostatistics. ICES Journal of Marine Science, 55: 102-120.
- Moser, H. G. & E. H. Ahlstrom. 1985. Staging anchovy eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 37-41.
- Myers, R.A. & N.G. Cadigan. 1995. Was an increase in natural mortality responsible for the collapse of northern cod? Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 52, 1274-1285.

- Oliva, J. W., W. Carvajal & A. Tresierra. 1982. Reproducción e histología de gónadas de peces. Universidad Nacional de Trujillo, Depto. de Cs. Biol., Sección de Recursos Acuáticos, Trujillo, Perú. 93 pp.
- Oliva, J., J. Bañarados & M. Tirado. 1989. Determinación de la fecundidad y frecuencia del desove de la sardina (*Sardinops sagax*), 1986. Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Rev. Pacífico Sur (Número Especial). 341:348.
- Oyarzún, C. & S. Gacitua. 2003. Aspectos reproductivos, fecundidad parcial y frecuencia del desove del jurel, año 2001. In: Cubillos, L. (ed.) Condición biológica de jurel en alta mar, año 2001. Informe Técnico FIP-IT/2001-12. 193 p.
- Pelletier, D. & A.M. Parma. 1994. Spatial distribution of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*): An application of geostatistics to longline survey data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 1506-1518.
- Perry, R. I., & 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 & J. Fargo. 1994. Environmental effects on the distributions of groundfish in Hecate Strait, British Columbia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 1401-1409.
- Quiñones, R. & R. Wiff. 2003 Asociación entre la distribución de huevos y larvas de jurel y la temperatura superficial del mar, 1998-2001. In: Cubillos, L. (ed.) Condición biológica de jurel en alta mar, año 2001. Informe Técnico FIP-IT/2001-12. 193 p.
- Rojas, O. & J. Oliva. 1993. Evaluación del stock desovante de anchoveta de la zona norte por el método de la producción de huevos. Programa evaluación directa de recursos pelágicos de la zona norte. IFOP, 50 p.
- Roa, R. & F. Tapia. 2000. Cohorts in space: geostatistical mapping of the age structure of the squat lobster *Pleuroncodes monodon* population off central Chile. Marine Ecology Progress Series 196: 239-251.
- Santander, H. & O.S. Castillo. 1971. Desarrollo y distribución de huevos y larvas de "jurel" *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en la costa peruana. Inf. Inst. Mar Perú - Callao N° 36, 23 p.

- Seber, G. A. F. 1973. The estimation of animal abundance and related parameters. Griffin Ed. 506 p.
- Sepúlveda, A., L. Cubillos, S. Núñez, M.T. Canales, D. Bucarey, M.A. Barbieri, J. Córdova & M. Espejo. 2001. Condiciones biológicas del jurel. Informe Final FIP99-14, Fondo de Investigación Pesquera, Instituto de Investigación Pesquera – Instituto de Fomento Pesquero 245 pp + Anexos y Figuras.
- Sepúlveda, A., L. Cubillos & D. Arcos. 2003. Pesquerías pelágicas chilenas: una síntesis sobre la incertidumbre biológica. En: E. Yañez (Ed.) Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile, Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso: 91-107.
- Serra, J.R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Investigación Pesquera (Chile) 36, 67-83.
- Serra, R., C. Canales, P. Barría, J. Córdova, A. Aranís, G. Böhm. 2001. Diagnóstico actualizado del jurel al 2001 y análisis de escenario de captura. Informe Proyecto investigación y captura total permisible jurel 2002, 45 p.
- Simard, Y., P. Legendre, G. Lavoie & 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.
- Simmonds E. John, N. Williamson, F. Gerlotto & A. Aglen. 1991. Survey design and analysis procedures: a comprehensive review of good practice. ICES C.M. 1991, 113 p. (figures).
- Sneath, P.H.A. & R.R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman and Company, USA, 573 p.
- Soria, M. P. Petitgas & T. Bahri. 1998. On the size of the fish schools and clusters of schools: a spatial análisis of multibeam sonar images of schools in the mediterranean sea. ICES, CM 1998/J:8 Fish aggregation, 15 pp.
- Stauffer, G. & S. Picquelle. 1985. Procedures for sorting, staging, and ageing eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 33-35.

