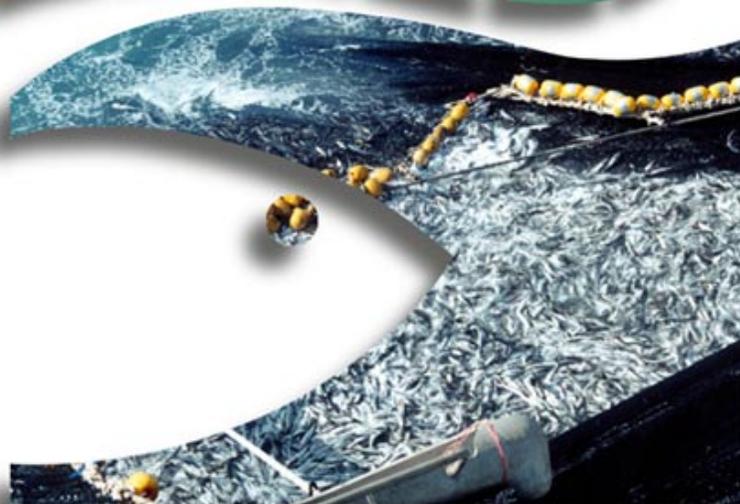


**Instituto de Investigación Pesquera  
Octava Región**

**INFORME FINAL**

**PROYECTO FIP 2000-10**

**CONDICION BIOLOGICA DEL JUREL EN ALTA  
MAR, AÑO 2000**



TITULO DEL PROYECTO : CONDICIÓN BIOLÓGICA DEL JUREL EN ALTA MAR,  
AÑO 2000

REQUIRENTE : FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA

UNIDAD EJECUTORA INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA OCTAVA  
REGIÓN  
DEPARTAMENTO DE PESQUERÍAS

UNIDADES SUBCONTRATADAS : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO  
DIRECCIÓN ZONAL V A IX REGIONES

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
DEPARTAMENTO DE PESQUERÍAS

Enero de 2002

FIP 2000-10  
**CONDICIÓN BIOLÓGICA DEL JUREL EN ALTA MAR, AÑO  
2000**

**INFORME FINAL**

**JEFE DE PROYECTO**

---

LUIS CUBILLOS S.

**AUTORES**

---

LUIS CUBILLOS  
MARÍA ANGELA BARBIERI  
CIRO OYARZÚN  
SANTIAGO GACITUA  
GUSTAVO AEDO



**Instituto de  
Investigación  
Pesquera  
Octava Región**

Talcahuano (Chile), 2002

## PRESENTACION DE AUTORES POR FUNCION O TEMA DESARROLLADO

### Instituto de Investigación Pesquera:

Nombre	Función
Aquiles Sepúlveda	: Jefe de proyecto (Noviembre 2000-Abril 2001), y Jefe de Crucero PAM El CAZADOR. Coordinación general y estimación de índices de abundancia larval modelos GAM
Luis Cubillos	: Jefe de Proyecto (Mayo 2001 en adelante). Proceso y análisis información geo-estadística, modelo de mortalidad y producción de huevos, estimación de varianza. Análisis alimentación de jurel.
Doris Bucarey	: Crucero PAM El CAZADOR. Experimentos de incubación de huevos, sorteo y clasificación de huevos en estadios.
Sergio Núñez	: Procesamiento datos oceanográficos y análisis integrado
Héctor Peña	: Crucero PAM LIGRUNN. Preparación crucero, procesamiento imágenes TSM satelital.
Hernán Rebolledo	: Crucero PAM MALLECO. Procesamiento y análisis datos contenido estomacal.
Patricia Ruiz	: Crucero PAM El Cazador. Experimentos de incubación, sorteo y clasificación de huevos y larvas. Índices biológicos.
Lidia Vilugrón	: Estructura de tallas e índices adultos
Carlos González	: Crucero PAM MALLECO. Procesamiento bitácoras crucero.
Teresa Canales	: Sorteo ictioplancton.
<b>Colaboradores:</b>	
Jorge Olea	: Análisis ictioplancton.
Carolina Alarcón M.	: Análisis ictioplancton.
Carlos Moreno	: Crucero PAM DON BORIS.
Francisco Gómez	: Crucero PAM FOX.
Javier Hernández	: Crucero PAM MALLECO.
Roberto Torres V.	: Crucero PAM ALLIPEN I.
Carlos Vera	: Crucero PAM VIKINGO.
Claudio Pino	: Crucero PAM REMOY VIKING.
Roberto Torres D.	: Crucero PAM VERDI.
Claudio Toro B.	: Crucero PAM VEABAS.
Pedro Luengo	: Crucero PAM JAVIER.

### Universidad de Concepción

Nombre	Función
Ciro Oyarzún	: Responsable fecundidad y histología, FPO
Renato Quiñones	: Análisis integrado – Indicadores oceanográficos
Santiago Gacitúa	: Análisis histológico y reproductivo
Gustavo Aedo	: Crucero PAM JAVIER. Análisis histológico y reproductivo
<b>Colaboradores:</b>	
Jorge Cornejo D.	: Crucero PAM DON BORIS.
Carlos Veloso R.	: Crucero PAM ALLIPEN I.
Gustavo Moraga C.	: Crucero PAM PANIAHUE.

Rodrigo Wiff O. : Crucero PAM VERDI. Asociación huevos-temperatura superficial del mar.  
 Roberto Escobar E. : Crucero PAM VEABAS.

---

**Instituto de Fomento Pesquero:**

---

<b>Nombre</b>	<b>Función</b>
María Angela Barbieri	: Responsable componente ecoprospección, crucero, proceso y análisis
José Córdova	: Crucero PAM LIDER. Proceso y análisis información de ecoprospección
Marco Espejo	: Crucero PAM LIDER. Análisis de información sobre hidroacústica.
Bernardo Leiva	: Participación crucero, análisis de información sobre hidroacústica

**Colaboradores:**

Miguel Monardes	: Crucero PAM DON BORIS.
Erik Gaete	: Crucero PAM FOX
Francisco Leiva	: Crucero PAM FOX .
Alvaro Garrido	: Crucero PAM MALLECO.
Rodrigo Muñoz	: Crucero PAM ALLIPEN I.
Manuel Leiva	: Crucero PAM PANIAHUE.
Rodrigo Palma	: Crucero PAM PANIAHUE.
Juan Zamora	: Crucero PAM VIKINGO.
José Cid	: Crucero PAM VIKINGO.
Andrés Gonzalez	: Crucero PAM REMOY VIKING.
Cristián Grimaldi	: Crucero PAM REMOY VIKING.
Andrés Ruiz	: Crucero PAM VERDI.
Alejandro Soto	: Crucero PAM VEABAS.
Jorge Azocar	: Crucero PAM JAVIER.
Juan Portilla Olivares	: Crucero PAM LIDER.

---

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

Entre los días 24 de noviembre y 5 de diciembre de 2000 se realizó un crucero en el que participaron 13 naves de la flota industrial de cerco de la Octava Región. De éstas, 10 embarcaciones realizaron un muestreo de estaciones de ictioplancton dispuestas a lo largo de 20 transectos que estuvieron dispuestos con una separación de 18 millas náuticas entre los 32°06'S y 37°48'S. A su vez, a lo largo de cada transecto se dispusieron estaciones cada 18 millas náuticas cubriendo desde los 75°W hasta los 92°W. Las 3 naves restantes realizaron una prospección acústica del recurso, concentrando su operación en las áreas de mayor concentración de huevos y larvas así como en zonas con presencia de agregaciones de recurso. Esto último permitió la obtención de ejemplares que fueron analizados para analizar la condición reproductiva del jurel.

En cada estación, la recolección de huevos y larvas se efectuó a través del uso de redes tipo WP-2 de 303  $\mu\text{m}$  y 0,6 m de diámetro de boca. Los huevos y las larvas de jurel fueron colectados desde los 100 m de profundidad hasta la superficie. La cobertura espacial que implicó este estudio representa el crucero más completo y extenso que se haya realizado a la fecha, cubriéndose más de 1.100.000  $\text{km}^2$ , superior a los 975.741  $\text{km}^2$  de noviembre de 1999. Durante este crucero se realizó un total de 880 estaciones de muestreo y se obtuvieron 24 lances de pesca con la finalidad de estudiar la condición biológica y reproductiva del recurso en alta mar.

Con el objeto de analizar las características hidrográficas de la columna de agua, se efectuaron muestreos verticales de temperatura desde la superficie hasta los 100 m de profundidad en transectos seleccionados. Con dicho fin se utilizaron 3 sondas de tipo CTD (GO, ME Memory Probe y AML Plus-12). De este modo, se logró caracterizar la distribución horizontal y la estructura vertical de las variables oceanográficas.

En el estrato superficial (0 m), la distribución horizontal de la temperatura del mar presentó gradientes longitudinales y latitudinales. La temperatura en este estrato fluctuó entre los 14 y 22 °C. En la mayor parte del área de estudio se observó el predominio de aguas cálidas (> 16°C), en especial en el sector noroeste. Estas aguas prevalecieron en más de un 80% del área de estudio; encontrándose aguas frías, inferiores a 15°C sólo

entre los 35°S y 38°S en regiones más cercanas a la costa. A diferencia del crucero efectuado en noviembre de 1999, la capa superficial registró extensas zonas con temperaturas superiores a 17°C.

Se determinó una densidad media de 444,2 huevos en 10 m<sup>2</sup> considerando el total de estaciones. La cobertura de estaciones positivas fue de 75% (660 estaciones positivas), y en éstas la densidad media fue de 592,2 huevos en 10 m<sup>2</sup>. La densidad promedio fue inferior a del crucero de noviembre de 1999 (772,6 huevos en 10 m<sup>2</sup> en las estaciones positivas). Se consideró que la distribución de huevos de jurel fue cubierta por el crucero, situación que también ocurrió con la distribución de las larvas.

Las larvas de jurel mostraron altos niveles de cobertura (77% de estaciones positivas), porcentaje mayor al registrado en noviembre de 1999 donde sólo 66,7% de las estaciones fueron positivas. Esta cifra es también más alta que el 58,4% registrado en diciembre de 1998. La densidad media larval para estaciones positivas en noviembre de 2000 fue de 345,2 larvas en 10 m<sup>2</sup>, cifra superior a las 288,7 larvas en 10 m<sup>2</sup> registradas en noviembre de 1999.

Se realizó un experimento de incubación de huevos a temperatura constante, 15°C, 17°C y 19°C utilizando baños termorregulados. Este experimento se realizó colectando huevos del plancton y se realizó durante el crucero a bordo del PAM El Cazador. El experimento de 15°C no tuvo éxito debido a que el baño termorregulado sufrió un desperfecto. Sin embargo, se pudo determinar la duración promedio del desarrollo de los huevos, clasificados en 11 estadios, a las temperaturas de 17°C y 19°C. Para estimar la edad promedio de los huevos colectados se utilizó un modelo de desarrollo temperatura-estadio dependiente que permitió extrapolar la edad a temperaturas menores y mayores. Se destaca, sin embargo, que la temperatura en que se distribuyeron los huevos se ubicó preferentemente entre 17 y 19°C.

La clorofila superficial se distribuyó casi continua, con valores entre 75 y 100 ng/L, observándose en algunos sectores núcleos mayores a 100 ng/L sin un patrón particular. No obstante, valores mayores a 100 ng/L se ubicaron en los sectores oceánicos adyacentes al continente. Asimismo, al contrastar la distribución de clorofila con la temperatura superficial del mar, se pudo apreciar que prácticamente el 72% de los valores

más altos de clorofila se distribuyeron en temperaturas inferiores a 18°C. Es probable que tal patrón se deba a la conspicua distribución latitudinal de las isotermas de 17 y 18°C, que podrían estar indicando una zona de transición entre dos masas de agua.

La hora del desove se estimó a las 23:30 horas utilizando la frecuencia de estadios de desarrollo en función de la hora de colecta, situación que fue verificada con los datos del crucero de noviembre de 1999. La edad de los huevos colectados fue corregida considerando la hora del lance planctónico y la hora del desove, lo que permitió estimar la producción diaria de huevos por unidad de área y la tasa de mortalidad total. Para la estimación de este parámetro se consideró todos los datos individuales (descartando los estadios I, II y XI). A su vez, debido a que la grilla de muestreo fue regular y se contó con un alto porcentaje de estaciones positivas no hubo necesidad de realizar una post-estratificación. El ajuste del modelo fue significativo, estimándose una producción diaria promedio de 248,5 huevos en 10 m<sup>2</sup> [IC = 223,4; 273,4] y una mortalidad total diaria de 0,504 por día [IC = 0,394; 0,615]. Utilizando idéntica metodología se revisó los datos del crucero de noviembre de 1999, y se llegó a una producción promedio diaria de huevos de 413,9 huevos en 10 m<sup>2</sup> [IC = 310,7; 517,3] y una tasa de mortalidad diaria de 0,676 por día [IC = 0,372; 0,979]. Se concluye que hubo una disminución significativa en la producción de huevos, pero no en la tasa de mortalidad que prácticamente no presentó diferencias significativas.

Al considerar la distribución de las estaciones positivas como estimador del área de desove (746.786 km<sup>2</sup>), la producción diaria de huevos se estimó en 1,856x10<sup>13</sup> huevos por día. Considerando igual criterio, para noviembre de 1999 se estimó un área de desove de 630.101 km<sup>2</sup> y una producción de 2,608x10<sup>13</sup> huevos por día.

Se realizó un total de 24 lances para determinar la estructura de tallas, y de los cuales 12 lances contaron con información relevante para la caracterización de la condición reproductiva. La moda principal de los ejemplares fue de 26 cm LH para las hembras y 27 cm LH para los machos, con un rango de 22 a 54 cm. Este indicador mostró una distribución desplazada favorablemente en 3-4 cm con respecto a lo evaluado en noviembre de 1999. La proporción de ejemplares bajo la talla mínima legal fue de 13,5% para toda el área, con menos de un 0,1% para la zona costera en la VIII Región y un incremento hacia las regiones oceánicas (27%).

A partir del crucero se dispone de más de 800 muestras de gónadas de hembras de jurel para la determinación de estados microscópicos de madurez y determinaciones de fecundidad por tanda. En los estados de madurez macroscópicos se observa un predominio superior al 65% de hembras en estado maduro y cercano al 12% de hembras en estado hidratado. El IGS promedio de las hembras mostró valores  $>2\%$  en toda el área frente a Chile centro-sur. Sin embargo, se observa un incremento del IGS promedio a valores superiores al 3% en las áreas más oceánicas. Estos indicadores dan cuenta de la plena actividad de desove en que se encontraba el recurso al interior del área de estudio.

La fecundidad se estimó considerando el conteo de huevos retenidos en tamices de 500 y 700  $\mu\text{m}$ . Solamente las hembras clasificadas histológicamente como hidratadas fueron consideradas, descartando aquellas con folículos postovulatorios. El rango de tamaños de las hembras hidratadas fluctuó entre 24 y 51 cm LH con una talla promedio de 29,3 cm LH ( $n=164$ ). La fecundidad parcial promedio fue de 20.312 ovocitos considerando los conteos del tamiz de 700  $\mu\text{m}$  ( $CV=58,1\%$ ), mientras que sumando los conteos del tamiz de 500 y 700  $\mu\text{m}$ , la fecundidad promedio llegó a 23.518 ovocitos ( $CV=63,2\%$ ).

La caracterización de los folículos postovulatorios (FPO) se basó en FPO viejos y nuevos por lance. La fracción de hembras con FPO varió entre 0,068 y 0,23 con una proporción promedio de 0,147 ( $CV=28,4\%$ ). Por otra parte, la estimación de la fracción de hembras desovantes diarias presentó dificultades debido a que en muy pocos casos fue posible reconocer FPO de día 1 ó 2. Sin embargo, al considerar todas las muestras sin separarlas en edades, y luego dividiendo la proporción por 2 se tuvo una aproximación. De esta manera, la frecuencia de hembras desovantes por lance fluctuó entre 0,099 y 0,22 y un valor promedio de 0,148.

La alimentación de jurel en alta mar se caracterizó por la presencia de eufáusidos, mictófidios y copépodos, siendo las dos primeros presas las que adquieren importancia tanto en la zona costera como oceánica. La similitud trófica indica que los jureles menores a 30 cm se segregan de los jureles de mayor tamaño principalmente debido al consumo de eufáusidos y crustáceos pequeños. En los jureles mayores a 30 cm adquiere importancia los mictófidios. Se destaca que la muestra de ejemplares oceánicos presentó un mayor número de estómagos con contenido que las muestras de jureles colectadas en

la costa. A su vez, el jurel oceánico presentó un mayor espectro trófico que el jurel colectado en la costa. Sin embargo, debido a que en ambas zonas la dieta se basa en eupáusidos y mictófidios, presentan similitud trófica.

En relación con la caracterización de las agregaciones de jurel, el índice de cobertura (ubm positivas presentes en la unidad de distancia recorrida) fue de 4,42%. La profundidad promedio de las agregaciones fue de 67 m y el alto promedio de 24,6 m. El Índice de presencia de ecotrazos (IPE) presentó una media de 0,040 ecotrazos por mn, con un rango de 0,0037 a 0,139 ecotrazos por mn, el IPE es más alto para los ecotrazos tipo individual con un IPE de 0,020 y el más bajo para los cardúmenes con un IPE de 0,0015. El 90,8 % de los clusters es de tipo simple (menos de 1,5 cardúmenes por milla náutica) y sólo el 9,2% de tipo complejo.

En las áreas de alta distribución de huevos de jurel se observó una baja presencia del recurso, y el índice de cobertura de jurel fue inversamente proporcional a la extensión de la superficie del área con alta presencia de huevos. A su vez, el número de clusters por milla lineal jurel fue inversamente proporcional a la extensión de la superficie del área con alta presencia de huevos; en otras palabras, en las áreas de alta presencia de huevos existe una baja presencia de clusters.

# INDICE GENERAL

1.	RESUMEN EJECUTIVO	III
2.	OBJETIVO GENERAL	1
3.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	1
4.	ANTECEDENTES	1
5.	METODOLOGIA DE TRABAJO	3
5.1.	PERÍODO Y ÁREA DE ESTUDIO	3
5.1.1.	Diseño de muestreo	4
5.2.	DISEÑO Y ESTACIONES DE MUESTREO	4
5.2.1.	Muestras planctónicas	5
5.2.2.	Naves que operaron sobre focos de abundancia	6
5.3.	DATOS OCEANOGRÁFICOS	6
5.3.1.	Distribución superficial de la biomasa fitoplanctónica	7
5.3.2.	Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar	8
5.4.	ESTADIOS TEMPRANOS DE DESARROLLO DE JUREL	9
5.4.1.	Abundancia de huevos y larvas	9
5.4.2.	Indices de abundancia de huevos y larvas de jurel	11
5.5.	PRODUCCIÓN DE HUEVOS	14
5.5.1.	Experimento de incubación de huevos	14
5.5.2.	Edad promedio de huevos	16
5.5.3.	Hora del desove y corrección de la edad	17
5.5.4.	Producción diaria de huevos	17
5.6.	MODELOS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE HUEVOS	18
5.6.1.	Modelo GAM	18
5.6.2.	Modelo Geoestadístico	19
5.7.	CARACTERIZACIÓN DE LA CONDICIÓN REPRODUCTIVA Y FRACCIÓN DESOVANTE	22
5.7.1.	Muestras de ejemplares adultos	22
5.7.2.	Relaciones y Variables biológicas	23
5.7.3.	Condición reproductiva del jurel en la zona de alta mar	25
5.8.	ANÁLISIS DEL CONTENIDO ESTOMACAL DEL JUREL	28
5.9.	CARACTERIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS AGREGACIONES DE JUREL	30
5.9.1.	Ecoprospección	30
5.9.2.	Distribución espacial y morfología de las agregaciones	31
5.10.	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ECOTRAZOS DE JUREL	32
6.	RESULTADOS	32
6.1.	CONDICIONES BIO-OCEANOGRÁFICAS ASOCIADAS AL CRUCERO	32
6.1.1.	Condiciones Oceanográficas	32
6.2.	DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DE LA BIOMASA FITOPLANCTÓNICA	37
6.3.	TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM) MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN.	39
6.4.	DISTRIBUCIÓN DE HUEVOS Y LARVAS	42
6.5.	PRODUCCIÓN DE HUEVOS	43
6.5.1.	Hora de desove	43
6.5.2.	Incubación de huevos	44
6.5.3.	Distribución de edades	45
6.5.4.	Mortalidad de huevos y Producción diaria promedio	45
6.6.	MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE HUEVOS Y LARVAS	46
6.6.1.	Modelo GAM	46
6.6.2.	Análisis geoestadístico	47
6.7.	CARACTERIZACIÓN CONDICIONES BIOLÓGICAS ADULTOS	48
6.7.1.	Lances de pesca	48
6.7.2.	Estructura de tallas de las muestras obtenidas	48
6.7.3.	Condición reproductiva	49
6.7.4.	Alimentación del jurel	55

6.7.5.	Determinación y caracterización de la distribución espacial de las agregaciones de jurel	58
6.7.6.	Análisis multitemporal de los cruceros 1997 al 2000	61
7.	DISCUSION	63
8.	CONCLUSIONES	68
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71
1.	TABLAS Y FIGURAS	77
<b>ANEXO 1: CORTES HISTOLÓGICOS</b>		159
<b>ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS AGREGACIONES DE JUREL</b>		162
<b>ANEXO 3: TALLERES DE DISCUSIÓN</b>		163

## Indice de Tablas

Tabla 1.	Listado de naves participantes y personal embarcado (crucero 2000).....	77
Tabla 2.	Caracterización morfológica de los estadios de desarrollo embrionario de jurel (Sepúlveda et al., 2001).....	78
Tabla 3.	Bitácora de pesca indicando origen, nombre de la embarcación, número del lance, posición geográfica promedio, moda, longitud promedio, número de estómagos totales, número de estómagos con contenidos y porcentaje de estómagos con contenido. ....	79
Tabla 4.	Grupos de tamaño de jurel, definidos cada 5 cm de longitud horquilla (LH).....	79
Tabla 5.	Resumen de los cruceros 9711, 9812, 9912 y 2011.....	80
Tabla 6.	Estadística de la distribución de huevos de jurel entre 1997 y 2000 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas, DE(Dpos) = desviación estándar datos; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima, y = promedio densidad transformada a logaritmo, s2 = varianza densidad transformada a logaritmo, FS = estimador Finney-Sichel, Var(FS) = varianza Finney-Sichel, EE(FS) = error estándar).....	80
Tabla 7.	Estadística de la distribución de larvas de jurel entre 1997 y 2000 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas, DE(Dpos) = desviación estándar datos; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima, y = promedio densidad transformada a logaritmo, s2 = varianza densidad transformada a logaritmo, FS = estimador Finney-Sichel, Var(FS) = varianza Finney-Sichel, EE(FS) = error estándar).....	81
Tabla 8.	Distancia máxima (S) entre f(t) y g(t) y significancia estadística (P) en la aplicación del método de Perry y Smith (1994) para huevos y larvas de jurel en base a 2000 ramdomizaciones. ....	81
Tabla 9.	Análisis de varianza, variable independiente: Edad, Factor: Muestra, Covariante: Estadio, para la temperatura de incubación de 17°C (Significancia p>0,05). ....	82
Tabla 10.	Análisis de varianza, variable independiente: Edad, Factor: Muestra, Covariante: Estadio, para la temperatura de incubación de 19°C (Significancia p>0,05). ....	82
Tabla 11.	Análisis de la covarianza para identificar diferencias significativas entre temperaturas (significancia: p< 0,05). ....	82
Tabla 12.	Edad promedio observada (horas) de huevos de jurel por estadio y temperatura.....	83
Tabla 13.	Parámetros a, b y c para la relación entre el estadio (i) de los huevos de jurel y la edad promedio para cada temperatura.....	83
Tabla 14.	Edad media estimada para cada estadio de huevos de jurel entre el rango de 14 – 20°C. ....	83
Tabla 15.	Producción diaria de huevos y coeficiente de mortalidad total de huevos de jurel en noviembre de 1999 y 2000.....	83
Tabla 16.	Lances de pesca positivos para jurel (crucero 2000).....	84
Tabla 17.	Identificación y origen de los lances de pesca utilizados para analizar la condición reproductiva... ..	84
Tabla 18.	Factor de Condición (FC) de hembras de jurel en el sector oceánico.....	85
Tabla 19.	Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales. ....	86
Tabla 20.	Resumen del ajuste entre la fecundidad parcial y el peso eviscerado de las hembras hidratadas de jurel.....	86

Tabla 21. Estados de madurez microscópicas de jurel durante el crucero de prospección.....	87
Tabla 22. Estimación de la proporción de hembras con folículos postovulatorios (FPO) obtenidas por barco y lance. ....	87
Tabla 23. Estimación de hembras maduras desovantes por lance y día ( $F_i$ ). (FPO total: folículos postovulatorios totales; H: hidratadas). ....	88
Tabla 24. Estimación de hembras maduras desovantes promedio por día ( $\bar{S}$ ), varianza, desviación estándar y coeficiente de variación (cv).....	88
Tabla 25. Estimación de la proporción sexual de hembras maduras de jurel en noviembre de 2000.....	89
Tabla 26. Número (N%), peso (P%), frecuencia de aparición (F%) e índice de importancia relativa para las principales presas de jurel. ....	90
Tabla 27. Índice de importancia relativa (IIR) por grupo de tamaño en la zona oceánica (ver Tabla 25 para la nomenclatura).....	90
Tabla 28. Índice de importancia relativa (IIR) por grupo de tamaño en la zona costera. ....	90
Tabla 29. Índice de cobertura (IC) por tipo de ecotrazos. ....	91
Tabla 30. Profundidad y altura promedio por tipo de agregaciones.....	91
Tabla 31. Distancias entre agregaciones por transecta e índice de presencia de ecotrazos. ....	92
Tabla 32. Número de cluster simples (CS) y cluster complejos (CC) por tipo y categoría de ecotrazos. ....	93
Tabla 33. Índice de cobertura (IC %) en los cruceros de verano de 1997, 1998, 1999 y 2000 en la zona sur costera (36° 00'S - 39° 30'S y 74° 00' W - 84° 00'W).....	94
Tabla 34. Índice de presencia de ecotrazos IPE (número de agregaciones por milla náutica lineal) en los cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000.....	95
Tabla 35. Distribución de la profundidad media, alto de la agregación y porcentaje de agregaciones entre la superficie y los 100 en los cruceros nov. 1997, dic. 1998, dic. 1999 y nov. 2000.....	96
Tabla 36. Resumen de los trabajos realizados sobre fecundidad en jurel (Modificada de Grechina et al., 1998). ....	97

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Disposición de los transectos y estaciones de muestreo durante el crucero de noviembre 2000 .....	98
<b>Figura 2.</b> Track de navegación de las naves El Cazador, Ligrunn (en rojo) y Lider (en negro) durante el crucero 2000.....	98
<b>Figura 3.</b> Distribución horizontal de las estaciones de muestreo de temperatura superficial del mar (TSM) en el área de prospección. Las estaciones correspondientes a las transectas 1, 4, 8 y 15 involucraron lances de CTD para la evaluación vertical de la temperatura, salinidad y densidad del agua de mar. ....	99
<b>Figura 4.</b> Esquema del modelo utilizado en el software Spatial modeler de ERDAS para la obtención de una imagen con los valores máximos de temperatura. ....	100
<b>Figura 5.</b> Esquema del modelo utilizado en el software Spatial modeler de ERDAS para la obtención de una imagen promedio sin considerar las nubes. ....	100
<b>Figura 6.</b> Sistema de incubación de huevos de jurel a temperatura controlada. ....	101
<b>Figura 7.</b> Estadios tempranos del desarrollo embrionario de jurel. ....	102
<b>Figura 8.</b> Estadios intermedios y avanzados del desarrollo embrionario de jurel.....	103
<b>Figura 9.</b> Track de navegación de flota pesquera. Crucero Nov. 2000.....	104
<b>Figura 10.</b> Distribución horizontal de la temperatura superficial del mar (°C) en el área de prospección. ...	104
<b>Figura 11.</b> Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 1.....	105
<b>Figura 12.</b> Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 4.....	106
<b>Figura 13.</b> Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 8.....	107
<b>Figura 14.</b> Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 15.....	108
<b>Figura 15.</b> Relación bivariada de temperatura y salinidad (Diagrama TS) para las estaciones componentes de las transectas con lances de CTD. ....	109

<b>Figura 16.</b> Distribución superficial de la clorofila total y distribución de la biomasa fitoplanctónica asociada al campo térmico. Crucero Pesca Exploratoria de jurel. Noviembre de 2000.....	110
<b>Figura 17.</b> Distribución de las probabilidades de la clorofila total (clot) respecto de la temperatura superficial y la relación funcional entre la clot versus la temperatura superficial. Crucero Pesca Exploratoria de Jurel, noviembre del 2000. ....	111
<b>Figura 18.</b> Imagen promedio “sin ceros” de la temperatura supeficial del mar satelital, utilizando las imágenes de los días 23, 24, 27, 28, 29 de noviembre y 01 de diciembre de 2000. ....	111
<b>Figura 19.</b> Imagen con valores máximos de la temperatura supeficial del mar satelital, utilizando las imágenes de los días 23, 24, 27, 28, 29 de noviembre y 01 de diciembre de 2000. ....	112
<b>Figura 20.</b> Imagen de la temperatura supeficial del mar, utilizando los valores obtenidos con termómetros a bordo de las embarcaciones entre el 24 de noviembre y 02 de diciembre de 2000. ....	112
<b>Figura 21.</b> Imagen con las diferencias en la temperatura supeficial del mar, entre la imagen satelital de valores máximos y la imagen elaborada con valores obtenidos en terreno, para el crucero de noviembre y diciembre de 2000. ....	113
<b>Figura 22.</b> Imagen con valores máximos de la temperatura supeficial del mar satelital, utilizando las imágenes de los días 13 y 14 de diciembre de 1999. ....	113
<b>Figura 23.</b> Imagen con las diferencias en la temperatura supeficial del mar, entre la imagen satelital característica de los cruceros de diciembre de 1999 y noviembre- diciembre de 2000. ....	114
<b>Figura 24.</b> Densidad de huevos de jurel (huevos: 10 m <sup>-2</sup> ) en el crucero 2000. ....	114
<b>Figura 25.</b> Densidad de larvas de jurel (larvas: 10 m <sup>-2</sup> ) en el crucero 2000. ....	115
<b>Figura 26.</b> Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas (A) o huevos (B) de jurel y la temperatura superficial del mar durante el año 2000 de acuerdo al método de Perry y Smith (1994). 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). ....	116
<b>Figura 27.</b> Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas o huevos de jurel y la temperatura superficial del mar durante los cruceros realizados los años 98 y 99 de acuerdo al método de Perry y Smith (1994). (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). ....	117
<b>Figura 28.</b> Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas o huevos de jurel y la temperatura superficial del mar agrupando los datos de los cruceros realizados los años 1998, 1999 y 2000, de acuerdo al método de Perry y Smith (1994). 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). ....	118
<b>Figura 29.</b> Distribución de las horas de mayor ocurrencia de los diferentes estadios de desarrollo de huevos de jurel durante el crucero. ....	119
<b>Figura 30.</b> Distribución de hora de mayor ocurrencia de los diferentes estadios de huevos de jurel. Crucero noviembre de 1999 (FIP 99-14). ....	120
<b>Figura 31.</b> Edad promedio estimada para cada estadio de desarrollo de los huevos de jurel en función de la temperatura. ....	121
<b>Figura 32.</b> Curvas de sobrevivencia de los huevos de jurel en los experimentos de incubación a temperatura constante (M indica réplica). ....	122
<b>Figura 33.</b> Curva de sobrevivencia promedio de huevos de jurel promediando las muestras de los experimentos de incubación. ....	123
<b>Figura 34.</b> Distribución de frecuencia de edades del total de huevos de jurel en el área de estudio, agrupados cada 0,25 y 0,5 días. ....	124
<b>Figura 35.</b> Curva de sobrevivencia de huevos de jurel en noviembre de 2001: a) todos los datos; b) fracción de abundancia hasta 500 ind/10 m <sup>2</sup> , para ilustrar mejor la curva de sobrevivencia. ....	125
<b>Figura 36</b> Ajuste parcial para las variables consideradas en el modelo GAM. Panel superior: residuales parciales en función de la latitud, longitud, y temperatura. Panel inferior: intervalos de confianza para el ajuste. Las pequeñas líneas verticales a lo largo del eje de las abscisa indican la densidad de puntos... 126	126
<b>Figura 37</b> Ajuste parcial para las variables consideradas en el modelo GAM. Panel superior: residuales parciales en función de la latitud, longitud, y temperatura. Panel inferior: intervalos de confianza para el ajuste. Las pequeñas líneas verticales a lo largo del eje de las abscisa indican la densidad de puntos... 127	127

<b>Figura 38.</b> Huevos de jurel, varigrama experimental. Arriba: variograma omnidireccional. Abajo: Variogramas direccionales. ....	128
<b>Figura 39.</b> Localización de los lances de pesca efectuados en noviembre y diciembre de 2000 (Puntos azules: Lances de pesca pisitivos; Puntos rojos: Lances de pesca sin captura o efectuado sobre otro recurso) .	129
<b>Figura 40.</b> Distribución de frecuencias de talla en número y peso de los lances realizados durante las transectas (zona de prospección), en la zona de pesca y agrupados. ....	130
<b>Figura 41.</b> Distribución de tallas separadas por sexo en el área de prospección. ....	131
<b>Figura 42.</b> Ubicación de los lances de muestreo (L) realizados durante los cruceros de investigación en las embarcaciones utilizadas. Don Boris (DB), Vikingo (V), Javier (J), Malleco (M), Paniahue (P), Ligrunn (L) y El Cazador (EC). ....	131
<b>Figura 43.</b> Frecuencia de tallas de hembras totales de jurel. ....	132
<b>Figura 44.</b> Frecuencia de estados de madurez sexual macroscópicos obtenidos a partir de los datos de distribución de frecuencia de tallas de las hembras de jurel. ....	132
<b>Figura 45</b> Frecuencia (%) de los estados de madurez sexual de las hembras de jurel por barco. ....	133
<b>Figura 46</b> Frecuencia (%) de los estados de madurez sexual de las hembras de jurel por lance de pesca y barco. ....	134
<b>Figura 47.</b> Variación del IGS promedio para el total de hembras de jurel con la longitud horquilla de los peces durante el crucero de prospección. ....	135
<b>Figura 48.</b> Índice gonadosomático (IGS) promedio por lance para las hembras de jurel analizadas. a) IGS versus latitud del lance y b) IGS versus longitud del lance. ....	136
<b>Figura 49.</b> Índice gonadosomático (IGS) promedio para hembras de jurel en cada barco del crucero. Las barras corresponden a una desviación estándar. ....	137
<b>Figura 50.</b> Histograma de frecuencias (%) para la longitud horquilla para las hembras de jurel utilizadas en los cálculos de la fecundidad (n=164). ....	138
<b>Figura 51.</b> Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y la longitud horquilla (cm.) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste no-lineal (n=164), para el tamiz de 700 µm y la suma de 500+700 µm. ....	139
<b>Figura 52.</b> Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y el peso eviscerado (g) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste lineal (n=164), para el tamiz de 700 µm y la suma de 500+700 µm. .....	140
<b>Figura 53.</b> Histograma de la proporción de folículos postovulatorios (FPO) para hembras de jurel, en cada uno de los lances de pesca por barco. ....	141
<b>Figura 54</b> Proporción de hembras en función de la hora del lance, noviembre 2000. ....	141
<b>Figura 55</b> Distribución de frecuencias de tallas de los ejemplares de jurel muestreados para análisis del contenido estomacal. ....	142
<b>Figura 56.</b> Porcentaje de frecuencia de aparición o nivel de ocurrencia de las principales presas en ambas zonas de estudio (costera - oceánica). ....	143
<b>Figura 57.</b> Dendograma de similitud trófica en jurel, separados por grupos de tamaños, para muestras de la zona oceánica. ....	144
<b>Figura 58.</b> Dendograma de similitud trófica en jurel, separados por grupos de tamaños, para muestras de la zona costera. ....	144
<b>Figura 59.</b> Dendograma de similitud trófica entre zonas (costera - oceánica). ....	144
<b>Figura 60.</b> Distribución de las agregaciones. Crucero Noviembre 2000. ....	145
<b>Figura 61.</b> Distribución de las agregaciones por clases de abundancia. Crucero Jurel noviembre 2001. ....	146
<b>Figura 62.</b> Distribución batimétrica del jurel por clase y tipo de agregaciones en Noviembre del 2000. ....	147
<b>Figura 63.</b> Índice de presencia de ecotrazos (IPE) expresado por el número de agregaciones por milla náutica lineal por transecta. ....	148
<b>Figura 64.</b> Track de navegación de los cruceros realizados en Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000. .....	149
<b>Figura 65.</b> Distribución de: <b>a)</b> abundancia de huevos y <b>b)</b> presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Nov. 1997. ....	150
<b>Figura 66.</b> Distribución de: <b>a)</b> abundancia de huevos y <b>b)</b> presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Dic. 1998. ....	151
<b>Figura 67.</b> Distribución de: <b>a)</b> abundancia de huevos y <b>b)</b> presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Dic. 1999. ....	152

<b>Figura 68.</b> Distribución de: <b>a)</b> abundancia de huevos y <b>b)</b> presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Nov. 2000. ....	153
<b>Figura 69.</b> Índices de cobertura (IC %) por tipo de agregación y por clase de abundancia de registros acústicos de jurel. Cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000. ....	154
<b>Figura 69.</b> (continuación). Índices de cobertura (IC %) por tipo de agregación y por clase de abundancia de registros acústicos de jurel. Cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000. ....	155
<b>Figura 70.</b> Índice de cobertura (IC) total y número de clusters en relación a la participación porcentual del área de mayor densidad de huevos jurel con respecto al área total prospectada en los cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000. ....	156
<b>Figura 71.</b> Número de clusters simples y clusters complejos por cada 100 mn <sup>2</sup> en los cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000. ....	157
<b>Figura 72.</b> Distribución de frecuencia del diámetro de los ovocitos de jurel por clases de talla retenidos en un tamiz de 0,7 mm (Fuente: datos no publicados FIP 99-14). ....	158

## **2. 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.

## **3. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 1.1. Estimar índices de abundancia de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio.
- 1.2. Determinar la producción diaria de huevos de jurel y el modelo de mortalidad diaria de huevos
- 1.3. Caracterizar la condición reproductiva de jurel en la zona de estudio y cuantificar la fracción desovante
- 1.4. Determinar y caracterizar la distribución espacial de las agregaciones de jurel en la zona de estudio

## **4. ANTECEDENTES**

Desde 1997, la pesquería del jurel ha estado sometida a regulaciones como consecuencia de la alta incidencia de juveniles en las capturas de la flota industrial de cerco de la zona centro-sur de Chile. Las diversas medidas de administración han tenido por objeto minimizar el impacto de la intensidad por pesca sobre la población. Sin embargo, la incidencia de ejemplares de tamaño inferior a la talla mínima legal de 26 cm se ha mantenido hasta la actualidad. Es probable que un efecto combinado entre la intensa actividad pesquera desarrollada antes de 1997 y la manifestación de El Niño 1997-98 hayan determinado la situación actual del recurso. Sin embargo, aunque dichas explicaciones son válidas, se tiene incertidumbre sobre la productividad del recurso y sobre los niveles de biomasa del stock.

Con el objeto de minimizar la incertidumbre biológica, se postuló la necesidad de evaluar los cambios de abundancia de huevos y larvas de jurel en la alta mar fuera de Chile centro-sur durante el período de desove, con el objeto de disponer de nuevos indicadores que permitan analizar la situación del recurso en el mediano plazo.

Antecedentes disponibles tanto en el Instituto de Investigación Pesquera como en el Instituto de Fomento Pesquero, han sido elementos de juicio para favorecer este estudio, el cual ha sido ratificado y avalado por el comité asesor de la pesquería. Diversos cruceros de investigación previamente realizados, ya sea en el marco de proyectos individuales o conjuntos entre ambas instituciones, daban cuenta de la factibilidad de éxito de este tipo de cruceros de investigación.

Para estos efectos, se estimuló a que la industria pesquera existente entre la V y VIII regiones contribuyera con la participación de naves industriales, abordo de las cuales se desarrollaron la toma de muestras biológicas y de datos oceanográficos, así como de registro de los instrumentos de detección del recurso, de tal forma que durante un período corto de tiempo se pudiera disponer de una evaluación casi instantánea de la abundancia de huevos y larvas de jurel.

En 1998 se prospectó en menos de 7 días y con 5 naves industriales de manera cuasi-sinóptica un área total de 831.954 km<sup>2</sup>. Esto permitió caracterizar importantes núcleos de desove del recurso. La extensión del máximo núcleo de desove registrado en diciembre de 1998 permite suponer la existencia de una importante área de congregación de recurso en su fase reproductiva. Este antecedente, más las estimaciones realizadas de la producción anual de huevos por parte de estudios rusos sugieren la posibilidad de que la fracción desovante en esas aguas pueda ser estimada a partir de la producción de huevos en esa región y a su vez se logre disponer de un índice de abundancia de esa fracción.

En 1999 se efectuaron 2 cruceros de prospección. Entre los días 15 y 30 de noviembre de 1999, se efectuó el primer estudio utilizándose 9 naves industriales, las que prospectaron el área de mar entre los 75° W hasta los 91° W a lo largo de 18 transectos separados 18 mn entre sí (ca 780 mn cada transecto) y dispuestos entre los 33°06'S y los 38°12'S. Este constituye el estudio más intenso en muestreo y extenso en cobertura espacial que se haya realizado hacia el oeste por parte de investigadores nacionales, lográndose cubrir

extensas zonas de desove de este recurso y colectándose un total de 750 muestras de huevos y larvas. El segundo crucero se realizó manteniendo exactamente las condiciones de operación y equipamiento de muestreo del primer crucero, utilizando 6 embarcaciones de la flota regional y fue realizado entre los días 15 y 20 de diciembre. El área cubierta fue de 380.000 km<sup>2</sup> y se efectuó un total de 363 estaciones de muestreo de ictioplancton, sin que se lograra realizar lances de pesca de cerco para la obtención de ejemplares adultos.

En este marco de referencia, el presente estudio se basa en la existencia de un área de desove principal 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. La extensión y localización de los núcleos de desove en esta área, son principalmente moduladas por la distribución de masas de agua con temperaturas características (entre 15 y 18° C), las que manifiestan desplazamientos interanuales según se registren períodos fríos o cálidos en este sistema.

## **5. METODOLOGIA DE TRABAJO**

### **5.1. Período y área de estudio**

Con el objeto de evaluar la condición biológica del recurso jurel en regiones oceánicas frente a Chile y particularmente durante la época de mayor actividad reproductiva, se planificó un crucero, que se inició el 23 de noviembre y se extendió hasta el 5 de diciembre de 2000.

La selección del área de estudio a prospectar para este crucero, se basó en investigaciones previas (Sepúlveda et al., 2001) que señalan que durante noviembre y diciembre existe una mayor probabilidad de encontrar agregaciones desovantes de jurel a distancias de entre 200 y 1200 mn de la costa frente a Chile centro-sur (32° S - 39° S).

### **5.1.1. Diseño de muestreo**

El área de estudio es extensa, razón por la cual se desarrolló un diseño de muestreo que involucró la participación de 13 naves industriales de pesca pertenecientes a varias empresas pesqueras de la VIII Región. En términos administrativos, se contó con las correspondientes autorizaciones por parte de la Subsecretaría de Pesca para operar bajo la modalidad de pesca de investigación, de acuerdo a lo establecido en el punto 5.2.5 de los términos básicos de referencia del proyecto.

El plan de operación, y el personal responsable de las actividades de muestreo que fue asignado a cada nave, se resume en la **Tabla 1**, incluyéndose además las fechas de operación.

### **5.2. Diseño y Estaciones de muestreo**

El diseño que ha demostrado ser más adecuado para este tipo de estudio es el de transectos rectilíneos, los cuales fueron dispuestos sistemáticamente con una separación de 18 mn entre transectos. Esta separación permite una buena estrategia de búsqueda de las agregaciones de recurso y también permite lograr una cobertura meridional adecuada de las naves participantes. Longitudinalmente, se optó por cubrir el área de mar existente desde los 75° W hasta 92° W, lo que implica 20 transectos de más de 850 mn de longitud. Latitudinalmente, los transectos se dispusieron entre los 32°06'S y 37°48'S, lo que representa una extensión total de más de 1.100.000 km<sup>2</sup> (**Figura 1**)

A lo largo de cada transecto se dispusieron estaciones de muestreo de ictioplancton cada 18 mn. Esta disposición sistemática de las estaciones de muestreo junto con las coordenadas correspondientes fue ingresada previamente en los sistemas plotter de cada una de las embarcaciones, equipo que se encontraba conectado tanto al navegador satelital como a la corredera, girocompás y piloto automático.

La estrategia de operación contemplaba que las 10 naves iniciaran su recorrido cubriendo el área central de distribución de huevos de jurel, para luego en forma adaptativa decidir el número de naves que retornarían completando las transectas ya sea por el norte o sur

del área inicialmente prospectada. Este diseño permitió que tras la observación de indicadores obtenidos a bordo durante el crucero y con el apoyo de imágenes satelitales provistas por el Programa Sinóptico del Instituto de Investigación Pesquera, el jefe de crucero, a bordo del PAM El Cazador, evaluara antecedentes para decidir hacia que región dedicar un mayor esfuerzo de muestreo.

Los antecedentes disponibles para el jefe de crucero fueron: (i) la temperatura superficial del mar tomada a bordo, (ii) cartas satelitales disponibles antes y durante el crucero, (iii) la presencia de marcas de recurso en los equipos hidroacústicos; y (iv), la abundancia relativa de huevos de jurel presentes en cada estación de muestreo. Esto último, se basó en el conteo de una submuestra de las muestras de plancton que fueron tomadas en 8 de las embarcaciones participantes. Personal asignado a estas naves tenía la experiencia necesaria para el reconocimiento de estados tempranos de jurel, y contó con estereomicroscopios para clasificar la abundancia de huevos en 4 categorías (1 = sin huevos, 2 = poco abundante, 3 = abundante; y 4 = muy abundante).

Se instó a que todas las naves participantes estuviesen provistas de redes de cerco y operativas como para obtener muestras de ejemplares de jurel para evaluar la estructura de tallas del recurso y disponer a su vez de muestras de ejemplares para análisis de fecundidad y de contenido estomacal en el laboratorio.

### **5.2.1. 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 WP2 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 de porciones de red filtrante, longitud de éstas y 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% tamponada con bórax. A partir de este diseño sistemático de muestreo se obtuvo un total de 880 muestras de ictioplancton.

### **5.2.2. Naves que operaron sobre focos de abundancia**

Con la finalidad de intensificar el muestreo en áreas con focos de abundancia de huevos y/o de adultos, 3 naves provistas con redes de mediagua y cerco realizaron una navegación en zig-zag en 3 subzonas de evaluación (**Figura 2**). Estas subzonas fueron determinadas a priori sobre la base de antecedentes de cruceros previos de huevos y larvas (en la figura se sobreponen las áreas prospectadas con la distribución de huevos de jurel del crucero de noviembre de 1999). Sin embargo, posteriormente se consideró la información de abundancia relativa de huevos que provino de las 8 naves que efectuaron previamente el muestreo sistemático en los transectos. Esta información fue diariamente resumida y transmitida radialmente junto con la temperatura superficial del mar al jefe de crucero, a bordo del PAM El Cazador, quien tomó la decisión final sobre qué subzonas de focos de abundancia se debía operar.

Las naves que operaron en los focos de abundancia estuvieron equipadas con ecosondas científicas marca SIMRAD. En el PAM Líder, se instaló el equipo SIMRAD EK-500 de propiedad de IFOP; mientras que en los PAM Ligrunn y El Cazador se contó con equipos de última generación de esta misma empresa, modelos EK-60 con software de ecointegración BI-500 en ambiente Windows 2000. Todos los equipos operaron con transductores de una frecuencia de 38 KHz y fueron previamente calibrados en la Bahía de Concepción, pocos días previos al zarpe de estas naves.

A su vez, con el objeto de analizar el tiempo de desarrollo de los huevos de jurel bajo diferentes temperaturas, en el PAM El Cazador se acondicionó un laboratorio para incubar huevos de jurel provenientes de muestras de plácton. Para ello, se realizaron lances de ictioplancton utilizando una red WP-2, construida con las mismas especificaciones de las redes que se usaron en las demás embarcaciones.

### **5.3. Datos oceanográficos**

Durante el crucero, 7 de las 10 naves participantes fueron equipadas con perfiladores verticales de temperatura provistos de Data Logger de la firma MICREL modelo P2T300 (PAM Remoy Viking, PAM Allipén I, PAM Don Boris, PAM Fox, PAM Vikingo, PAM Javier,

y PAM Paniahue). En las 3 naves restantes, se utilizaron sondas oceanográficas de tipo CTD, las que fueron instaladas en las naves PAM Verdi (CTD GO), PAM Veabas (CTD ME Meerestechnik Elektronik).

En cada una y todas las estaciones de muestreo (**Figura 3**), la temperatura superficial del mar fue medida con termómetros de mercurio. En las estaciones situadas sobre los transectos 1, 4, 8 y 15, se realizaron lances verticales para el registro continuo de temperatura, salinidad y densidad, mediante sondas oceanográficas CTD (CTD ME y CTD GO) hasta un máximo de 100 m de profundidad, estrato coincidente con los arrastres verticales para la evaluación de huevos y larvas de jurel.

### **5.3.1. Distribución superficial de la biomasa fitoplanctónica**

Se obtuvieron muestras superficiales de agua de mar cada 10 m, la muestra fue filtrada *in situ* utilizando un portafiltro (Swinnex) Millipore de 25 mm de diámetro y filtros de fibra de vidrio de 1,4  $\mu\text{m}$  de tamaño nominal de poro. La muestra fue almacenada en frío (ca 4 °C) hasta su llegada a puerto en donde fue congelada a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

El análisis de las muestras para la cuantificación de la clorofila total se realizó con un fluorómetro Turner Designs modelo 10AU, siguiendo el protocolo analítico descrito por Parsons et al. (1984).

La distribución de la biomasa fitoplanctónica fue caracterizada utilizando como indicador de la clorofila total, expresada en nanogramos por litro (ng/L), la razón de esto es que las bajas concentraciones de fitoplancton en ambientes oceánicos oligotróficos, es decir aquellas zonas en que la clorofila-a es inferior a 0,2  $\mu\text{g/L}$  o 200 ng/L, no permite caracterizar la zona utilizando la unidad microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ), debido a que ésta magnitud sería un valor prácticamente constante para toda la zona y el objetivo es establecer los patrones de distribución en la zona considerando las peculiaridades de estos ambientes. La técnica analítica de fluorimetría puede detectar niveles muy bajos de Clorofila-a llegando en condiciones extremas a medir femtogramos, por lo que el nivel nanogramos constituye un paso intermedio en las capacidades de esta técnica.

La temperatura superficial fue medida utilizando termocuplas marca Hanna, modelo checktemp1, cada termocupla (10) fue calibrada en un baño termoregulado y comparada contra un termómetro de mercurio de vidrio, previamente calibrado. De esta manera todos los registros de temperatura fueron corregidos utilizando la curva de calibración de cada termocupla.

### **5.3.2. Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar**

Se capturaron imágenes satelitales diarias en formato HRPT del satélite meteorológico NOAA 14 en la estación receptora satelital Smartrack Profesional del Instituto de Investigación Pesquera, en Talcahuano. Las imágenes crudas fueron exportadas al software ERDAS Imagine, donde fueron georeferenciadas y submuestreadas para el área de interés. Posteriormente y utilizando los algoritmos correspondientes se obtuvo una imagen de la temperatura superficial del mar, georeferenciada y en grados celsius, aplicando una máscara para las nubes y la costa. Estas imágenes poseen una sensibilidad térmica de 0,1 °C y una resolución espacial de 1,1 Km de arista, aproximadamente.

De este grupo de imágenes se procedió a elaborar una imagen representativa del período, y para ello se analizaron las metodologías más utilizadas actualmente estas son:

- a) Imagen de valores máximos, este procedimiento ignora aquellos pixeles con valores de TSM más bajos, generándose una imagen sin influencia de nubes, pero subestimando la presencia de aguas frías, como la generada en eventos de surgencia costera de corta duración (**Figura 4**).
- b) Imagen promedio, implica un promedio entre los valores de los pixeles de cada una de las imágenes, presentando una importante contaminación de aquellas áreas donde se registra la presencia de nubosidad baja cuya temperatura es muy similar a la TSM adyacente. Con el objeto de evitar la contaminación por nubes, se desarrolló un modelo para la elaboración de una imagen utilizando un promedio de los pixeles de cada una de las imágenes teniendo en cuenta sólo aquellos cuyos valores de temperatura son mayores al valor 0 (cero) asignado a las nubes, situación que en un promedio simple no es considerada, y que persigue minimizar

el efecto de las nubes (**Figura 5**). Finalmente, a la imagen resultante se le aplicó un filtro de mediana (utilizando una matriz de 5x5), de modo de eliminar el ruido y facilitar su interpretación.

#### **5.4. Estadios tempranos de desarrollo de jurel**

##### **5.4.1. Abundancia de huevos y larvas**

En el laboratorio, las muestras planctónicas fueron analizadas en forma completa, separando y contando huevos y larvas de jurel desde la muestra total y separando tanto huevos como larvas de otras especies de peces para su posterior identificación y recuento.

La densidad de huevos y larvas de jurel se estandarizó a número de individuos por unidad de área estándar de 10 m<sup>2</sup>. La notación para huevos indicará h/10 m<sup>2</sup>, mientras que para larvas será ind/10 m<sup>2</sup>. Se destaca que debido al alto costo que tienen los medidores de flujo TSK, no fue posible implementar un flujómetro para todas las redes. Solamente un medidor de flujo del tipo TSK se utilizó en la red WP-2 que fue operada a bordo del PAM Malleco. En el caso de las otras redes se midió el ángulo de cala de la red, que prácticamente no excedió los 30° 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 larvas por volumen se multiplicó por la profundidad de muestreo y por un factor de 10. No se encontró diferencias significativas entre esta forma de estimar el volumen y las lecturas del flujómetro (test t para muestras pareadas).

La estimación del número de huevos y larvas bajo una unidad de área de mar (en este caso 10 m<sup>2</sup>) se obtuvo mediante la siguiente expresión:

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

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

La profundidad máxima del lance ( $d$ ), se obtiene por medio de la ecuación:

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

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 ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ), y  $t$  es el tiempo empleado en el arrastre (seg). 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/seg, y  $A$  es el área de la boca de la red ( $\text{m}^2$ ).

En el caso de la red provista con medidor de flujo TSK, la velocidad se obtuvo a partir de un ajuste de la curva de calibración del medidor de flujo

$$V = a * N + b \quad (5)$$

donde  $N$  es el número de revoluciones por segundo, en tanto  $a$  y  $b$  son constantes de calibración.

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 6.0.

#### 5.4.2. Índices de abundancia de huevos y larvas de jurel

Con propósitos comparativos, se consideró los siguientes índices para la abundancia de huevos y larvas de jurel.

##### a) Densidad promedio

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

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

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 determinó según la expresión:

$$\hat{V}(\hat{D}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (d_i - \hat{D})^2 \quad (7)$$

##### b) Densidad promedio en estaciones positivas

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

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

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:

$$\hat{V}(\hat{D}_{pos}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{pos}} (d_i - \hat{D}_{pos})}{n_{pos}(n_{pos}-1)} \quad (9)$$

### c) Estimador Finney-Sichel (FS)

Para considerar la distribución espacial de la densidad promedio de huevos y larvas de jurel, se utilizó el método de distribución delta de Pennington (1983). Esta distribución permite asignar una probabilidad distinta de cero a las estaciones negativas y una distribución log-normal para las estaciones positivas.

En la teoría estadística correspondiente a la distribución delta, tanto para la estimación del promedio como para la varianza de la estimación, el promedio de la variable distribuida log-normalmente se denomina estimador Finney-Sichel (FS) (McConnaughey & Conquest, 1993), y viene dada por:

$$FS = \left(\frac{m}{n}\right) \exp(\bar{Y}) Gm(x) \quad (10)$$

donde  $m$  es el número de estaciones positivas,  $n$  es la cantidad total de estaciones,  $\bar{Y}$  barra es el promedio de la variable transformada a logaritmo neperiano, y  $Gm(x)$  es una función de la varianza de la forma:

$$Gm(x) = 1 + \frac{(m-1)x}{m} + \frac{(m-1)^3 x^2}{2! m^2 (m+1)} + \frac{(m-1)^5 x^3}{3! m^3 (m+1)(m+3)} + \frac{(m-1)^7 x^4}{4! m^4 (m+1)(m+3)(m+5)} + \dots \quad (11)$$

donde  $m$  es mayor que cero,  $x = s^2/2$ , donde  $s^2$  es la varianza de la variable transformada a logaritmo. La varianza de FS se estima mediante:

$$Var(FS) = \left(\frac{m}{n}\right) \exp(2\bar{Y}) \left[ \left(\frac{m}{n}\right) Gm^2 - \frac{(m-1)}{(n-1)} Gm \frac{(m-2)2x}{(m-1)} \right] \quad (12)$$

#### d) Asociación abundancia de huevos y larvas con temperatura

Para identificar la asociación entre la abundancia de huevos y larvas de jurel y las variables ambientales se utilizó el enfoque propuesto por Perry & 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).

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

$$f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(x_i) \quad (13)$$

con la función indicadora

$$I(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i \leq t; \\ 0, & \text{de otro modo} \end{cases} \quad (14)$$

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  $0.1^\circ\text{C}$ . Con  $n$  = numero 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

$$g(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} I(x_i) \quad (15)$$

donde  $y_i$  = variable de densidad específica en el conjunto  $i$  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, se utilizó 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:

$$\max_{\forall t} |g(t) - f(t)| = \max_{\forall t} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \bar{y}}{\bar{y}} \right) I(x_i) \right| \quad (16)$$

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 más de 2000 repeticiones de remuestreo bootstrap para la abundancia de larvas y huevos de jurel y de la variable ambiental con probabilidad  $1/n$ .

## 5.5. Producción de huevos

### 5.5.1. Experimento de incubación de huevos

Las incubaciones fueron realizadas a bordo del PAM El Cazador, entre el 26 de noviembre y el 3 de diciembre. Para ello se acondicionó una sala que se mantuvo con buena ventilación e higiene durante todo el período. Se instalaron tres baños

termorregulados, cada uno consistente en un recipiente circular de 20 L de capacidad que contenía agua destilada y un termorregulador marca Haake (modelo tipo C1 ó C10), el cual cuenta con una bomba impulsora que permite la circulación continua de agua y una rápida homogenización de la temperatura de trabajo.

A su vez se provisionó cada baño con un sistema circulante de agua fría ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), el cual provenía de un enfriador de 60 L de capacidad. El agua fría fue distribuida mediante cabezales de propulsión hacia los recipientes circulares a la forma de un circuito cerrado y pasando por serpentines difusores fabricados de acero inoxidable (**Figura 6**).

Las temperaturas seleccionadas para las incubaciones fueron 15, 17 y 19 °C. Lamentablemente, el motor de uno de los baños termorregulados se malogró durante el crucero y fue imposible realizar la incubación a 15 °C, siendo exitosas las otras incubaciones.

La colecta de huevos de jurel se realizó empleando redes de plancton de 0,6 m de diámetro de boca, mediante arrastres verticales desde los 100 m de profundidad hasta la superficie. Una vez obtenida la muestra y comprobada la presencia de huevos vivos de jurel en estadio temprano de desarrollo, se procedió a sortearlos bajo lupas binoculares en condiciones de baja luminosidad, para luego ser agrupados por estadios, según las categorías desarrollada por Sepúlveda et al. (2001) en base a Moser & Ahlstrom (1985) (**Tabla 2, Figuras 7 y 8**).

Posteriormente, los huevos fueron mantenidos en frascos de vidrio estériles de 20 ml, que contenían agua de mar filtrada ( $0.5\ \mu\text{m}$ ) la cual se encontraba a la temperatura de ensayo, 17 y 19 °C. Finalmente estos frascos fueron sumergidos en los baños termorregulados. El desarrollo de los huevos fue controlado cada tres horas durante el día y la noche, como también los registros de la temperatura de experimentación. En cada revisión se realizó el cambio de agua a los frascos estériles para evitar la contaminación de los huevos y además descartar los huevos deteriorados o muertos. El criterio para determinar el término del experimento fue la identificación del último estadio previo a la eclosión, esto es, el estadio XI (**Tabla 2, Figura 8**).

### 5.5.2. Edad promedio de huevos

La determinación de la edad promedio observada por estadio para cada réplica, se obtuvo mediante la siguiente expresión

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^{11} (n_i * h_j)}{\sum_{i=1}^{11} n_i} \quad (17)$$

donde  $Y_i$  representa la edad promedio observada del estadio  $i$  en cada réplica,  $n_i$  es el número de huevos observados en el estadio  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 11$ ), y  $h_j$  es la hora en que se observó el  $i$ -ésimo estadio ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Una vez obtenidas las edades promedio por estadio y temperatura, se procedió al análisis de la información según el modelo desarrollado por Lo (1985) para la anchoveta de California (*Engraulis mordax*). Primero, se estableció la relación existente entre cada estadio y su edad promedio (horas) para cada temperatura según la relación:

$$\bar{Y}_{i,t} = a_t e^{b^t i} (i)^{c_t} \quad (18)$$

donde  $Y_i$ ,  $t$  es la edad promedio observada de los huevos para cada estadio y temperatura,  $t$  es la temperatura,  $i$  es el estadio de desarrollo; en tanto  $a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes a ser estimadas.

Finalmente, se desarrolló el modelo temperatura-estadio-dependiente que permite estimar la edad de un huevo de jurel en función de la temperatura y el estadio. Este modelo, por lo tanto, permite estimar la edad de los huevos de las muestras planctónicas según la temperatura, previa clasificación de la muestra de huevos en estadios. El modelo se basa en Lo (1985):

$$Y_{i,t} = a e^{(bt+ci)} (i)^d \quad (19)$$

donde  $Y_{i,t}$  es la edad promedio estimada de los huevos de jurel para cada estadio y temperatura,  $t$  es la temperatura,  $i$  es el estadio de desarrollo; mientras que  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son constantes a ser estimadas.

### 5.5.3. Hora del desove y corrección de la edad

La hora del desove se determinó analizando la distribución de frecuencia de cada estadio de desarrollo embrionario de los huevos de jurel cada una hora, que corresponde a la hora en que se tomó la muestra planctónica de huevos. Para ello, se siguió la metodología de Lo (1985), que considera corregir la estimación de la edad al tiempo de la colecta de huevos considerando un tiempo cero que corresponde a la hora del desove. La edad en horas de los huevos clasificados en estadios de cada estación se calculó con la Ecuación (19), mientras que la corrección considera un ajuste por la fracción del día desde la hora del desove hasta la colecta. Para ello, se utilizó:

$$y_{i,t,k} = y_{i,t} + k - T \quad (20)$$

donde  $y_{i,t}$  es la edad estimada por el modelo estadio-temperatura dependiente,  $k$  es la hora de la colecta (lance), y  $T$  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:

$$y_{i,t,k} = \left[ \begin{array}{l} k < (T - G) \Rightarrow y_{i,t} - G \\ (T - G) < k < (T + G) \Rightarrow y_{i,t} + k - T \\ (T + G) < k \Rightarrow y_{i,t} + G \end{array} \right] \quad (21)$$

donde  $G$  es el doble de la desviación estándar de la edad dentro de cada estadio. La variable edad fue considerada en una escala continua en días, ya que se utilizó para estimar la producción diaria de huevos.

### 5.5.4. Producción diaria de huevos

De acuerdo con Picquelle y Hewitt (1982), la producción diaria de huevos en el mar es el número de huevos promedio desovados por noche, 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 ( $P_0$ ).

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

$$P_{t_{ij}} = P_0 \exp(-Zt_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (22)$$

donde  $P_{t_{ij}}$  es el número de huevos (huevos/10 m<sup>2</sup>) a la edad  $t$  del  $i$ -ésimo estadio en la  $j$ -ésima estación,  $t_{ij}$  es la edad en días estimada para los huevos del estadio  $i$  en la estación  $j$ ,  $P_0$  es la producción diaria de huevo en una unidad de área (10 m<sup>2</sup>),  $Z$  es la tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos, y  $\varepsilon_{ij}$  es un término de error aditivo.

El modelo asume que todos los huevos son fertilizados y desovados a las 23:30 horas todos los días (ver resultados), 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. Debido a que la grilla de estaciones fue regular, no fue necesario considerar estimadores ponderados por estratos.

En el modelo de mortalidad se descartó los huevos clasificados en los estadios I, II y XI, los primeros debido a su cercanía con la hora del desove lo que implica una mayor probabilidad de sub-muestreo y los últimos por probables errores de interpretación del estadio al estar cercanos a la eclosión.

## **5.6. Modelos de la Distribución espacial de la producción total de huevos**

La distribución espacial de la producción total de huevos fue analizada según las siguientes técnicas:

### **5.6.1. Modelo GAM**

Con la finalidad de modelar la tendencia espacial de la abundancia de huevos, se usó modelos aditivos generalizados (GAM), de la forma:

$$E(y) = f\left(\beta_0 + \sum_i s_i(x_i)\right) \quad (23)$$

donde  $x_i$  representa a la variable explicatoria, mientras que  $y$  es la variable respuesta (número de huevos) que posee alguna distribución estadística específica y cuya esperanza  $E(y)$  es una función  $f(\bullet)$  de las variables explicatorias.

Se utilizó la temperatura superficial del mar, la longitud y la latitud como variables explicatorias. Según Borchers et al. (1997), la modelación basada en la metodología GAM permite establecer funciones de suavizamiento de los datos observados de densidad y que son lo suficientemente flexibles para permitir mantener las tendencias observadas en las densidades de huevos. Este tipo de estrategia permite a su vez reducir el número de parámetros de estimación con respecto a los que utilizaría una estrategia basada en la estratificación.

### **5.6.2. Modelo Geoestadístico**

Se utilizó análisis geoestadístico para analizar la estructura espacial correlacionada de la abundancia de huevos y larvas de jurel. Desde el punto de vista del análisis geoestadístico, la población observada es una realización de un proceso estocástico en el espacio, y los datos obtenidos se consideran una muestra de dicho proceso. En primer lugar, se realizó un análisis estructural de la correlación espacial entre las observaciones utilizando un medida de continuidad espacial representada por el variograma. Una vez definido un variograma teórico, se procedió a interpolar valores en una grilla regular utilizando un algoritmo de optimización denominado kriging.

#### **a) Análisis estructural**

La densidad de huevos (larvas) de jurel (ind/10m<sup>2</sup>) no presentó una tendencia espacial muy evidente, razón por la cual se utilizó la función variograma  $2\gamma(x+h)$  que representa la esperanza matemática de la variable aleatoria  $[Z(x) - Z(x+h)]^2$  (Journel y Huilbregts, 1978), donde  $Z$  es la densidad de huevos,  $x$  es la localización espacial (2 dimensiones), y  $h$

es un vector distancia que tiene dirección y magnitud. Bajo la hipótesis de estacionaridad de segundo orden, el variograma depende solamente del vector  $h$  y no de la posición  $x$ , razón por la cual es posible estimar el variograma  $2\gamma(h)$  a partir de los datos disponibles por

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (24)$$

donde  $N(h)$  es el número de pares,  $Z(x_i) - Z(x_i + h)$ , en dos puntos cualquiera separados por el vector  $h$ . Cuando un variograma es calculado como un promedio en todas las direcciones, se denomina variograma omnidireccional. Este tipo de variograma es apropiado en casos donde el proceso estocástico es isotrópico, lo que quiere decir que la misma estructura espacial ocurre en cualquier dirección. Por el contrario, un variograma anisotrópico revela estructuras espaciales diferentes en diferentes direcciones. Así, el eje mayor de continuidad espacial se identifica a partir de variogramas calculados en una dirección particular. Para los efectos del presente estudio, se utilizó las direcciones Norte-Sur ( $0^\circ$ ), NE-SW ( $45^\circ$ ), E-W ( $90^\circ$ ), y SE-NW ( $135^\circ$ ), los que se compararon con el variograma omnidireccional.

### b) Modelo de Variograma

Una vez calculado el variograma experimental, se ajustó un modelo estadístico que permita relacionar la estructura observada con el supuesto proceso generador. El modelo que se ajustó corresponde al exponencial, que en términos del variograma (Cressie, 1993), viene dado por

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ c_0 + c \left( 1 - \exp\left(-\frac{\|h\|}{\beta}\right) \right), & h \neq 0 \end{cases} \quad (25)$$

donde  $c_0$  es el efecto *nugget*, que caracteriza la variabilidad de microescala,  $c$  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  $\beta^* = 3\beta$ ).

Los parámetros del modelo fueron estimados a partir del variograma experimental mediante el método de mínimos cuadrados descrito por Cressie (1993), minimizando la siguiente función objetivo

$$\sum_{i=1}^H N(h_i) \left( \frac{\hat{\gamma}(h_i)}{\gamma(h_i)} - 1 \right)^2 \quad (26)$$

donde  $H$  es el número de intervalos en que se divide la distancia entre puntos de muestreo. En esta función de minimización cada residuo al cuadrado se pondera según  $N(h_i)$ , que corresponde al 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).

### c) 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) consiste 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*.

### d) Mapeo por Kriging

Los parámetros del variograma teórico y del *kriging* seleccionados después de la validación cruzada, serán utilizados para calcular las ponderaciones óptimas a ser

asignadas a cada estimación local de densidad, para así estimar la densidad  $Z(x_0, y_0)$  en cada uno de los nodos de la grilla de interpolación  $(x_0, y_0)$  utilizando

$$Z^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i, y_i) \quad (27)$$

donde  $w_i$  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 será estimada de tal forma que el error de estimación ( $\sigma_k^2(x_0)$ ), llamado *varianza de kriging*, sea minimizado (Simard *et al.* 1992).

Una vez realizada la interpolación, sólo aquellos nodos de la grilla que se encuentren dentro de los polígonos de estimación, definidos sobre la base de las estaciones positivas y negativas, serán considerados en el mapeo de la densidad y posterior estimación de la densidad media y biomasa total. La interpolación y posterior mapeo de la densidad de cada recurso sobre el área de estudio se llevará a cabo utilizando el programa SURFER 6.04 (Keckler 1994).

Se utilizó el módulo espacial de S-Plus 4.5 para el cálculo de los variogramas experimentales, Geo-Eas 1.2.1 (Englund y Sparks 1988) para la validación cruzada, y el programa SURFER 7.0 (Golden Software, Inc.) para el *kriging* y posterior mapeo de la densidad.

## **5.7. Caracterización de la condición reproductiva y fracción desovante**

### **5.7.1. Muestras de ejemplares adultos**

Con el objeto de caracterizar la condición reproductiva y determinar la estructura de tallas de ejemplares adultos, el muestreo a bordo consistió en medir la longitud horquilla (LH), determinar el sexo, estado de madurez sexual, y peso de los ejemplares de jurel por lance de pesca. A su vez, se determinó la frecuencia de tallas por lance (adscrito a las pescas en focos de abundancia), como también para el total de lances.

El trabajo en laboratorio consistió en determinar la fecundidad a la talla según estratos de muestreo dentro del área de estudio, y el índice gonadosomático y factor de condición a la talla, y análisis del contenido estomacal de los ejemplares capturados.

### 5.7.2. Relaciones y Variables biológicas

A partir de las variables observadas, se estimó los siguientes parámetros:

#### a) Relación longitud-peso y estado de condición

Como parte de los registros de información relativa a las determinaciones de la longitud horquilla (cm) y el peso (g) de los ejemplares muestreados, se determinó la relación longitud-peso de ejemplares de jurel, cuya forma es la siguiente:

$$PT = a \cdot LH^b \quad (28)$$

donde LH es la longitud horquilla (cm), PT es el peso total (g), y los parámetros  $a$  y  $b$  serán estimados por medio de ajustes no-lineales. Estos parámetros serán estimados con el objeto de determinar el peso promedio a cada talla (edad) de *T. s. murphyi*, convirtiendo luego unidades de peso a número, y de número a peso, según sea el caso.

El factor de condición de Fulton describe la relación entre el peso y la longitud del pez. La magnitud del factor de condición entrega información relativa a la proporcionalidad existente en el incremento en peso de los ejemplares de jurel respecto de su incremento en longitud. Variaciones en el valor de condición pueden deberse a cambios en el estado de madurez o bien debido a diferencias en la intensidad alimentaria y/o disponibilidad de alimento (Wootton 1990). El factor de condición se calcula de la ecuación:

$$k = \frac{PT}{LH^3} \quad (29)$$

donde, PT representa el peso (g) de los ejemplares y LH la longitud (cm) horquilla.

**b) Sexo y estado macroscópico de madurez sexual**

A cada ejemplar se le determinó el sexo a través de la observación directa de las gónadas y la madurez sexual mediante criterios macroscópicos (tamaño, forma, color etc.), clasificando la observación de acuerdo a la escala de madurez específica que se detalla más adelante.

**c) Índice gonadosomático**

Este fue determinado a partir de los individuos seleccionados para el muestreo biológico de cada lance de pesca. Para estos efectos, se determinó tanto el peso total y eviscerado de los ejemplares y el peso de la gónada según la siguiente expresión:

$$\hat{R}(IGS) = \frac{\sum_{i=1}^n G_j}{\sum_{i=1}^n W_j} \quad (30)$$

donde  $G_j$  es el peso de la gónada del ejemplar  $j$ ,  $W_j$  es el peso eviscerado del ejemplar  $j$ ,  $n$  es la muestra de ejemplares.

La medición y el peso de los ejemplares fue en 2 casos realizadas a bordo de las embarcaciones, mediante ictiómetros y balanzas de contrapeso; mientras que en las embarcaciones donde no se tenía balanzas adecuadas a bordo, se realizaron los análisis con posterioridad en el laboratorio húmedo del Instituto de Investigación Pesquera sobre muestras fijadas en formalina al 10% o desde material congelado directamente a bordo.

La información de longitud, peso y sexo, por cada lance de pesca y por cada embarcación, fue almacenada en una base de datos *ad hoc*, para la posterior construcción de la distribución de frecuencias de tallas, por lance de pesca y para el total del área de estudio.

### **5.7.3. Condición reproductiva del jurel en la zona de alta mar**

Para determinar la condición reproductiva del jurel en aguas oceánicas a partir de estados microscópicos de madurez y estudios de fecundidad, se consideró que el muestreo abordo consistiera en abrir los ejemplares desde el ano hasta las aletas pectorales, seleccionando aquellos especímenes vivos, los cuales fueron inmediatamente fijados en formalina al 10% tamponada, ésta se preparó de acuerdo a la metodología considerada tradicional para este tipo de estudios (Santander *et al.* 1984, 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 ( $\text{Na}_2 \text{H PO}_4$ ), 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) Procesamiento de las muestras en laboratorio histológico**

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 micrones 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).

#### **b) 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 basada en los criterios señalados por Oliva *et al.* (1982) para peces teleósteos.

**c) Fecundidad parcial**

Para la determinación de la fecundidad parcial en el presente proyecto se aplicó una modificación al 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, utilizándose todas aquellas hembras que presentaran ovocitos mayores a 500  $\mu\text{m}$ . Lo anterior, se basa en que los ovocitos estarían hidratados, o en fase de migración del núcleo a partir de los 420  $\mu\text{m}$ , con un tamaño promedio de 690  $\mu\text{m}$  (Macewicz & Hunter, 1993). 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 tres segmentos del tejido: uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. En cada submuestra se contabilizó los huevos bajo microscopio estereoscópico. El promedio del número de ovocitos hidratados de las tres submuestras (Hunter *et al.*, 1985) fue utilizado para estimar el número total de ovocitos hidratados del ovario mediante la siguiente expresión:

$$\bar{E}_i = \bar{n} * W_i \quad (31)$$

donde  $\bar{E}_i$  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.

**d) Fecundidad parcial por hembra madura**

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 hembras sin gónada se obtuvo mediante técnicas de regresión. La fecundidad

media poblacional y su varianza se estimó siguiendo la metodología descrita por Hunter *et al.* (1985):

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{E}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (32)$$

donde  $\bar{E}$  es la fecundidad media poblacional,  $m_i$  es el número de peces muestreados en el lance  $i$ ,  $\bar{E}_i$  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:

$$Var(\bar{E}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{(\bar{E}_i - \bar{E})^2}{n-1} + \frac{S_h^2}{n_h} + (w_i^* - w_h^*) S_\beta^2 \right]}{\left( \sum_{i=1}^n (m_i / n) \right)^2 n} \quad (33)$$

donde  $\bar{E}$  es el estimado de la fecundidad media poblacional,  $\bar{E}_i$  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 a regresión,  $S^2(\beta)$  es la varianza de la pendiente de la regresión, y  $n$  es el número de lances.

#### e) 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. En la anchoveta 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 lúmen).

#### **f) Frecuencia de hembras maduras desovantes por día**

La frecuencia de hembras desovantes por día se estimó considerando todas las muestras; es decir sin separar en edades de día 1 y 2, y luego la proporción obtenida fue dividida por 2 bajo el supuesto que la proporción de hembras desovantes fue la misma.

### **5.8. Análisis del contenido estomacal del jurel**

Las muestras fueron obtenidas de lances efectivos de pesca realizados por siete embarcaciones en la zona o área de estudio. En cada lance se separó un promedio de 100 ejemplares de jurel, a los cuales se les determinó sexo, peso y longitud de horquilla (LH), con el número y posición del lance respectivo (**Tabla 3**). Los estómagos extraídos de estos individuos fueron debidamente etiquetados y fijados en formalina comercial al 10% para su posterior análisis en laboratorio. Paralelamente a esto, se obtuvieron

muestras de embarcaciones que realizaron lances de pesca en zonas normalmente utilizadas en esta actividad extractiva en el sector costero (el muestreo se realizó en las líneas de descarga).

El análisis del contenido estomacal consideró la identificación de los ítems presa al nivel taxonómico más bajo posible, dependiendo del grado de digestión del contenido. El bolo alimenticio fue analizado utilizando los métodos gravimétrico, numérico y frecuencia de aparición (Hynes, 1950). En el caso de las presas de mayor tamaño, se midió la longitud total en el caso de peces y la longitud del cefalotórax en el caso de crustáceos.

El análisis e identificación de los recursos alimentarios, se realizó por grupos de individuos clasificados en seis grupos de tamaño que representan la totalidad de los ejemplares capturados (**Tabla 4**).

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, *fide* Hyslop, 1980) modificado. Este índice relaciona el número (N%), peso (P%) y frecuencia de aparición de las presas en los estómagos (todos estos valores expresados en porcentaje)

$$IIR_i = \log[(N_i\% + P_i\%) * F_i\% + 1] \quad (34)$$

El IIR consideró la relación de los resultados tanto en el área de estudio (océano abierto) como en el sector costero.

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

$$IST = \frac{2 \sum_{i=1}^n \min(x_{ij}, x_{ik})}{\sum_{i=1}^n (x_{ij} + x_{ik})} \quad (35)$$

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 sobreposición, por lo que se considera más ventajoso en este tipo de estudios.

En los análisis sólo se consideró las de 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.

## **5.9. Caracterización de la distribución espacial de las agregaciones de jurel**

### **5.9.1. Ecoprospección**

La zona de estudio estuvo comprendida entre las latitudes 32° 05' S a 37° 50'S y entre las longitudes 75° 00' W a 92° 00' W. La superficie de la zona de prospección fue 288.406 mn<sup>2</sup>. La zona fue explorada por 10 embarcaciones de la flota jurelera industrial mediante la aplicación de una red de 20 transectas paralelas entre sí y perpendiculares a la costa que presentaron una separación de 18 mn, cada embarcación efectuó 2 transectas (**Figura 9**).

Las embarcaciones efectuaron la ecoprospección navegando a una velocidad de 12 nudos, durante la navegación registraron la información continua del ecosonda, que se discretizaron en unidades básicas de muestreo (ubm) de 6 minutos cada una.

En cada ubm se recopiló información sobre: tipo de ecotrazos (cardumen, estrato, disperso e individual), la profundidad y la altura de los ecotrazos. Asimismo, con el apoyo del sonar se clasificaron las agregaciones en cuanto a niveles de abundancia en las siguientes categorías:

- Mala = cuando los niveles de captura esperada (nce) eran inferiores a 20 t,
- Regular = cuando los nce eran de 21 a 200 t y
- Buena = cuando los nce eran superiores a 201 t

### 5.9.2. Distribución espacial y morfología de las agregaciones

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

A partir de la información obtenida en área de estudio durante la exploración, se determinó el índice de cobertura, que expresa la cantidad de ubm positivas presente en una unidad de distancia recorrida:

$$IC (\%) = \frac{\sum_{n=1}^M UBM^+}{\sum_{n=1}^N UBM} \times 100 \quad (36)$$

donde  $UBM^{(+)}$  representa los intervalos básicos de muestreo en el área con presencia de ecotrazos.

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

El índice de presencia de ecotrazos es el número de agregaciones por milla náutica lineal. En cada transecta se determinó la posición de los ecotrazos, cada transecta fue discretizada en pasos de 1,2 una milla náutica. Los ecotrazos fueron agrupados en clusters considerando el número de agregaciones observadas por unidad de distancia. Se definió como un cluster simple (CS) cuando se registraron menos de 1,5 agregaciones por milla náutica y clusters complejos (CC) cuando el número de ecotrazos fue mayor. Se estimó el número promedio de agregaciones por clusters de acuerdo a lo propuesto por Soria et al. (1998).

#### c) Descripción de la distribución espacial y la morfología de las agregaciones

La distribución batimétrica y temporal del jurel se proporciona por los tipos de agregaciones (cardúmenes, estratos, disperso e individual) y las clases de agregaciones (buenas, regular y malas) considerando la posición batimétrica de los ecotrazos en un ciclo de 24 horas. La cartografía de la distribución del jurel, en la zona prospectada, se efectuó realizando un ploteo considerando la información por categoría de abundancia (alta, media y baja). La altura de las agregaciones se estima a partir de la posición batimétrica de los ecotrazos en la columna de agua.

### **5.10. Análisis multitemporal de la distribución de los ecotrazos de jurel**

Se comparan cuatro cruceros que se realizaron a fines de primavera, entre los años 1997 y 2000 (**Tabla 5**). Estos tiene 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.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Condiciones bio-oceanográficas asociadas al crucero**

#### **6.1.1. Condiciones Oceanográficas**

Parte del propósito de este estudio fue evaluar la variabilidad ambiental horizontal (respecto de la temperatura) y vertical (temperatura, salinidad y densidad) al interior del área de prospección de huevos de jurel.

El área de estudio abarcó desde los 32°10'S a los 37°50'S y, de los 75°00'W a los 92°00'W. En cada una de las estaciones contempladas en la prospección de huevos de jurel, se evaluó la temperatura superficial del mar (**Figura 3**). De las 20 transectos de estaciones, sólo cuatro contemplaron la realización de lances oceanográficos (CTD) para la evaluación vertical (hasta los 100 m) de la temperatura, salinidad y densidad. Estas transectas fueron realizadas en los 32°10'S (Transecto 1), 33°00'S (Transecto 4), 34°10'S (Transecto 8) y 36°20'S (Transecto 15) (**Figura 3**).

**a) Temperatura superficial del mar**

En el estrato superficial (1 m), la temperatura fluctuó entre los 12,9 y 18,5 °C, con un promedio de  $15,4 \pm 0,979$  °C. La distribución horizontal de la temperatura superficial (**Figura 10**), permite destacar la presencia de un claro gradiente térmico en sentido SE-NW (positivo al NW), con el dominio de aguas cálidas ( $> 18^{\circ}\text{C}$ ) en todo el cuadrante NW y parte del cuadrante SW y aguas comparativamente más frías ( $< 16^{\circ}\text{C}$ ) aproximadamente entre los  $75^{\circ}\text{W}$  y los  $78^{\circ}\text{W}$ . Destacan núcleos de aguas con temperaturas mayores a  $21^{\circ}\text{C}$  sólo en el extremo norte del cuadrante NW ( $< 33^{\circ}\text{S}$ ), entre los  $84$  y  $90^{\circ}\text{W}$ , en tanto que las aguas más frías ( $< 15^{\circ}\text{C}$ ) se registraron en el extremo SE del área de prospección (entre los  $35^{\circ}30'$  y  $36^{\circ}30'$  °S), formando una lengua que sólo alcanzó los  $78^{\circ}\text{W}$ .

**b) Secciones transversales de temperatura**

Se analiza la distribución vertical (hasta los 100 m de profundidad) de la temperatura, salinidad y densidad del agua de mar en las transectas 1, 4, 8 y 15.

Transecta 1 (**Figura 11**):

Esta transecta, situada en el extremo norte del área de estudio, presentó las siguientes características hidrográficas:

- (i) un claro gradiente costa-océano superficial ( $< 30$  m) de la temperatura y la densidad del agua de mar, con aguas más cálidas ( $> 20^{\circ}\text{C}$ ) y menos densas ( $< 24,8$  st) a partir de los  $84^{\circ}\text{W}$  y, más frías ( $< 17,5^{\circ}\text{C}$ ) y densas ( $> 25,0$  st) entre los  $78^{\circ}$  y los  $80^{\circ}\text{W}$ .
- (ii) un mayor grado de estratificación vertical de temperatura y densidad en el sector occidental, con una termoclina/picnoclina situada entre los 10 y 30 m de profundidad, las que se profundizan y se hacen menos intensas hacia el extremo oeste del transecto ( $> 89^{\circ}\text{W}$ ). Por el contrario, la mitad oriental de la transecta presentó menores gradientes verticales, situación que se acentúa hacia el extremo oriental de la transecta donde no se observa termoclinas ni picnoclinas, sino una columna de agua (primeros 40 m) bien mezclada

verticalmente, centrada en la isoterma de 17 °C y la isopícnas de 25,1 y 25,2 st.

- (iii) el ascenso de la isoterma de 17°C y de las isopícnas 25,4 y 25,5 st desde los 70 m (región occidental) hasta los 10-20 m (región oriental), divide en dos la estructura vertical de la columna de agua en el transecto, denotando la presencia subsuperficial (>60 m) de aguas más frías (< 14,5 °C) y más densas (> 25,6 st) en la mitad oriental del transecto, entre los 75° y los 87°W.
- (iv) una distribución de salinidad con leve variación lateral (costa-océano), detectándose la presencia de aguas menos salinas (<34,0 psu) en el sector oriental del transecto (hasta los 81 °W) y aguas con salinidades mayores a 34,3 psu a partir de los 82°W, situación que se interrumpe por la presencia superficial (< 30 m) de un núcleo de menor salinidad situado entre los 86 y 89°W. Por el contrario, la distribución vertical de salinidad no mostró variaciones significativas, verificándose una columna homogénea en gran parte del transecto, sin la presencia de haloclinas.