## 11 ANEXO 1

---

### **Análisis del efecto de la distancia intertransecta en los estimadores de densidad media de huevos del jurel del Proyecto FIP 2001-12 Condición Biológica del Jurel en Alta Mar, año 2001.**

**JORGE PARAMO G.**

El propósito de este anexo es determinar cómo afecta la distancia intertransecta a la estimación de la densidad media de huevos del jurel ( $h/10m^2$ ), su abundancia y la varianza asociada. Para ello se utilizaron dos metodologías: la geostatística que toma en cuenta la estructura espacial de los datos para la estimación de la densidad media y obtener un mapeo preciso de la distribución espacial. Además, se calculó un estimador bootstrap de la densidad media, éste estimador no toma en cuenta la estructura espacial, pero tiene la ventaja que no es necesario asumir normalidad de los datos. Este análisis se realizó, en primera medida utilizando todos los datos (distancia intertransecta 18 mn) y después eliminando una transecta de por medio (distancia intertransecta 36 mn), a manera de comparación de los resultados.

#### ***Metodología***

El crucero se efectuó entre los días 18 y 30 de noviembre de 2001, participando 9 naves de la flota industrial de cerco con autorización para pescar jurel. Las 9 embarcaciones realizaron un muestreo de estaciones a lo largo de 18 transectas que estuvieron dispuestas con una separación de 18 millas náuticas (mn) entre los  $31^{\circ}48' S$  y  $36^{\circ}54' S$ . A lo largo de cada transecta las estaciones estuvieron dispuestas sistemáticamente cada 18 mn y se distribuyeron entre los  $75^{\circ}$  y  $92^{\circ} W$  (Cubillos et al., 2002).

*Geostatística.* Se utilizó la geostatística para describir la distribución espacial y la estimación de la abundancia de los huevos del jurel. Los datos de huevos del jurel presentaron altos valores extremos que normalmente pueden enmascarar el verdadero patrón

del variograma. Por tal motivo, se utilizó el variograma robusto (A1) recomendado por Cressie & Hawkins (1980), ya que éste permite una mejor definición del patrón del variograma.

$$2\gamma^*(h) = \left( \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} |Z(x_i) - Z(x_i + h)|^{1/2} \right)^4 / \left( 0.457 + \frac{0.494}{|N(h)|} \right) \quad (A1)$$

Una vez obtenido un buen variograma experimental, se ajustó un modelo para caracterizar la estructura espacial de la densidad de huevos del jurel ( $h/10 \text{ m}^2$ ). El modelo de variograma que mejor se ajustó a los datos fue el esférico. El modelo esférico (A2) con rango  $r$ , es igual a:

$$\gamma(h) = C \left[ \frac{3|h|}{2r} - \frac{1}{2} \frac{|h|^3}{r^3} \right] \text{ para } |h| < r \quad (A2)$$

$$\gamma(h) = C \text{ para } |h| \geq r$$

El modelo esférico se ajustó al variograma experimental de acuerdo al procedimiento de mínimos cuadrados ponderados (A3) (Cressie, 1993), debido a que se le da mayor ponderación a los “lags” que tienen más puntos y los residuos producidos reciben más peso en cada “lag” en el ajuste total. Además, los lags cercanos a cero reciben mayor ponderación y esto es importante para obtener un buen ajuste del variograma, especialmente en el origen.

$$\sum_{i=1}^H N(h_i) \left( \frac{\hat{\gamma}(h_i)}{\gamma(h_i)} - 1 \right)^2 \quad (A3)$$

El modelo ajustado se validó antes de utilizarlo en el kriging. La validación cruzada permite comparar varios modelos de variograma y vecindades del kriging (Englund y Sparks, 1991; Maravelias et al., 1996). El error de predicción en cada localización se define como la diferencia entre la densidad estimada ( $Z^*$ ) mediante la validación cruzada y el valor de densidad medida ( $Z$ ),  $Z^* - Z$ . El cuadrado medio del error (CME) es un término estadístico

que incorpora el sesgo (la media o valor esperado del error de predicción) y la dispersión de la distribución del error de predicción:  $CME = \text{varianza} + \text{sesgo}^2$  (Isaaks y Srivastava, 1989). Así, el valor predicho debe ser cercano al valor medido y el CME debe ser mínimo (Maravelias et al., 1996).