**Transecta 4 (Figura 12):**

Las características hidrográficas de la columna de agua descritas para la transecta 1 se acentúan en la transecta 4, situada en los 33°00'S, la que estuvo caracterizada por:

- (i) La ausencia de aguas superficiales con temperaturas mayores a 21 °C, un gradiente costa-océano similar en el estrato superficial (< 30 m), que se acentúa por la incorporación de aguas con temperaturas menores a 16 °C en el extremo oriental de la transecta.
- (ii) Un mayor grado de estratificación vertical (de temperatura y densidad) en el sector occidental del transecto, entre los 84°W y los 92°W, con una termoclina/picnoclina situada entre la superficie y los 20 m, las que se profundizan (hasta los 30-40 m) en el extremo oeste del transecto (> 90°W). Por el contrario, al oriente de los 82°W, los primeros 40 m de la columna de

agua presentaron una estratificación térmica y de densidad mucho menor, quedando virtualmente homogénea hacia el extremo oriental del transecto.

- (iii) Las aguas subsuperficiales fueron más frías ( $<14,5$  °C), menos salinas ( $<33,8$  psu) y más densas ( $>25,6$  st) en comparación con la transecta 1, que se encontraban circunscritas al sector oriental de la transecta, ahora se expande hacia el oeste sobrepasando los  $88^{\circ}\text{W}$  y aumentando su cobertura hacia la superficie, alcanzando los 40-50 m de profundidad.
- (iv) La distribución vertical de la salinidad en esta transecta difiere de la anterior en relación a la presencia, en gran parte del transecto, de aguas menos salinas ( $<34,9$  psu), relegando aguas con mayor salinidad ( $>34,4$  psu) hacia el extremo oceánico de la transecta ( $>90^{\circ}\text{W}$ ), lo que genera un gradiente salino lateral entre los  $88^{\circ}\text{W}$  y los  $90^{\circ}\text{W}$ .

#### Transecta 8 (**Figura 13**):

La transecta 8 estuvo situada a los  $34^{\circ}20'\text{S}$ . Las características hidrográficas de la columna de agua en esta transecta se resumen a continuación:

- (i) La ausencia de aguas superficiales con temperaturas mayores a  $19$  °C. Un gradiente costa-océano en el estrato superficial ( $<30$  m), similar al descrito para la transecta precedente; no obstante se verifica aguas superficiales más frías en la región costera, donde la isoterma de  $16^{\circ}\text{C}$  no sobrepasa los  $80^{\circ}\text{S}$ .
- (ii) A partir de los  $82^{\circ}\text{S}$  y hasta el extremo occidental del transecto, se observó un mayor grado de estratificación vertical (de temperatura y densidad), con una termoclina/picnoclina situada entre la superficie y los 20 m, y entre la superficie y los 40 m para la temperatura y densidad, respectivamente. Por el contrario, esta estratificación vertical de la temperatura y densidad no se verifica en el extremo oriental del transecto, entre la costa y los  $80^{\circ}\text{S}$ , notándose un estrato superficial ( $<40$  m) bien mezclado, caracterizado por la isoterma de  $15,5^{\circ}\text{C}$  y la isopicna de  $25,4$  st, situación que se acentúa a la ya descrita para la transecta 4.

- (iii) De igual manera a lo reseñado para la transecta 4, aquí las aguas subsuperficiales más frías ( $<14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), menos salinas ( $< 33,8\text{ psu}$ ) y más densas ( $> 25,6\text{ st}$ ) se distribuyeron más hacia el oeste, alcanzando por primera vez el extremo occidental del transecto, e incrementó aún más su cobertura hacia los estratos superficiales de la columna de agua, donde la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$  alcanza los 40 m en la primera mitad del transecto. Aguas con temperaturas menores a  $13^{\circ}\text{C}$  se ubicaron sólo en el extremo costero (entre los  $75^{\circ}$  y los  $80^{\circ}\text{W}$ ) y en el estrato de 80-100 m de profundidad.
  
- (iv) La distribución vertical de la salinidad en esta transecta revela la presencia de aguas más salinas ( $> 34,5\text{ psu}$ ) en la mitad oceánica del transecto (entre los  $85^{\circ}$  y los  $92^{\circ}\text{S}$ ) dominando toda la columna de agua. En tanto, en el extremo costero, se verificó aguas menos salinas ( $< 33,8\text{ psu}$ ) principalmente en el estrato superficial.

**Transecta 15 (Figura 14):**

En general, las características hidrográficas descritas para la transecta 8, se acentúan en la transecta 15, situada a los  $36^{\circ}30'\text{S}$ . Las características de la columna en esta transecta se resumen a continuación:

- (i) Un estrato superficial ( $<15\text{ m}$ ) bien caracterizado por la isoterma de  $17^{\circ}\text{C}$ , a excepción de la región costera que presentó temperaturas menores a  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  y, dos lentes de aguas levemente más cálidas ( $> 18^{\circ}\text{C}$ ) situados en los  $82^{\circ}\text{W}$  y en los  $86\text{-}88^{\circ}\text{W}$ .
  
- (ii) La estratificación vertical de la temperatura y la densidad del agua de mar se observó, esta vez, a lo largo de prácticamente todo el transecto, presentando una mayor capa de mezcla ( $> 15\text{ m}$ ) en comparación con las transectas anteriores, salvo en el sector costero; una termoclina/picnoclina levemente más intensa, situada entre los 15 – 25 y los 15 – 30 m de profundidad para la temperatura y densidad, respectivamente.

- (iii) La presencia de aguas subsuperficiales más frías ( $<14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), menos salinas ( $< 33,8\text{ psu}$ ) y más densas ( $> 26,0\text{ st}$ ) se distribuyeron, en esta ocasión, a lo largo de todo el transecto, dominando el estrato entre los 40 y 100 m de profundidad. Asimismo, aguas más frías ( $< 13^{\circ}\text{C}$ ), relegadas sólo al extremo oriental en la transecta anterior, se verifican en gran parte del transecto, situándose entre los 60 y 100 m de profundidad.
  
- (iv) La distribución vertical de la salinidad en esta transecta revela la presencia de aguas menos salinas ( $< 33,9\text{ psu}$ ) en gran parte del transecto, dominando la columna de agua entre los  $75^{\circ}$  y los  $88^{\circ}\text{S}$ . Sólo en el sector más oceánico de la transecta se detectó aguas con salinidades mayores, generando, en este sector un gradiente lateral importante en esta variable.

#### Diagramas TS

En virtud a que la profundidad máxima de muestreo en los lances de CTD no sobrepasó los 100 m de profundidad, las masas de agua reconocibles en este estrato fueron: Aguas Subtropicales en la región noroccidental del área de estudio y Aguas Subantártica (ASAA) en la región oriental, correspondientes al brazo oceánico de la Corriente de Humboldt (Rojas & Silva, 1996); además de mezcla entre ambas masas de agua (**Figura 15**).

### 6.2. Distribución superficial de la biomasa fitoplanctónica

La descripción de la distribución de la biomasa fitoplanctónica fué realizada utilizando la biomasa total o clorofila total (clot) debido a que en ambientes oligotróficos es muy difícil discriminar los tipos de clorofila presentes, por la naturaleza compleja de la composición quimiotaxonómica de la población fitoplanctónica en ambientes oligotróficos.

La distribución espacial de gran escala de la clot (**Figura 16**) indica que entre las latitudes  $35^{\circ}$  a  $37^{\circ}\text{S}$  y las longitudes  $75^{\circ}$  a  $92^{\circ}\text{W}$ , ésta se distribuyó de un modo cuasi continuo, con valores en el rango 75 a 100 ng/L, con algunas discontinuidades entre las longitudes 86 a  $92^{\circ}$  oeste, producto de la intrusión de una masa de agua con valores inferiores a 75

ng/L. Entre los 32 y 35°30' S, es posible observar en toda la zona la predominancia de valores inferiores a 75 ng/L, con algunos núcleos mayores de 100 ng/L distribuidos en forma aleatoria, es decir no existe un patrón de continuidad espacial.

Los valores mayores de 100 ng/L, se situaron preferentemente en las estaciones mas cercanas al continente, es decir entre las longitudes 75 a 78° W y las latitudes 32 a 35° S. Al sur de esta zona (35° S) los valores mas altos de clot tendieron a distribuirse en forma más homogénea en toda la zona muestreada, estando presentes en la totalidad de la última transecta realizada (37° 12' S).

La temperatura superficial (**Figura 16**) presentó una zona de altos registros, es decir entre 19 a 23 °C, en la parte mas externa del área, con una banda continua de temperaturas inferiores a 18 y que llegó hasta los 15 °C, en las cercanías del continente. Al mismo tiempo se presentaron pequeños núcleos de bajas temperatura en zonas de alta temperatura, los que originalmente deben haber sido generados en la zona más costera y transportados hacia el oeste.

Es particularmente conspicua la distribución de las isotermas de 17 a 18 °C las que se distribuyeron latitudinalmente en forma cuasi homogénea en toda el área. Estos valores de temperatura representarían una zona de transición entre dos masa de agua, lo que afectó a la distribución de la clot, ya que esta tendió a acumularse en estas zonas de gradientes oceánicos (**Figura 16**).

#### **a) Asociación entre la biomasa fitoplanctónica y el campo térmico.**

Al asociar la distribución de la clot con la temperatura superficial (**Figura 17**) es posible observar una segregación en la distribución de la clot respecto de la temperatura, siendo particularmente visible que bajo los 18 °C se localizaron la mayoría de los valores superiores a 100 ng/L, llegando a mayores de 400 ng/L en última transecta realizada (37° 12' S). También es posible observar como algunos núcleos de baja temperatura (i.e. < a 18 °C) se presentaron en forma esporádica y tenían asociados valores altos de clot en zonas de baja concentración.

En la **Figura 17**, es posible observar como bajo los 18 °C se distribuyó el 72 % de los valores mas altos de clot, mientras que desde esa temperatura hasta los 23 °C la mayoría de los valores corresponden a valores inferiores a 75 ng/L. Además si se grafica los valores promedio de clot por cada grado de temperatura, en el rango 15 a 23, es posible observar una estrecha relación entre la distribución de los pigmentos y la temperatura superficial. Lo que indica que en estos ambientes la distribución del campo térmico tiene profundos efectos sobre la distribución de la biomasa fitoplanctónica. Especialmente lo que esta relacionado con la formación de discontinuidades (frentes) en el campo térmico y la mayor agregación de biomasa vegetal.

### **6.3. Temperatura superficial del mar (TSM) mediante imágenes satelitales de alta resolución.**

Durante todo el período de realización del crucero, se obtuvo un total de 6 imágenes diarias de la TSM, cuya cobertura nubosa fue inferior al 25% del área total, las que se indican a continuación:

- noviembre de 2000: días 23, 24, 27, 28, y 29
- diciembre de 2000: día 01

utilizando todas estas imágenes se procedió a elaborar una imagen representativa del período utilizando los métodos del promedio excluyendo el efecto de nubes, denominado “sin ceros” (**Figura 18**) y de los valores máximos (**Figura 19**).

La imagen resultante del método sin ceros presentó en prácticamente todo el sector sur y suroeste abundante nubosidad y la presencia de valores de TSM muy bajos asociados al efecto de nubes. Lo anterior es producto que todas las imágenes diarias utilizadas presentaron abundante nubosidad en el mismo sector, y por lo tanto, a pesar de utilizar un método para evitar el efecto de las nubes, éstas persistieron. Por lo tanto, se decidió utilizar la imagen de valores máximos, siendo complementada con la información de la imagen sin ceros, y teniendo en cuenta el efecto de sobrestimación de las temperaturas por efecto de su metodología de cálculo.

La imagen resultante de valores máximos de TSM para el período del crucero, abarca un área mayor a la comprendida en el crucero de prospección (**Figura 19**). En general, las temperaturas fluctuaron entre 11° y 23°C, con un claro gradiente en sentido este-oeste. En la región más próxima a la costa se observan aguas frías menores a 15°C, asociadas a eventos de surgencia costera característicos para la estación. El área de influencia de estas aguas es muy amplia y alcanza hasta los 76°W, cerca de 150 mn de la costa. Es precisamente en esta región, donde la TSM es cerca de 1°C mayor a la registrada en la imagen sin ceros, indicando por lo tanto que la intensidad de la surgencia es mayor que la observada en la imagen de valores máximos (**Figuras 18 y 19**).

En la región de prospección (recuadro de trazos cortos en **Figura 19**), las temperaturas fluctuaron entre 14° y 23°C, con un gradiente sureste-noroeste, y un predominio de aguas cálidas con TSM sobre 17°C. Los valores máximos corresponde a una lengua de aguas cálidas (TSM sobre 20°C) que se extiende desde el extremo norte hasta los 35°S. En general, los gradientes térmicos son mas bien moderados y se incrementan hacia el noroeste, esto es, gradientes entre la TSM de 15° y 16°C son los menores y los gradinetes entre 20 y 21°C, mayores.

De la información proveniente de terreno, específicamente de los registro de TSM obtenidos en cada una de las estaciones de plancton, se elaboró una carta de TSM para toda el área de prospección y que comprendió el período entre el 24 de noviembre y 02 de diciembre de 2000 (**Figura 20**). En general, la imagen muestra la misma distribución de TSM que la imagen de valores máximos, con menores valores máximos de la TSM, fluctuando en un rango entre 14° y 21°C. La distribución de las TSM de 14° y 17°C es casi idéntica entre ambas imágenes, incluso es posible reconocer la lengua de aguas frías de 14°C asociadas a surgencias costeras. Sin embargo, hacia el norte del área, a partir de las TSM de 18°C, la temperatura se incrementa en forma mucho más moderada que en la imagen de valores máximos, con pequeños núcleos de aguas de TSM de 21°C en el extremo norte del área de prospección (**Figura 20**).

Adicionalmente, se elaboró una imagen de las diferencias entre ambas imágenes (imagen de valores máximos-imagen de valores de terreno). La mayor parte de la imagen resultante presentó anomalías entre -1° y +1°C, es decir menores a 1°C de diferencia, lo que indica un aceptable grado de coincidencia entre ambas fuentes de información. Del

mismo modo, en la porción media del área al norte de 36°S, predominaron las anomalías positivas mayores a +1°C. Los valores máximos de +2 y +3°C, se presentaron en la región delimitada entre 33° - 35°S y 82° - 86°W (**Figura 21**).

También se realizó una comparación entre la distribución de la TSM del crucero realizado en el año 2000 y la TSM del crucero realizado en 1999, para ello, se eligió la imagen de TSM compuesta de los días 13 y 14 de diciembre (**Figura 22**). En general, la imagen de diciembre de 1999, muestra una condición con TSM similar al 2000, sin embargo en la región más costera, las temperaturas son mayores y predominan en grandes extensiones (hasta los 78°W) las TSM de 16°C. Las aguas frías de surgencia menores a 14°C poseen una menor distribución longitudinal, sin embargo en los focos de surgencia se reconocen mayores áreas con aguas de 11°C. Por otra parte, hacia el extremo norte, las temperaturas son menores a las registradas en el año 2000, con valores máximos de TSM de 21°C (recuadro de trazo largos en **Figuras 19 y 22**).

Para facilitar el análisis, se elaboró una carta de anomalías entre ambos cruceros (imagen TSM noviembre/diciembre año 2000 - imagen TSM diciembre año 1999), la que se muestra en la **Figura 23**. En esta figura, predominan las anomalías negativas moderadas (-1°C) desde la costa hasta los 80°W, y en la región más oceánica al sur de los 37°S. Al norte de 37°S, entre 82° y 87°W, predominaron las anomalías positivas moderadas (+1°C), con pequeños núcleos de +2° y +3°C.

En resumen, podemos señalar que las condiciones de la TSM, obtenidas de satélites, en el área de prospección en noviembre/diciembre de 2000, presentaron una distribución característica con un claro gradiente este-oeste y con un rango de temperaturas entre 14° y 23°C. Además, la distribución de la TSM elaborada a partir de datos de terreno es muy similar a la información satelital y sólo se observan diferencias positivas moderadas (+1°) en la región central y norte del área de estudio. Estas diferencias reafirman la idea que los valores máximos obtenidos desde la imagen satelital están levemente sobrestimados por el método utilizado para la elaboración de la carta promedio. Finalmente, podemos mencionar que las condiciones de la TSM registradas en el crucero del año 2000, con respecto al año 1999, son levemente más cálidas (+1°C) en la región norte y oceánica, y moderadamente más frías (-1°C) en la región más costera y sur.

#### 6.4. Distribución de huevos y larvas

Durante el crucero de noviembre de 2000, se observó una amplia cobertura de huevos de jurel en el área de estudio, detectándose más allá de los 78°W extensas zonas de concentración de huevos (**Figura 24**).

Las estaciones positivas (con presencia de huevos de jurel), representan un 75% de la muestra total (660 de 880 estaciones) lo que es un indicio del alto grado de cobertura espacial de las áreas de desove y de la existencia de diversos núcleos de desove. La densidad media para el área de estudio fue de 444,2 huevos·10 m<sup>2</sup>, densidad menor a la registrada en noviembre de 1999 (561,7 huevos·10 m<sup>2</sup>). La densidad media considerando solo a las estaciones positivas, fue de 592,2 huevos·10 m<sup>2</sup> (noviembre de 1999: 772,6 huevos·10 m<sup>2</sup>) (**Tabla 6**).

En el caso de las larvas de jurel, éstas muestran un alto grado de distribución y repartición en gran parte del área de muestreo. La proporción de estaciones positivas fue incluso mayor que para los huevos (77%) y superior al 66,8% que mostraron las larvas en noviembre de 1999 (**Figura 25, Tabla 7**); esto a pesar del incremento en el área de evaluación en noviembre de 2000.

Las larvas de jurel mostraron mayores focos entre los 83 y 89°W (**Figura 25**). La densidad media de larvas considerando solo las estaciones positivas fue de 347 larvas·10 m<sup>-2</sup> (C.V.= 1,09), cifra mayor a las 289 larvas·10 m<sup>-2</sup> (C.V.= 1,15) registradas en noviembre de 1999.

Tanto para huevos como para larvas en este crucero se logró evaluar los principales focos, disminuyendo la densidad hacia los bordes del área de estudio.

##### a) Asociación de huevos (larvas) con la temperatura superficial

Las larvas y huevos del jurel estuvieron significativamente asociados a la temperatura superficial del mar ( $P = 0.0001$ ) durante el crucero del año 2000 (**Figura 26; Tabla 8**). Las larvas y huevos de jurel se encontraron preferentemente en aguas con rangos de temperatura entre 17.5-20.5 °C y 17-20.5°C respectivamente.

La fuerte asociación encontrada entre la temperatura superficial del mar y la densidad de los estadios tempranos del jurel 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 (**Tabla 8, Figura 27**). Sin embargo, se aprecia cierta variabilidad en los rangos preferenciales de temperatura tanto para huevos y larvas con valores  $>15.5^{\circ}\text{C}$ ,  $>17.3^{\circ}\text{C}$  y  $>16.8^{\circ}\text{C}$  para los cruceros de diciembre 1998, noviembre 1999 y diciembre 1999, respectivamente. En este contexto, es importante destacar que los cruceros del 1998 y 1999 no lograron cubrir todo el área de distribución de los huevos.

Al combinar la data de los cuatro cruceros disponibles (**Figura 28**) se puede concluir que las larvas y huevos del jurel presentan preferencias por aguas cálidas con temperaturas que por lo general varían entre 17 y  $20.5^{\circ}\text{C}$  ( $P=0.0001$ ).

## **6.5. Producción de huevos**

### **6.5.1. Hora de desove**

Se utilizó la frecuencia de estadios de desarrollo de los huevos de jurel para identificar la hora del desove. La frecuencia de estadios agrupados en intervalos de 1 hora se muestra en la **Figura 29**, donde el eje de la abscisa indica la hora del día en sentido inverso (de mayor a menor). Se observa que el estadio I comienza a aparecer en las muestras a partir de 19 horas, alcanzando una mayor frecuencia a las 23 horas. El estadio II, alcanza una mayor frecuencia después de las 24, a la 1 de la madrugada. El estadio III cubre una mayor cantidad de horas, pero con máximos relativos entre las 6 y 10 de la mañana, mientras el estadio IV presentó una mayor frecuencia entre las 12 y 16 horas.

La frecuencias relativamente mayores del resto de los estadios pueden ser seguidos respecto de la hora del día, pero debido a que estos estadios han sido colectados en cualquiera de las hora del día dicha evolución no parece tan clara.

En la **Figura 30** se presenta la distribución de ocurrencia de huevos de jurel colectados en noviembre de 1999. Se observa que el estadio I ocurre con mayor frecuencia entre las 23 y 24 horas, siguiendo el estadio II entre la 1 y 2 de la madrugada. Sin embargo, en 1999

se observó una mayor frecuencia del estadio II durante la mayor parte del día (13 a 20 horas), lo que podría tratarse de una alteración en el patrón de desove de alguna cohorte de huevos.

No obstante lo anterior, para los fines de este estudio se ha considerado que la hora del desove del jurel ocurre a las 23:30 horas.

### **6.5.2. Incubación de huevos**

El estadio más temprano encontrado en las muestras fue el III, por lo tanto, todas las incubaciones comenzaron a partir de ese estado de desarrollo.

Las réplicas obtenidas de cada una de las temperaturas de incubación (17 y 19°C) fueron tratadas con un análisis de la varianza con el objeto de agrupar las réplicas de cada temperatura en un solo grupo. Para ambas temperaturas, los análisis no arrojaron diferencias significativas (**Tablas 9 y 10** respectivamente), por lo tanto para todos los análisis y ajustes de los modelos se trabajó con un solo grupo de datos por temperatura.

Con respecto a los tiempos de incubación de los huevos de jurel, para la temperatura de 17 °C los huevos alcanzan el estadio XI en 55,19 horas; en cambio, para la temperatura de 19 °C, sólo en 50,5 horas. Esta diferencia se corroboró mediante un análisis de la covarianza que verificó la existencia de diferencias significativas de los tiempos de incubación entre temperaturas (**Tabla 11**).

La edad promedio observada por estadio de desarrollo y temperatura de incubación se presentan en la **Tabla 12**. La relación existente entre la edad promedio (horas), estadio y temperatura fue establecida mediante una regresión lineal múltiple del logaritmo natural de la edad promedio sobre el estadio (i) de la forma:  $\ln y = \ln a + b i + c \ln (i)$ . Los valores de los parámetros a, b y c para cada temperatura se muestran en la **Tabla 13**.

Aunque el experimento de incubación a 15 °C no se pudo realizar, de todas maneras se ajustó el modelo generalizado que permite obtener la edad promedio en función del estadio y la temperatura. La función encontrada queda definida por:

$$Y_{i,t} = 1,744 * \exp(-0,056 * t - 0,185 * i) * (i)^{2,671}$$

donde  $Y_{i,t}$  es la edad promedio (horas) del estadio  $i$  a la temperatura  $t$  ( $R^2=0,954$ ;  $p<0,05$ ). Este modelo fue utilizado para estimar la edad promedio de los huevos de jurel, considerando que entre  $17^\circ\text{C}$  y  $19^\circ\text{C}$  habrá una interpolación de edades, mientras que fuera de estos rangos la edad estimada consistirá en una extrapolación. No obstante, se debe señalar que el rango de edades teóricas extrapoladas parecen ser bastante razonables (**Tabla 14** y **Figura 31**)

La sobrevivencia de los huevos de jurel en los experimentos de incubación se presenta en la **Figura 32** por muestra (réplica). La mortalidad fue variable en cada experimento, y la más baja sobrevivencia de huevos vivos que llegó al final del experimento (55 horas) fue cercana de 10%.

La sobrevivencia promedio se muestra en la **Figura 33**, la tasa de mortalidad por hora fue similar para los dos experimentos alcanzando cerca de 0,6 por día ( $17^\circ\text{C} = 0,0253$  por hora;  $19^\circ\text{C} = 0,0246$  por hora).

### 6.5.3. Distribución de edades

La distribución de edades de los huevos de jurel, agrupados en intervalos de 0,25 y 0,5 días para el total del área se presenta en la **Figura 34**. Las diferencias entre la distribución de edades corregidas y no corregidas es pequeña, lo que se debe principalmente a la pequeña diferencia entre las 23:30 horas y las edades no corregidas que asumen las 24 horas.

### 6.5.4. Mortalidad de huevos y Producción diaria promedio

La tasa instantánea de mortalidad total y la producción diaria promedio de huevos se estimó ajustando la Ecuación (22) a los datos de abundancia por edad corregida (**Figura 35**). El resumen estadístico de la estimación de los parámetros se presenta en la **Tabla 15**, comparándolos con las estimaciones obtenidas para el crucero de noviembre de 1999 bajo los mismos criterios metodológicos.

La producción diaria promedio de huevos en 10 m<sup>2</sup> experimentó una disminución significativa en noviembre de 2000 en relación con noviembre de 1999. Sin embargo, la tasa instantánea de mortalidad total fue similar en ambos períodos (**Tabla 15**). El área de desove se estimó considerando el área cubierta por las estaciones positivas, y a su vez incorporando las estaciones negativas que se encontraban rodeadas de estaciones positivas. En noviembre de 2000, el área de desove fue de 746786 Km<sup>2</sup>, lo que representó un incremento de 18,5% respecto de noviembre de 1999. Al considerar el área de desove se tiene que la producción de huevos habría sido de  $1,856 \times 10^{13}$ , en comparación con la producción de  $2,608 \times 10^{13}$  huevos en noviembre de 1999. Es decir, en noviembre de 2000 la producción de huevos disminuyó en 44,4% respecto de noviembre de 1999.

## **6.6. Modelación de la distribución espacial de huevos y larvas**

### **6.6.1. Modelo GAM**

Se incluyó la temperatura superficial del mar, latitud y longitud en un modelo GAM, cuyos resultados indicaron que las tres variables fueron importantes para explicar la distribución de huevos de jurel. Los resultados de la aproximación exploratoria se presentan en la **Figura 36**, donde se observa que la distribución de huevos se incrementa fuertemente desde los 32°S hasta los 35°S, donde alcanza valores máximos. Posteriormente, la abundancia disminuye gradualmente hasta los 38°S. Longitudinalmente, la densidad de huevos se incrementa exponencialmente después de los 75°W hasta alcanzar máximos entre los 85-88°W, para luego disminuir suavemente. El efecto de la temperatura es menos claro, pero indica un incremento progresivo con el aumento de la temperatura. El incremento fuerte después de 20°C no es significativo debido al bajo número de observaciones y la divergencia de los límites de confianza.

En el caso de las larvas, se observa una distribución similar a la señalada para los huevos. Sin embargo, la mayor distribución de larvas ocurre entre los 34° S, es decir ligeramente más al norte que la distribución de huevos (pico en 35°S, **Figura 36**). Longitudinalmente, se observa una distribución similar a la de los huevos, mientras que en función de la temperatura se observa que la abundancia de huevos se incrementa progresivamente con esta variable hasta los 19°C.

### 6.6.2. Análisis geoestadístico

#### a) Análisis estructural

Los variogramas, omnidireccional y direccional, mostraron una estructura espacial evidente para la densidad de huevos de jurel, con un efecto “nugget” alto, y un “sill” a un rango superior a las 400 mn (**Figura 38**). El comportamiento del variograma fue similar en las diferentes direcciones, con una disminución después de las 300 km en la dirección Este-Oeste (90°).

La similitud entre el variograma omnidireccional y direccional indica que la misma variabilidad ocurre en todas las direcciones. No obstante, se observa un sill más evidente en la dirección 45°, aunque de magnitud similar al omnidireccional. Se debe señalar que si bien se reconoce una tendencia a incrementar con la distancia, el efecto nugget es muy alto de tal manera que el “sill” solo se alcanza a distancias muy grandes (>400 km). En otras palabras, en distancias mayores a 400 km habría independencia en la densidad de huevos de jurel.

El ajuste de un modelo exponencial, indica los siguientes valores para el variograma teórico:

Nugget	=	244533,4
Sill	=	264960,7
Range	=	830410,78 m (= 830,4 km)

Se utilizó la función objetiva recomendada por Maravelias et al. (1998). En este modelo el rango del variograma indica que la densidad de huevos de jurel es independiente en distancias mayores a 830 km.

## **6.7. Caracterización condiciones biológicas adultos**

### **6.7.1. Lances de pesca**

Se efectuaron 22 lances con redes de cerco o mediagua para la obtención de ejemplares de jurel y su posterior estudio reproductivo y de fecundidad. Sin embargo, 16 de los 22 lances efectuados fueron positivos para la obtención de muestra de jurel y 6 de ellos no registraron capturas o bien fueron efectuados sobre otros recursos (i.e. mictófidis). La localización de los lances de pesca efectuados (positivos en azul) se presenta en la **Figura 39**.

Una vez terminados los transectos de prospección, las naves se dirigieron a 2 zonas de pesca localizadas al oeste de Punta Tumbes y Punta Lavapié entre los 35-36°S y 74-75°W (**Figura 39**). En esta zona se efectuaron otros 8 lances de pesca con toma de muestra. Un resumen del nivel de capturas obtenidas por las embarcaciones se presenta en la **Tabla 16**.

### **6.7.2. Estructura de tallas de las muestras obtenidas**

La estructura de tallas de los muestreos realizados en las diferentes áreas de operación es presentada en las **Figuras 40 y 41**. No se intentó ponderar la estructura de tamaños por las capturas obtenidas debido a las diferencias espacio-temporales entre las capturas de los transectos de prospección, como también debido a las diferencias en los volúmenes de captura. La captura puede diferir sustancialmente de lo estimado a partir de lo señalado por los instrumentos acústicos. Además, la captura con red de cerco se basa en “arriar” cantidades significativas de peces o de tamaño comercial y no sería un arte adecuado en condiciones de distribución dispersa del recurso objetivo.

La estructura de tallas en el área de prospección, indica que la proporción de ejemplares bajo la talla mínima legal fue de 27% en número con moda principal en los 26-27 cm LH y un rango de tamaños entre 21 y 54 cm (**Figura 40**). La mayor presencia de individuos bajo talla se observó en los lances realizados al norte de los 34°S. En los lances de pesca comercial (zona de pesca localizada al oeste de Punta Tumbes y frente a Punta Lavapié,

**Figura 39**), se registraron ejemplares con moda en 28-29 cm LH y menos de 0,1 % de ejemplares bajo talla (**Figura 40**).

En la **Figura 41** se resume la distribución de tamaños por sexos de las capturas efectuadas en la región de evaluación durante los días de prospección y desde los lances presentados en la **Figura 39**.

La estructura global registra individuos en el rango 22-54 cm LH, con un marcado predominio de los ejemplares de tallas entre 25 y 29 cm LH. Sin embargo, se observa que el tamaño de las hembras pertenecientes a la moda principal (26 cm LH) es 1 cm inferior a la moda dominante de los machos (27 cm LH; **Figura 41**). Se observa un leve incremento o desplazamiento de la moda principal con respecto a la observada en noviembre de 1999 (24-25 cm LH).

### 6.7.3. Condición reproductiva

En la **Figura 42** se muestra la distribución espacial de los lances de pesca realizados por cada embarcación durante el crucero de investigación (transectas) y los lances de pesca costeros (ver **Tabla 17**), desde los cuales se obtuvieron muestras de frecuencia de tallas y de hembras maduras.

La distribución de frecuencia de tallas del total de hembras analizadas se presenta en la **Figura 43**, observándose prácticamente el 95% entre los 20 y 30 cm LH. El rango fluctuó entre los 20 y 49 cm LH, siendo la moda 26 cm LH.

#### a) Factor de condición

El factor de condición de las hembras de jurel se presenta en la **Tabla 18**, donde se observa que fluctuó entre 0,945 y 1,047 (promedio 0,987; CV=27,4%). Estos valores indican una condición satisfactoria de las hembras de jurel en alta mar. Aunque las hembras capturadas por el PAM Malleco y Paniahue presentaron la mejor condición, no se pudo establecer alguna relación con los indicadores reproductivos.

#### b) Estados de madurez sexual (EMS)

De acuerdo a la información recolectada en las transectas, a bordo se identificaron 4 estados de madurez sexual macroscópica (EMS) para las hembras, los cuales correspondieron a: 1: inmaduro 2: madurando; 3: maduro y 4: hidratado, según la escala de 5 puntos (**Tabla 19**). En general para el total de los individuos analizados se observa que casi el 70% se encuentra en estado 3 o maduro, cerca de un 20% en estado 4 (hidratado) y una fracción levemente menor en estado 2 (madurando) (**Figura 44**).

Al separar los individuos por cada embarcación se puede observar que en el caso de los barcos Vikingo, El Cazador y Don Boris casi el 100% de los ejemplares presentaban un estado 3 de madurez. En el caso de las embarcaciones Paniahue, Malleco, Ligrunn y Javier, si bien es cierto el EMS 3 dominó, también hubo presencia de hembras en EMS 2 (**Figura 45**).

Al separar las frecuencias de los distintos estados de madurez (EMS) por lance y barco, se observó una situación similar a la anteriormente descrita, particularmente en los PAM Paniahue, Ligrunn, y El Cazador en que se realizaron más de un lance (**Figura 46**). Solamente en el tercer lance del PAM Javier, ocurrió una situación diferente; esto es, una mayor proporción de ejemplares en EMS 2. El lance de este PAM no se consideró porque corresponde a una muestra costera, fuera del área del crucero.

#### c) Índice gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) fue calculado para las hembras y posteriormente fue promediado por intervalos de 1 cm de longitud horquilla, no observándose una tendencia clara entre el IGS y la talla (**Figura 47**). En parte, la variabilidad observada en las tallas mayores a 30 cm se debería a la baja frecuencia de esta fracción. Por otra parte, es característico que en especies desovantes parciales como el jurel se observe variabilidad en el IGS, ya que al avanzar la temporada de desove los individuos podrían haber liberando gradualmente su carga de ovocitos.

En términos espaciales, el IGS promedio por lance no muestra un patrón definido, tanto en un sentido Norte-Sur como en un sentido Este-Oeste (**Figura 48**). No obstante, hacia

el sur del máximo valor registrado en el 35°47'S se observa una leve tendencia a disminuir en el IGS. De la misma manera, en el sentido Este-Oeste también se podría considerar que hay una leve tendencia en el IGS a aumentar desde las muestras más costeras hacia aquellas más oceánicas, que alcanzan valores promedio máximos en los 83°59'W, 85°W y 90°W.

El análisis del IGS en función de la talla en cada una de las embarcaciones (**Figura 49**), revela valores similares de IGS, con valores individuales en la fracción de tallas mayores a los 30 cm LH. En efecto, la mayor frecuencia de las hembras totales cubrió el rango de tallas 20-30 cm LH, mientras que las hembras de mayor tamaño fueron poco frecuentes.

d) Fecundidad parcial de jurel durante el período de desove

Para el cálculo de la fecundidad parcial, se procesaron 198 gónadas de jurel, incluyendo las 24 gónadas provenientes de lances costeros que estaban fuera del crucero, pero que aportaban con ejemplares de tamaños mayores (31-51,5 cm de LH) y claros indicios de hidratación. De las 198 muestras anteriores, se seleccionaron 164 considerando la exclusión de gónadas con presencia de folículos postovulatorios y sólo aquellas que reunían las condiciones de madurez gonadal y diámetros de ovocitos adecuados para el cálculo de fecundidad. El rango de tamaños de las hembras hidratadas fluctuó entre los 24 y 51 cm LH con una talla promedio de 29,3 cm y una moda principal en los 26-27 cm, sumando ambas clases de tallas más del 40% de las muestras (**Figura 50**).

Seguiedo el método gravimétrico, el número de ovocitos que quedo retenido en el tamiz de 700  $\mu$ m varió entre 241 y 349.690 ovocitos (promedio= 20.312; coeficiente de variación = 58.1%; n = 164). Al sumar las muestras de 500 + 700 mm el número de ovocitos varió entre 540 y 382.027 (promedio = 23.518; coeficiente de variación = 63.2%; n = 164).

La relación entre la fecundidad parcial (FP) y la longitud horquilla se estableció considerando el tamaño de ovocitos de 700  $\mu$ m como también la suma de 500 y 700  $\mu$ m. En ambos casos la relación se estableció mediante regresión considerando una función de tipo exponencial. Esta función fue seleccionada sobre la base del coeficiente de determinación, y corresponde a la siguiente expresión  $FP_{700} = 858,26 \exp(0,10 \times LH)$  para la fecundidad parcial de los ovocitos del tamiz de 700  $\mu$ m ( $r^2=0,349$ ;  $n=164$ ;  $p<0,05$ ), y la

siguiente función  $FP_{500+700} = 1093,86 \exp(0,097 \times LH)$  para la fecundidad parcial 500+700  $\mu\text{m}$  ( $r^2=0,362$ ;  $n=164$ ;  $p<0,05$ ) (**Figura 51**).

Para establecer la relación entre la fecundidad parcial y el peso eviscerado (g) de las hembras hidratadas de jurel se adoptó como criterio una relación lineal, ya que la varianza alrededor de la regresión y la varianza de la pendiente de esta relación se utilizan para calcular la fecundidad media poblacional. El detalle del ajuste se presenta en la **Tabla 20** y **Figura 52**.

La fecundidad relativa corresponde al número de ovocitos expresada por unidad de peso del pez (g) sin considerar el peso de las gónadas. Un análisis de regresión indica que la fecundidad relativa es independiente de la talla como del peso eviscerado del pez ( $r^2$  inferiores al 5%, tanto para los ovocitos de 700  $\mu\text{m}$ . como para la suma de 500 y 700  $\mu\text{m}$ ).

Los cálculos basados en el peso eviscerado en el caso de  $T = 700 \mu\text{m}$  tuvo valores extremos de 2 y 273 huevos por gramo de peso del pez (promedio =70; desviación estándar = 59.3;  $n= 164$ ). En el caso de la suma de los ovocitos de 500 y 700  $\mu\text{m}$  los resultados fueron similares, obteniéndose un mínimo de 3 y un máximo de 300 ovocitos por gramo de pez (promedio = 84; desviación estándar = 62.2;  $n= 164$ ).

#### e) Estados microscópicos de madurez sexual

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. Esas estructuras permiten establecer una escala de 4 estados, que explicado a *grosso modo* es la siguiente:

**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.

Del total de cortes histológicos analizados (665 individuos), se observó que la mayor proporción de ejemplares (95,2%; 633 ejemplares) se encontró en proceso de desove, ya sea maduros, hidratados o con folículos postovulatorios. El resto fue clasificado en los estados II (3%) y III (1,8%) (**Tabla 21, Anexo 2**).

#### f) Caracterización de los folículos postovulatorios

En la caracterización de los folículos postovulatorios se utilizaron todas aquellas hembras que histológicamente se encontraron maduras las cuales fueron agrupadas de acuerdo a los lances y día de pesca en que se obtuvieron.

Para la estimación de la proporción de estadios foliculares lamentablemente no fue posible diferenciar entre los distintos estadios foliculares, debido a que no se consiguió reunir un ciclo en el cual se pudiera discriminar los distintos estados por los que atraviesan los folículos postovulatorios en las horas siguientes al desove. Por lo anterior, sólo se pudo estimar la proporción de hembras con folículos postovulatorios reconocibles (tanto viejos como nuevos) por lance en cada barco.

La distinción entre folículos nuevos o viejos, se basa como lo describe Macewicz & Hunter (1993) en que, el proceso de degeneración y reabsorción de los Folículos Postovulatorios 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. Los FPO nuevos son relativamente más grandes que en los estados finales en tanto las células epiteliales de la capa granulosa se ven ordenadas y con los núcleos bien evidentes, toda la estructura se ve como numerosos repliegues invaginados (**Anexo 2**). Los FPO viejos además de ser más pequeños, presentan menos células, más pequeñas, con núcleos picnóticos, y gránulos en el lumen; el conjunto se ve más pequeño, menos estructurado, sólo como una delgada capa de células (**Anexo 2**).

Las estimaciones de la proporción de folículos postovulatorios varió entre 0,068 y 0,23 (**Tabla 22; Figura 53**) con una proporción promedio de 0,147 y un coeficiente de variación de 28,4%. De los resultados anteriores se puede obtener aproximadamente una frecuencia promedio de desove por tanda de 7 días ( $1/0,147=6,78$  días).

Por otro lado, en la determinación de las hembras maduras desovantes por día se presentó la misma dificultad inherente al muestreo, ya que en muy pocos casos fue posible separar los folículos postovulatorios de día 1 ó 2. Por lo anterior se utilizaron todas las muestras sin separarlas en edades (1 y 2 días) y luego dividir por 2 la proporción obtenida ya que en el recuento efectivamente se está acumulando aquellos de más y de menos de 24 horas y asumiendo que la proporción de hembras desovantes es la misma en dos días continuos.

Los resultados para la estimación de la proporción de hembras maduras desovantes ( $S_i$ ) se entregan en la **Tabla 23**, donde se observa que la frecuencia de hembras desovantes ( $\bar{S}$ ) por lance para cada barco varió entre 0,064 y 0,19 y un valor promedio de 0,131. En el caso de las hembras desovantes promedio por cada día se obtuvieron valores entre 0,064 (2 de diciembre) y 0,147 (30 de noviembre) con coeficientes de variación entre 21% y 26% (**Tabla 24**).

De la proporción de hembras desovantes promedio ( $S_i= 0,131$ ) se desprende que las hembras de jurel estarían desovando en promedio una tanda de huevos aproximadamente cada 8 días ( $1/0,131 = 7,6$  días). Sin embargo, hay que destacar que

para los días 25, 26, 27, 30 de noviembre y 2 de diciembre sólo se contó con muestras de un sólo lance, por lo que no se puede obtener un valor promedio, y probablemente exista un sesgo debido a la falta de lances de pesca en estos días. La situación anterior obviamente produce una mayor incerteza en el valor estimado de frecuencia de hembras desovantes. No obstante, el valor obtenido concuerda con aquel obtenido en la estimación de la proporción de hembras con folículos postovulatorios de aproximadamente 7 días ( $1/0,147 = 7$  días).

Por lo tanto de los resultados anteriores se puede decir que el jurel de alta mar, durante el período comprendido entre el 25 de noviembre y 2 de diciembre del 2000, está desovando una tanda de huevos aproximadamente cada 7 ó 8 días.

#### g) Proporción sexual

La proporción sexual en peso se calculó a partir de las muestras utilizadas para frecuencia de tallas y considerando sólo las hembras maduras y cuya información se resume en la **Tabla 25**. El número total de hembras y machos fue de 1.156 y 1.140, respectivamente. El promedio ponderado por lance de la proporción en peso fue de 0,459 y una varianza de 0,0195 (DE=0,1395; CV=30,4%).

La proporción de hembras en número, en función de la hora del lance, se muestra en la **Figura 54**. No se observa que las hembras dominen en algunas horas del día, pero al parecer los machos presentaron una mayor proporción a la 1:39 AM, y entre las 15:40-17:18 PM. La hora del desove ha sido estimada entre las 23 y 24 horas a partir de la frecuencia de estadios de desarrollo de huevos, pero en la proporción sexual no se observa un cambio significativo en esas horas de la noche lo que se atribuye al bajo número de lances realizados.

#### 6.7.4. Alimentación del jurel

El número total de ejemplares muestreados fue de 1330, de los cuales 902 individuos fueron muestreados en el sector oceánico, de los cuales el 42,4% de los estómagos presentaron contenido estomacal. En el sector costero, en cambio, 428 individuos fueron muestreados y solamente el 5,4% de los estómagos presentaron contenido. Cabe

mencionar que el porcentaje de estómagos vacíos no incluye los casos en que el alimento fue regurgitado, ya que el análisis de este tipo de caso podría afectar los resultados.

La distribución de frecuencias de tallas en porcentaje evidencia claramente la formación de una moda principal en 26 cm para los individuos capturados en el sector oceánico, con un rango de tallas que abarco entre 23 y 50 cm (LH) y una moda de 28 cm para los individuos muestreados en el sector costero, con un rango de tallas varió entre 24,5 y 53 cm de longitud de horquilla (**Figura 55**).

a) Importancia relativa de las presas (IIR)

El análisis de importancia relativa de las presas en el área de estudio reveló que los eufáusidos y mictófidos dominaron la dieta de jurel tanto en número, peso y frecuencia de aparición, alcanzando un IIR de 3,91 y 2,53 respectivamente (**Tabla 26**). Los copépodos son la tercera presa en importancia dentro de la ingesta de alimento de jurel alcanzado un valor muy cercano al de los peces linternas (IIR = 2,14).

En cuanto al análisis de importancia relativa por grupos de tamaño (**Tabla 27**) los eufáusidos se presentaron en casi la totalidad de los grupos de tamaños, obteniendo su valor máximo en el Grupo I (<25 cm LH), a diferencia de los peces (mictófidos), donde adquieren su mayor importancia en individuos de tallas intermedias (36 a 45 cm LH). Los cefalópodos y anfípodos se presentan incidentalmente y con muy bajos valores de IIR. Se destaca el hecho de que las salpas se presentaron sólo en individuos del Grupo I, desapareciendo completamente en los grupos de tamaño mayores.

En general los crustáceos son presas que adquieren mayor importancia en individuos de menor tamaño, alcanzando sus máximos valores los eufáusidos y copépodos, este último con una mayor presencia en el sector oceánico.

El análisis del IIR en la zona costera demuestra una tendencia similar a la observada en el sector oceánico, pero con una disminución importante de espectro trófico; reduciéndose el consumo a solo dos presas (eufáusidos y mictófidos). Cabe destacar el gran porcentaje de estómagos vacíos en las muestras costera (**Tabla 28**).

Como una forma de georeferenciar el nivel de ocurrencia o frecuencia de aparición de presas en la ingesta de jurel en ambas zonas, se presenta una gráfica de las principales presas (**Figura 56**).

b) Similitud trófica

La similitud trófica por grupos de tamaño presentó una similitud de 68,6% en la zona oceánica separados. Los individuos de los Grupos I-II presentaron una estrecha relación, debido a que las presas dominantes en la dieta fueron los crustáceos. A su vez, en los grupos de tamaños III-IV y V las presas de mayor consumo fueron los mictófidios, con la diferencia que los individuos de tamaño medio (Grupo III-IV) depredaron también sobre cefalópodos y restos de crustáceos pequeños.

Al comparar en conjunto todos los grupos de tamaños se observa una clara disimilitud en el consumo de alimento en peso, entre individuos pequeños y individuos de tallas mayores a 46 cm (**Figura 57**)

En el sector costero, el análisis de similitud trófica por grupo de tamaño reveló un porcentaje de similitud promedio de 66,7%. Al analizar el conglomerado se observa una relación entre los grupo de tamaños III y IV, ambos presentado consumo de eufáusidos y mictófidios, y segregándose completamente el grupo IV que consumieron exclusivamente sobre peces (**Figura 58**). Como antes se ha mencionado, cabe destacar el numero reducido de ejemplares que presentaron contenido estomacal en las muestra analizadas (5,4%).

Entre zonas, se observó cierta similitud (**Figura 59**) debido al consumo de eufáusidos y micófidios, disminuyendo esta relación en zonas más oceánicas donde se amplía el espectro trófico, con la inclusión en la dieta de crustaceos pequeños, còpepodos cefalópodos.

### 6.7.5. Determinación y caracterización de la distribución espacial de las agregaciones de jurel

#### a) Índice de cobertura y morfología de las agregaciones

En los 20 transectos realizados en la ecoprospección se efectuaron un total de 13.630 ubm, de las cuales en 602 ubm se detectaron presencia de jurel, con un índice de cobertura de 4,42 % (**Tabla 29, Anexo 3**).

- Tipología de los ecotrazos

De acuerdo a los tipos de ecotrazos los cardúmenes presentaron un IC de sólo 0,18%, los estratos alcanzaron un IC de 0,68 %, los dispersos un 1,16 % y los individuales lograron el IC más alto con 2,40 % (**Tabla 29**).

En cuanto a los niveles de captura esperados los ecotrazos se clasificaron como: malos, regular y bueno. Los ecotrazos tipo bueno presentaron un IC de 0,20%, los tipo regular alcanzaron un IC de 0,39% y los malos lograron el IC más alto con 3,83% (**Tabla 29**).

El 0,20% de las ubm se presentaron agregaciones susceptibles para ser capturadas con redes de cerco y redes de arrastre de mediagua. En estas se consideran los ecotrazos de las categorías: i) buenas que pertenezcan a los ecotrazos tipo cardúmenes y estratos y ii) regular tipo cardumen (**Tabla 29**).

- Altura de los ecotrazos

Los ecotrazos del jurel presentaron una altura promedio de 24,6 m, con un rango que fluctuó entre los 22,4 m para los estratos y los 27, 6 m para los cardúmenes (**Tabla 30**).

#### b) Distribución espacial

En la **Figura 60** se presenta la distribución de los ecotrazos de jurel, éste presentó una vasta distribución en el área prospectada: entre las latitudes 32° S - 38° S y las longitudes 75° - 92° 'S, sin embargo, la mayor presencia de ecotrazos fue entre las latitudes 34°S y 37° 30'S con una clara predominancia de agregaciones de la categoría mala. Por otro

lado los ecotrazos de agregaciones tipo buena se presentaron preferentemente en el área norte entre las latitudes 32° S y 33° S y entre las longitudes 76° W y 82° W.

c) Distribución batimétrica

- Profundidad

El jurel se presentó entre la superficie y los 320 m a una profundidad promedio de 67,0m, el 77,7 % de los ecotrazos se presentaron a una profundidad  $\leq$  de 100 m. Los cardúmenes y los estratos se encontraron en profundidades promedio de 82,1 m y 84,0 m respectivamente, mientras que los ecotrazos tipo dispersos se reportaron a 65,7 m y los individuales a 61,7 m. Por otro lado, a las categorías mala, regular y buena se situaron a una profundidad promedio de 64,2 m, 75,8 m y 104,4 m respectivamente, cabe señalar que este último valor debe considerarse con precaución debido al bajo número de ubm con presencia positivas de ese tipo de ecotrazos (**Tabla 30**).

d) Distribución batimétrica en el ciclo de las 24 horas

En la **Figura 61** se presentan las distribuciones horarias y por profundidad de los tipos y clases de ecotrazos. Se observa que la:

- **clase buena** se presentó para los ecotrazos durante el ciclo de las 24 horas (**Figura 61-d**). Los ecotrazos tipo cardúmenes se reportó de la 10:00 hasta las 13:00 en altas profundidades desde 170 hasta 210 m, asimismo se presentó durante la noche desde las 21:00 a las 23:00 cerca de la superficie (**Figura 61-d**). Los ecotrazos tipo estratos se reporta entre las 16:00 hasta las 12:00 horas (**Figura 62-a**).
- **clase regular** estuvo presente entre la superficie y los 230 m durante el ciclo de las 24 horas. Desde el ocaso hasta el orto se sitúa en profundidades desde la superficie, mientras que del orto al ocaso se sitúa en profundidades promedio de 100 m (**Figura 61-c**).

En cuanto a los tipos de ecotrazos: (i) los cardúmenes fueron escasos, (ii) estrato se presentaron desde las 8:00 a las 24:00 horas desde la superficie hasta los 150 m de profundidad, (iii) los tipo disperso e individual fueron escasas se presentaron una amplia distribución en la columna de agua (**Figura 62-b**).

- **clase mala** se presentó una amplia distribución batimétrica, desde la superficie hasta 250 m durante el ciclo de las 24 horas, para los cuatro tipos de ecotrazos (**Figura 61-b** y **Figura 62-c**).

e) Distancia entre agregaciones

El número de agregaciones observado por transectas varía de 0 ecotrazos hasta 116 con una media de 30,1 ecotrazos y una desviación estándar de  $\pm 33,2$  ecotrazos.

Las distancias promedio entre las agregaciones es de 39 mn con una desviación estándar de  $\pm 42$  mn (**Tabla 30**).

f) Índice de presencia de ecotrazos (IPE)

Índice de presencia de ecotrazos (IPE) expresado por el número de agregaciones por milla náutica lineal por transecta, en las transectas por presencia de ecotrazos varía de 0,0037 a 0,1390 ecotrazos por mn, con una media de 0,0364 ecotrazos por mn. En el 55% de las transectas el IPE es inferior a 0,02 ecotrazos por mn, mientras que en el 15% de las transectas no se presentaron ecotrazos. La más alta presencia agregaciones/mn promedio se presenta para los ecotrazos tipo individual de 0,0203 y el más bajo para los cardúmenes con 0,0015 (**Figura 63**).

g) Presencia y distribución de cluster

- Presencia de cluster

En la **Tabla 32** se presenta el número de cluster, que se observaron durante la prospección, estos se definieron como cluster simples (CS) cuando el número de ecotrazos era menor a 1,5 por mn y cluster complejos (CC) cuando era mayor. Los

resultados indican que aproximadamente el 90,8% de los clusters son simples y el resto son complejos.

Los ecotrazos tipo (i) cardúmenes tienen una participación de 4,4% y se reportan sólo clusters simples, (ii) tipo estratos tiene una participación de un 15,8% y (iii) tipos dispersos e individual tienen la mayor presencia aportando con el 26,4% y 56,1% de los clusters, reportando simples (CS) y complejos (CC) (**Tabla 32**).

#### **6.7.6. Análisis multitemporal de los cruceros 1997 al 2000**

##### a) Distribución espacial del jurel

En la **Figura 64** se muestra la posición de los transectos de los cuatro cruceros, en los dos primeros cruceros (1997 y 1998) se exploró hasta más al sur ( $40^{\circ}\text{S}$  y  $39^{\circ}30'\text{S}$ ) donde las temperaturas eran más bajas (**Figura 65-a** y **66-a**), no se encontró la presencia de huevos de jurel, en consecuencia en los cruceros posteriores (1999 y 2000) sólo se exploró hasta las latitudes  $38^{\circ}24'\text{S}$  y  $37^{\circ}48'\text{S}$  respectivamente (**Figura 67-a** y **68-a**). Por otro lado en el crucero de 1999 (**Figura 67-a**) se prospectó parcialmente la distribución de huevos hacia la zona norte-oeste, así que en el crucero del año 2000 en área de prospección se expandió hacia el norte y el oeste alcanzándose los  $32^{\circ}\text{S}$  y  $92^{\circ}\text{W}$  respectivamente (**Figura 68-a**).

Al comparar la distribución de los huevos y de los ecotrazos de jurel se observa que, en cada uno de los cuatro cruceros en las áreas donde se presentan los huevos no se detecta presencia de jurel o esta es muy baja (**Figuras 65, 66, 67 y 68**). Asimismo en la zona de alta presencia de huevos no se presenta jurel en la categoría de nivel de abundancia buena en los años 1997, 1998 y 1999 una excepción la constituye el crucero de noviembre del 2000, donde en el área de alta abundancia de huevos de jurel en el 0,03% de la ubm se presentó presencia de jurel de la categoría alta (**Figura 69**).

b) Índice de cobertura (IC) y morfología de las agregaciones

Los IC son mas altos para las áreas donde no hay presencia de huevos o ésta es regular, mientras que en las áreas de alta presencia de huevos de jurel los IC son bajos, esto indica que el jurel no forma agregaciones compactas durante en desove (**Figura 70**).

Para la categoría abundancia de jurel mala, donde la captura esperada es inferior a 20 t, se presentan IC de 14,97%, 1,88%, 15,46% y 4,42% para los años 1997, 1998, 1999 y 2000 respectivamente. En esta categoría, en los cuatro cruceros, predomina la presencia de ecotrazos tipo individual y dispersos, mientras que en los cruceros de los años 1997 y 1999 también existe presencia de ecotrazos tipo estrato y en ese último año también de cardúmenes. Cabe señalar que, en esos años (1997 y 1999), los índices de cobertura eran los más altos del período. Se puede entonces afirmar 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, de esta manera las superficies se transforman a índices son comparables entre cruceros (**Figura 70**).

Para facilitar la comparación entre las áreas estas se dividieron en cuatro macrozonas dividiendo la oceánica de la costera en la longitud 84°W y norte sur en la longitud 36° S (**Figura 65**). En la **Tabla 33** se presenta los IC de la macrozona sur costera se observa que los IC presentan el mismo patrón de comportamiento que para el área total.

c) Índice de presencia de ecotrazos (IPE)

En 1997 y 1999 los IC son altos alcanzando 14,97% y 15,46% 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), la mayor participación corresponde a los ecotrazos de la categoría mala. Los ecotrazos tipo cardumen presenta el IPE más bajo en los cuatro cruceros, confirmando la hipótesis de que el jurel forma agregaciones muy poco compacta en el momento del desove (**Tabla 34**).

d) Presencia y distribución de los clusters

En los cruceros de 1997 y 1999 se reportan los más altos índices de presencia de clusters expresados en n° de clusters/100 mn<sup>2</sup>., estos índices son más altos en las áreas de baja y media presencia de huevos, asimismo es interesante observar que en el año 1999 se reporta la más alta presencia de clusters complejos del período de estudio (**Figura 71**). 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 (**Figura 70**)

e) Distribución batimétrica y altura de los ecotrazos

Se ha presentado un cambio en la distribución batimétrica del jurel en el período de estudio, al inicio (en 1997) éste se encontraba más profundo 136 m en promedio con sólo el 19,8% entre la superficie y 100 m de profundidad, a medida que avanzan cronológicamente los cruceros la presencia de jurel es más somera. En efecto, en 1998, 1999 y 2000 el 30,6%, 44,5% y 77,7% del jurel se presenta desde la superficie hasta los 100 m de profundidad. Por otro lado, se observa que en los años 1998 y el año 2000 la profundidad promedio de los ecotrazos en la zona de alta concentración de huevos es entre 70,6 m y 74,7 m respectivamente. Al respecto no se plantea ninguna conclusión debido a la alta incertidumbre de los resultados por la alta variabilidad entre categorías y entre cruceros (**Tabla 35**).

La altura promedio de los ecotrazos presenta entre 10 y 40 m, pero con una alta variabilidad, que aporta con una alta incertidumbre y no permite indagar un patrón de comportamiento.

## 7. DISCUSION

El jurel presenta una amplia distribución en el Pacífico Sur, desde las Islas Galápagos en Ecuador hasta la región sur-austral de Chile (55°S) (Serra, 1991). Más aún, frente a las costas de Chile, la distribución de jurel se extiende hacia el océano abierto hasta alcanzar las costas de Nueva Zelandia (Evseenko, 1987; Jones, 1990; Elizarov et al., 1993; Grechina, 1998). En este sentido, la distribución del jurel es amplia, transzonal y epipelágica, lo que podría determinar que al interior de esta distribución existieran sub-grupos o stocks diferentes. Asimismo, el desove de jurel se verifica ocurre en zonas

oceánicas frente a las costas de Chile y Perú (Santander et al., 1983; Serra, 1991; Grechina, 1998).

Sin embargo, la unidad de stock autosustentable de jurel que se distribuye a lo largo de las costas de Chile (Serra, 1991), el área de desove que se extiende al sur de los 30°S, y desde los 75°W hasta los 90-100°W, se considera la principal y más importante en términos de la extensión espacial y abundancia de huevos y larvas (Grechina et al., 1998).

Una serie de cruceros han tratado de cubrir esta enorme área de desove (Dejnik et al., 1994; Serra et al., 1994; Barbieri et al., 1998, 1999; Sepúlveda et al., 2001), observándose que el área de desove del jurel es recurrente. Sin embargo, desde el punto de vista de la cobertura del área de desove varios cruceros anteriores no han tenido éxito en cubrir el área de distribución de los huevos, como se logró en el crucero de noviembre de 2000. Se destaca que el stock de jurel se encuentra con una biomasa desovante deprimida debido a la intensa explotación pesquera ejercida durante la primera mitad de los años 90. Aún así, la distribución del área de desove oceánico es bastante extensa lo que se debe al carácter abierto, casi individual, de las agregaciones de jurel en condición reproductiva.

Los estudios más recientes confirman que el área de desove de jurel no ha cambiado entre 1998 y 2000, extendiéndose al oeste de los 80°W, y al norte de los 38°S (Sepúlveda et al., 2001, este informe). Estudios previos señalan que los indicadores de actividad reproductiva se intensifican en primavera, principalmente entre octubre y diciembre, aunque la actividad reproductiva podría extenderse desde septiembre hasta marzo (Grechina et al., 1998; Oyarzún et al., 1998; Aracena et al., 1998). En este contexto, se considera que la época en que se desarrolló el crucero pudo ser adecuada.

No obstante, y desde el punto de vista de la aplicación del método de la producción diaria de huevos (Lasker, 1985), interesa que el crucero se realice durante el pico reproductivo y que el área de distribución del desove sea cubierto plenamente. Aunque en noviembre-diciembre de 2000 se logró cubrir la distribución del desove, es importante considerar que probables fluctuaciones interanuales en las condiciones ambientales podrían desplazar el área de desove ya sea hacia el norte o al sur, ya que se ha demostrado que el desove de jurel se verifica en aguas con temperatura superficial del mar mayor a 16°C. En efecto, la asociación entre la abundancia de huevos y larvas con la temperatura superficial del mar

fue significativa, encontrándose huevos y larvas preferentemente en aguas con rangos de temperatura entre 17,5-20,5 °C y 17-20,5°C respectivamente en noviembre-diciembre de 2000. Grechina (1998) había planteado que la isoterma de 16°C podía utilizarse para demarcar el límite más austral de desove de jurel, mientras que Cubillos et al. (en preparación) han utilizado la posición latitudinal de esta isoterma superficial como indicador de las fluctuaciones interanuales del reclutamiento.

La producción diaria de huevos de jurel estimada en este estudio constituye una de las mejores estimaciones para la especie en relación con las aproximaciones que han realizado otros estudios (Dejnik et al., 1994; Sepúlveda et al., 2001). Esta mejoría se debe a la mejor resolución de clasificación de los huevos de jurel en estadios de desarrollo como también al establecimiento de un modelo temperatura-estadio dependiente que permite estimar la edad de los huevos. Aunque se debe considerar que el modelo está acotado entre los 17 y 19°C, extrapolando cuando la temperatura es inferior a 17°C y superior a 19°C. Esta es una limitación importante, y debe ser tomada en cuenta en futuros estudios. Otras de las mejorías respecto de la producción diaria de huevos fue acotar la hora del desove, que se estimó ocurre a las 23:30 horas.

Uno de los aspectos más discutibles en relación con la factibilidad de aplicar el método de producción de huevos radica en la dificultad de obtener muestras adecuadas de adultos. El análisis de la distribución espacial de las agregaciones revela que el índice de cobertura (IC) total y el número de clusters varía inversamente en relación con la cobertura espacial de la mayor densidad de huevos. En otras palabras, el jurel forma agregaciones muy poco compacta en el momento del desove.

No obstante lo anterior, la condición reproductiva fue analizada a partir de 12 lances realizados en el área de prospección. La fracción de hembras desovantes diarias fue de 14,8, muy similar a la de otros desovante parciales. Se debe considerar que la mayor cantidad de ejemplares analizados cubrió el rango de tallas 20-30 cm LH, que representó más del 95% de los ejemplares muestreados.

La fecundidad parcial promedio de hembras las hembras hidratadas, principalmente de la fracción de la población 24-30 cm LH, revela una baja fecundidad (23.518 ovocitos), comparada con la reportada para el genero que supera largamente los 40.000 ovocitos.

Una explicación probable que emergió en el taller de discusión de resultados fue que el crucero se realizó pasado el máximo de desove del recurso, por lo que una o más tandas de huevos habrían sido desovadas afectando las estimaciones y subestimando la fecundidad. Por otro lado, Macewicz & Hunter (1993) indican que aquellas hembras que han desovado dentro de las últimas 12-54 horas presentan fecundidades inferiores que aquellos que no presentan indicios de desoves anteriores, subestimando en un 30% la fecundidad promedio al utilizar hembras con indicios de desove previos.

Sin embargo, se debe considerar también la incidencia de la estructura de tallas que está representada por la fracción más juvenil del stock (<30 cm LH), lo que obviamente tiene una fuerte incidencia al momento de estimar la fecundidad, ya que al utilizar un rango de ejemplares pequeño, sobre el 60% bajo los 30 cm de LH, es muy difícil hacer una extrapolación a los ejemplares de tallas mayores.

En el caso de la estimación de fecundidad parcial la utilización de ovocitos de tamaño mayor a 500  $\mu\text{m}$ , se basa en el hecho que como lo describen Macewicz & Hunter (1993) para el jurel en las costas de California el proceso de migración del núcleo, que es el precursor de la hidratación, ocurriría a partir de los 420  $\mu\text{m}$  con un valor promedio de 690  $\mu\text{m}$ . Lo que como los mismos autores destacan puede variar por el sistema de imágenes utilizado, sin contar con otras variaciones obvias que se producirían por efecto de la temperatura del agua, poco alimento, ultimo desove, fijación, etc.

En el caso del presente proyecto al realizar las estimaciones de fecundidad con los ovocitos mayores a 700  $\mu\text{m}$  y la suma de 500+ 700  $\mu\text{m}$ , se trató de no subestimar la fecundidad parcial, al excluir ovocitos que fueran inferiores a 500  $\mu\text{m}$  pero que estuvieran por hidratarse (migración del núcleo), y por otro lado, al utilizar aquellos sobre los 700  $\mu\text{m}$  se trató de seguir el criterio propuesto por Macewicz & Hunter (1993) y no incluir ovocitos que no se encontraran próximos a la hidratación, y por ende, sobrestimar la fecundidad parcial. En la **Figura 72**, se muestra la distribución de frecuencia del tamaño de los ovocitos que han sido retenidos en un tamiz de 700  $\mu\text{m}$  por clases de tamaño de las hembras (datos del FIP 99-14). Se observa que en general incluye sólo ovocitos mayores que 500  $\mu\text{m}$ . El estudio de fecundidad del FIP 93-18 "Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona norte (Regiones I y II)" señala en su segundo informe de avance que cuando el diametro de los ovocitos es inferior a 400  $\mu\text{m}$ , éstos presentan un grado de

vitelación parcial, conformando un solo grupo modal. Cuando la vitelogénesis progresa, hay una separación mucho más evidente del tamaño de los ovocitos y que el proceso de hidratación comenzaría cerca de los 500  $\mu\text{m}$ . En consecuencia, las modas que se observan entre los 700 y 800  $\mu\text{m}$  en la **Figura 72** corresponde a ovocitos hidratados y en actividad de desove. Las estimaciones de fecundidad, basadas en el tamiz de 700  $\mu\text{m}$ , deberían estar señalando las situaciones descritas en la Figura 72; es decir, a un tamaño de ovocitos en que no existe ambigüedad en la identificación del grupo modal más avanzado, descartándose el resto.

En la **Tabla 36** se puede observar los distintos trabajos realizados en jurel para determinar su fecundidad parcial, ya sea por medio del recuento de ovocitos hidratados (Dioses et al., 1989; Macewicz & Hunter, 1993) como por medio del recuento de la moda más avanzada (MOMA). Se puede observar que la estimación más baja de la fecundidad parcial corresponde a la del presente estudio, lo que puede estar reflejando que, como se expuso antes, quizás la temporada de puesta estaba muy avanzada como también a la situación del recurso que se encuentra con una estructura etaria deteriorada producto de la excesiva mortalidad por pesca (Cubillos, 2001). El resto de las estimaciones están alrededor de los 60.000 huevos por hembra, excepto las de Macewicz & Hunter (1993) para el jurel de las costas de California y la de Aracena et al. (1998) para el jurel frente a Chile, con 103.797 y 232.054 huevos por hembra, respectivamente. Sin embargo, en el caso de Macewicz & Hunter (1993) trabajaron con 33 ejemplares de los cuales 17 presentaban folículos postovulatorios de entre 12 y 54 horas, además, sólo 6 gónadas se encontraban hidratadas y el resto en estado de migración del núcleo lo que podría cuestionar sus resultados. En el caso de Aracena et al. (1998), utilizaron 23 individuos con un CV del 66% en la estimación y trabajaron con la MOMA y no con ovocitos hidratados.

Las diferencias en los resultados obtenidos por los diferentes autores para la fecundidad parcial del jurel podrían ser explicadas por las metodologías utilizadas, ya que algunos utilizaron el método de recuento directo de ovocitos hidratados (Dioses et al., 1989; Macewicz & Hunter, 1993) y otros el método indirecto de la moda más avanzada (Aracena et al., 1998). Sin embargo, debe destacarse que los n utilizados son variables entre un estudio y otro, y que los rangos de tamaño de los ejemplares analizados por los distintos autores son variables (**Tabla 36**). Finalmente, tampoco puede descartarse la posibilidad

que existan variaciones de tipo latitudinales en la madurez y fecundidad del jurel dentro de su rango de distribución.

Las estimaciones de la frecuencia de desove, ya sea por medio de los folículos postovulatorios como por medio de las hembras maduras hidratadas, entregó resultados muy similares y que establecen que en promedio las hembras de jurel estarían desovando cada 7 días durante el periodo de muestreo. Este valor es superior al obtenido por Macewicz & Hunter (1993) para el jurel frente a California (*T. symmetricus*), donde las hembras desovarían cada 5 días. Sin embargo, en el trabajo de Macewicz & Hunter (op cit.) durante el periodo de muestreo (marzo-abril de 1991), la temperatura superficial del mar para el área varió entre 13,5°C y 14,7°C, la cual es muy distinta a la TSM encontrada durante el cruceo del presente proyecto (noviembre-diciembre de 2000), la que fluctuó entre 12,9°C y 18,5°C, y que podría estar determinando los resultados obtenidos.

## 8. CONCLUSIONES

De los resultados anteriores se puede decir que el jurel de alta mar, durante el período comprendido entre el 25 de noviembre y 2 de diciembre del 2000, las condiciones biológicas del jurel en alta mar fueron:

- a) La temperatura superficial del mar fluctuó entre 14 y 22 °C, con un mayor predominio de temperaturas mayores a 16°C.
- b) Las masas de aguas presentes en los primeros 100 m superficiales, fueron: aguas subtropicales superficiales en la región noroccidental del área de estudio, y aguas subantárticas en la región oriental que corresponden al brazo oceánico del sistema de corrientes de Humboldt.
- c) Las mayores concentraciones de clorofila superficial ocurrieron en aguas menores a 18°C, particularmente hacia el sur y hacia la costa.
- d) Los huevos y larvas de jurel presentaron una amplia cobertura espacial, con una incidencia del 75% y 77% de estaciones positivas, respectivamente.
- e) En el 2000, la densidad promedio de huevos fue de 444,2 huevos en 10 m<sup>2</sup> de superficie de mar, lo que significa un decremento de 20,9% en relación con Noviembre de 1999. En el caso de las larvas, la densidad promedio de estas fue

de 266 larvas en 10 m<sup>2</sup> de superficie de mar, lo que representa un incremento de 38,1% en relación con noviembre de 1999.

- f) En noviembre-diciembre de 2000, las larvas y huevos de jurel se encontraron preferentemente en aguas con rangos de temperatura entre 17,5-20,5 °C y 17-20,5°C respectivamente. Esta asociación fue estadísticamente significativa en todos los cruceros previos analizados, pero se observó cierta variabilidad en los rangos preferenciales de temperatura tanto para huevos y larvas con valores >15,5°C; >17,3°C y >16,8°C para los cruceros de diciembre 1998, noviembre 1999 y diciembre 1999, respectivamente. Es importante destacar que los cruceros del 1998 y 1999 no lograron cubrir todo el área de distribución de los huevos.
- g) De acuerdo con la incidencia de estadios I de desarrollo de huevos, la hora del desove en el jurel se estima ocurre entre las 23:00 y 24:00 horas (promedio 23:30 hrs).
- h) El tiempo de desarrollo de los huevos de jurel es dependiente de la temperatura del mar. A los 17°C, los huevos demoran cerca de 55,2 horas en llegar al estadio XI (pre-eclosión), mientras que a 19°C demoran 50,5 horas. Un modelo que considera el estadio de desarrollo y la temperatura indica que el tiempo de desarrollo podría alcanzar a 62,3 horas a 14°C y 44,4 horas a 20°C; hipótesis que deberá ser evaluada en futuros estudios.
- i) La producción diaria de huevos fue de 248,5 huevos en 10 m<sup>2</sup> en noviembre de 2000, con límites de confianza entre 223,4 y 273,4 huevos en 10 m<sup>2</sup>. Esta producción fue menor que la observada en noviembre de 1999 ( $P_0 = 413,9$  huevos en 10 m<sup>2</sup>), pero se debe señalar que ese año la distribución de huevos fue cortada durante el crucero de prospección.
- j) La mortalidad diaria de huevos alcanzó a 0,504 por día (IC=0,394 -,0,615), lo que implica que 39,6% de los huevos muere por día. Esta tasa de mortalidad diaria fue similar a la tasa de mortalidad de noviembre de 1999 (Z=0,676 por día IC= 0,372-0,979).
- k) La distribución de frecuencia de tallas de jurel en alta mar se caracterizó por una estructura unimodal, donde más del 95% se distribuyó entre 20 y 30 cm de longitud horquilla. La fracción de jurel menor a los 26 cm, fue de 27% en número y 18,4% en peso.

- l) El estado de madurez sexual macroscópico maduro (EMS 3) fue dominante (70%), mientras que el índice gonadosomático presentó valores bajos y similares en toda el área de estudio.
- m) El jurel habría estado desovando una tanda de huevos aproximadamente cada 7 días.
- n) La baja estimación de fecundidad (20.312 huevos por hembra) podría estar subestimada, asociado posiblemente a que el muestreo fue realizado cuando la temporada de puesta estaba muy avanzada. Además de estar fuertemente influida por los bajos tamaños de los ejemplares analizados.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrianov, D. P. 1994. Sobre la biología reproductiva del jurel peruano. En: Arcos, D. y A. Grechina (eds.) *Biología y pesca comercial del jurel en el Pacífico Sur*. p. 25-36.
- Aracena, O., R. Alarcón, S. Collado, I. Lepez & D. Arriagada. 1998. Aspectos reproductivos del jurel (*Trachurus symmetricus*) en la pesquería de cerco de la Octava Región, Chile 1994-1995. En: *Biología y Ecología del Jurel en Aguas Chilenas*. D. Arcos (Ed.). Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano-Chile, 101-114.
- Arancibia, H. 1998. 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.
- 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. Informe final Fip 97-05b, 121 pp, figuras +anexos.
- Barbieri, M.A., J. Córdova, S. Lillo, J. Castillo, G. Böhm, E. Yáñez & V. Catasti, 1998. Evaluación hidroacústica del jurel en la zona centro sur (Fase crucero metodológico). Informe final Fip 95-07, 108 pp, figuras +anexos.
- Bloom, S. A. 1981. Similarity indices in community studies: potential pitfalls. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5:125-128.
- Borchers, D. L., S. T. Buckland, I. G. Priede & S. Ahmadi. 1997. Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2727-2742.
- Cressie, N.A.C. 1993. *Statistics for spatial data*. Wiley, New York.
- Crowley, P.H. 1992. Resampling methods for computation-intensive data analysis in ecology and evolution. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 23:405-447.
- 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 et al. (en preparación). Variaciones del reclutamiento de jurel y su relación con la distribución térmica superficial en su principal área de desove. *Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP)*, 10(3).
- 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 ictioplanctónicos. En: Arcos, D. (ed.) *Biología y pesca comercial del jurel en el Pacífico Sur*. 161-166.

- Deutsch, C.V., & Journel, A.G. (1998) GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. 2<sup>nd</sup> Ed. Oxford University Press, New York. 369 pp.
- Elizarov, A.A., A.S: Grechina, B.N. Kotenev y A.N. Kuzetsov. 1993. Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the South Pacific. Journal of Ichthyology, 33(3), 86-104.
- Englund, E., & A. Sparks (1988) Geo-EAS (geostatistical environmental assessment software) user's guide. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nev.
- Evseenko, S.A. 1987. On the reproduction of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), in the southern part of the Pacific Ocean. Voprosy Ikhtiologii 27(2), 264-273.
- Grechina, A. S., 1998. Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols)) en alta mar del Pacífico Sur. In: Arcos, D.(Ed.), Biología y Ecología del Jurel en aguas Chilenas. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, pp. 11-34.
- Grechina, S., S. Núñez, D. Arcos. 1998. Biología reproductiva del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols)) en el Pacífico Sur. En: *Biología y Ecología del Jurel en Aguas Chilenas*. D. Arcos (Ed.). Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano-Chile, 77-100.
- Hunter, J. & S. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin, 77(3): 641-652.
- Hunter, J. R. 1985. Preservation of northern anchovy in formaldehyde solution. 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: 63-65.
- Hynes, H. 1950. The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitus*), with a review of methods used in studies of the foods of fishes. J. Anim. Ecol. 19(1):36-58.
- Hyslop, E. J. 1980. Stomach contents analysis. A review of methods and their application. Journal of Fish Biology. 17:411-429.
- Isaaks, E.H.,& R.M. Srivastava (1989) An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York. 561 pp.
- Jones, J.B., 1990. Jack mackerels (*Trachurus* spp.) in New Zealand waters. New Zealand Fish. Techn. Rep. 23, 28 p.
- Journel, A.G., & C.J. Huijbregts (1978) Mining geostatistics. Academic Press, London.

- Keckler, D. 1994. SURFER for Windows user's guide. Golden Software Inc., Golden, CO.
- Lasker, R. (ed.).1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36
- Lo, N. 1985. A model for temperature dependent northern anchovy egg development and an automated procedure for the assignment of eggs to staged eggs. In R.Lasker (ed.). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43-50.
- Macewicz, B., & J. Hunter. 1993. Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. CalCOFI Rep., Vol. 34, 112-121.
- Maravelias, C.D., D.G. Reid, E.J. Simmonds, & 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*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53: 1497-1505.
- McConnaughey, R.A., & P.A. Conquest, 1993. Trawl survey estimation using a comparative approach based on lognormal theory. Fish. Bull., U.S. 91: 107-118.
- Moser, H. & E. 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*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 37-41.
- 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., J. Chong y M. Malagueño. 1998. Fenología reproductiva en el jurel, *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) (Perciformes, Carangidae) en el área de Talcahuano-Chile: 1982-1984. In: Arcos, D. (ed.), Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, p. 67-75.
- Parsons T. R., Y. Maita & C.M. Lalli. 1984. A manual of Chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford. 173 pp.

- 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.
- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance, for fish and plankton surveys. *Biometrics* 39: 281-286.
- Perry, I. R., Stocker, M., y J. Fargo. 1994. Environmental effects on the distributions of groundfish in Hecate Strait, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1401-1409.
- Perry, R. I., y 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.
- Picquelle, S. J. & R. P. Hewitt. 1982. The northern anchovy spawning biomass for the 1982-83 California fishing season. Southwest Fisheries Center, Adm. Rep. LJ-82-16.
- Rojas, O. A. Mujica, M. Labra, G. Lederman & H. Miles. 1983. Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. CORFO - Gerencia de Desarrollo (AP 83-31). IFOP (Chile). 98 pp + Anexos.
- Rojas, R. & N. Silva. 1996. Atlas Oceanográfico de Chile. Vol. 1 1<sup>ra</sup> Edición. Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile. 130 pp.
- Santander et al., 1983
- Santander, H. 1981. Patrones de distribución y fluctuaciones de desoves de anchoveta y sardina. *Bol. Inst. Mar Perú, Callao. Vol. Extraordinario. ICANE.*
- Santander, H., P. E. Smith & J. Alheit. 1982. Determinación del esfuerzo de muestreo requerido para el estimado de producción de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, frente al Perú. *Bol. Inst. Mar Perú, Callao. 7(1): 16pp.*
- Sepúlveda, A., L. Cubillos, S. Núñez, 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.
- Serra, J. R., 1991. Important life story aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigación Pesquera (Chile)* 36, 67-83
- Serra, R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. *FAO Fish. Rep. (291)Vol. 2 :255-284.*
- 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.

- Smith, S. 1990. Use of statistical models for the estimation of abundance from groundfish trawl survey data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 894-903.
- 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 fish schools and clusters of schools: a spatial analysis of multibeam sonar images of schools in the Mediterranean sea. *ICES, CM 1998/J:8 Fish aggregation*, 15pp
- Wootton, R. J. 1990. *Ecology of teleost fishes*. Chapman & Hall, London, 404p.



## 1. Tablas y Figuras

**Tabla 1. Listado de naves participantes y personal embarcado (crucero 2000).**

PAM	Transectos	Zarpe	Recalada	Personal embarcado
Don Boris	7 – 14	23/11 23:00	30/11 20:00	Carlos Moreno (IIP) Jorge Cornejo Donoso (UDEC) Miguel Monardes (IFOP)
Fox	9 – 16	23/11 22:55	01/12 08:30	Francisco Gómez (IIP) Erik Gaete (IFOP) Francisco Leiva (IFOP)
Malleco	12 – 19	24/11 02:30	01/12 18:15	Hernán Rebolledo (IIP) Javier Hernández (IIP) Alvaro Garrido (IFOP)
Allipén I	3 – 6	23/11 16:30	02/12 04:00	Roberto Torres V. (IIP) Carlos Veloso Romero (UDEC) Rodrigo Muñoz (IFOP)
Paniahue	13 – 20	24/11 04:00	02/12 09:30	Gustavo Moraga Cid (UDEC) Manuel Leiva (IFOP) Rodrigo Palma (IFOP)
Vikingo	10 – 17	23/11 23:10	02/12 15:00	Carlos Vera (IIP) Juan Zamora (IFOP) José Cid (IFOP)
Remoy Viking	2 – 5	23/11 15:25	03/12 14:45	Claudio Pino (IIP) Andrés Gonzalez (IFOP) Cristián Grimaldi (IFOP)
Verdi	1 – 4	23/11 12:10	03/12 18:00	Roberto Torres Dávila (IIP) Rodrigo Wiff Onetto (UDEC) Andrés Ruiz (IFOP)
Veabas	8 – 15	23/11 12:40	03/12 12:30	Claudio Toro Balboa (IIP) Roberto Escobar Henríquez (UDEC) Alejandro Soto (IFOP)
Javier	11 – 18	24/11 01:45	05/12 06:15	Pedro Luengo (IIP) Gustavo Aedo Moraga (UDEC) Jorge Azocar (IFOP)
El Cazador	Zig-zag	25/11 14:00	05/12 13:15	Aquiles Sepúlveda (IIP) Doris Bucarey (IIP) Patricia Ruiz (IIP)
Ligrunn	Zig-zag	25/11 14:45	05/12 13:00	Héctor Peña (IIP) Carlos González (IIP)
Lider	Zig-zag	25/11 12:30	01/12 12:30	José Córdova (IFOP) Marco Espejo (IFOP) Juan Portilla Olivares (IFOP)

**Tabla 2. Caracterización morfológica de los estadios de desarrollo embrionario de jurel (Sepúlveda et al., 2001).**

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 (Figura 7).
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 (Figura 7).
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 (Figura 7).
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 (Figura 7).
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 (Figura 7).
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 (Figura 8).
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 (Figura 8).
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 (Figura 8).
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 (Figura 8).
Estadio XI	La cola alcanza una longitud mayor a 2/3 de la altura del corion y alcanza la cabeza o la traspasa. El ancho de la aleta es mayor o doble al ancho de la cola (Figura 8).

**Tabla 3. Bitácora de pesca indicando origen, nombre de la embarcación, número del lance, posición geográfica promedio, moda, longitud promedio, número de estómagos totales, número de estómagos con contenidos y porcentaje de estómagos con contenido.**

Origen Barco	Nº	Latitud	Longitud	Moda	LH (cm)	Estom.	Estom.	Estom/cont.
	Lance	Prom.	Prom.	(cm)	Prom.	Totales	Con/cont	(%)
Trans. Cazador	1	86°19'	35°52'	26	26,9	8	0	0,0
Trans. Cazador	2	89°16'	35°39'	26	29,1	110	47	42,7
Trans. Cazador	3	90°28'	35°46'	27	28,5	50	4	8,0
Trans. Cazador	4	83°59'	33°21'	26	26,9	53	5	9,4
Trans. Don Boris	1	90°44'	33°53'	26	26,4	150	0	0,0
Trans. Javier	1	79°20'	35°08'	25	25,6	76	2	2,6
Trans. Javier	3	80°50'	37°12'	41	44,1	8	1	12,5
Trans. Javier	4	77°06'	37°12'	27	27,9	50	0	0,0
Trans. Ligrunn	1	87°00'	35°20'	26	28,7	53	49	92,5
Trans. Ligrunn	2	90°26'	35°37'	28	28,5	75	50	66,7
Trans. Malleco	1	81°37'	37°30'	25	25,4	100	92	92,0
Trans. Paniahue	2	79°19'	37°48'	25	25,6	69	43	62,3
Trans. Vikingo	1	90°47'	36°55'	27	27,5	100	89	89,0
Z/P Cobra	1	74°46'	36°48'	27	27,7	86	16	18,6
Z/P Don Tito	1	74°04'	35°44'	32	32,0	86	1	1,2
Z/P Ligrunn	8	74°25'	36°30'	28	27,8	86	2	2,3
Z/P Lonco	1	74°06'	37°18'	34	37,5	84	0	0,0
Z/P Tolten I	1	74°50'	38°50'	36	36,5	86	4	4,7
<b>Total</b>				<b>27</b>	<b>28,9</b>	<b>1330</b>	<b>405</b>	<b>30,5</b>

Trans = origen de la muestra en transectos, Z/P = origen de la muestra en zona de pesca.