En el presente trabajo se utilizó el kriging puntual ordinario. El modelo de variograma obtenido se empleó junto con los datos del muestreo para calcular las ponderaciones óptimas atribuibles en cada estación y para calcular las ponderaciones óptimas atribuibles en cada estación y para estimar la densidad de huevos ( $Z^*$ ) en localidades no muestreadas.

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (A4)$$

Donde  $N$  es el número de muestras,  $\lambda_i$  es la ponderación atribuida a la muestra  $x_i$ , y  $\sum \lambda_i = 1$ . Los  $N$  ponderadores  $\lambda_i$  se calculan para asegurar que el estimador sea insesgado y que la varianza de estimación sea mínima (Journel y Huijbregts, 1978; Petitgas, 1996). El estimado medio de densidad de huevos  $Z(V)^*$ , se calculó mediante el promedio aritmético de la densidad estimada dentro del área de dominio del polígono de estimación ( $A_V$ ).

$$Z(V)^* = \frac{1}{N} \sum_i Z^*(x_i) \quad (A5)$$

La abundancia es el resultado del área del polígono ( $A_V$ ) por la densidad media dentro de este polígono.

$$B = A_V Z(V)^* \quad (A6)$$

Para la estimación de la varianza de la media se utilizó el método intrínseco de la geostatística (Petitgas y Prampart, 1995), en el cual la estimación de la varianza se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_E^2 = 2\bar{\gamma}(V, v) - \bar{\gamma}(V, V) - \bar{\gamma}(v, v) \quad (A7)$$

Donde,  $\bar{\gamma}(V, v)$  es la media del variograma que involucra todas las distancias entre cada muestra, considera la posición de las muestras en el área en V. El término  $\bar{\gamma}(V, V)$ , varianza en V, toma en cuenta la forma del área en V, es la varianza de la población contenida en V y se llama varianza de dispersión, es la media del variograma para todas las distancias en V. Por ultimo,  $\bar{\gamma}(v, v)$ , toma en cuenta la forma del diseño de muestreo. De esta manera, la varianza de estimación depende de la geometría en V, del diseño de muestreo y de la estructura del variograma (Petitgas y Prampart, 1995; Rivoirard et al., 2000). La varianza de estimación se calculó numéricamente con el software EVA. Así, el error relativo de estimación es  $\sigma_E^2 / \mu$  (Petitgas y Prampart, 1995).

*Bootstrap.* El otro enfoque que se utilizó para la estimación de la media y la varianza es la técnica bootstrap (Efron y Tibshirani, 1986; Efron, 1987). La idea del bootstrap es que en ausencia de cualquier conocimiento acerca de la población, la distribución de los valores se encuentre en una muestra al azar de la población de tamaño n. En otras palabras, la población infinita que consiste de n valores observados de la muestra, cada uno con probabilidad 1/n, se usa para modelar la población real desconocida, el re-muestreo es con reemplazo (Manly, 1997).

Las densidades observadas se usan para obtener una función de densidad de probabilidad (PDF), la cual se usa con un generador de número al azar para producir nuevas series de datos simulados. Se genera una distribución de probabilidad acumulativa a partir de densidades observadas  $y_i$ :

$$X = F(y) \quad x_i = (\text{count } y \leq y_i)/n \quad (A8)$$

A partir de la cual se obtiene la función inversa:

$$y = F^{-1}(x) \quad (A9)$$

Una nueva serie de valores de densidad  $y_i$ , se pueden simular usando un generador de número al azar uniforme. Las muestras se escogen al azar a partir de una distribución original, o de la función inversa y se agrega al nuevo estudio simulado:

$$y_i = F^{-1}(\text{rand}(0 \rightarrow 1)) \quad (\text{A10})$$

La abundancia total se estima como:

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i y_i \quad (\text{A11})$$

Donde  $A_i$  es el área y  $y_i$  es la media obtenida mediante el remuestreo. Se realizaron 2000 iteraciones con reemplazo. La abundancia total  $Q$  es estimada para el crucero simulado y la media, varianza y coeficiente de variación (CV) se obtienen por la fórmula convencional. El bootstrap en su forma simple no toma en cuenta la distribución espacial, y cada observación es tratada como una muestra de una PDF estacionaria (Simmonds et al., 1992). Entre las principales ventajas del bootstrap es que no es necesario asumir normalidad de los datos (Efron y Tibshirani, 1986; Efron, 1987).

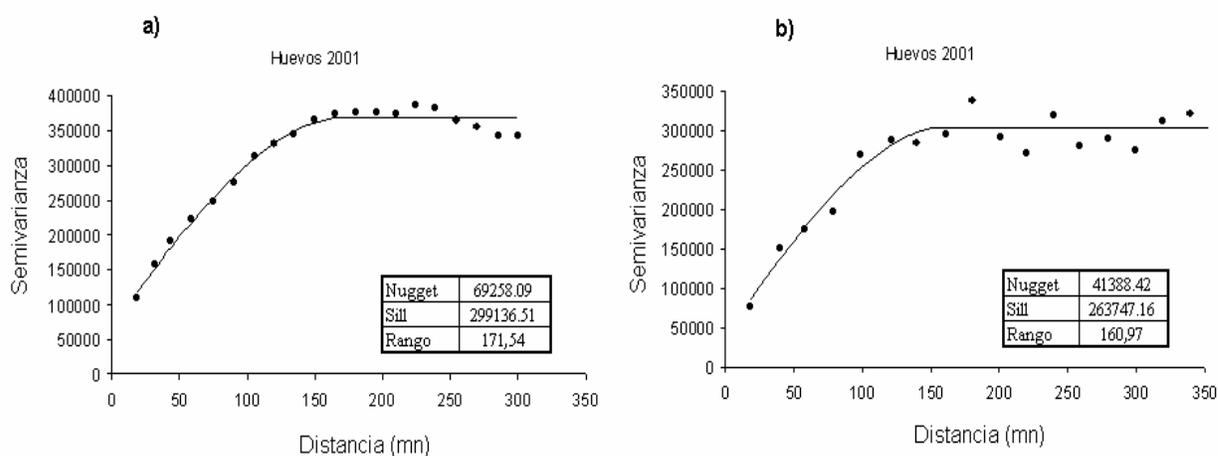
### ***Resultados***

Se calcularon variogramas unidireccionales para comprobar si existía continuidad espacial en alguna dirección, pero no se logró evidenciar anisotropía en los datos. Por lo tanto, se calcularon variogramas isotrópicos experimentales para los datos de huevos utilizando dos estrategias: distancia intertransecta de 18 y 36 mn. Mediante la validación cruzada (**Tabla A1**) se obtuvieron los parámetros para realizar el kriging una vez que el CME fue mínimo para cada estrategia mediante la combinación de modelos y vecindades del kriging.

Tabla A1. Resultados de la validación cruzada para distancias intertransecta de 18 y 36 mn.