**Tabla 4. Grupos de tamaño de jurel, definidos cada 5 cm de longitud 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

**Tabla 5. Resumen de los cruceros 9711, 9812, 9912 y 2011.**

Crucero	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Area Total mn <sup>2</sup>	Millas náuticas lineales	Nº de Barcos	Tipo de muestreo	Distancia entre transectas
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

**Tabla 6. Estadística de la distribución de huevos de jurel entre 1997 y 2000 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas, DE(Dpos) = desviación estándar datos; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima, y = promedio densidad transformada a logaritmo, s2 = varianza densidad transformada a logaritmo, FS = estimador Finney-Sichel, Var(FS) = varianza Finney-Sichel, EE(FS) = error estándar).**

Estadísticos	1997	1998	1999-n	1999-d	2000
Estaciones	66	173	751	363	880
Estaciones positivas	34	125	546	212	660
Estaciones positivas (%)	51,5	72,3	72,7	58,4	75,0
D	108,5	317,9	561,7	266,3	444,2
Var(D)	506,9	1903,2	3460,7	400,9	339,1
EE(D)	22,5	43,6	58,8	20,0	18,4
Dpos	210,6	440,0	772,6	455,9	592,2
DE(Dpos) datos	256,7	675,8	1891,2	499,7	630,9
Var(Dpos)	1938,1	3653,6	6550,6	1177,8	603,1
EE(Dpos)	44,0	60,4	80,9	34,3	24,6
Dmin	26,2	30,1	35,4	35,4	35,4
Dmax	1176,2	3917,7	26844,1	3501,4	5199,1
y	4,77	5,20	5,82	5,58	5,86
s2	1,16	1,87	1,59	1,23	1,26
FS	105,8	328,3	543,5	284,6	492,1
Var(FS)	682,9	3145,2	1736,3	893,6	846,5
EE(FS)	26,1	56,1	41,7	29,9	29,1
Patchines Index	2,48	3,36	6,99	2,19	2,13

**Tabla 7. Estadística de la distribución de larvas de jurel entre 1997 y 2000 (D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas, DE(Dpos) = desviación estándar datos; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas), EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima, y = promedio densidad transformada a logaritmo, s2 = varianza densidad transformada a logaritmo, FS = estimador Finney-Sichel, Var(FS) = varianza Finney-Sichel, EE(FS) = error estándar).**

Estadísticos	1997	1998	1999-n	1999-d	2000
Estaciones	66	173	751	363	880
Estaciones positivas	18	101	501	207	678
Estaciones positivas (%)	27,3	58,4	66,7	57,0	77,0
D	38,0	243,0	192,6	152,0	266,0
Var(D)	62,3	1130,5	97,8	134,7	125,4
EE(D)	7,9	33,6	9,9	11,6	11,2
Dpos	139,4	416,2	288,7	266,5	345,2
DE(Dpos) datos	125,4	579,98	332	293,1	378,5
Var(Dpos)	873,6	3330,5	220,0	415,0	211,3
EE(Dpos)	29,6	57,7	14,8	20,4	14,5
Dmin	21,4	30,1	35,4	35,4	35,4
Dmax	425,2	2802,6	2794,1	2157,4	3395,3
y	4,54	5,20	5,13	5,10	5,31
s2	0,88	1,80	1,11	1,04	1,15
FS	38,4	255,8	196,4	156,0	276,7
Var(FS)	144,5	2308,2	157,7	232,4	230,7
EE(FS)	12,0	48,0	12,6	15,2	15,2
Patchines Index	1,80	2,94	2,32	2,21	2,20

**Tabla 8. Distancia máxima (S) entre f(t) y g(t) y significancia estadística (P) en la aplicación del método de Perry y Smith (1994) para huevos y larvas de jurel en base a 2000 randomizaciones.**

Crucero	S	P
<b>Huevos</b>		
Noviembre-Diciembre 2000	0.2323	0.0001
Diciembre 1999	0.2463	0.0001
Noviembre 1999	0.2966	0.0005
Diciembre 1998	0.1864	0.064
Todos los cruceros	0.2443	0.0001
<b>Larvas</b>		
Noviembre-Diciembre 2000	0.3110	0.0001
Diciembre 1999	0.2163	0.0001
Noviembre 1999	0.1875	0.01
Diciembre 1998	0.2622	0.0035
Todos los cruceros	0.2834	0.0001

**Tabla 9. Análisis de varianza, variable independiente: Edad, Factor: Muestra, Covariante: Estadio, para la temperatura de incubación de 17°C (Significancia  $p>0,05$ ).**

Efecto	Sum cuadrados	g.l.	Cuadrados M	F	p
Muestra	10,572	2	5,286	2,766	0,084
Estadio	6517,515	1	6517,515	3410,905	0,000
Error	43,948	23			

**Tabla 10. Análisis de varianza, variable independiente: Edad, Factor: Muestra, Covariante: Estadio, para la temperatura de incubación de 19°C (Significancia  $p>0,05$ ).**

Efecto	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados Medios	F	p
Muestra	21,002	6	3.5	1,917	0,097
Estadio	9167,568	1	9167,568	5024,218	0,000
Error	87,584	48	1,825		

**Tabla 11. Análisis de la covarianza para identificar diferencias significativas entre temperaturas (significancia:  $p< 0,05$ ).**

Efecto	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados Medios	F	p
Estadio	1506,611	1	15016,611	7273,234	0,000
Temperatura	6,157	1	6,157	2,982	0,088
Temperatura*Estadio	45,706	1	45,706	22,137	0,000
Error	163,107	79	2,065		

**Tabla 12. Edad promedio observada (horas) de huevos de jurel por estadio y temperatura.**

Estadíos	Temperatura °C	
	17	19
III	8,03	6,14
IV	14,25	13,39
V	17,85	17,87
VI	24,82	24,82
VII	31,39	29,53
VIII	36,80	33,52
IX	44,53	39,40
X	49,94	44,29
XI	55,19	50,50

**Tabla 13. Parámetros a, b y c para la relación entre el estadio (i) de los huevos de jurel y la edad promedio para cada temperatura.**

Parámetro	17°C	19°C
R <sup>2</sup>	0,992	0,942
a	1,261	0,421
b	-0,068	-0,255
c	1,894	3,118

**Tabla 14. Edad media estimada para cada estadio de huevos de jurel entre el rango de 14 – 20°C.**

Tempe- ratura	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
<b>14</b>	0,66	3,48	8,54	15,30	23,06	31,18	39,11	46,41	52,82	58,14	62,31
<b>15</b>	0,62	3,29	8,07	14,46	21,80	29,47	36,96	43,87	49,92	54,95	58,89
<b>16</b>	0,59	3,11	7,63	13,67	20,60	27,86	34,93	41,46	47,18	51,94	55,66
<b>17</b>	0,56	2,94	7,21	12,92	19,47	26,33	33,02	39,19	44,59	49,09	52,61
<b>18</b>	0,53	2,78	6,82	12,21	18,41	24,89	31,21	37,04	42,15	46,40	49,72
<b>19</b>	0,50	2,63	6,44	11,54	17,40	23,52	29,50	35,01	39,84	43,85	47,00
<b>20</b>	0,47	2,48	6,09	10,91	16,44	22,23	27,88	33,09	37,65	41,45	44,42

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

Parámetro	Noviembre 1999			Noviembre 2000		
	Promedio	Error Estándar	95% LC	Promedio	Error Estándar	95% LC
$P_0$ (ind /10 m <sup>2</sup> )	413,9	52,80	310,7-517,3	248,5	12,7	223,4-273,4
Z (d <sup>-1</sup> )	0,676	0,154	0,372-0,979	0,504	0,057	0,394-0,615
Area (Km <sup>2</sup> )		630101			746786	
n		1740			2105	
R <sup>2</sup>		0,012			0,041	
P		<0,05			<0,05	

**Tabla 16. Lances de pesca positivos para jurel (crucero 2000)**

Embarcación	Nº de lances Transectos	Nº de lances Zona pesca
Vikingo	1	
Don Boris	1	
Javier	3	
Malleco	1	1
Paniahue	2	
Ligrunn	2	3
El Cazador	3	4
Lider	2	
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>8</b>

**Tabla 17. Identificación y origen de los lances de pesca utilizados para analizar la condición reproductiva.**

Embarcación	Código del Lance	Posición
Malleco	M(L1)	37°30'S – 81°37'W
Javier	J(L3)	37°11'S – 80°49'W
Javier	J(L1)	35° 07'S – 79°20'W
Paniahue	P(L2)	37°48'S – 79°15'S
Javier	J(L4)	37°12'S – 77°06'W
Malleco	M(L2)	37°19'S – 74°21'W
Vikingo	V(L1)	36°54'S – 90°46'W
Don Boris	DB(L1)	33°53'S – 90°44'W
Ligrunn	L(L2)	35°37'S – 90°26'W
El Cazador	EC(L3)	35° 47'S – 90°24'W
El Cazador	EC(L2)	35°36'S – 89°11'W
Ligrunn	L(L1)	35°20'S – 87°00'W
El Cazador	EC(L1)	35°51'S – 86°18'W
Paniahue	P(L1)	35°42'S – 85°00'W
El Cazador	EC(L4)	33°21'S – 83°59'W

**Tabla 18. Factor de Condición (FC) de hembras de jurel en el sector oceánico.**

PAM	Hora	Fecha	N° Lance	Latitud	Longitud	FC	DE	n
Don Boris	05:00	27-Nov	1	33°53	90°44	0,9841	0,0498	100
El Cazador	08:00	28-Nov	2	35°36	89°20	0,9657	0,0562	96
El Cazador	16:00	28-Nov	3	35°47	90°24	0,9447	0,0663	51
El Cazador	06:00	30-Nov	4	33°21	83°59	0,9603	0,0691	47
Javier	15:40	25-Nov	1	35°07	79°20	0,9583	0,0823	29
Javier	09:00	02-Dic	4	37°12	77°06	0,9892	0,0640	45
Ligrunn	02:51	28-Nov	1	35°20	87°00	0,9625	0,0572	62
Ligrunn	03:35	29-Nov	2	35°37	90°26	0,9573	0,0526	50
Malleco	21:17	29-Nov	1	37°30	81°37	1,0475	0,0739	66
Paniahue	17:18	26-Nov	1	35°42	85°00	1,0232	0,1360	100
Paniahue	01:39	01-Dic	2	37°48	79°18	1,0156	0,0972	49
Vikingo	23:30	28-Nov	1	36°54	90°46	0,9897	0,0608	71
Totales			12		Promedio	0,9867		766
					Varianza	0,0731		
					CV(%)=	27,4		

Tabla 19. Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales.

EMS	ESTADO	ASPECTO GENERAL
1	Inmaduro	Ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, rosáceos, traslúcidos, ovocitos invisibles a simple vista.
2	Virgen madurando y en recuperación	Ovarios ocupan casi la mitad de la longitud la cavidad abdominal. Color rosado y ovocitos invisibles a simple vista.
3	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 indetectables a simple vista. Se observan vasos sanguíneos superficiales.
4	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.
5	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 translúcidos. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.

Tabla 20. Resumen del ajuste entre la fecundidad parcial y el peso eviscerado de las hembras hidratadas de jurel.

<i>T=700 mm :</i>						
R2	0.40637251					
Error típico	27014.9521					
Observaciones	164					
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-8347.5	3443.352	-2.424	0.016	-15147.155	-1547.860
Pendiente	109.9	10.435	10.531	0.000	89.287	130.501
<i>T=500+700 mm:</i>						
R2	0.41073921					
Error típico	28660.0085					
Observaciones	164					
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-7163.1	3653.032	-1.961	0.052	-14376.805	50.610
Pendiente	117.6	11.071	10.626	0.000	95.782	139.506

**Tabla 21. Estados de madurez microscópicos de jurel durante el cruceo de prospección.**

Estado de madurez Clase	Muestra total		Transectas		Zona de pesca	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
II	20	3,01	20	3,27	0	0,00
III	12	1,80	10	1,64	2	3,70
IV	633	95,19	581	95,09	52	96,30
<b>TOTAL</b>	<b>665</b>	<b>100</b>	<b>611</b>	<b>100</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

**Tabla 22. Estimación de la proporción de hembras con folículos postovulatorios (FPO) obtenidas por barco y lance.**

Barco	Mes	Día	Lance	n	FPO total	Proporción /2
Cazador	11	28	2	79	23	0,146
Cazador	11	28	3	34	12	0,176
Cazador	11	30	4	29	10	0,172
Don Boris	11	27	1	74	25	0,169
Javier	11	25	1	29	8	0,138
Javier	12	2	4	22	3	0,068
Ligrun	11	28	1	47	22	0,234
Ligrun	11	29	2	44	18	0,205
Malleco	11	29	1	45	12	0,133
Malleco	12	1	2	31	10	0,161
Paniahue	11	26	1	84	23	0,137
Paniahue	12	1	2	33	7	0,106
Vikingo	11	28	1	58	16	0,138

**Tabla 23. Estimación de hembras maduras desovantes por lance y día ( $F_i$ ). (FPO total: folículos postovulatorios totales; H: hidratadas).**

Barco	Mes	Día	Lance	n	FPO total	H	$F_i$
Javier	11	25	1	29	8	1	0,121
Paniahue	11	26	1	84	23	19	0,120
Don Boris	11	27	1	74	25	10	0,145
Cazador	11	28	2	79	23	15	0,127
Cazador	11	28	3	34	12	13	0,150
Ligrun	11	28	1	47	22	1	0,190
Vikingo	11	28	1	58	16	3	0,121
Ligrun	11	29	2	44	18	3	0,170
Malleco	11	29	1	45	12	1	0,118
Cazador	11	30	4	29	10	8	0,147
Malleco	12	1	2	31	10	3	0,139
Paniahue	12	1	2	33	7	1	0,096
Javier	12	2	4	22	3	0	0,064

**Tabla 24. Estimación de hembras maduras desovantes promedio por día ( $\bar{S}$ ), varianza, desviación estándar y coeficiente de variación (cv).**

Fecha	$\bar{S}$	Varianza	D. estándar	cv (%)
25-noviembre	0,125	-	-	-
26-noviembre	0,120	-	-	-
27-noviembre	0,145	-	-	-
28-noviembre	0,143	0,001	0,031	21,6
29-noviembre	0,144	0,001	0,037	25,6
30-noviembre	0,147	-	-	-
1-diciembre	0,117	0,001	0,030	25,9
2-Diciembre	0,064	-	-	-

**Tabla 25. Estimación de la proporción sexual de hembras maduras de jurel en noviembre de 2000.**

<b>PAM</b>	<b>Nº Lance</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>N.M.</b>	<b>N.H.</b>	<b>Peso Machos</b>	<b>Peso Hembras</b>	<b>R Hembras</b>
Cazador	2	28-11	8:00	35°36	89°20	70	87	206,21	200,16	0,498
Cazador	3	28-11	16:00	35°47	90°24	84	67	259,21	205,78	0,366
Cazador	4	30-11	6:00	33°21	83°59	106	131	199,91	179,29	0,548
Don Boris	1	27-11	5:00	33°53	90°44	58	116	181,15	178,32	0,565
Javier	1	25-11	15:40	35°07	79°20	80	48	170,42	164,00	0,663
Javier	4	2-12	9:00	37°12	77°06	77	93	206,26	207,38	0,546
Ligrunn	1	28-11	2:51	35°20	87°00	68	80	223,17	175,49	0,388
Ligrunn	2	29-11	3:35	35°37	90°26	108	119	221,34	205,78	0,526
Malleco	1	29-11	21:17	37°30	81°37	118	144	158,07	168,44	0,201
Paniahue	1	26-11	17:18	35°42	85°00	108	43	478,71	302,71	0,255
Paniahue	2	1-12	1:39	37°48	79°18	105	37	162,51	157,80	0,481
Vikingo	1	28-11	23:20	36°54	90°46	158	191	256,24	209,24	0,506
<b>Totales</b>	<b>12</b>					<b>1140</b>	<b>1156</b>			Promedio= 0,459
										Varianza= 0,019
										CV(%)= 30,4

**Tabla 26. Número (N%), peso (P%), frecuencia de aparición (F%) e índice de importancia relativa para las principales presas de jurel.**

ITEM	Código	N	N%	W	W%	F	F%	IIR
Eufáusidos	EUF	4470	93,504	235,112	64,162	257	57,238	3,914
Mictófidós	MIC	88	0,222	78,888	21,528	66	14,699	2,532
Calamar	CAL	3	0,000	9,980	2,724	4	0,891	0,541
Camarón	CAM	1	0,000	0,380	0,104	1	0,223	0,012
Restos de crustáceos	RCRST	0	0,000	25,530	6,967	43	9,577	1,831
Especie desconocida	SNN	11	0,167	12,359	3,373	2	0,445	0,413
Copépodos	COP	1050	5,997	1,435	0,392	32	7,127	2,135
Ostracodos	OSTR	13	0,056	0,010	0,003	7	1,559	0,135
Anfípodos	ANF	1	0,000	0,006	0,002	1	0,223	0,002
Restos de crustáceos pequeños	RCRPQ	0	0,000	2,682	0,732	33	7,350	0,805
Salpas	SAL	2	0,056	0,054	0,015	3	0,668	0,014

**Tabla 27. Índice de importancia relativa (IIR) por grupo de tamaño en la zona oceánica (ver Tabla 25 para la nomenclatura).**

GRUPO	Zona Oceanica (transectas)										
	EUF	MIC	CAL	CAM	RCRST	SNN	COP	OSTR	ANF	RCRPQ	SAL
I	4,165	0,910	0,000	0,000	1,812	0,000	1,356	0,021	0,000	0,173	0,053
II	3,872	2,503	0,542	0,000	1,988	0,000	2,299	0,158	0,005	1,033	0,007
III	3,478	3,161	1,769	0,875	0,000	0,000	2,702	0,843	0,000	0,857	0,000
IV	3,329	3,628	0,000	0,000	1,222	1,810	2,322	0,000	0,000	0,000	0,000
V	3,128	4,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
VI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,301	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	3,914	2,532	0,541	0,012	1,831	0,413	2,135	0,135	0,002	0,805	0,014

**Tabla 28. Índice de importancia relativa (IIR) por grupo de tamaño en la zona costera.**

GRUPO	Zona Costera (Z/P)										
	EUF	MIC	CAL	CAM	RCRST	SNN	COP	OSTR	ANF	RCRPQ	SAL
I	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
II	4,301	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
III	2,361	4,156	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
IV	0,000	4,301	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
VI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	4,037	3,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla 29. Índice de cobertura (IC) por tipo de ecotrazos.

Tipo de agregaciones	Tipo de categoría de IC (%)			
	Buena	Regular	Mala	Total
Cardumen	0,07	0,03	0,07	0,18
Estrato	0,10	0,20	0,38	0,68
Disperso	0,01	0,10	1,05	1,16
Individual	0,01	0,06	2,33	2,40
<b>Total</b>	<b>0,20</b>	<b>0,39</b>	<b>3,83</b>	<b>4,42</b>

Tabla 30. Profundidad y altura promedio por tipo de agregaciones

Tipo de agregaciones	Promedio de:	
	Profundidad (m)	Altura (m)
Cardumen	82,1	27,6
Estrato	84,0	22,4
Disperso	65,7	26,6
Individual	61,7	24,1
<b>Total</b>	<b>67,0</b>	<b>24,6</b>

**Tabla 31. Distancias entre agregaciones por transecta e índice de presencia de ecotrazos.**

Transectas	IPE N° agregaciones por mn lineal	Distancia entre agregaciones mn
1		
2	0.04488	18.22
3		
4	0.13899	6.65
5	0.02405	31.15
6	0.09416	9.66
7	0.01056	94.66
8	0.07007	12.38
9	0.02689	36.83
10	0.04298	18.47
11		
12	0.05453	16.09
13	0.01489	10.12
14	0.11446	7.89
15	0.00989	109.58
16	0.00744	103.64
17	0.03251	28.10
18	0.03141	8.09
19	0.00651	134.35
20	0.00368	16.53
<b>Promedio</b>	<b>0.03640</b>	<b>38.96</b>
<b>Desv. Estandar</b>	<b>0.04002</b>	<b>42.42</b>

**Tabla 32. Número de cluster simples (CS) y cluster complejos (CC) por tipo y categoría de ecotrazos.**

Tipo de agregación	CS	CC	Total
Cardumen	24	0	24
Estrato	89	2	91
Disperso	144	6	150
Individual	313	7	320
<b>Total</b>	<b>555</b>	<b>21</b>	<b>576</b>

Tipo de abundancia	CS	CC	Total
Buena	25	1	26
Regular	47	3	50
Mala	492	14	506
<b>Total</b>	<b>555</b>	<b>21</b>	<b>576</b>

**Tabla 33. Índice de cobertura (IC %) en los cruceros de verano de 1997, 1998, 1999 y 2000 en la zona sur costera (36° 00'S - 39° 30'S y 74° 00' W – 84° 00'W).**

Tipo de Agregación	Nov. 1997				Dic. 1998				Dic. 1999				Nov. 2000			
	Mala	Regular	Buena	Total	Mala	Regular	Buena	Total	Mala	Regular	Buena	Total	Mala	Regular	Buena	Total
Cardumen	0.17	0.37	0.35	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.43	0.11	1.27	0.02	0.00	0.01	0.03
Estrato	5.30	0.95	0.23	6.48	0.00	0.00	0.00	0.00	2.44	0.45	0.00	2.89	0.02	0.01	0.00	0.03
Disperso	3.69	0.37	0.00	4.06	0.04	0.04	0.00	0.08	3.93	0.15	0.00	4.08	0.19	0.01	0.00	0.20
Individual	3.34	0.20	0.00	3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	0.11	0.00	1.99	0.48	0.00	0.00	0.48
<b>Total</b>	<b>12.50</b>	<b>1.90</b>	<b>0.58</b>	<b>14.97</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>0.08</b>	<b>8.98</b>	<b>1.14</b>	<b>0.11</b>	<b>10.23</b>	<b>0.71</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.73</b>

**Tabla 34. Índice de presencia de ecotrazos IPE (número de agregaciones por milla náutica lineal) en los cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000.**

Crucero	Tipo de Agregación	Clases de abundancia			
		Mala	Regular	Buena	Total
<b>Nov. 1997</b>	Cardumen	0.00140	0.00302	0.00279	<b>0.00721</b>
	Estrato	0.04280	0.00768	0.00186	<b>0.05234</b>
	Disperso	0.02977	0.00302	0.00000	<b>0.03280</b>
	Individual	0.02698	0.00163	0.00000	<b>0.02861</b>
	<b>Total</b>	<b>0.10095</b>	<b>0.01535</b>	<b>0.00465</b>	<b>0.12096</b>
<b>Dic. 1998</b>	Cardumen	0.0004	0.0000	0.0000	<b>0.0004</b>
	Estrato	0.0000	0.0010	0.0000	<b>0.0010</b>
	Disperso	0.0038	0.0004	0.0000	<b>0.0042</b>
	Individual	0.0040	0.0002	0.0000	<b>0.0042</b>
	<b>Total</b>	<b>0.0083</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0099</b>
<b>Dic. 1999</b>	Cardumen	0.0092	0.0050	0.0016	<b>0.0158</b>
	Estrato	0.0297	0.0080	0.0000	<b>0.0377</b>
	Disperso	0.0433	0.0019	0.0000	<b>0.0451</b>
	Individual	0.0302	0.0009	0.0000	<b>0.0311</b>
	<b>Total</b>	<b>0.1123</b>	<b>0.0158</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.1297</b>
<b>Nov. 2000</b>	Cardumen	0.0006	0.0002	0.0006	<b>0.0015</b>
	Estrato	0.0032	0.0017	0.0009	<b>0.0058</b>
	Disperso	0.0089	0.0009	0.0001	<b>0.0098</b>
	Individual	0.0196	0.0005	0.0001	<b>0.0203</b>
	<b>Total</b>	<b>0.0324</b>	<b>0.0033</b>	<b>0.0017</b>	<b>0.0373</b>

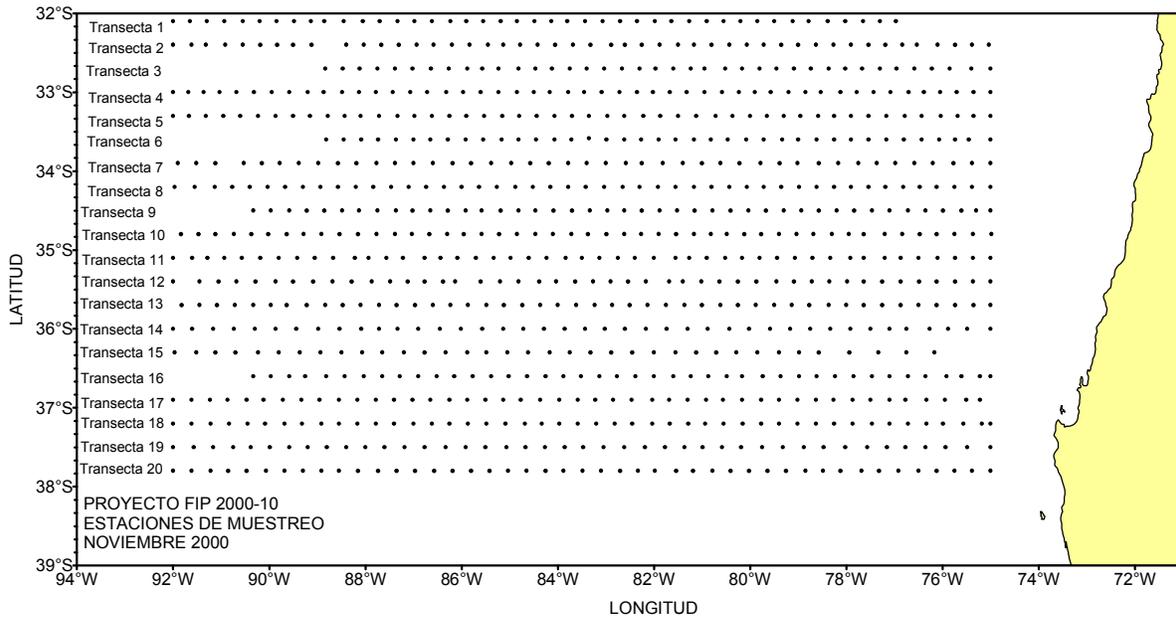
**Tabla 35. Distribución de la profundidad media, alto de la agregación y porcentaje de agregaciones entre la superficie y los 100 en los cruceros nov. 1997, dic. 1998, dic. 1999 y nov. 2000.**

Zona	Tipo de Agregación	Nov. 1997			Dic. 1998			Dic. 1999			Nov. 2000		
		Prof. Media	Alto Prom.	<= 100 m (%)	Prof. Media	Alto Prom.	<= 100 m (%)	Prof. Media	Alto Prom.	<= 100 m (%)	Prof. Media	Alto Prom.	<= 100 m (%)
<b>Sin huevos</b>	Cardumen	140.8	40.2	0.9	12.5	25.0	4.1	109.3	19.8	1.8	128.3	27.6	0.7
	Estrato	133.1	35.5	4.4	165.0	10.0		108.0	24.0	4.3	78.7	17.1	1.8
	Disperso	144.8	39.6	1.5	37.5	25.0	2.0	88.0	26.3	9.6	61.0	14.2	4.2
	Individual	99.4	20.9	5.3	160.0	20.0		78.6	33.8	5.9	46.6	15.9	2.7
	<b>Total</b>	129.1	33.7	12.0	91.3	20.8	6.1	94.1	26.5	21.7	68.6	16.7	9.3
<b>Regular</b>	Cardumen	87.1	40.3	0.9				74.1	22.8	3.5	53.5	22.1	1.7
	Estrato	148.7	24.5	1.3	192.5	15.0		113.2	20.8	4.2	62.2	28.9	4.3
	Disperso	150.4	28.7	0.9	77.5	10.0	2.0	78.1	27.8	8.2	47.8	31.8	9.1
	Individual	130.9	19.0	4.0	82.3	13.6	22.4	127.5	21.8	2.7	59.9	22.6	18.9
	<b>Total</b>	141.8	24.4	7.1	100.1	13.4	24.5	99.4	23.6	18.6	56.8	25.9	34.1
<b>Alta</b>	Cardumen	167.5	25.0					123.6	13.9	0.6	68.2	36.7	0.8
	Estrato	151.0	18.0		162.5	25.0		105.7	28.9	1.9	102.7	19.1	2.5
	Disperso	122.5	20.0	0.2	55.1	12.7	26.5	119.6	32.6	1.2	85.0	27.7	6.0
	Individual	134.5	16.6	0.5	101.9	27.2	8.2	146.1	18.6	0.5	64.4	26.0	25.1
	<b>Total</b>	141.9	18.1	0.7	70.6	16.7	34.7	125.4	24.4	4.2	74.7	25.6	34.4
<b>Total</b>	Cardumen	128.7	39.3	1.8	12.5	25.0	4.1	97.3	20.0	5.9	82.1	27.6	3.2
	Estrato	141.9	28.9	5.6	181.0	16.0		109.7	23.6	10.5	84.0	22.4	8.6
	Disperso	146.6	33.3	2.5	56.4	13.0	30.6	88.6	27.7	19.0	65.7	26.6	19.3
	Individual	119.7	19.5	9.8	95.3	18.1	30.6	114.6	25.3	9.0	61.7	24.1	46.7
	<b>Total</b>	136.2	28.0	19.8	84.0	16.0	65.3	102.0	25.0	44.5	67.0	24.6	77.7

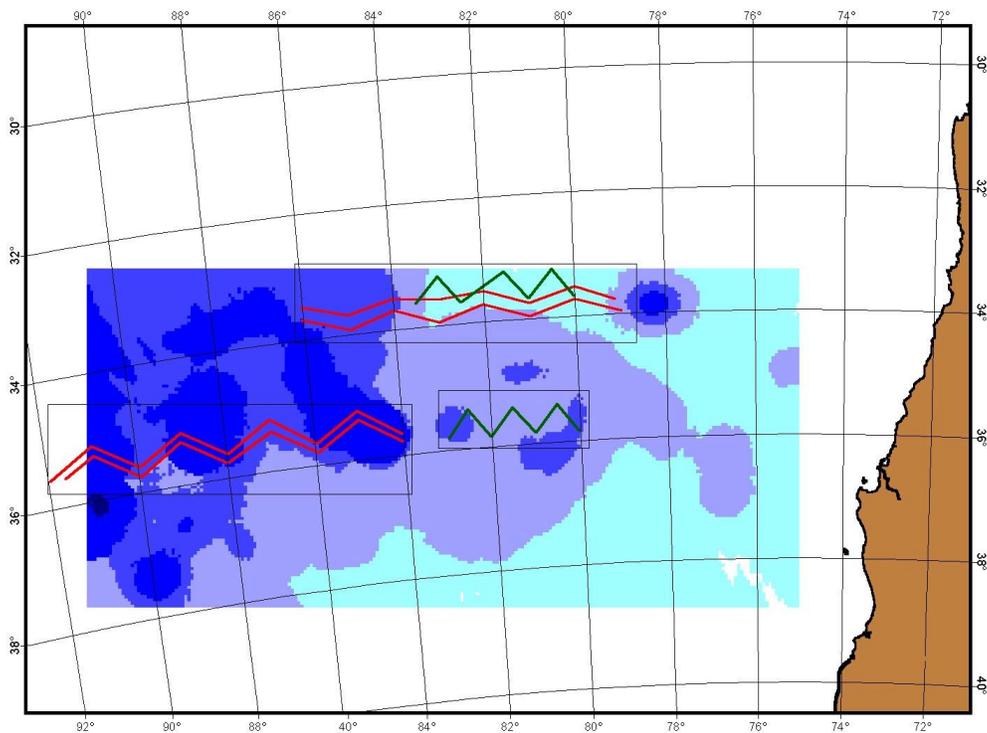
**Tabla 36. Resumen de los trabajos realizados sobre fecundidad en jurel  
(Modificada de Grechina et al., 1998).**

<b>Area de estudio</b>	<b>Longitud hembras (cm LH)</b>	<b>Fecundidad parcial</b>	<b>Referencia</b>
Fuera ZEE de Chile	28-48	59.063	Alexeeva, 1986.
ZEE de Perú	22-39*	78.798	Dioses et al., 1989.
Frente a California ( <i>T. symmetricus</i> )	38-50	103.797	Macewicz & Hunter, 1993.
Fuera de ZEE de Perú y Chile	31,2-38,4	60.956	Andrianov, 1994.
Pacífico Suroriental	25-45	68.005	Grechina et al., 1998.
ZEE de Chile	38-50	232.054	Aracena et al., 1998.
Fuera ZEE de Chile	24-51	20.312	Este estudio

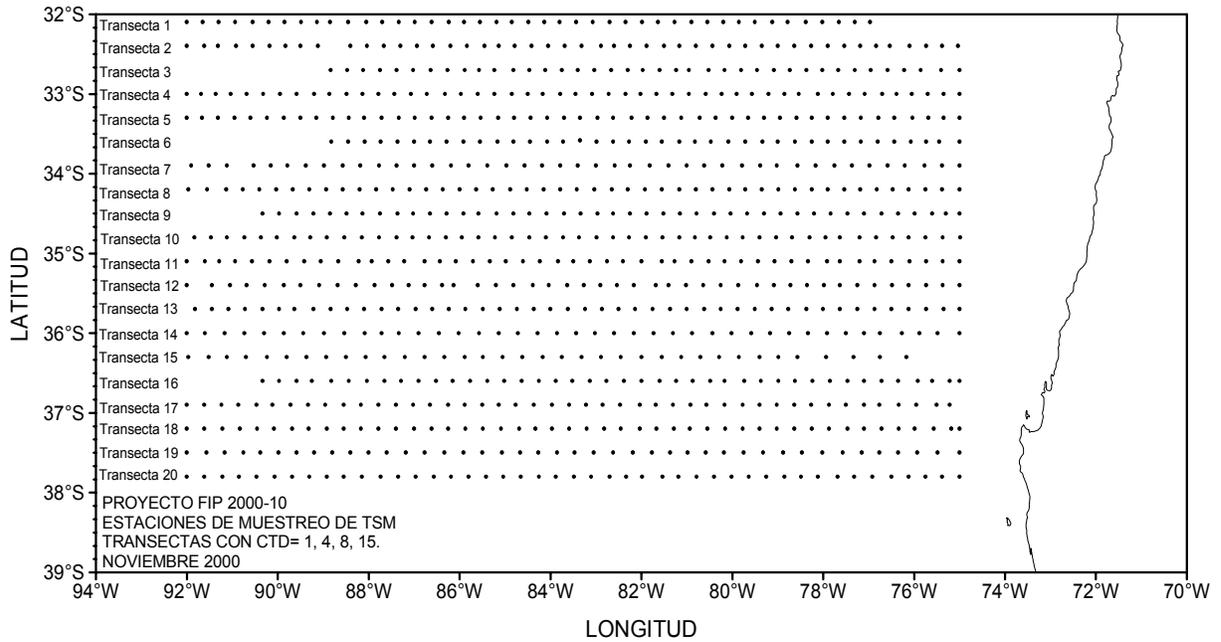
\*Longitud total



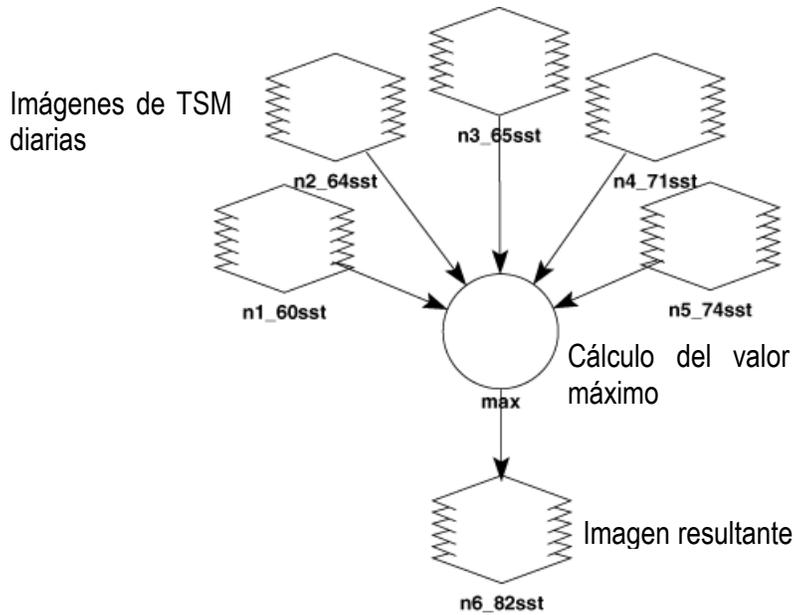
**Figura 1.** Disposición de los transectos y estaciones de muestreo durante el crucero de noviembre 2000



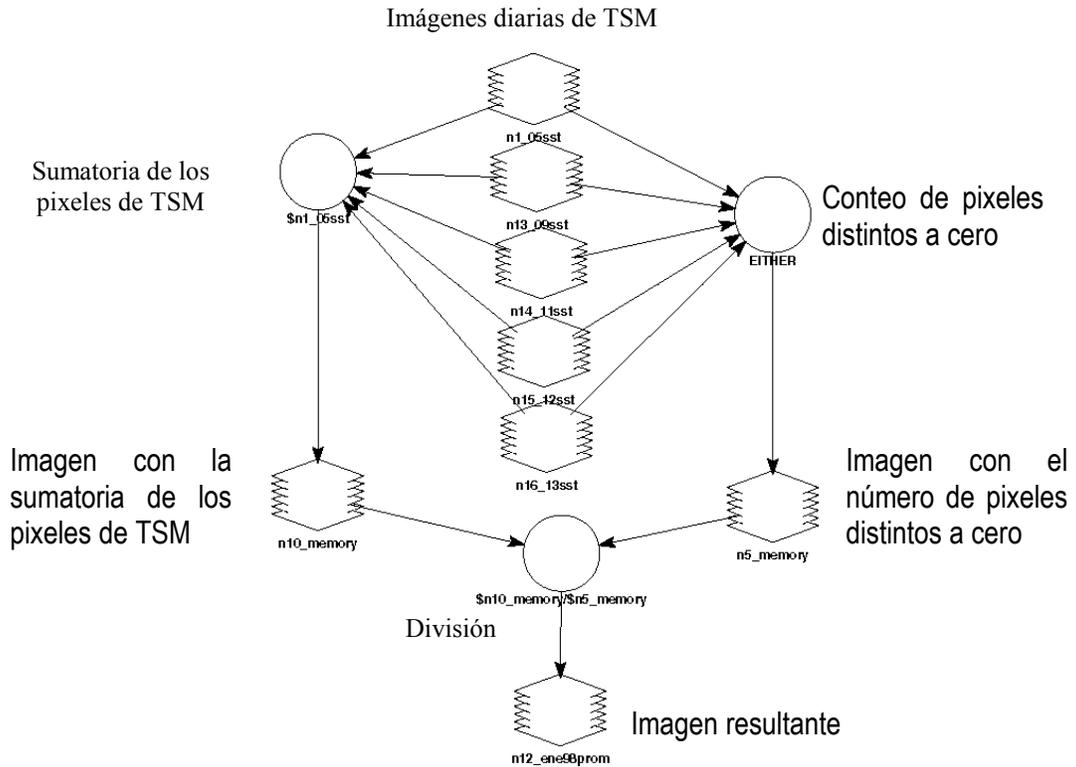
**Figura 2.** Track de navegación de las naves El Cazador, Ligrunn (en rojo) y Lider (en negro) durante el crucero 2000.



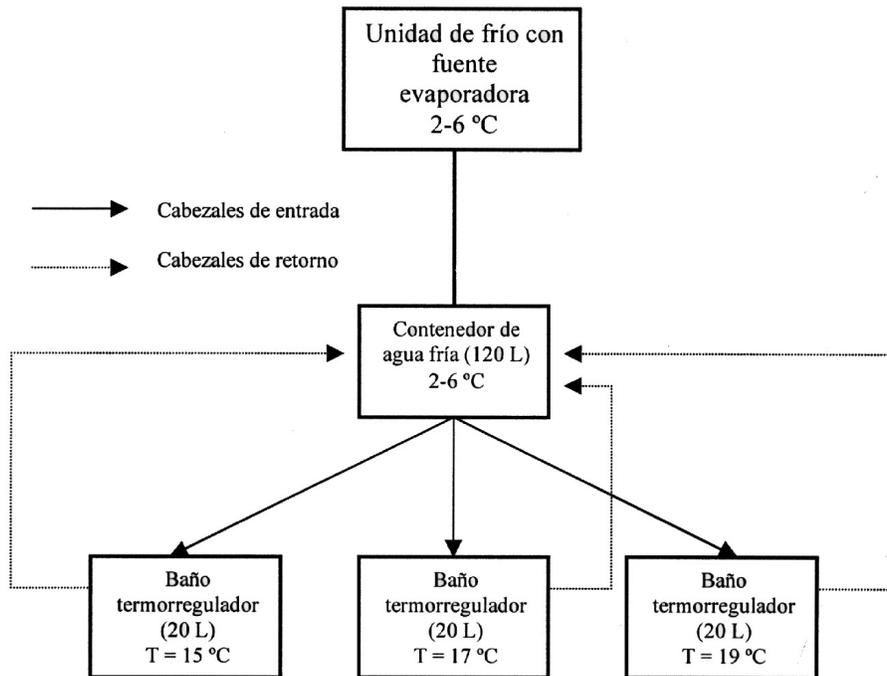
**Figura 3.** Distribución horizontal de las estaciones de muestreo de temperatura superficial del mar (TSM) en el área de prospección. Las estaciones correspondientes a las transectas 1, 4, 8 y 15 involucraron lances de CTD para la evaluación vertical de la temperatura, salinidad y densidad del agua de mar.



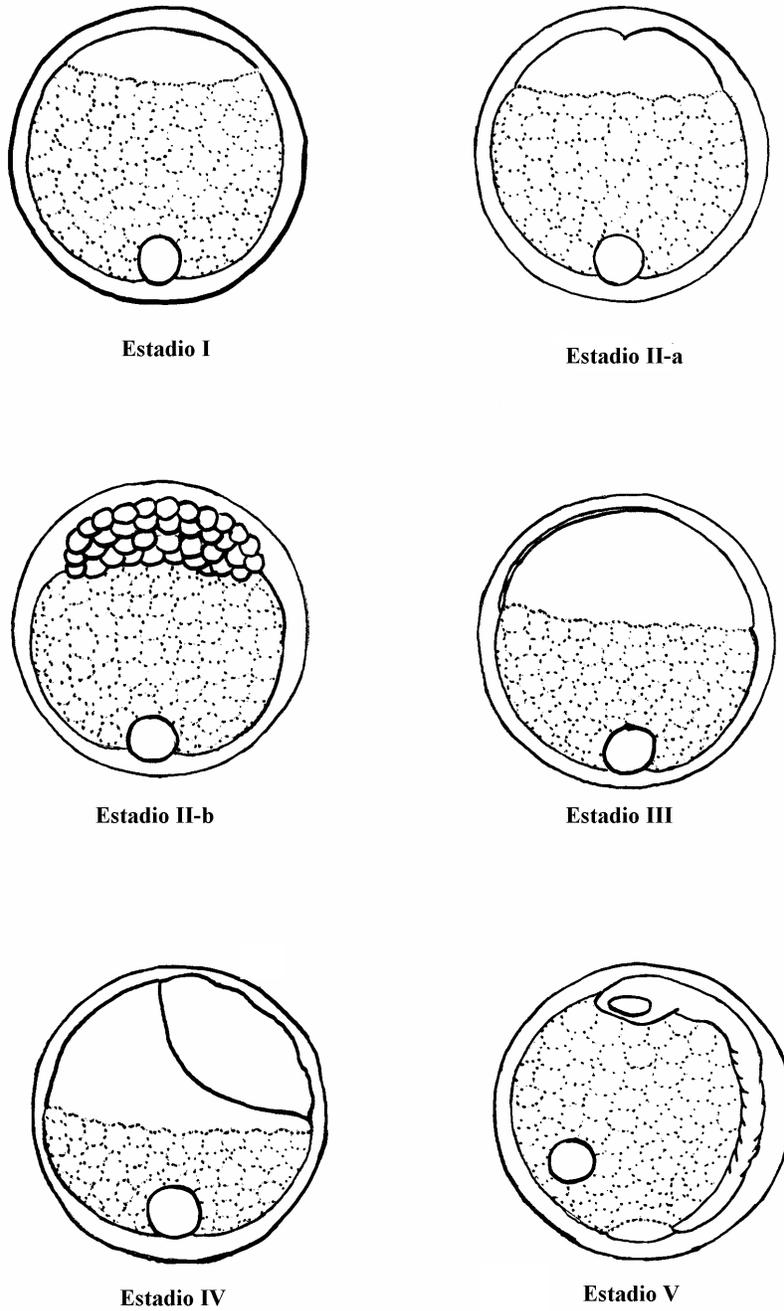
**Figura 4.** Esquema del modelo utilizado en el software Spatial modeler de ERDAS para la obtención de una imagen con los valores máximos de temperatura.



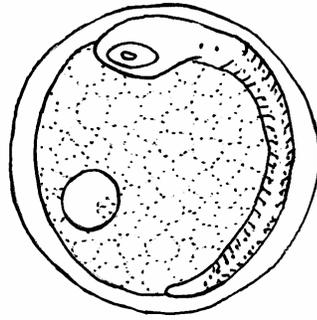
**Figura 5.** Esquema del modelo utilizado en el software Spatial modeler de ERDAS para la obtención de una imagen promedio sin considerar las nubes.



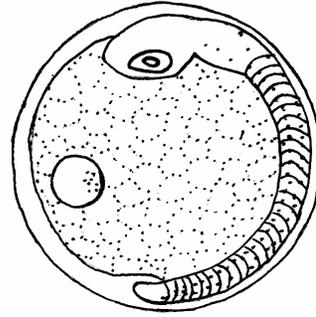
**Figura 6.** Sistema de incubación de huevos de jurel a temperatura controlada.



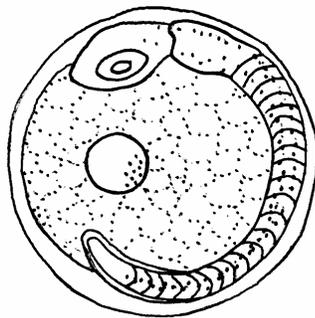
**Figura 7.** Estadios tempranos del desarrollo embrionario de jurel.



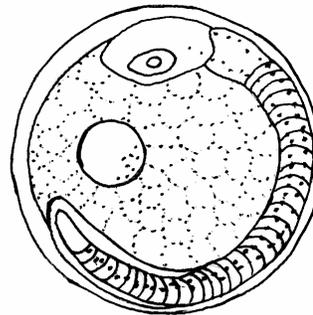
Estadio VI



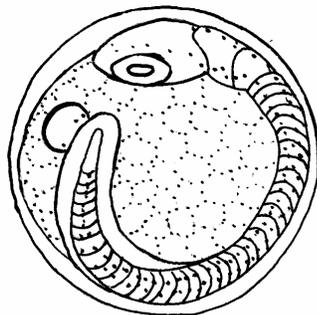
Estadio VII



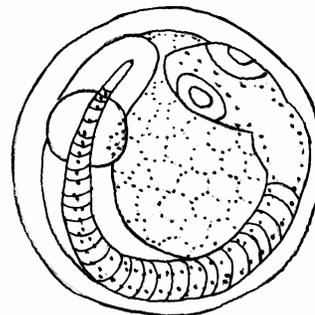
Estadio VIII



Estadio IX

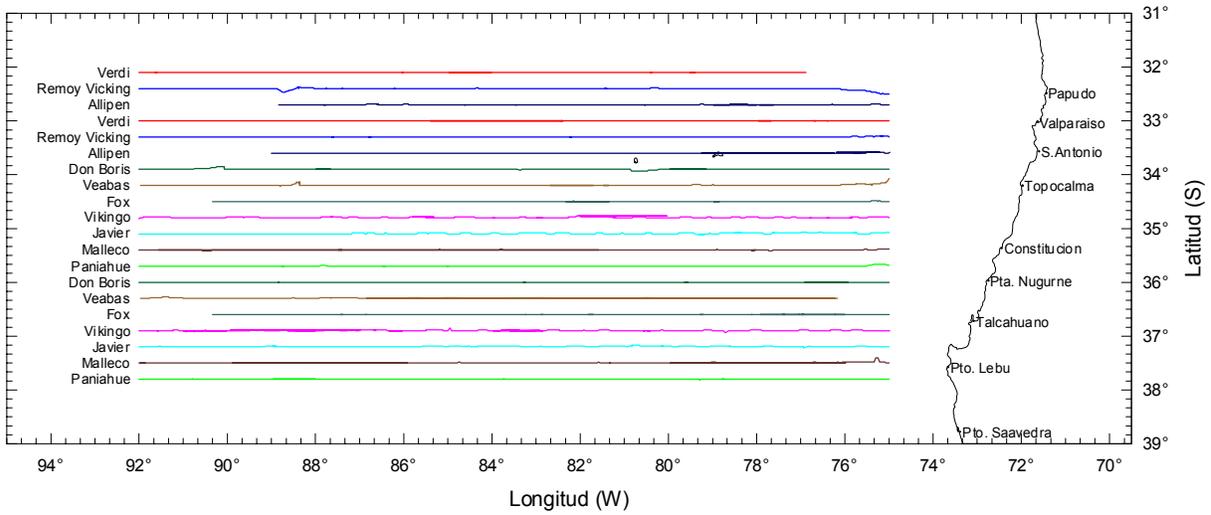


Estadio X

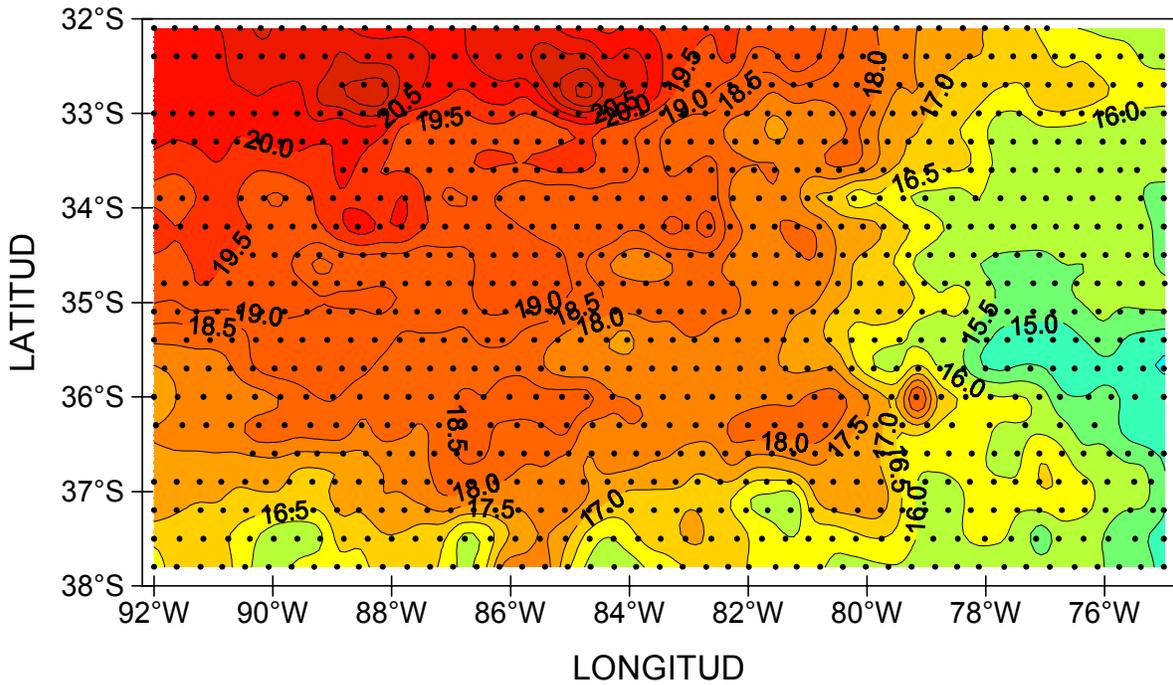


Estadio XI

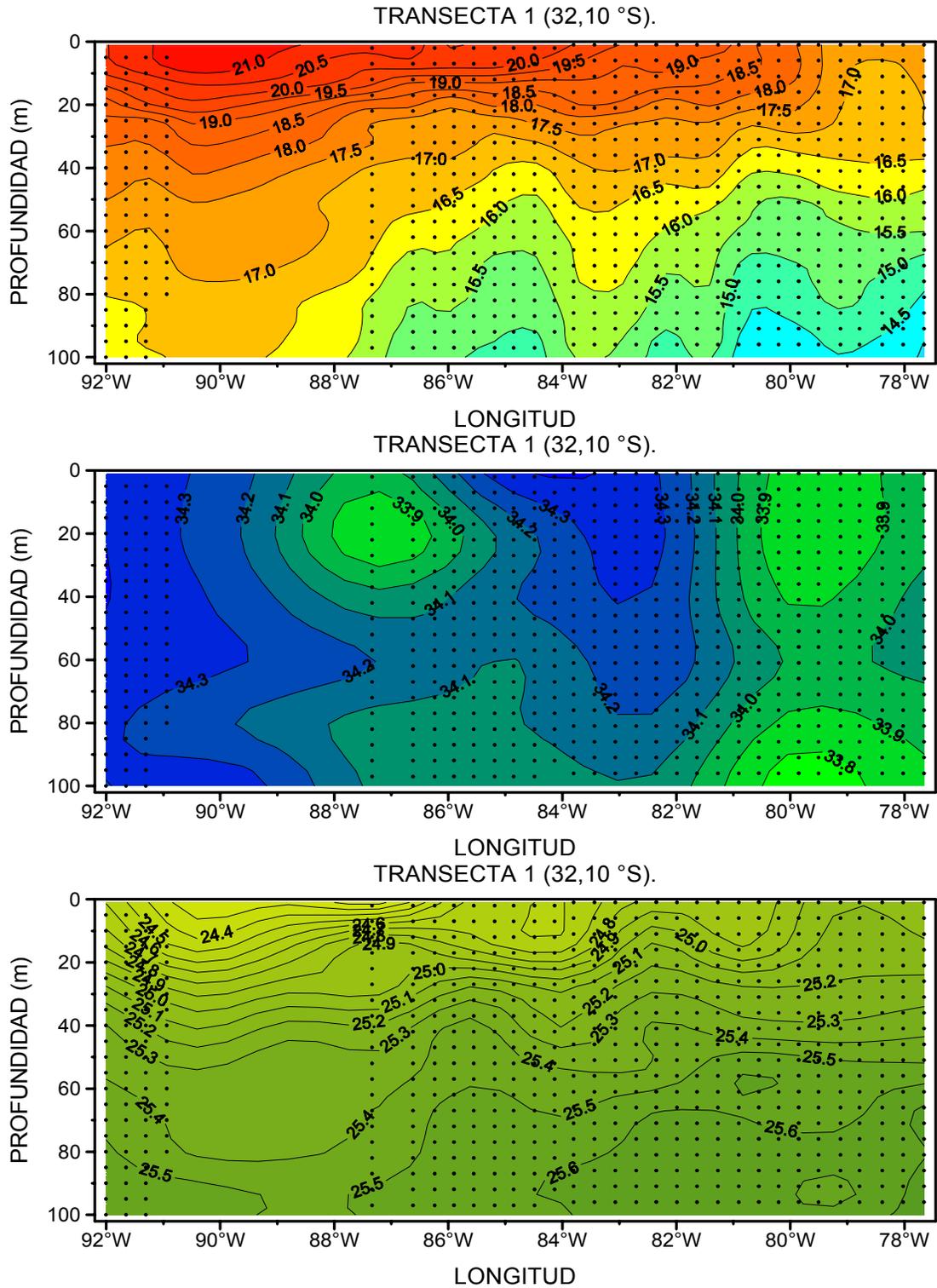
**Figura 8.** Estadios intermedios y avanzados del desarrollo embrionario de jurel.



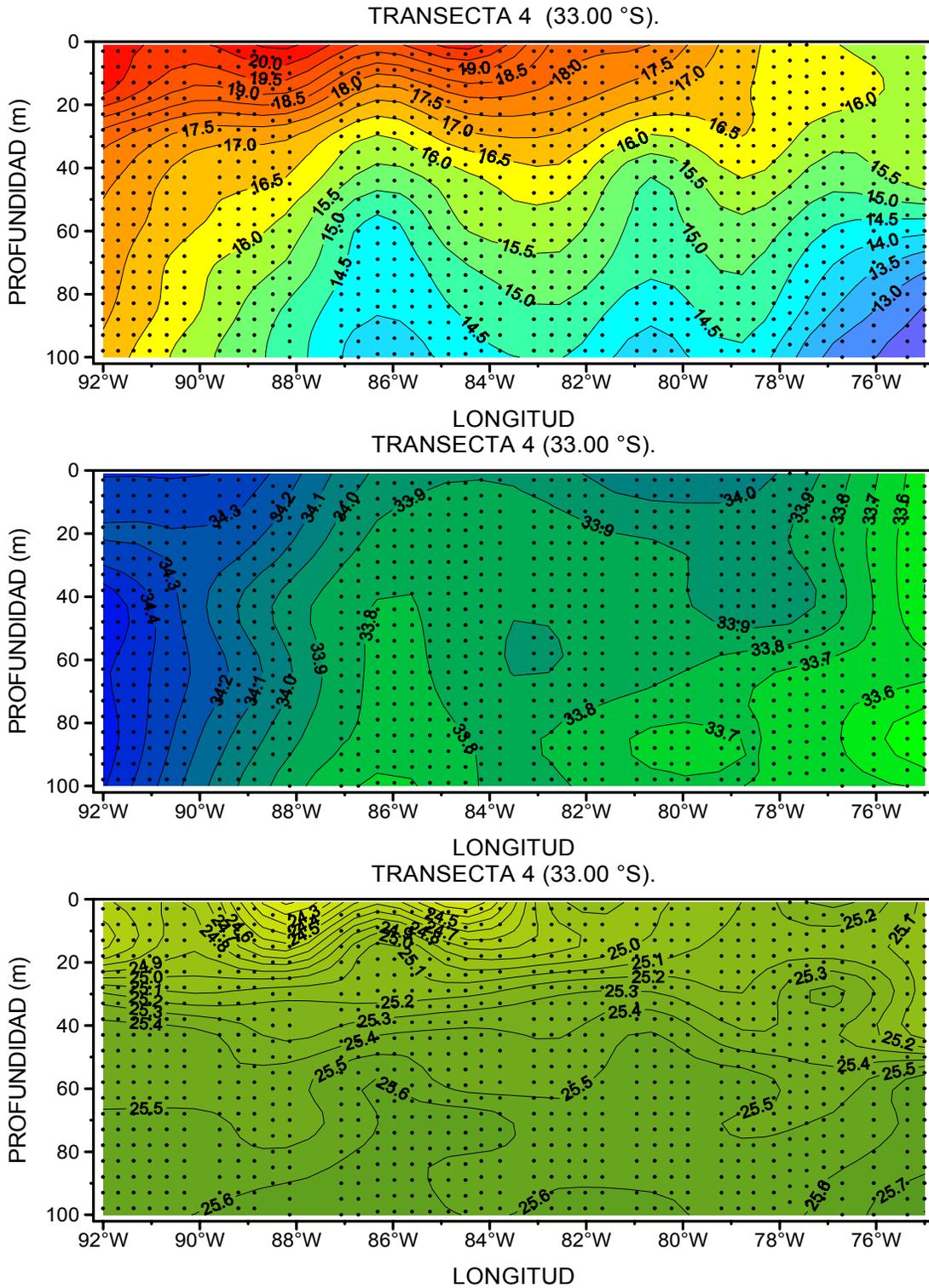
**Figura 9.** Track de navegación de flota pesquera. Crucero Nov. 2000.



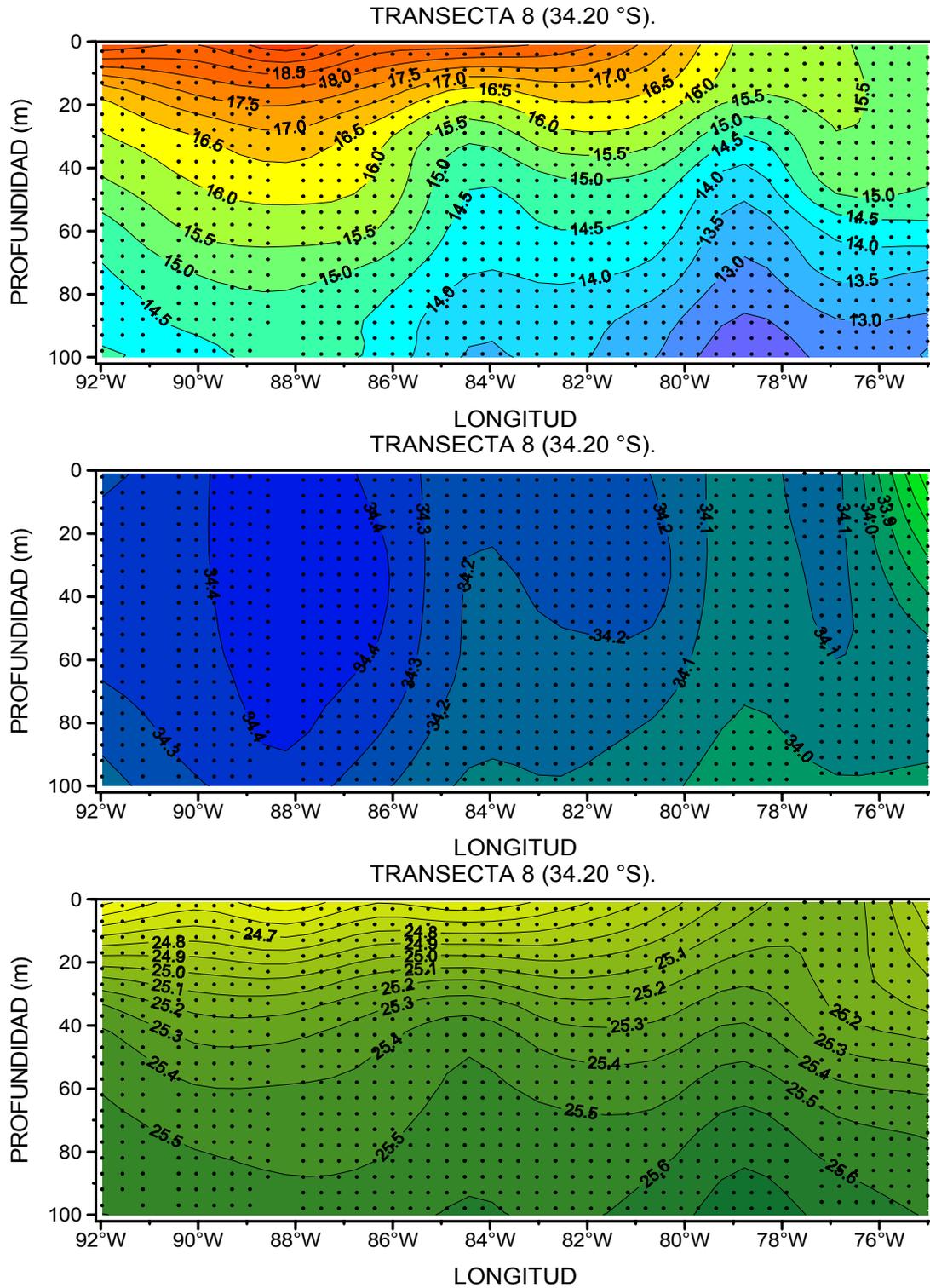
**Figura 10.** Distribución horizontal de la temperatura superficial del mar (°C) en el área de prospección.



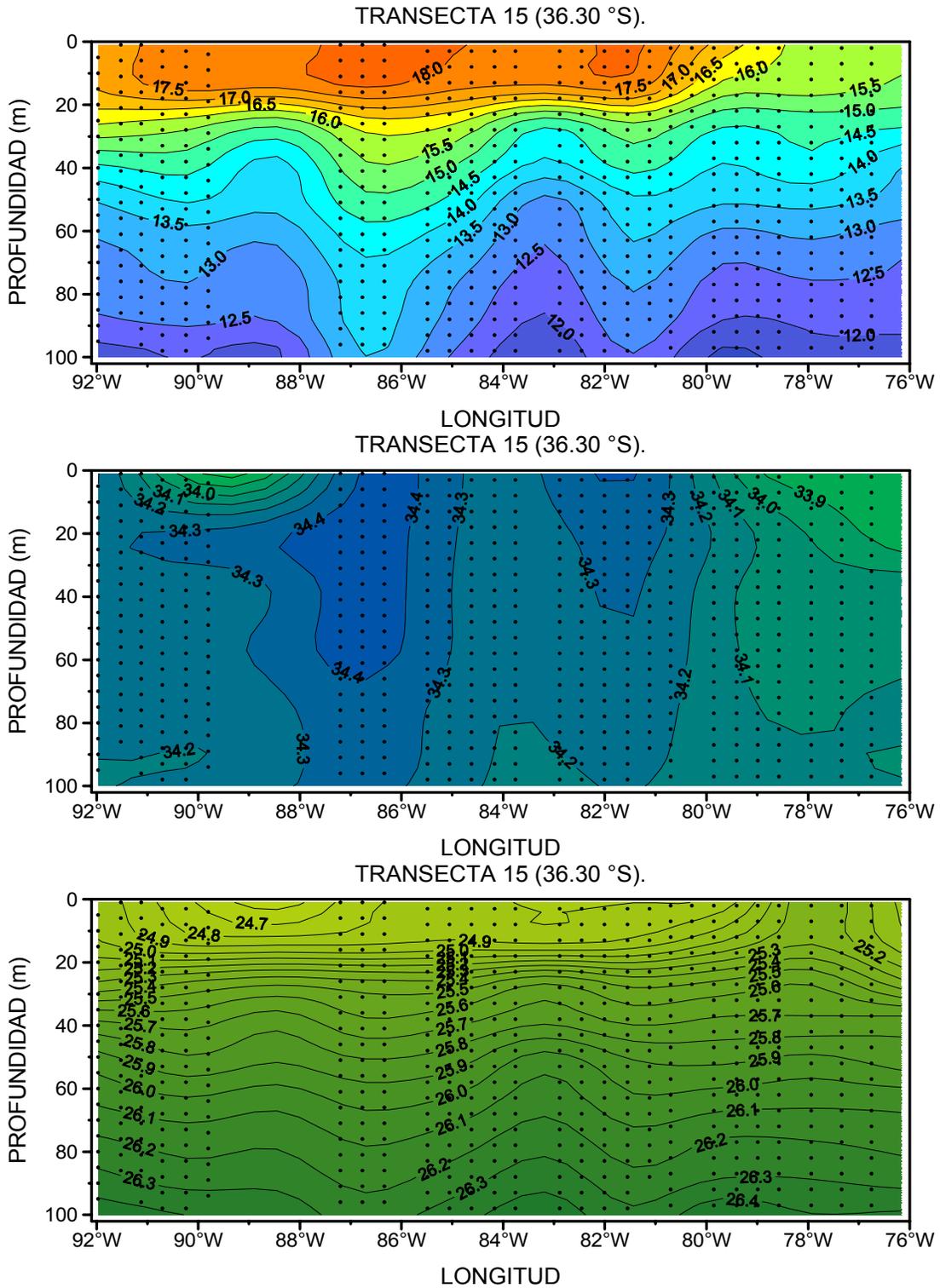
**Figura 11.** Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 1.



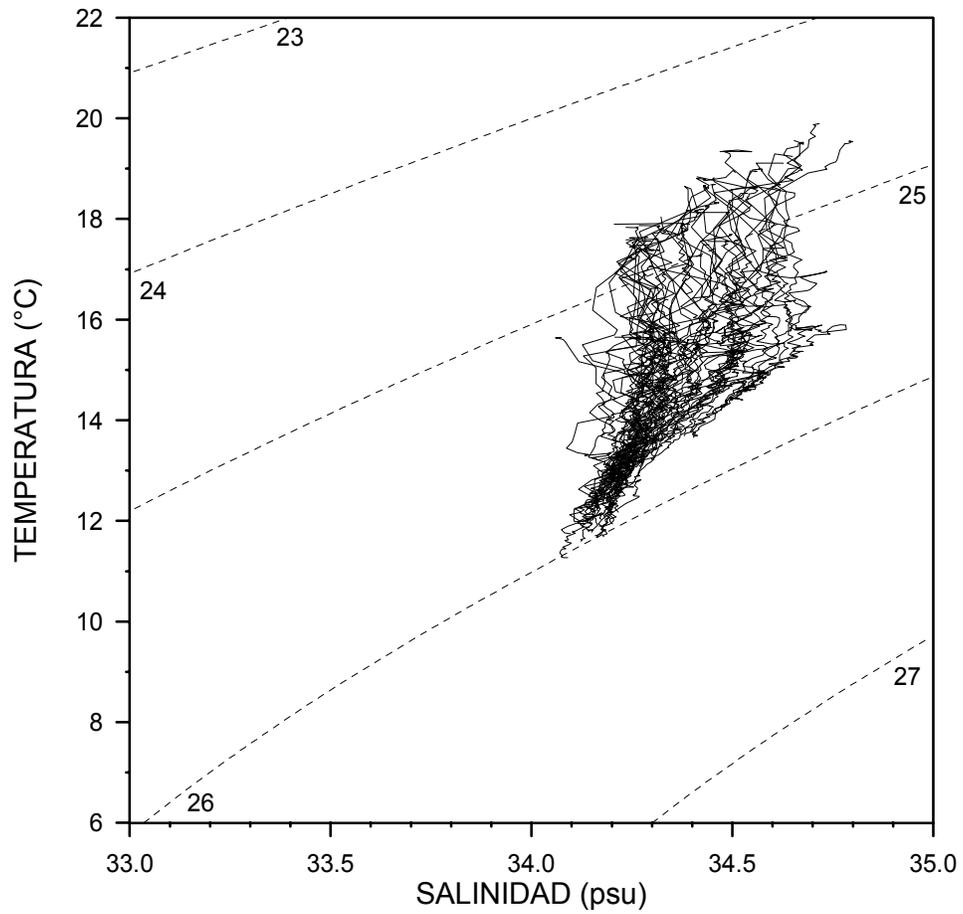
**Figura 12.** Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 4.



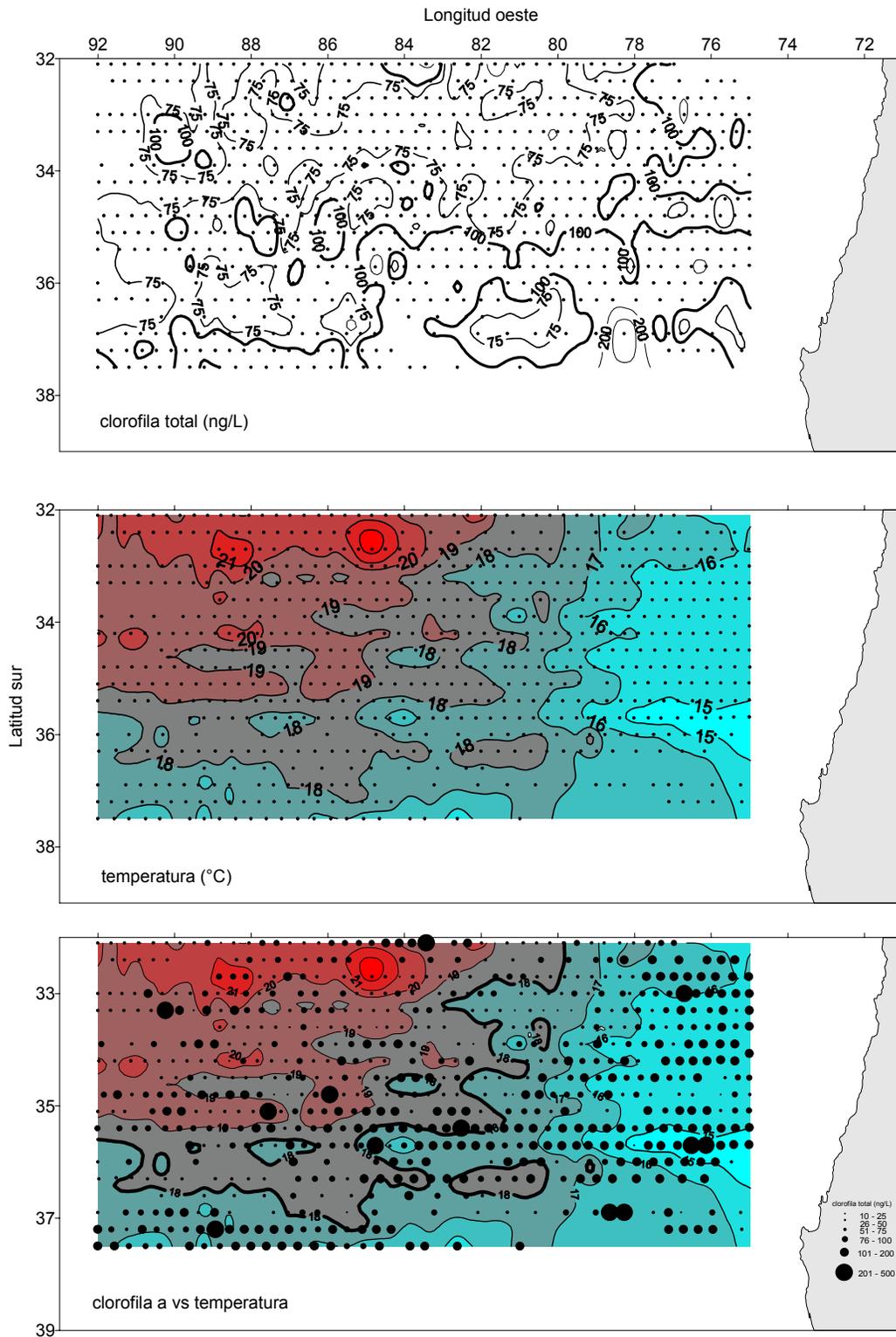
**Figura 13.** Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 8.



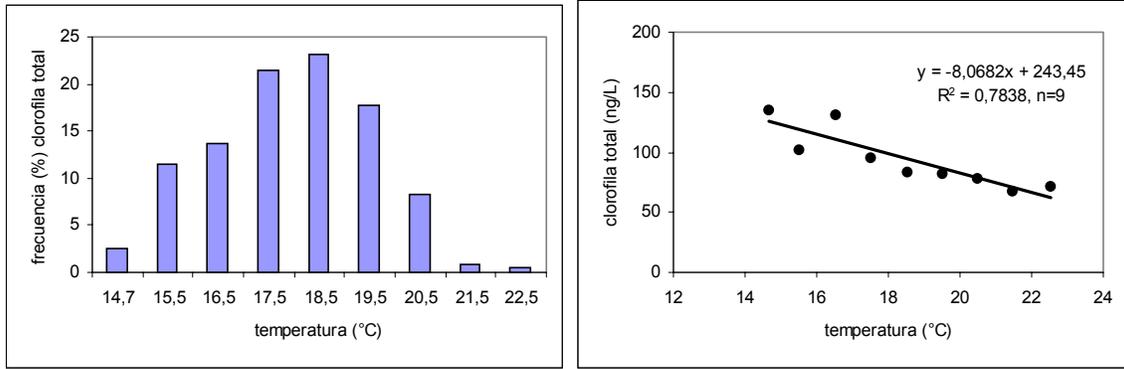
**Figura 14.** Distribución espacial (vertical) de la temperatura, salinidad y densidad correspondiente a la transecta 15.



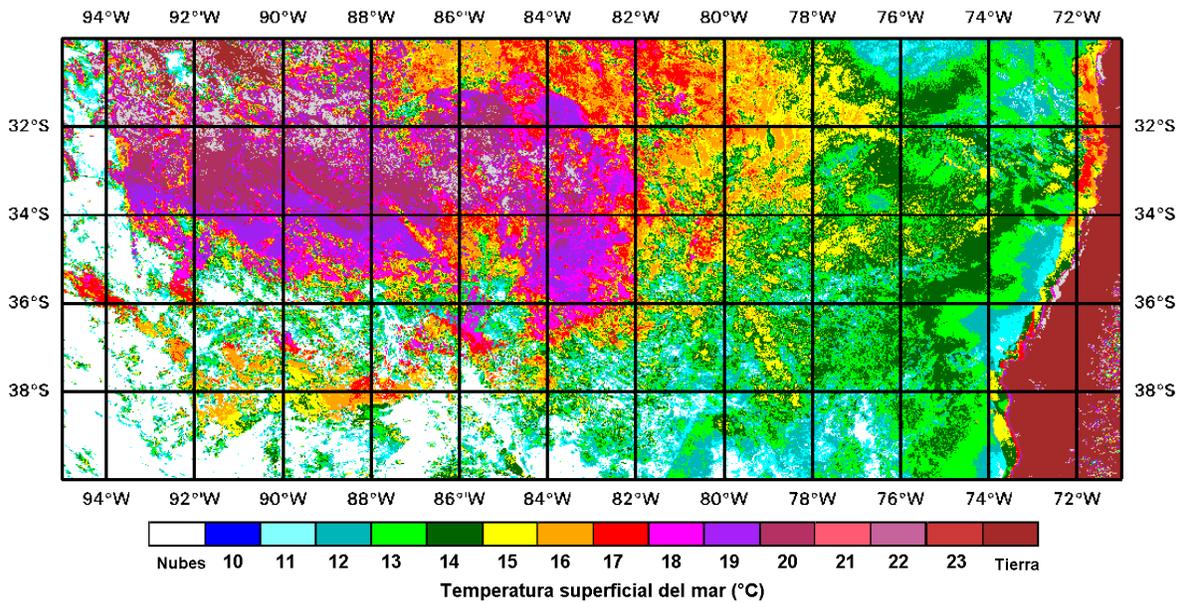
**Figura 15.** Relación biviariada de temperatura y salinidad (Diagrama TS) para las estaciones componentes de las transectas con lances de CTD.



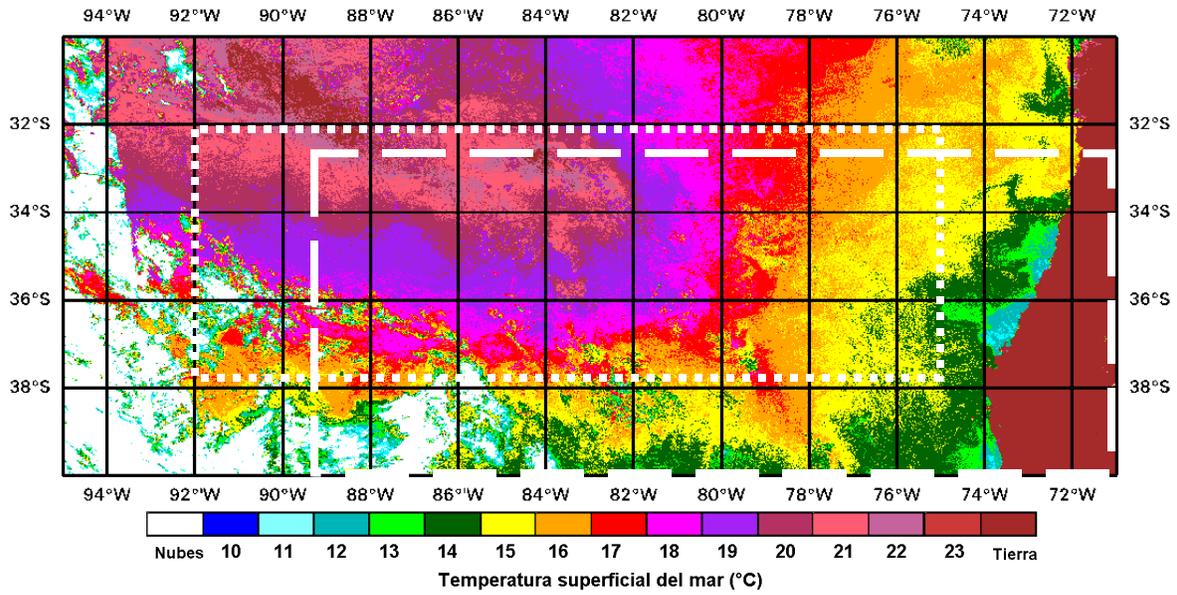
**Figura 16.** Distribución superficial de la clorofila total y distribución de la biomasa fitoplanctónica asociada al campo térmico. Crucero Pesca Exploratoria de jurel. Noviembre de 2000.



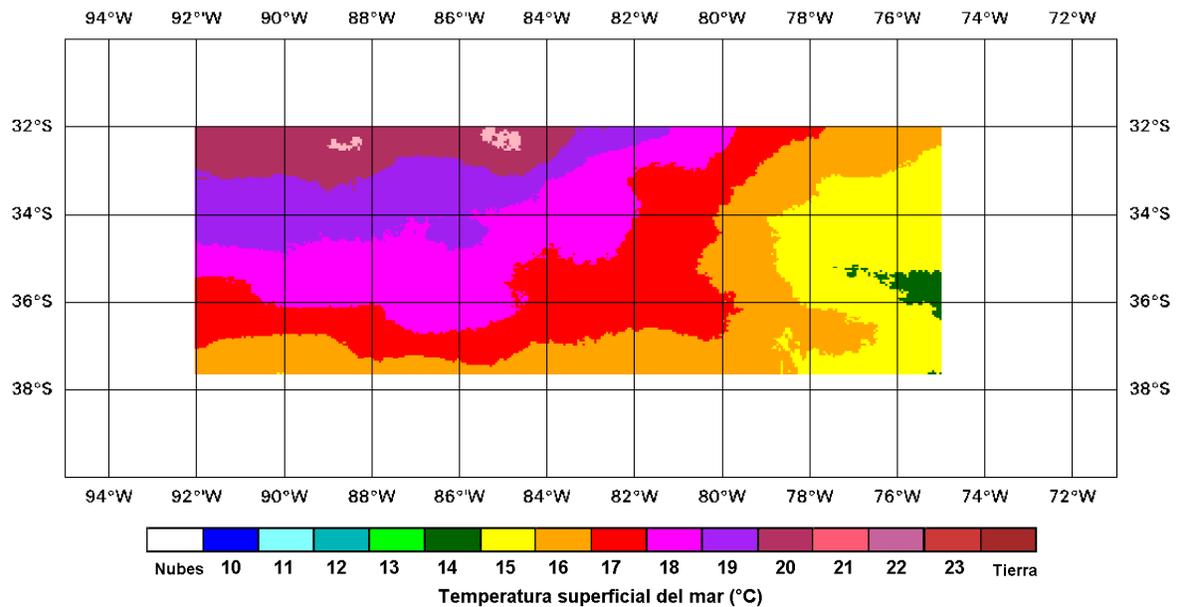
**Figura 17.** Distribución de las probabilidades de la clorofila total (clot) respecto de la temperatura superficial y la relación funcional entre la clot versus la temperatura superficial. Crucero Pesca Exploratoria de Jurel, noviembre del 2000.



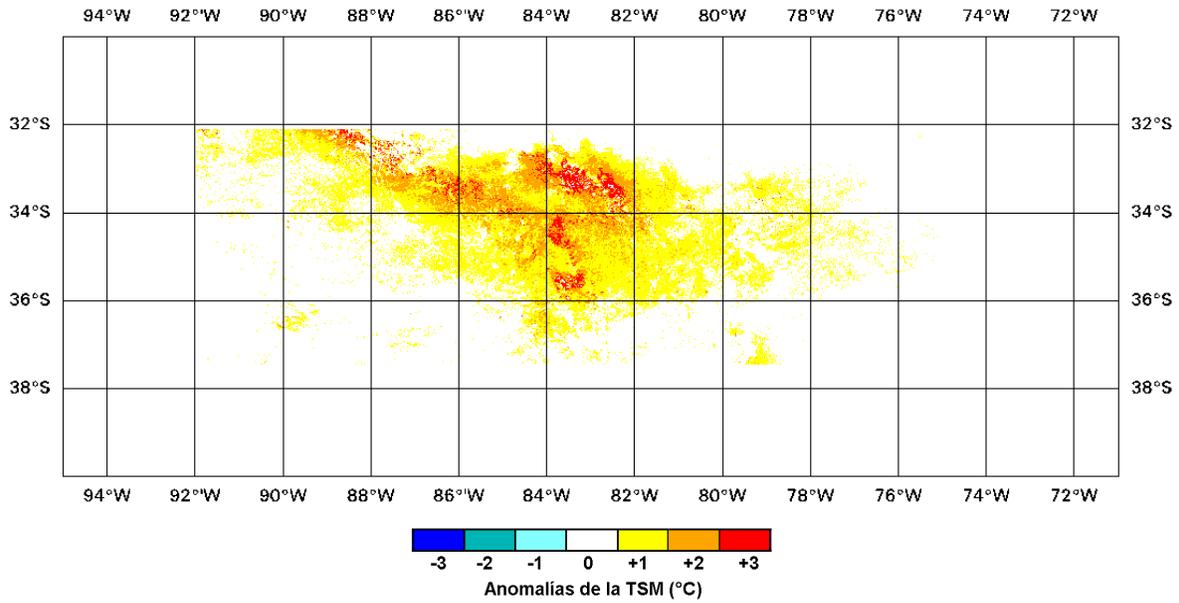
**Figura 18.** Imagen promedio “sin ceros” de la temperatura superficial del mar satelital, utilizando las imágenes de los días 23, 24, 27, 28, 29 de noviembre y 01 de diciembre de 2000.



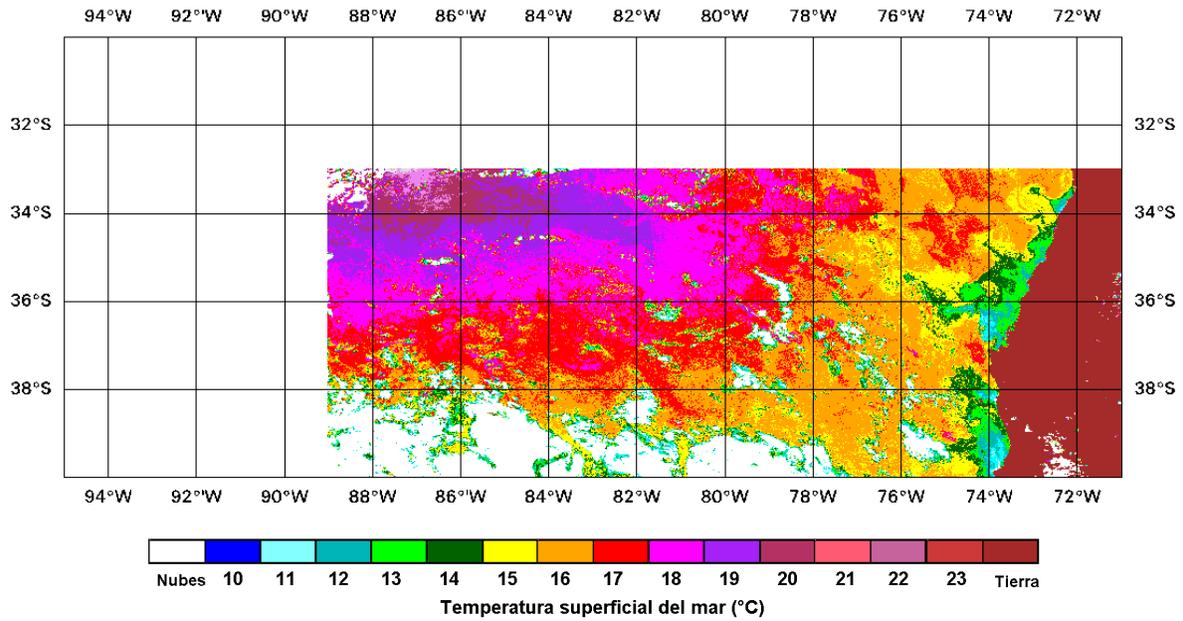
**Figura 19.** Imagen con valores máximos de la temperatura supeficial del mar satelital, utilizando las imágenes de los días 23, 24, 27, 28, 29 de noviembre y 01 de diciembre de 2000.