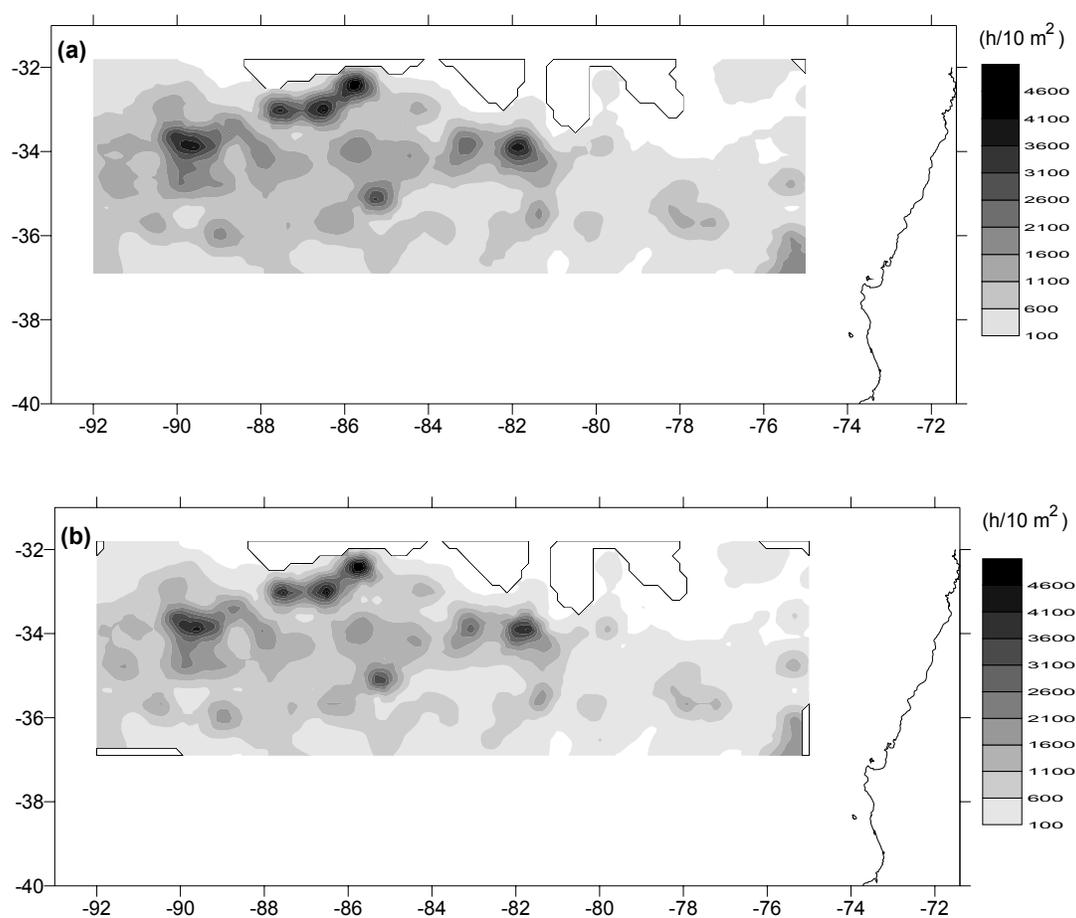
Distancia intertransecta	Numero sectores	Máximo numero Puntos	Sesgo (h/10m <sup>2</sup> )	Desviación estandar residual (h/m <sup>2</sup> )	CME (h <sup>2</sup> /10m <sup>4</sup> )
18	1	7	5,109021	949,991	902508,128
36	4	2	-1,923296	704,563	496412,525

Al considerar todos los datos (distancia intertransecta de 18 mn), el variograma isotrópico a cortas distancias el modelo esférico mostró una estructura no resuelta por el diseño de muestreo que consideró el 18,8 % de la varianza total, la fracción de la varianza no explicada por el diseño de muestreo (el nugget). En cuanto a la otra estrategia (distancia intertransecta de 36 mn) la fracción no explicada represento solo el 13,6 % de la varianza total. El rango de autocorrelación para las dos estrategias fue bastante similar, 171,54 mn y 160,97 mn, respectivamente (**Figura A1**). Esto significa que en las dos estrategias la distancia entre muestras e intertransecta es bastante adecuada para la modelación del variograma y la interpolación mediante el kriging.



**Figura A1.** Variogramas experimentales isotrópicos y modelos esféricos para los datos de huevos del 2001: a) utilizando todos los datos (espaciamento intertransecta 18 mn) y b) eliminando una transecta de por medio (espaciamento intertransecta 36 mn).

La **Figura A2** muestra los mapas de distribución espacial mediante las dos estrategias utilizando los parámetros de los modelos de variogramas (**Figura A1**) y las vecindades para hacer el kriging obtenidos de la validación cruzada (**Tabla A1**). Los dos mapas muestran resultados similares en cuanto al proceso de interpolación mediante el kriging. Se observan los mismos parches de distribución espacial de los huevos del jurel al utilizar las dos estrategias (distancia intertransecta de 18 y 36 mn). En general, los mayores focos de abundancia se encontraron entre los 81 y 91° W, pero también se encontraron focos de menor abundancia en la parte más costera entre los 78 y 75° W.