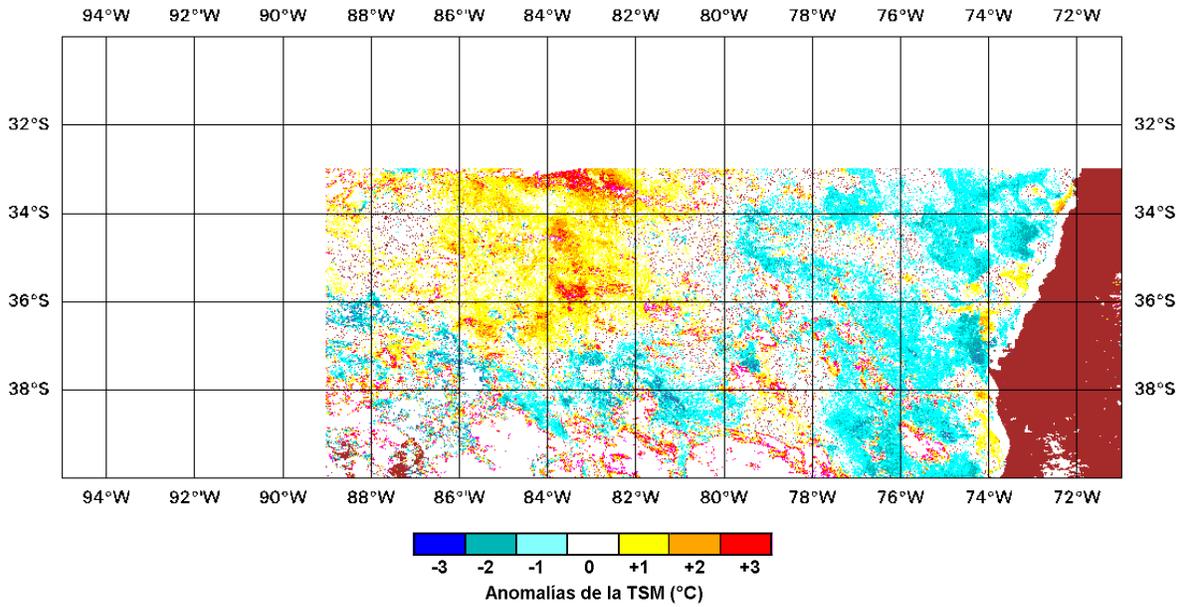
**Figura 20.** Imagen de la temperatura supeficial del mar, utilizando los valores obtenidos con termómetros a bordo de las embarcaciones entre el 24 de noviembre y 02 de diciembre de 2000.



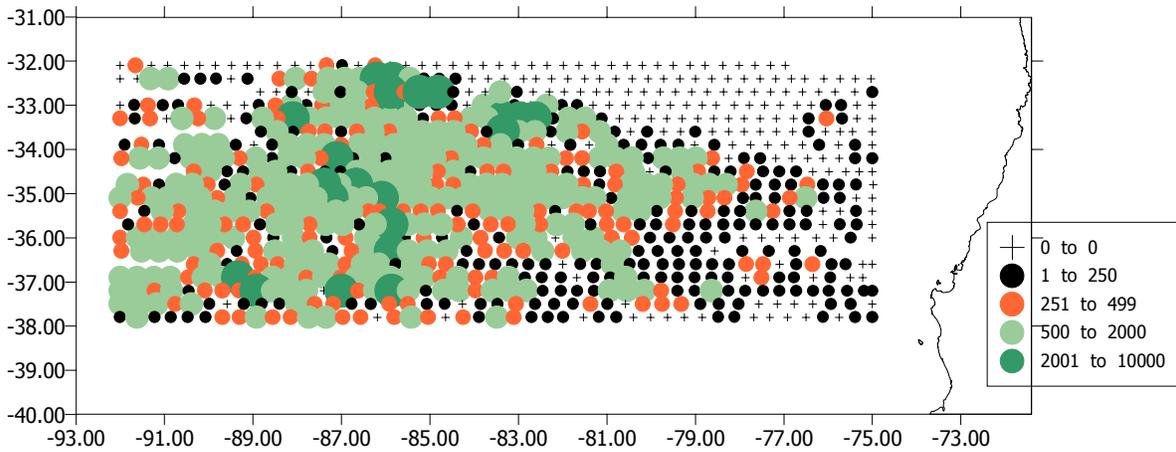
**Figura 21.** Imagen con las diferencias en la temperatura superficial del mar, entre la imagen satelital de valores máximos y la imagen elaborada con valores obtenidos en terreno, para el crucero de noviembre y diciembre de 2000.



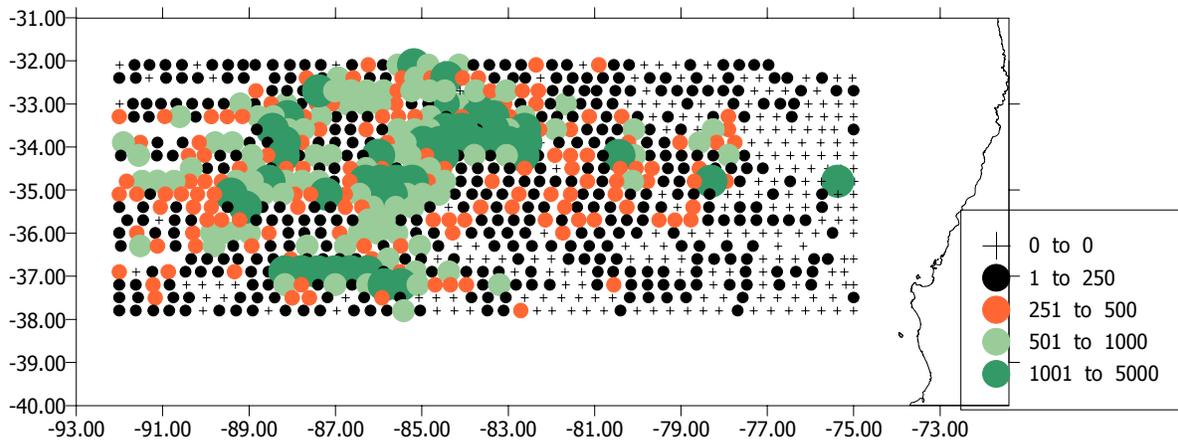
**Figura 22.** Imagen con valores máximos de la temperatura superficial del mar satelital, utilizando las imágenes de los días 13 y 14 de diciembre de 1999.



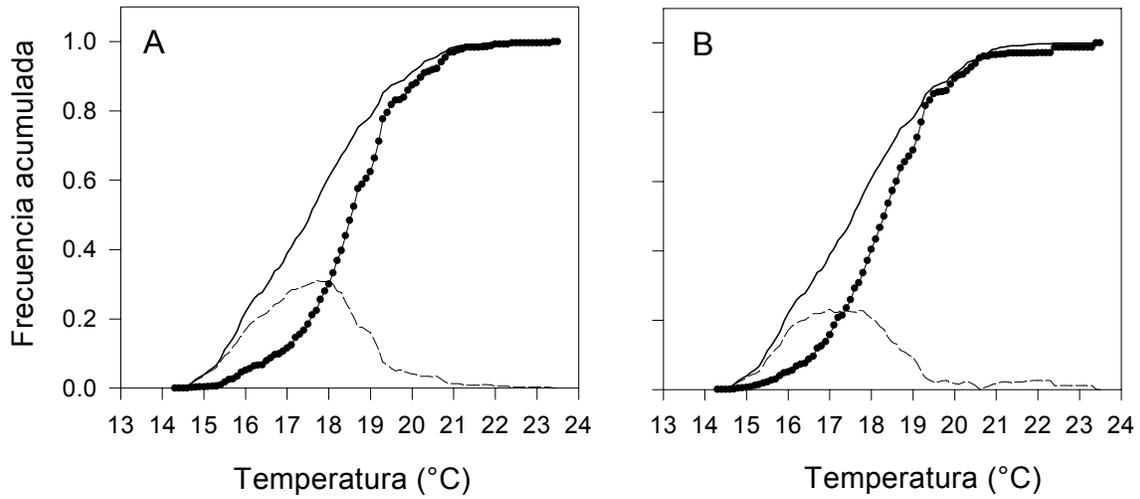
**Figura 23.** Imagen con las diferencias en la temperatura superficial del mar, entre la imagen satelital característica de los cruceros de diciembre de 1999 y noviembre-diciembre de 2000.



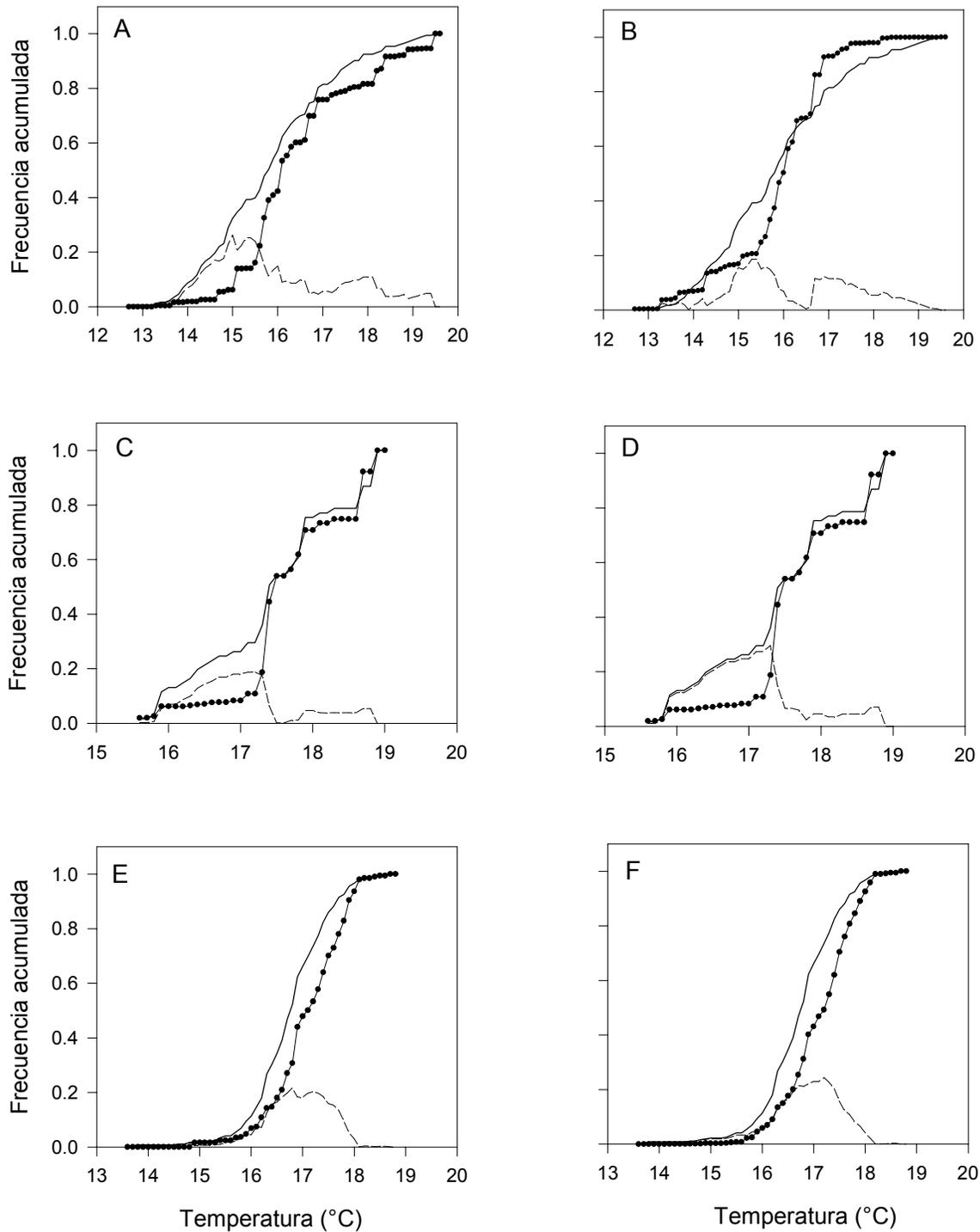
**Figura 24.** Densidad de huevos de jurel (huevos:10 m<sup>-2</sup>) en el crucero 2000.



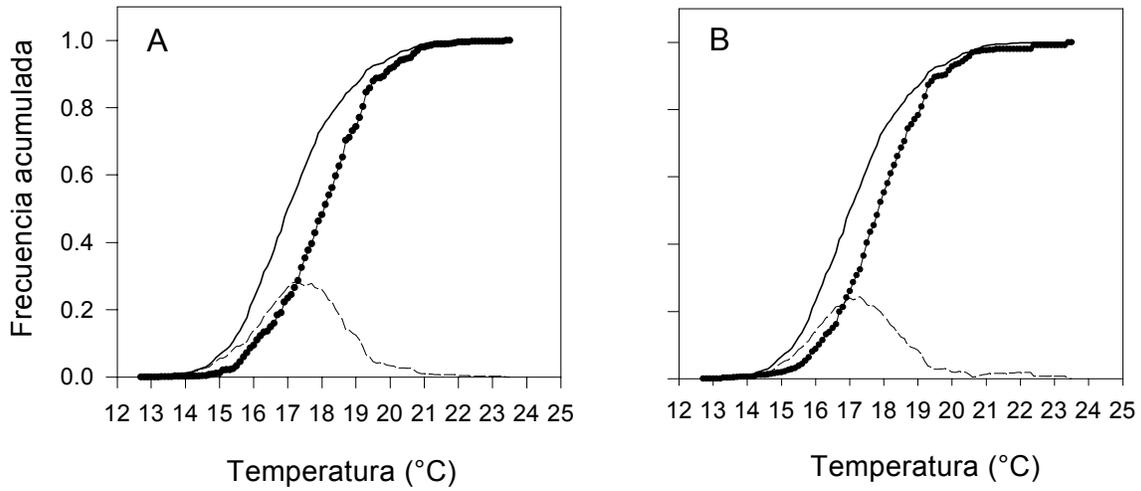
**Figura 25.** Densidad de larvas de jurel (larvas  $\cdot 10 \text{ m}^{-2}$ ) en el crucero 2000.



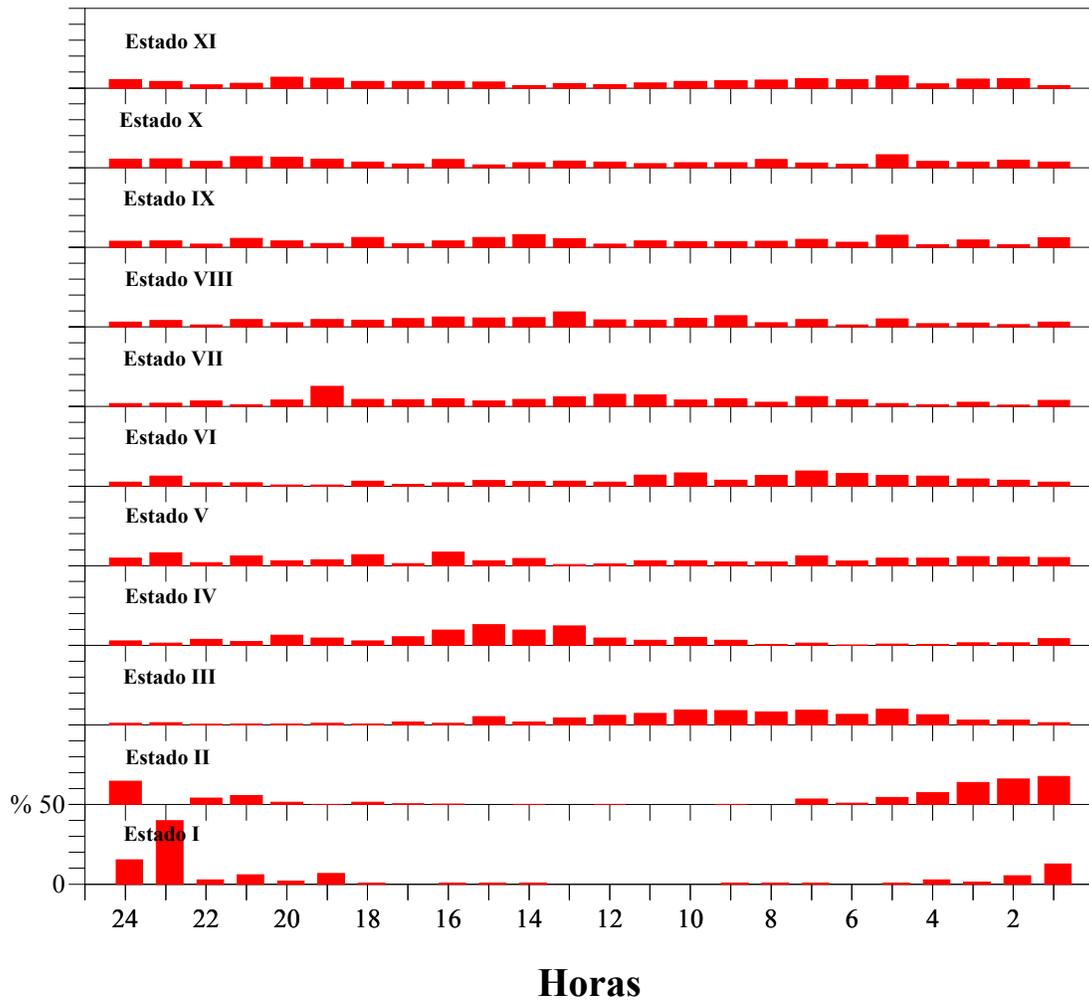
**Figura 26.** Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas (A) o huevos (B) de jurel y la temperatura superficial del mar durante el año 2000 de acuerdo al método de Perry y Smith (1994). Símbolos : línea sólida = frecuencia acumulada de la variable ambiental ( $f(t)$ ); -●--●- = frecuencia acumulada de la variable ambiental X la densidad de huevos o larvas ( $g(t)$ ); - - - = diferencia entre  $g(t)$  y  $f(t)$ .



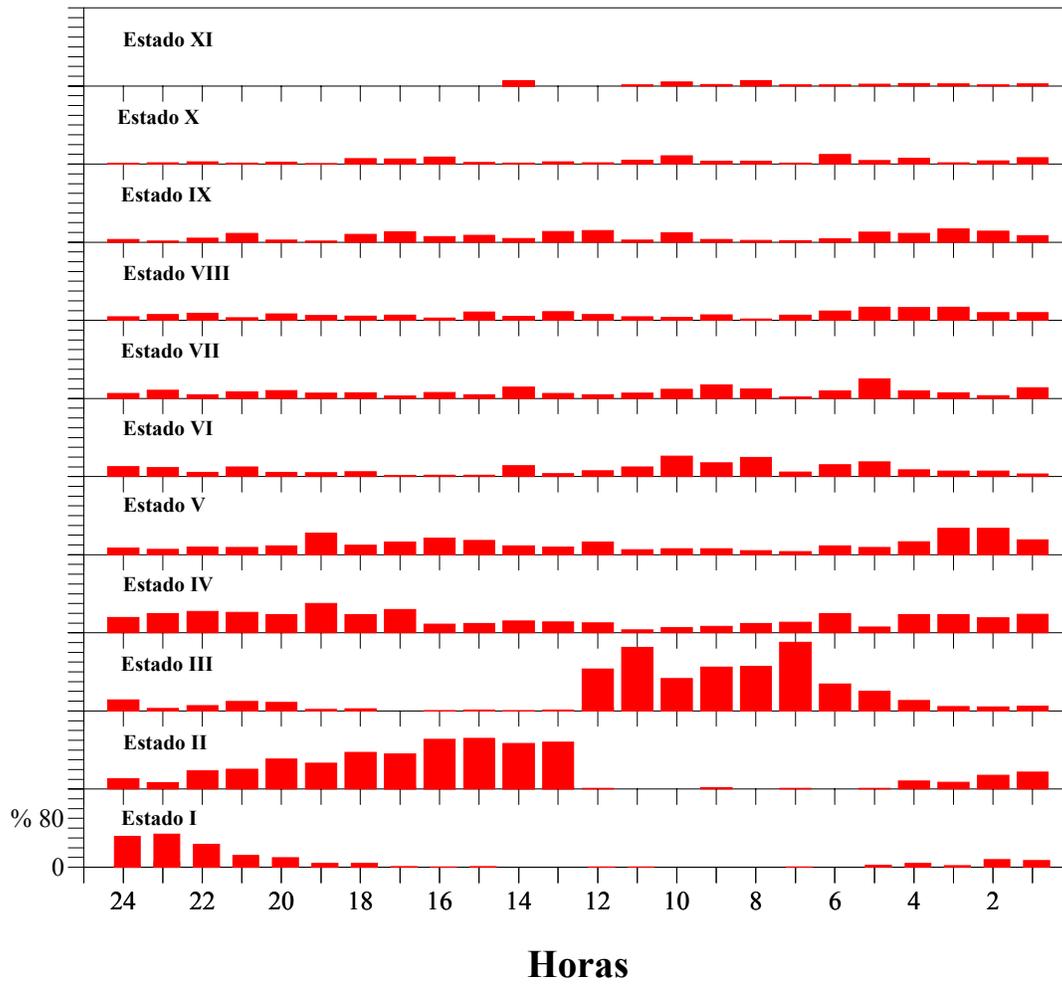
**Figura 27.** Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas o huevos de jurel y la temperatura superficial del mar durante los cruceros realizados los años 98 y 99 de acuerdo al método de Perry y Smith (1994). (A) larvas 1998, (B) huevos 1998, (C) larvas noviembre 1999, (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  $f(t)$ .



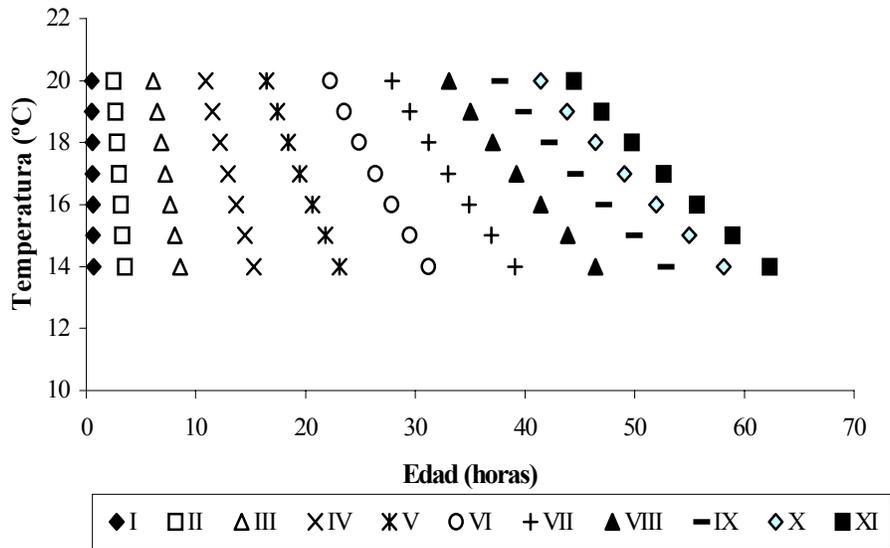
**Figura 28.** Distribución de frecuencias acumuladas para determinar asociación entre larvas o huevos de jurel y la temperatura superficial del mar agrupando los datos de los cruceros realizados los años 1998, 1999 y 2000, de acuerdo al método de Perry y Smith (1994). Símbolos : línea sólida = frecuencia 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  $f(t)$ .



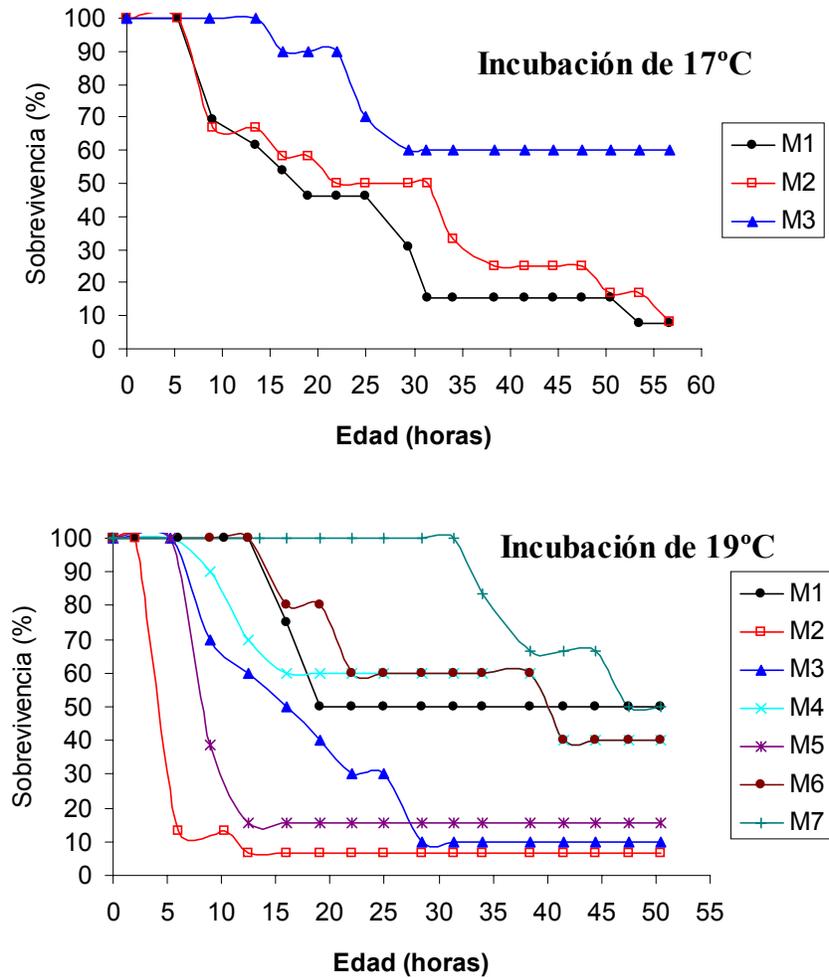
**Figura 29.** Distribución de las horas de mayor ocurrencia de los diferentes estadios de desarrollo de huevos de jurel durante el crucero.



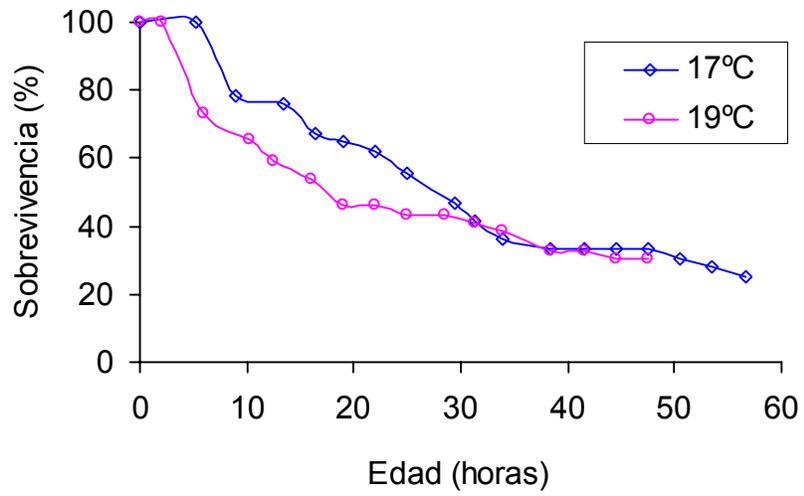
**Figura 30.** Distribución de hora de mayor ocurrencia de los diferentes estadios de huevos de jurel. Crucero noviembre de 1999 (FIP 99-14).



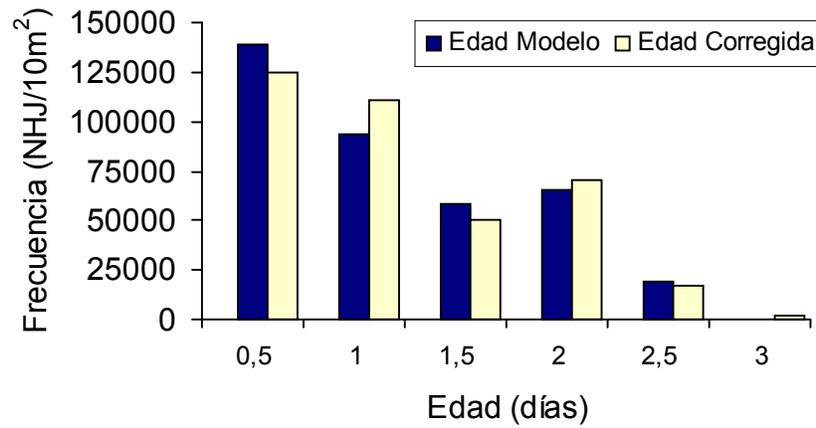
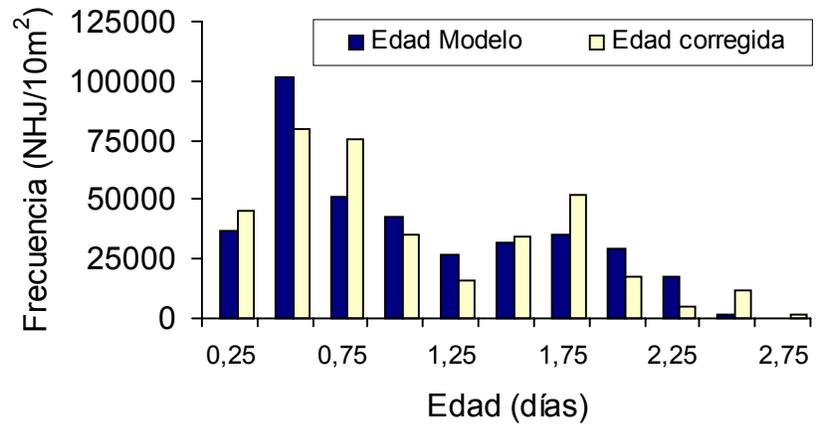
**Figura 31.** Edad promedio estimada para cada estadio de desarrollo de los huevos de jurel en función de la temperatura.



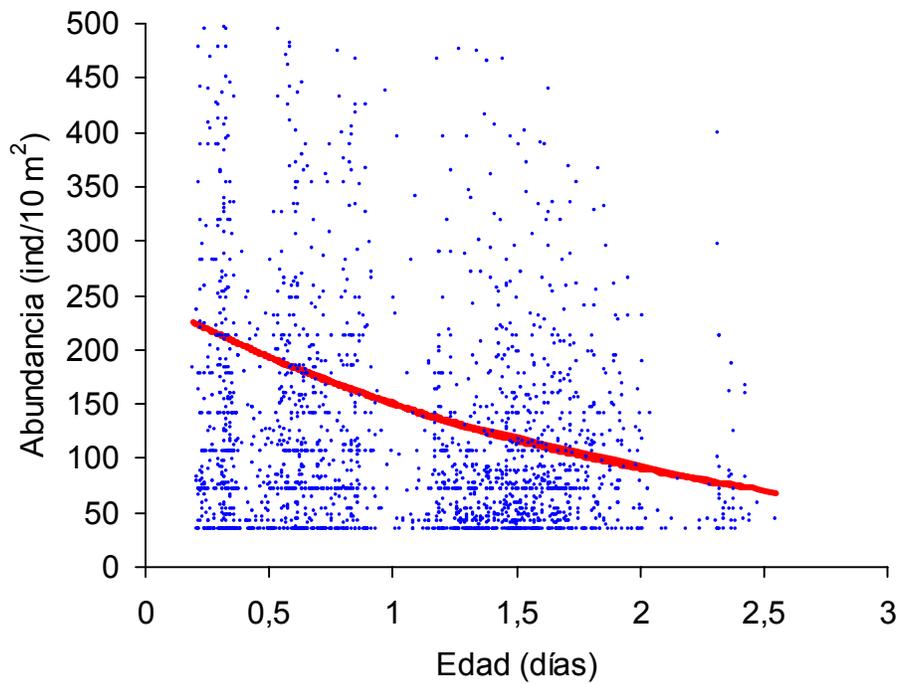
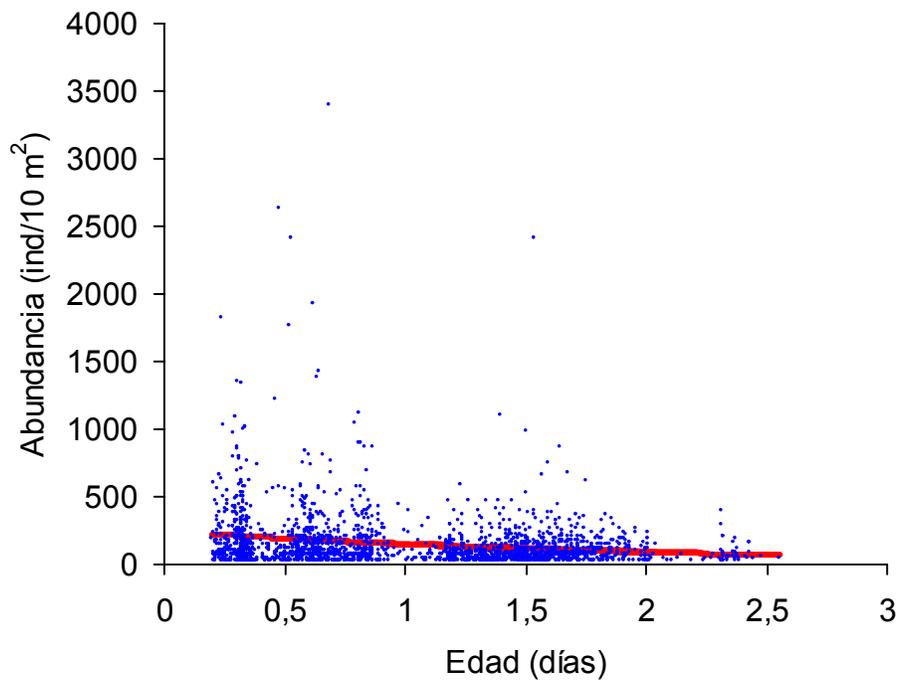
**Figura 32.** Curvas de sobrevivencia de los huevos de jurel en los experimentos de incubación a temperatura constante (M indica réplica).



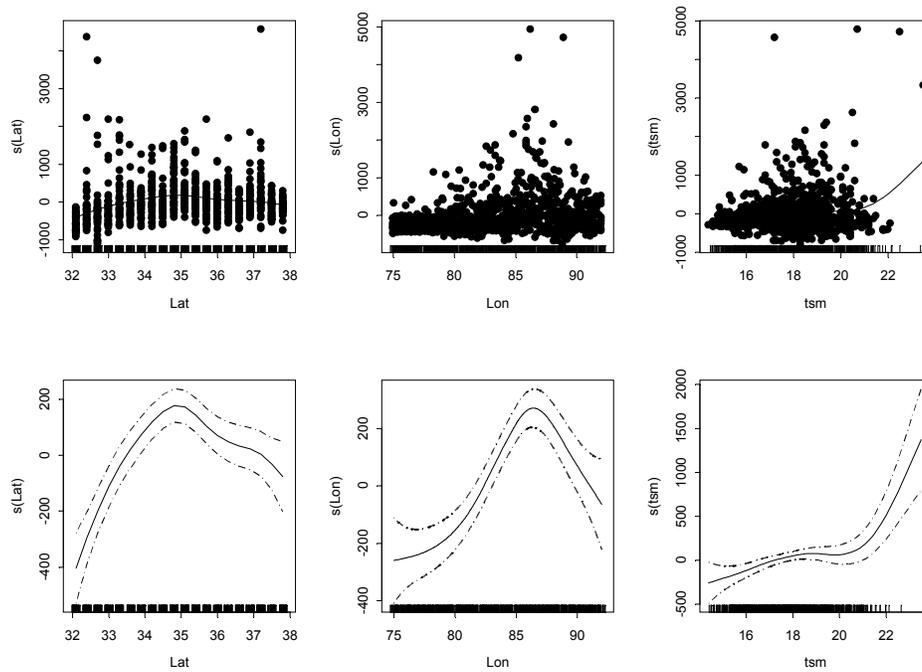
**Figura 33.** Curva de sobrevivencia promedio de huevos de jurel promediando las muestras de los experimentos de incubación.



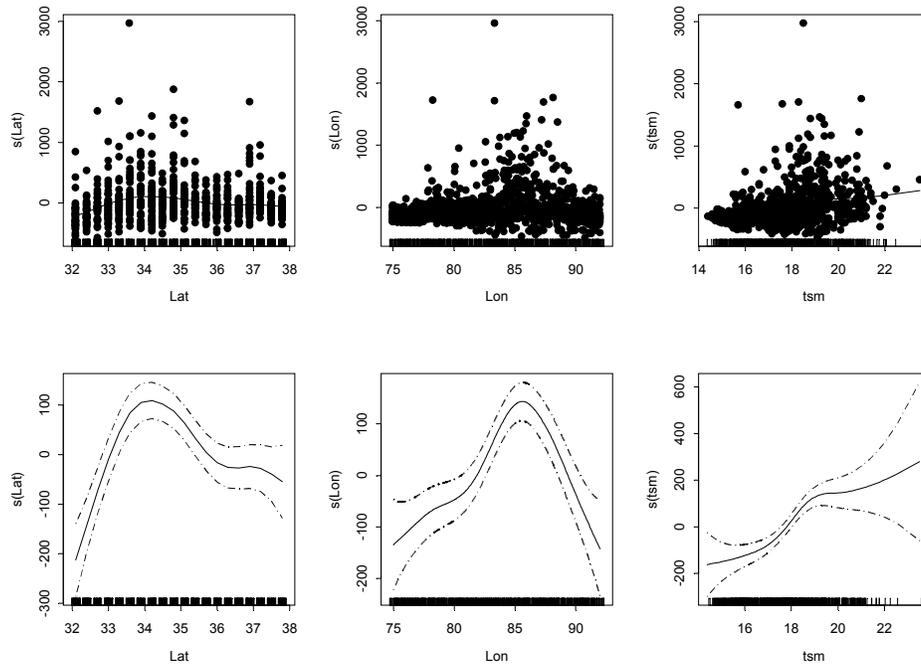
**Figura 34.** Distribución de frecuencia de edades del total de huevos de jurel en el área de estudio, agrupados cada 0,25 y 0,5 días.



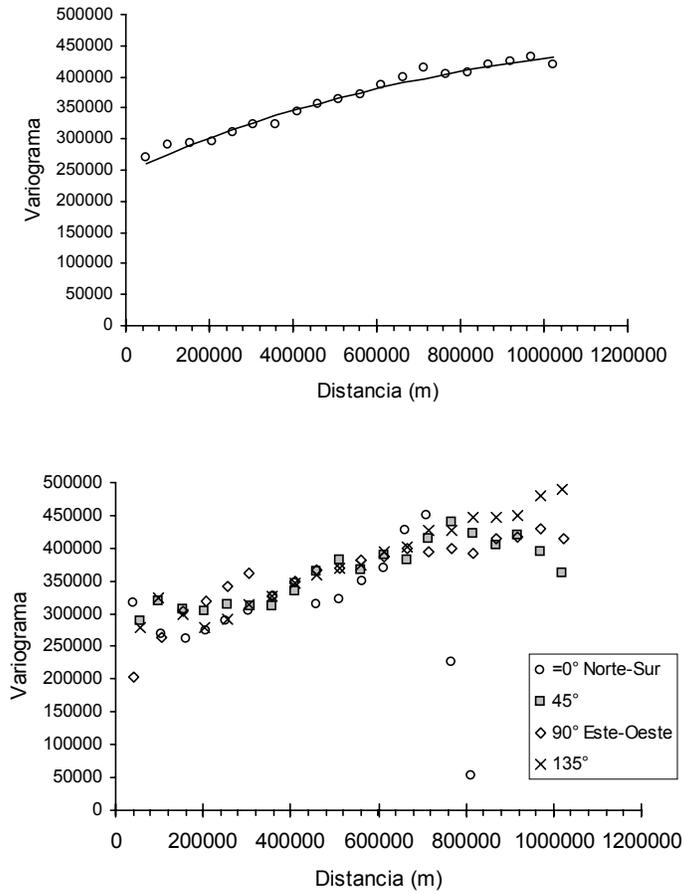
**Figura 35.** Curva de sobrevivencia de huevos de jurel en noviembre de 2001: a) todos los datos; b) fracción de abundancia hasta 500 ind/10 m<sup>2</sup>, para ilustrar mejor la curva de sobrevivencia.



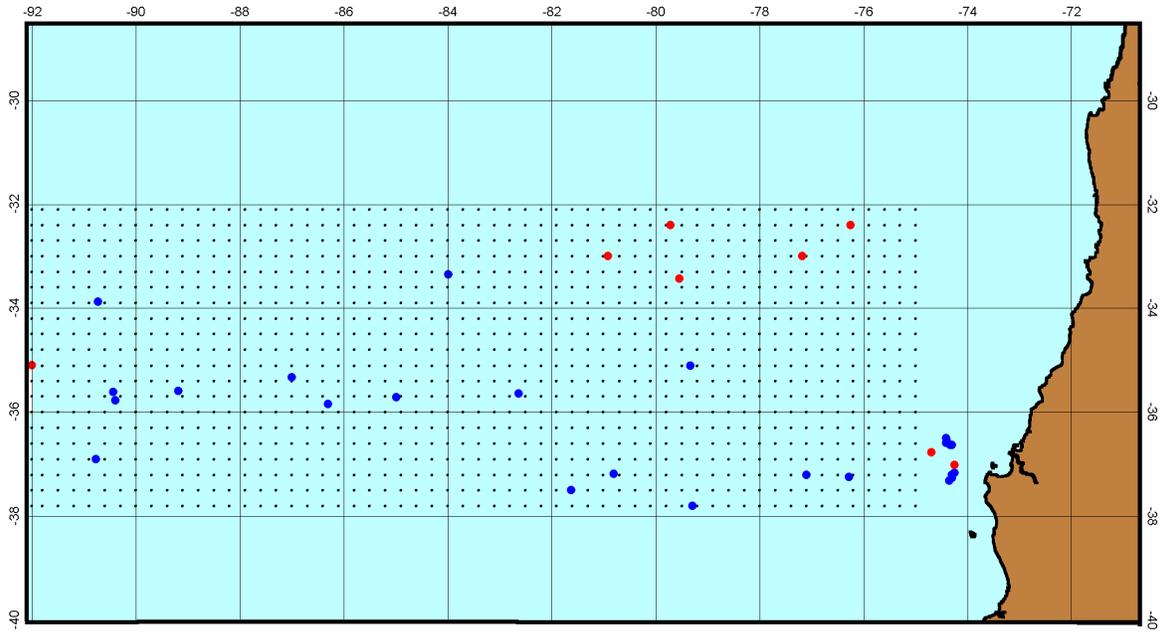
**Figura 36** Ajuste parcial para las variables consideradas en el modelo GAM. Panel superior: residuales parciales en función de la latitud, longitud, y temperatura. Panel inferior: intervalos de confianza para el ajuste. Las pequeñas líneas verticales a lo largo del eje de las abscisa indican la densidad de puntos.



**Figura 37** Ajuste parcial para las variables consideradas en el modelo GAM. Panel superior: residuales parciales en función de la latitud, longitud, y temperatura. Panel inferior: intervalos de confianza para el ajuste. Las pequeñas líneas verticales a lo largo del eje de las abscisa indican la densidad de puntos.