**Figura A2.** Mapa de distribución espacial de huevos del 2001: a) utilizando los parámetros de variograma obtenido de todos los datos (espaciamiento intertransecta 18 mn) y b) utilizando los parámetros de variograma al eliminar una transecta de por medio (espaciamiento intertransecta 36 mn).

En la **Tabla A2** se muestran los resultados de la estimación de la densidad media, varianza y abundancia de huevos. Se observa que el estimado de densidad media por geostatística utilizando las dos estrategias dieron resultados similares, aunque la varianza aumentó cuando la distancia intertransecta fue mayor. Los estimados de densidad media de huevos obtenidos por bootstrap en ambas estrategias (distancia intertransecta de 18 y 36 mn, respectivamente) fueron menores que los obtenidos por geostatística. La varianza estimada por bootstrap también aumentó cuando se incrementó la distancia intertransecta a 36 mn. Sin embargo, los estimados de abundancia fueron bastante similares en todos los casos.

**Tabla 2.** Estimados de densidad media y abundancia utilizando dos métodos de estimación (geostatística y bootstrap).

Distancia Intertransecta (mn)	Media (h/10m <sup>2</sup> )	Varianza	Abundancia (No. Huevos)	CV (%)	Método
18	734,9	628,02	5,96E+13	3,41	Geostatística
36	723,0	1053,12	5,87E+13	4,49	Geostatística
18	640,2	1688,39	5,71E+13	6,42	Bootstrap
36	694,1	4821,91	5,63E+13	10,00	Bootstrap

### *Discusión y conclusiones*

Los resultados muestran que al aumentar la distancia intertransecta no hay un cambio substancial en el estimado de densidad media de huevos del jurel, pero sí aumenta su varianza asociada. Los estimadores de densidad media obtenidos por geostatística fueron mayores que los obtenidos por bootstrap, esto se puede deber al proceso de interpolación mediante el kriging en localidades no muestreadas. Por el contrario, mediante bootstrap no hay interpolación, sino que se calcula un estimador de la densidad media de huevos del jurel sobre los propios datos.

La geostatística toma en cuenta la estructura espacial de las agregaciones (parches de huevos) para la estimación de la varianza y la abundancia, y además utiliza el kriging para estimar la densidad en lugares no muestrados, utilizando las variables autocorrelacionadas espacialmente y produce un mapa de la distribución espacial. Otra ventaja de la

geostadística es mejorar la estrategia de muestreo mediante el aumento o disminución de la distancia intertransecta para reducir la estimación de la varianza o para mejorar el diseño del muestreo. Petitgas (1993), afirma que el rango del variograma puede servir para calibrar el esfuerzo del muestreo, por ejemplo la distancia intertransecta, si la distancia intertransecta se aproxima al rango, todos los agregados son teóricamente visitados por el muestreo. En este estudio, las dos estrategias (distancia intertransecta de 18 y 36 mn, respectivamente) dieron resultados similares en cuanto a la modelación del variograma (**Figura A1**) y la interpolación mediante el kriging (**Figura A2, Tabla A2**). Lo mismo sucedió en el estimado de densidad media y abundancia de huevos del jurel por bootstrap. Por lo tanto, el incremento en la distancia intertransecta no afecta substancialmente los estimadores de densidad media y su varianza asociada, el CV mayor fue de 10% (**Tabla A2**). En este sentido, con la utilización de la mitad de las embarcaciones utilizadas originalmente en el crucero (9 embarcaciones) y con un espaciamiento intertransecta de 36 mn se pueden obtener estimadores confiables de huevos del jurel.

Por ultimo, de acuerdo al análisis realizado, para el diseño del crucero de diciembre del proyecto “Condición Biológica del Jurel en alta mar, año 2002” se puede considerar un espaciamiento intertransecta que varíe entre 18 y 36 mn, de acuerdo al numero de embarcaciones y tiempo disponible, que no afectaría en los estimadores de varianza, densidad media y abundancia.

***Literatura citada***

Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for spatial data. John. Wiley & Sons. New York. 900 pp.

Cressie, N.A.C., and D.M. Hawkins. 1980. Robust estimation of the variogram. I.J. Int. Assoc. Math. Geol. 12: 115-125.

Cubillos et al., 2002. Condición biológica del jurel en alta mar, año 2001. Proyecto FIP 2001-12. Informe final. Instituto de Investigación Pesquera. 183 pp.

Efron, B., and Tibshirani, R. 1986. Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy. Stat. Sci., 1: 54 – 77.

Efron, B. 1987. Better Bootstrap confidence intervals. J. Am. Stat. Assn. 82: 171 – 185.

Englund, E., & A. Sparks. 1988. GEO-EAS (geostatistical environmental assessment software) user's guide. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nev.

Isaaks, E.H. & R.M. Srivastava. 1989. Applied Geostatistic. Oxford University Press, New York. 560 p.

Journel, A.G., & C.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, New York. 600 p.

Manly, B.F.J. 1997. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology. Chapman & Hall, London, 399 p.

Maravelias, C., 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.

Petitgas, P. 1993. Use of a disjunctive kriging to model areas of high pelagic fish density in acoustic fisheries surveys. *Aquat. Living Resour.* 6: 201 – 209.

Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data. En: Megrey, B.A and E. Moskness (Eds.). *Computers in fisheries research*. Chapman & Hall, London, p 113 – 142.

Petitgas, P. and A. Prampart. 1995. EVA: Estimation Variance. A geostatistical software for structure characterization and variance computation, Editions de l'Orstom, collection logORSTOM, Paris.

Rivoirard, J., J. Simmonds., K.G. Foote., P. Fernandes., & N. Bez. 2000. *Geostatistics for Estimating Fish Abundance*. Blackwell Science. First edition. London. 206 p.

Simmonds, E.J., N.J. Williamson, F. Gerlotto and A. Aglen. 1992. Acoustic survey design and analysis procedure: A comprehensive review of current practice. En: ICES Cooperative Research Report: Rapport des Recherches Collectives. No. 187: 112 p.

## 12 ANEXO 2

---

### **Taller de Discusión FIP 2002-12 “Condición Biológica del Jurel en Alta Mar, año 2003”**

Auditorio Instituto de Investigación Pesquera  
Talcahuano, 19 de mayo de 2003  
(INPESCA – IFOP – UDEC)

#### **Programa de Trabajo**

- 09:30-09:40** Presentación FIP 2002-12 “Condición biológica del jurel en alta mar, año 2003”  
*Expositor* A. Sepúlveda
- 09:40-10:10** Condiciones oceanográficas en el área de desove, Noviembre de 2003.  
*Expositor* S. Nuñez
- 10:10-10:30** Distribución y abundancia de huevos y larvas de jurel, año 2003.  
*Expositor* R. Alarcón y A. Sepúlveda
- 10:30-10:45** **Café**
- 10:45-11:15** Temperatura superficial del mar y su relación con la abundancia de huevos y larvas de jurel (1999-2003)  
*Expositor* R. Quiñones
- 11:15-11:45** Frecuencia de tallas, proporción sexual, peso promedio, factor de condición, y alimentación del jurel en aguas oceánicas, 2003.  
*Expositor* H. Rebolledo
- 11:45-12:15** Distribución y estructura de las agregaciones de jurel en aguas oceánicas.  
*Expositor* M.A. Barbieri
- 12:15-13:15** **Almuerzo casino INPESCA**

- 13:15-13:40** Indicadores reproductivos y fecundidad parcial de jurel en aguas oceánicas.  
*Expositor* C. Oyarzún – S. Gacitúa – L. Cubillos
- 13:40-14:00** Folículos postovulatorios y frecuencia del desove de jurel en aguas oceánicas.  
*Expositor* C. Oyarzún – S. Gacitúa – L. Cubillos
- 14:00-14:30** Producción y mortalidad diaria de huevos de jurel en aguas oceánicas.  
*Expositor* P. Ruiz
- 14:30-15:00** Biomasa desovante de jurel y su relación con la biomasa total de jurel  
*Expositor* P. Ruiz
- 15:00-15:20** **Café**
- 15:20-17:00** **Discusión ampliada y conclusiones**

*Participantes Invitados y Asistentes:*

*Dr. François Gerlotto, IRD, Francia*  
*Dr. Leonardo Castro, Universidad de Concepción*  
*Sr. Rubén Pinochet, Consejo de Investigación Pesquera, Valparaíso*  
*Sr. Maximiliano Alarma, SPK & San José*  
*Sr. Mario Acevedo G., Subsecretaría de Pesca, Valparaíso*

*Participantes del Equipo de Trabajo del proyecto:*

*Sr. Hernán Rebolledo, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano*  
*Sr. Sergio Núñez, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano*  
*Srta. Patricia Ruiz, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano*  
*Sr. Aquiles Sepúlveda, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano*  
*Sr. Rubén Alarcón, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano*  
*Dra. María Angela Barbieri, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso*  
*Dr. Ciro Oyarzún, Universidad de Concepción, Concepción*  
*Dr. Renato Quiñones, Universidad de Concepción, Concepción*  
*Sr. Santiago Gacitúa, Universidad de Concepción, Concepción*  
*Sr. Gustavo Aedo, Universidad de Concepción, Concepción*  
*Sr. Rodrigo Montes, Universidad de Concepción, Concepción*  
*Sr. Luis Cubillos, Universidad de Concepción, Concepción*

## **Conclusiones y Recomendaciones Taller FIP 2002-12**

Se enfatiza la importancia que han tenido las diferentes mejoras a que han estado sujetos esta serie de proyectos en el marco de la Condición Biológica del jurel en alta mar. Se recomienda por parte del grupo de expertos participantes realzar la importancia que tiene este tipo de estudios para el conocimiento e investigación del recurso jurel tanto desde el punto de vista científico como estratégico y de manejo de los intereses nacionales respecto de este recurso altamente migratorio.

Por esto se estimula el que en este tipo de estudios se incorporen nuevas alternativas de investigación que permitan mejorar el conocimiento de otros indicadores biológicos que puedan generarse desde este tipo de estudios, dentro de los cuales se hace referencia a la biomasa planctónica existente en el área de desove de este recurso, la composición de otras especies de peces en el área de desove (i.e. caballa) y de sus productos de desove.

Se recomienda a partir de la variabilidad observada en las variables oceanográficas, identificar si los cambios representan variaciones espaciales y desplazamientos de una misma estructura o más bien cambios en las propiedades de las masas de agua (S y T, turbulencia y transporte, clorofila). Se plantea que las aguas características del área son del tipo ATS (Aguas Tropicales Superficiales).

Se discute acerca de si el desove fue evaluado durante su máximo, los indicadores reproductivos no permiten resolver este dilema y contradictoriamente se observa un incremento importante en la fecundidad parcial media y en el peso medio de las hembras de la fracción desovante, detectándose un alto porcentaje de atresia que pudiera ser causal de una falla en el proceso de desove o bien evidencia de que el desove aún no estaba en su máximo nivel.

Se recomienda en futuros proyectos de la Condición Biológica del jurel en alta mar, mejorar los indicadores relativos a la definición del período máximo de desove, en especial referido a la modalidad de decisión y establecimiento de la fecha de ejecución del crucero. Dentro de los indicadores discutidos se plantean una vigilancia previa y la exploración de relaciones entre los desoves y factores externos que puedan modular el proceso de desove i.e. ciclos lunares, TSM, etc...

Además de apoyarse de un seguimiento reproductivo del recurso, sería recomendable que se dispusiera de una o más embarcaciones que pudieran explorar regiones al interior del área de desove y que permitiera realizar colectas de huevos como muestreo de adultos para verificar su condición reproductiva.

En este mismo contexto, a bordo de esta(s) nave(s) se favorecería la ejecución de los experimentos de incubación de huevos, ya que además iniciaría la búsqueda de núcleos de desove tempranamente.