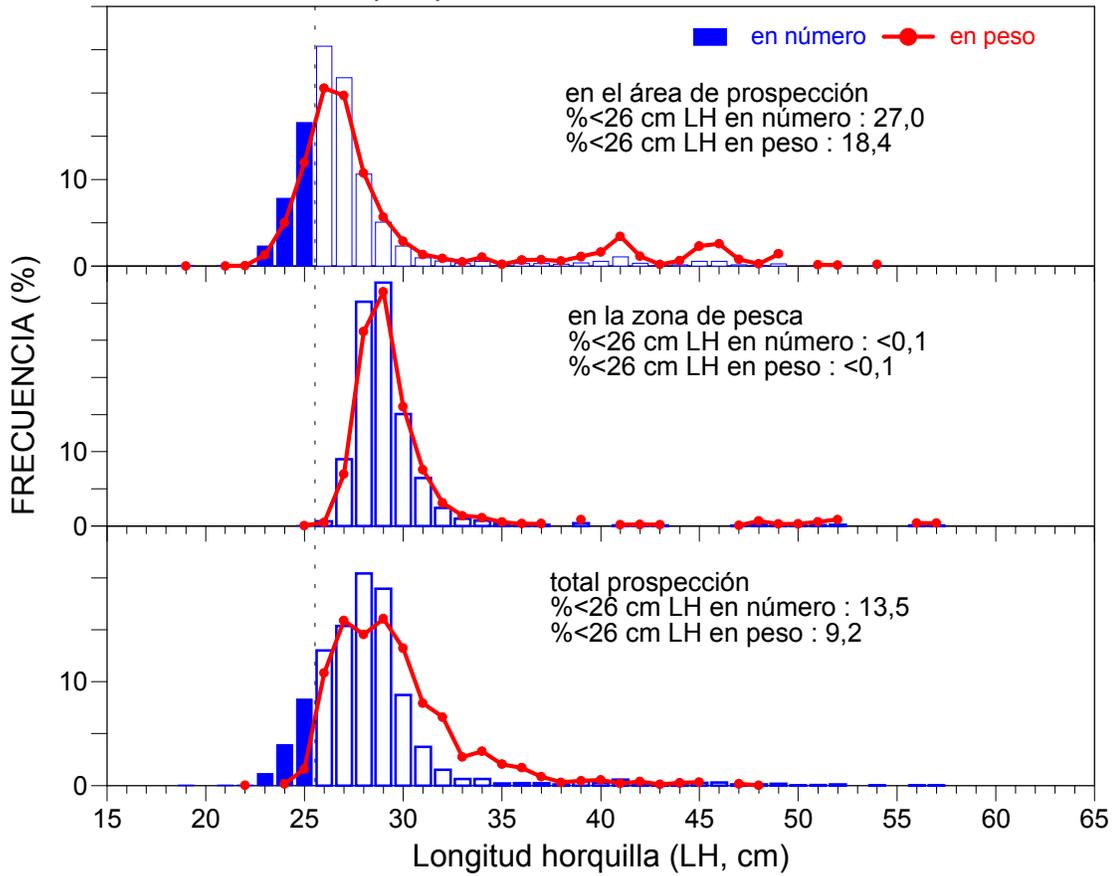


**Figura 38.** Huevos de jurel, variograma experimental. Arriba: variograma omnidireccional. Abajo: Variogramas direccionales.



**Figura 39.** Localización de los lances de pesca efectuados en noviembre y diciembre de 2000 (Puntos azules: Lances de pesca positivos; Puntos rojos: Lances de pesca sin captura o efectuado sobre otro recurso)

### DISTRIBUCION DE TALLAS JUREL prospección, noviembre 2000



**Figura 40.** Distribución de frecuencias de talla en número y peso de los lances realizados durante las transectas (zona de prospección), en la zona de pesca y agrupados.

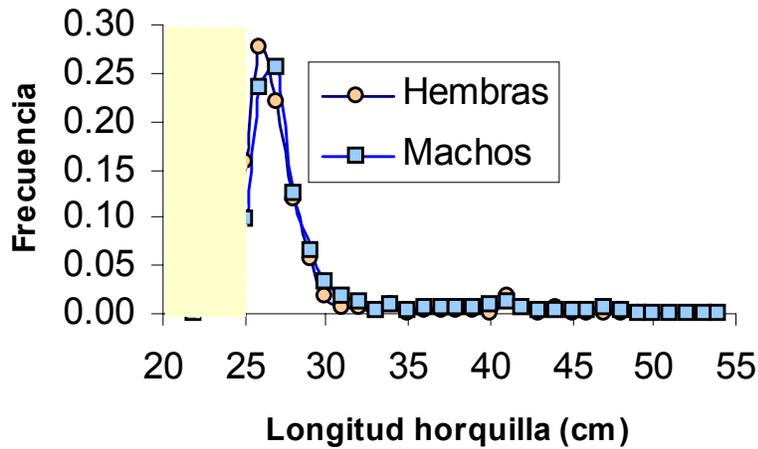


Figura 41. Distribución de tallas separadas por sexo en el área de prospección.

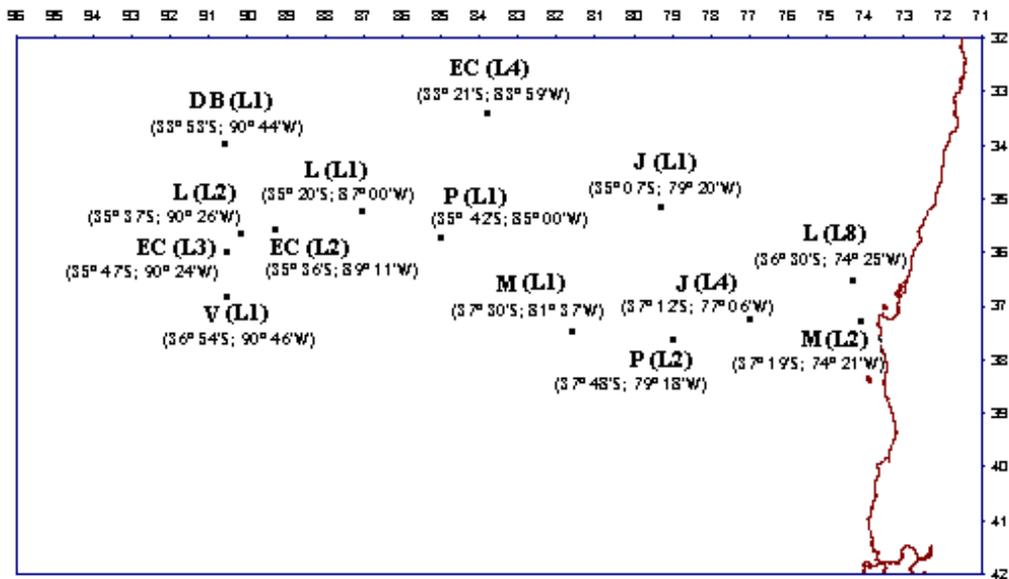


Figura 42. Ubicación de los lances de muestreo (L) realizados durante los cruceros de investigación en las embarcaciones utilizadas. Don Boris (DB), Vikingo (V), Javier (J), Malleco (M), Paniahue (P), Ligrunn (L) y El Cazador (EC).

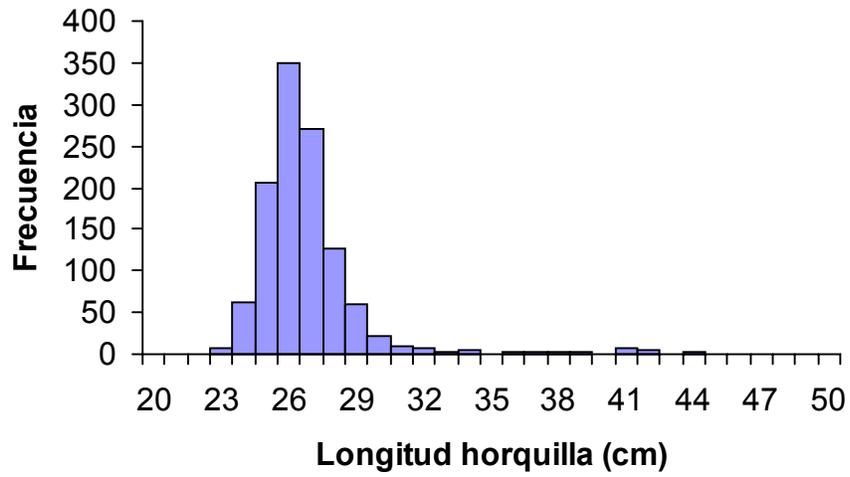


Figura 43. Frecuencia de tallas de hembras totales de jurel.

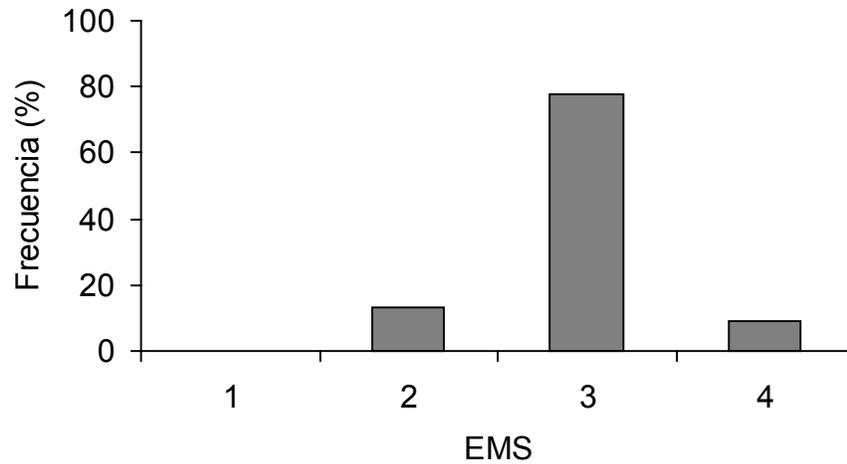
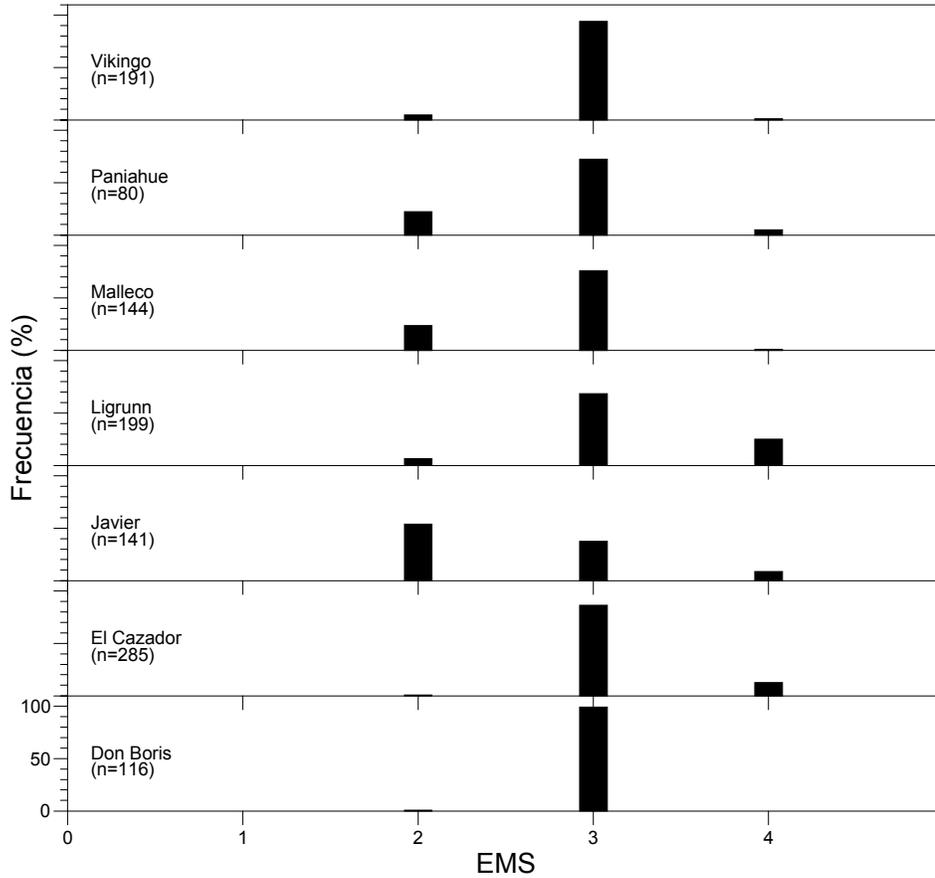
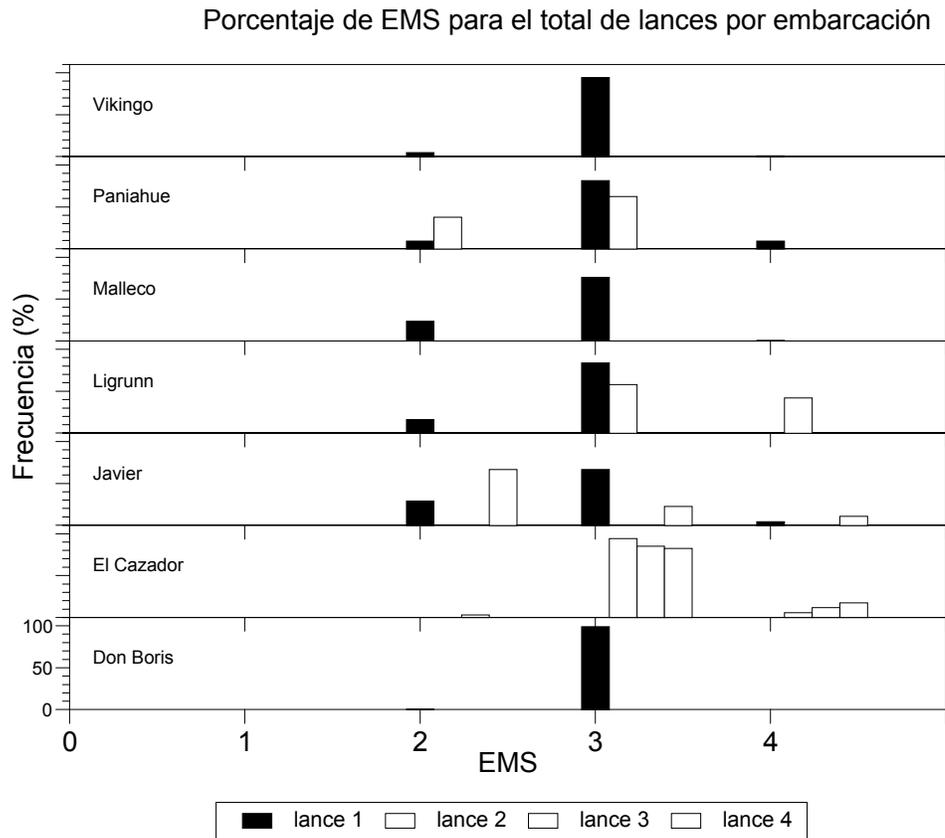


Figura 44. Frecuencia de estados de madurez sexual macroscópicas obtenidos a partir de los datos de distribución de frecuencia de tallas de las hembras de jurel.

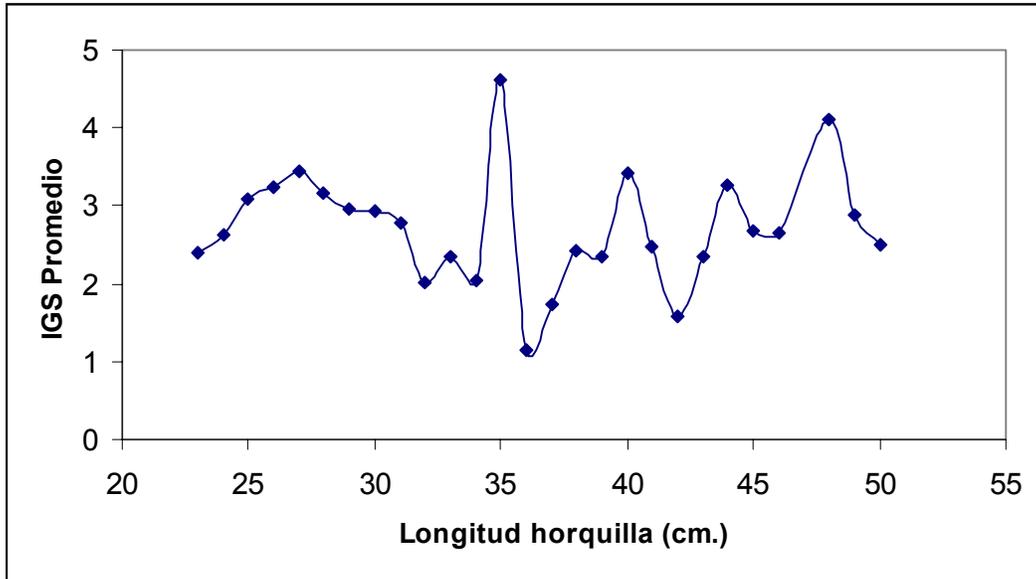
Frecuencia (%) de los estados de madurez sexual (EMS) para el total de hembras muestradas en cada barco



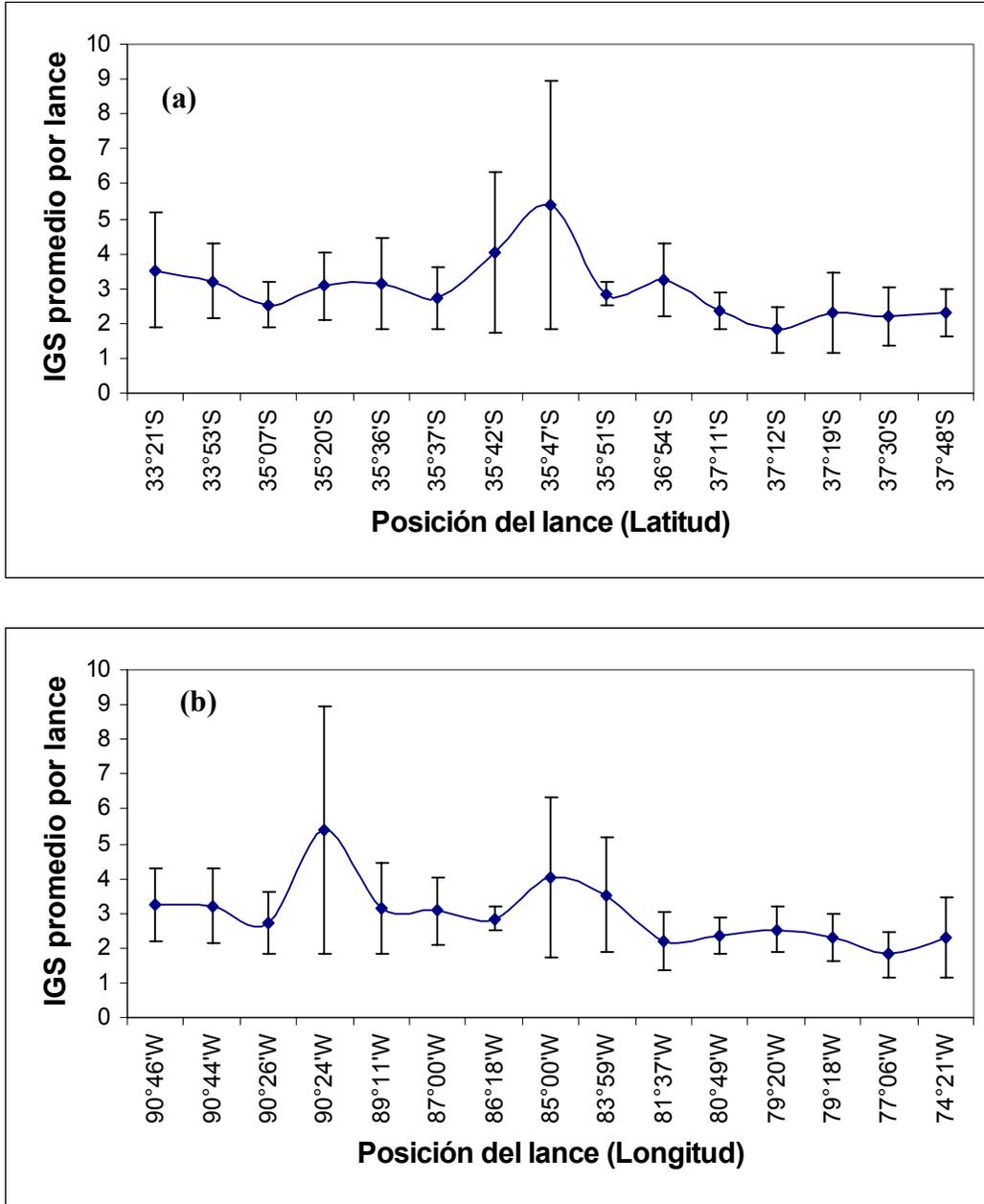
**Figura 45** Frecuencia (%) de los estados de madurez sexual de las hembras de jurel por barco.



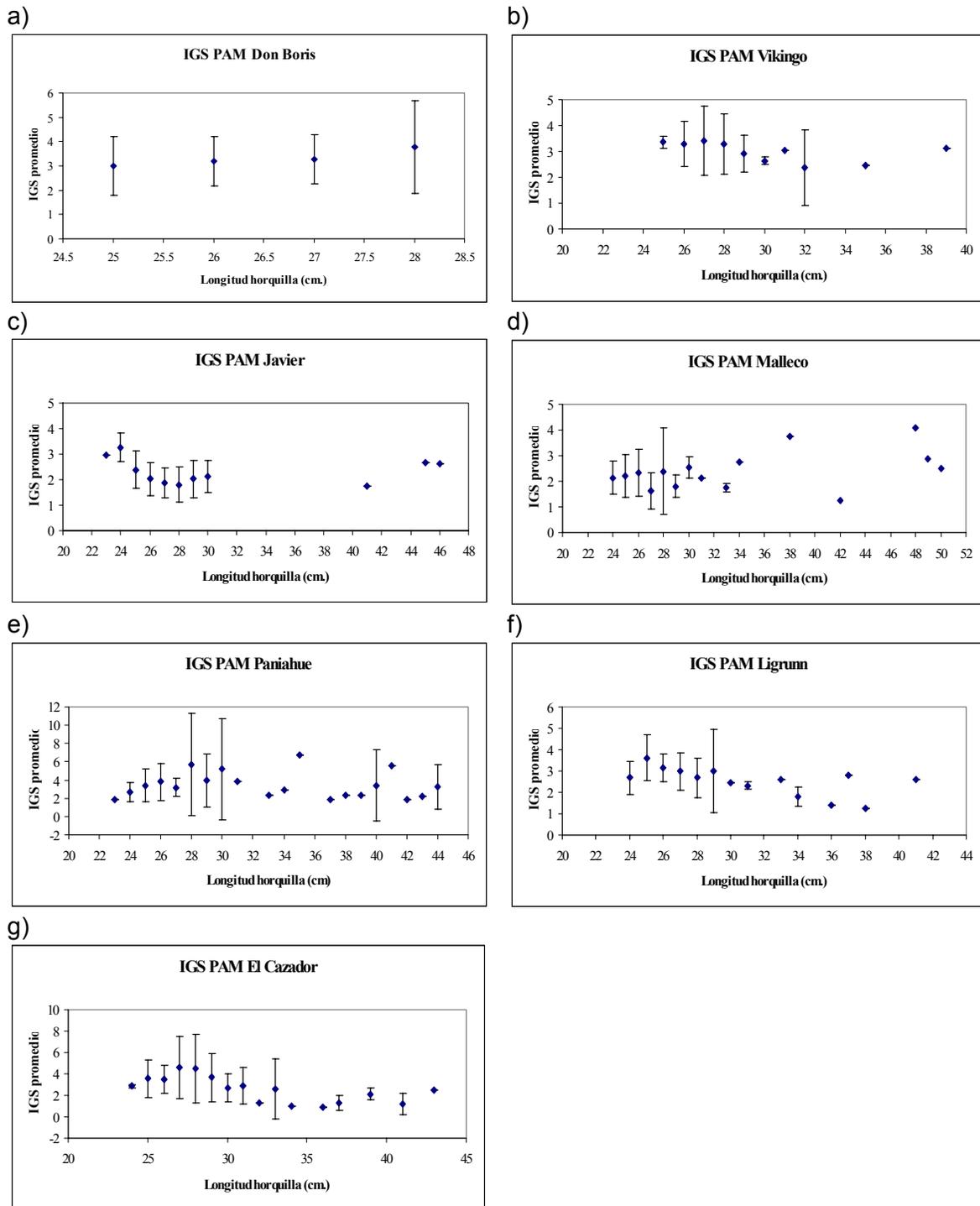
**Figura 46** Frecuencia (%) de los estados de madurez sexual de las hembras de jurel por lance de pesca y barco.



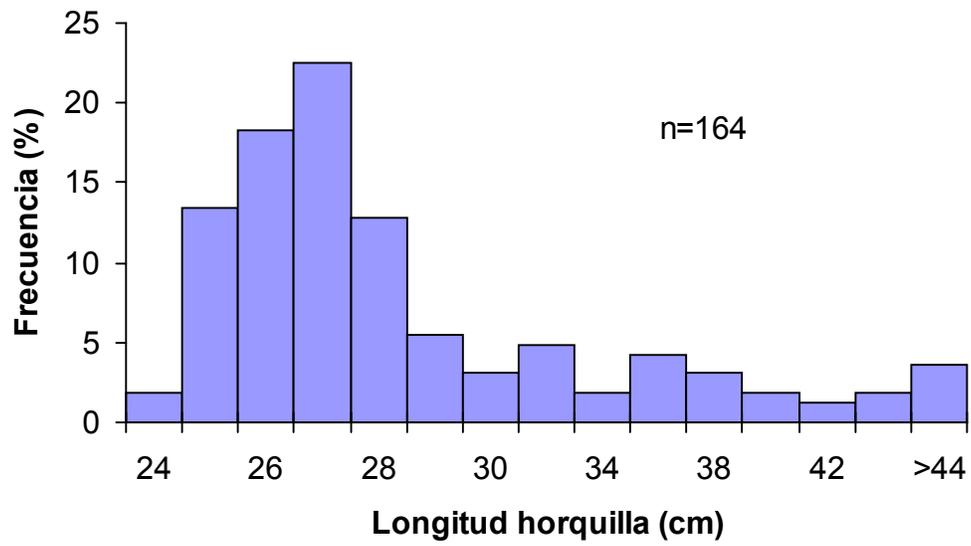
**Figura 47.** Variación del IGS promedio para el total de hembras de jurel con la longitud horquilla de los peces durante el crucero de prospección.



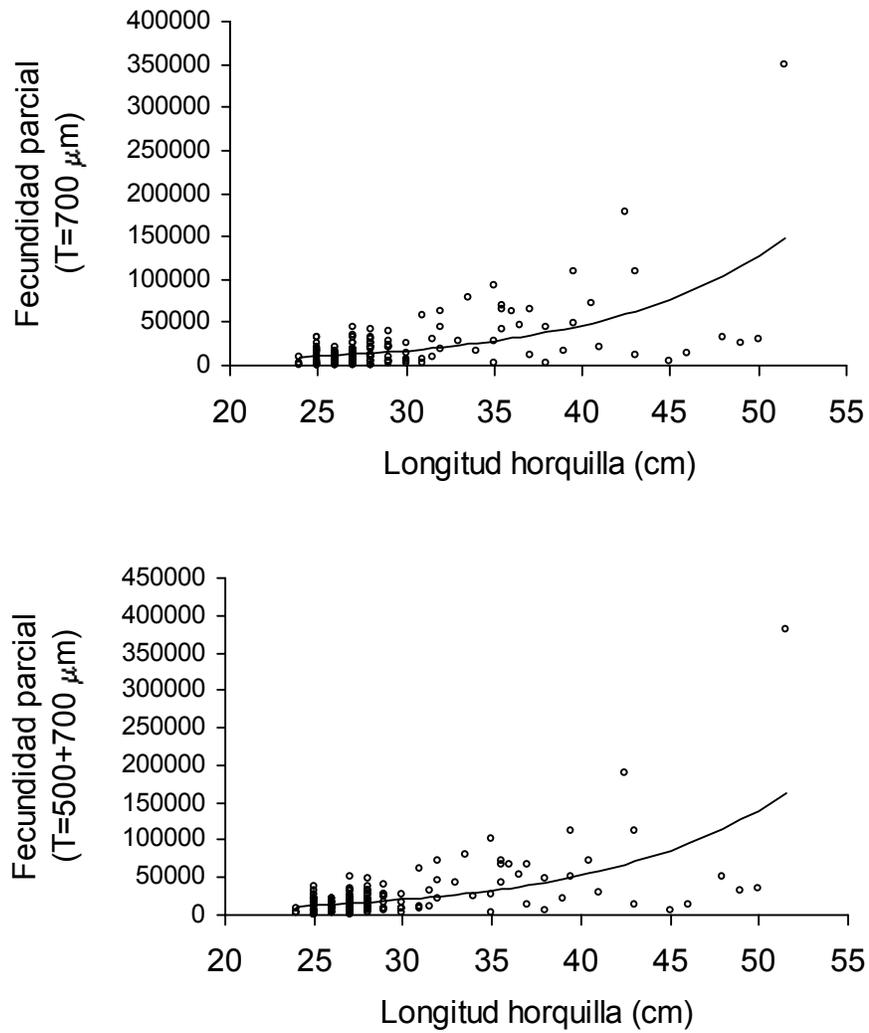
**Figura 48.** Índice gonadosomático (IGS) promedio por lance para las hembras de jurel analizadas. a) IGS versus latitud del lance y b) IGS versus longitud del lance.



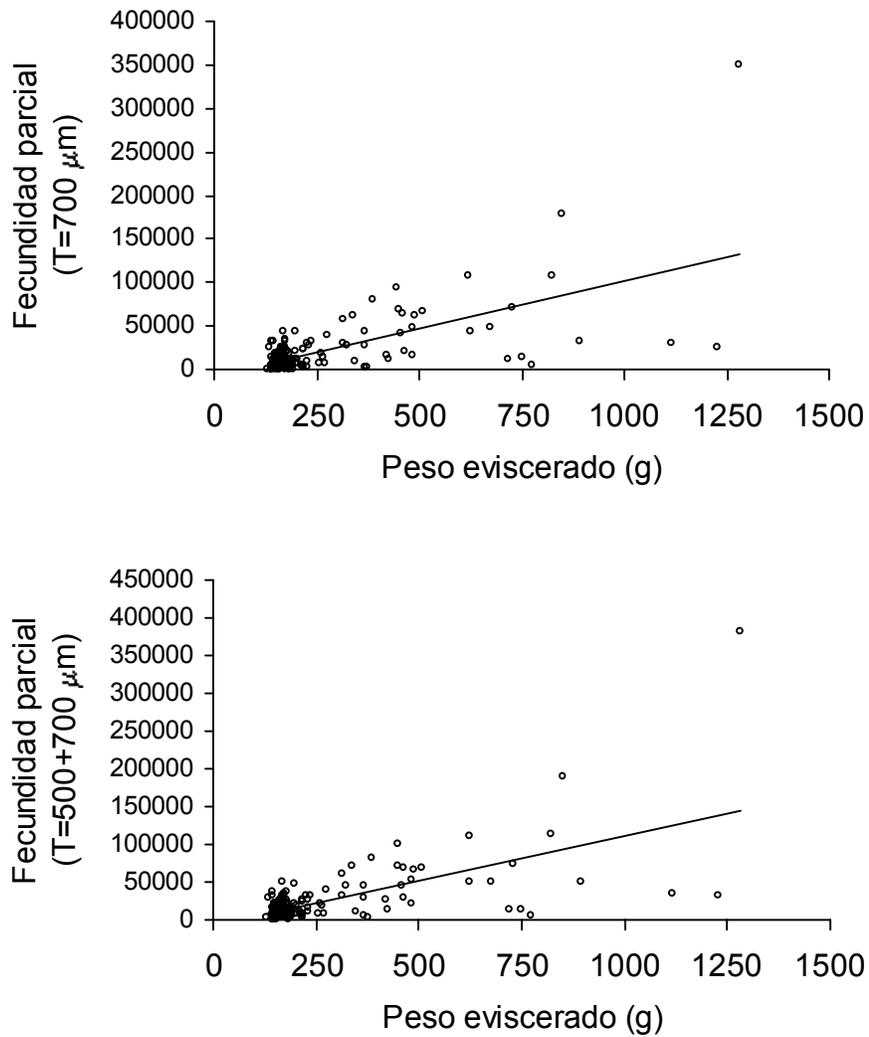
**Figura 49.** Índice gonadosomático (IGS) promedio para hembras de jurel en cada barco del crucero. Las barras corresponden a una desviación estándar.



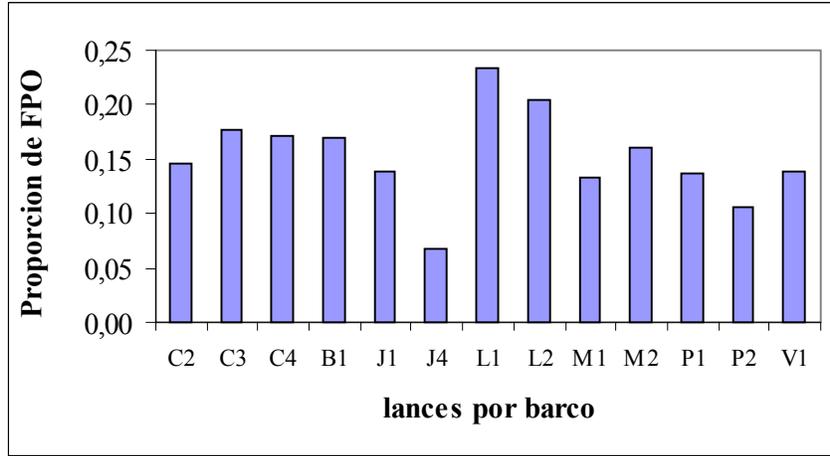
**Figura 50.** Histograma de frecuencias (%) para la longitud horquilla para las hembras de jurel utilizadas en los cálculos de la fecundidad (n=164).



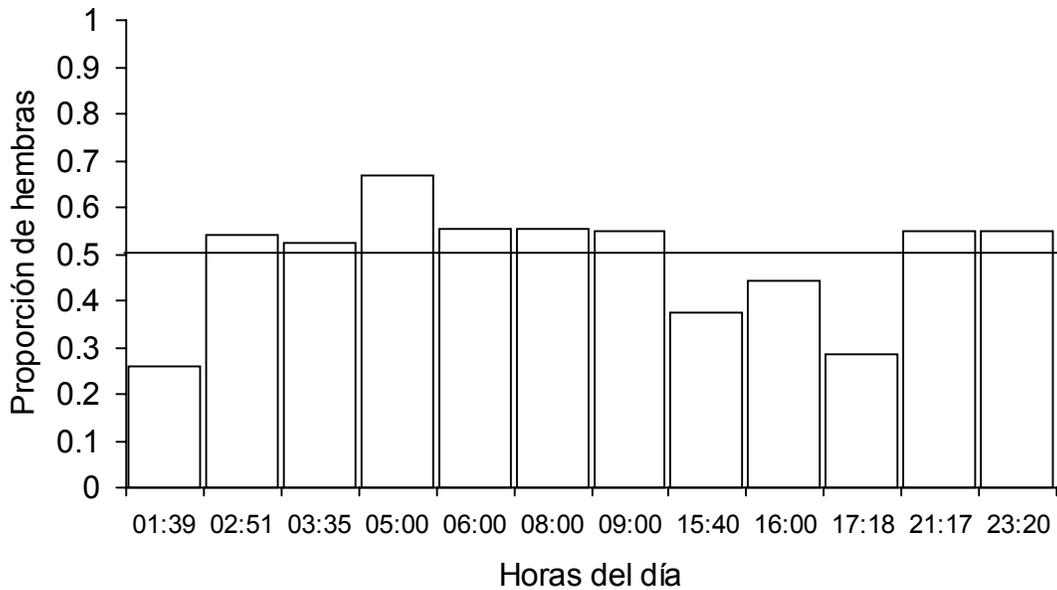
**Figura 51.** Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y la longitud horquilla (cm.) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste no-lineal (n=164), para el tamiz de 700 µm y la suma de 500+700 µm.



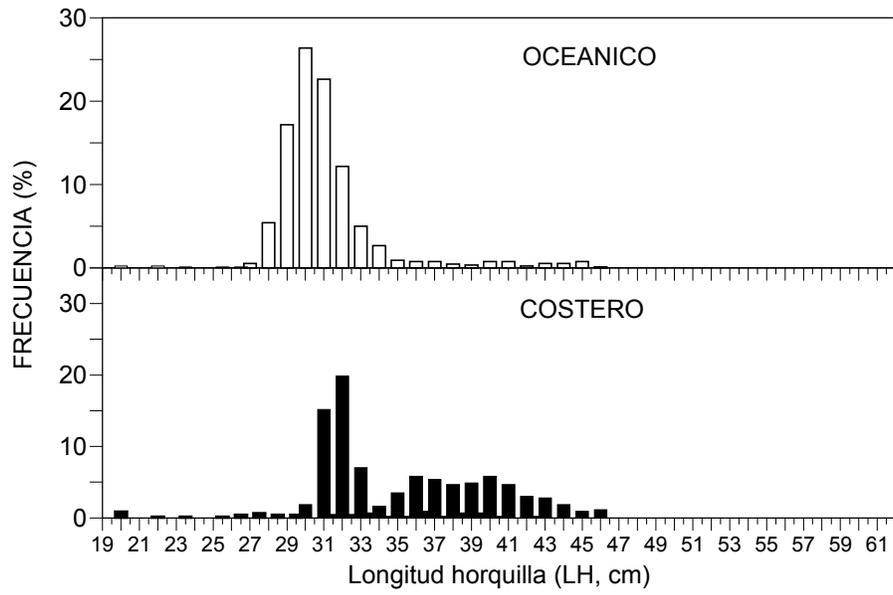
**Figura 52.** Relación entre la fecundidad parcial (n° de ovocitos) y el peso eviscerado (g) para las hembras hidratadas de jurel mediante ajuste lineal (n=164), para el tamiz de 700 µm y la suma de 500+700 µm.



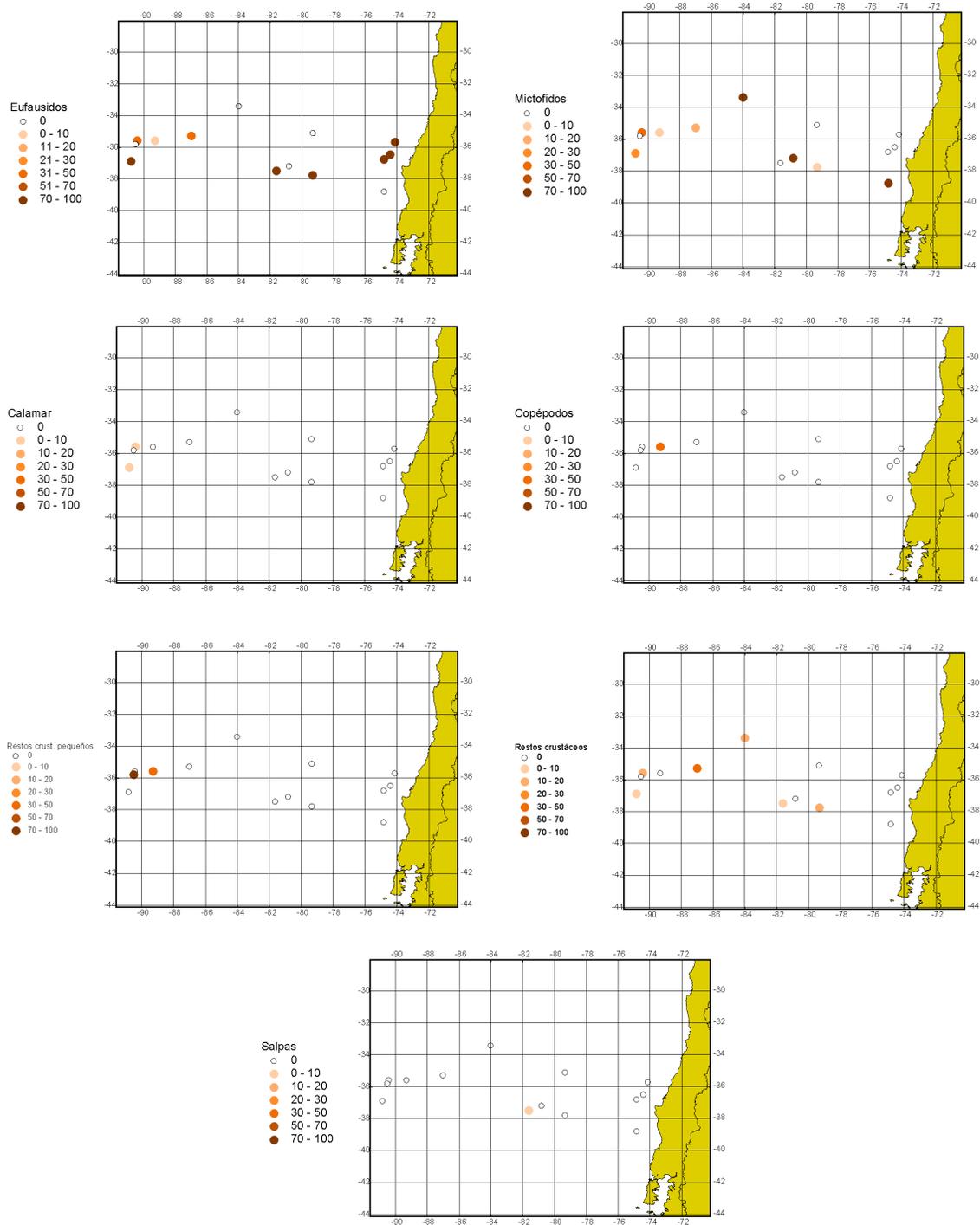
**Figura 53.** Histograma de la proporción de folículos postovulatorios (FPO) para hembras de jurel, en cada uno de los lances de pesca por barco.



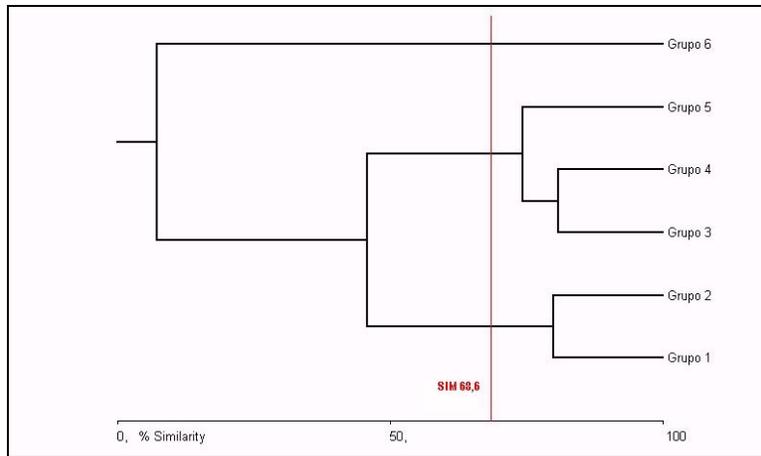
**Figura 54** Proporción de hembras en función de la hora del lance, noviembre 2000.



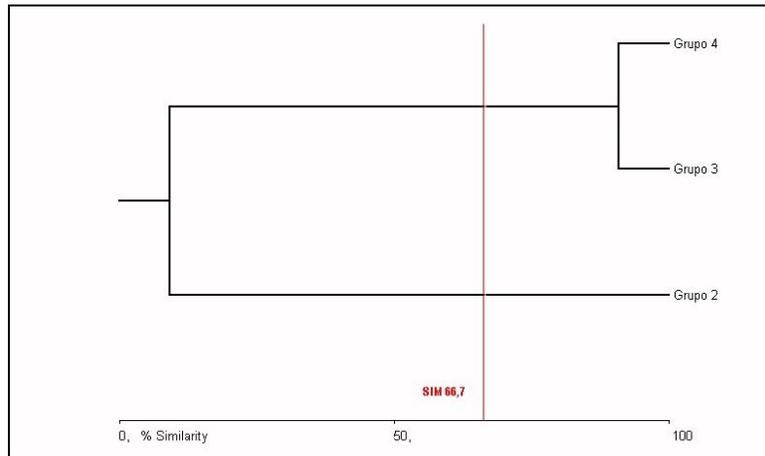
**Figura 55** Distribución de frecuencias de tallas de los ejemplares de jurel muestreados para análisis del contenido estomacal.



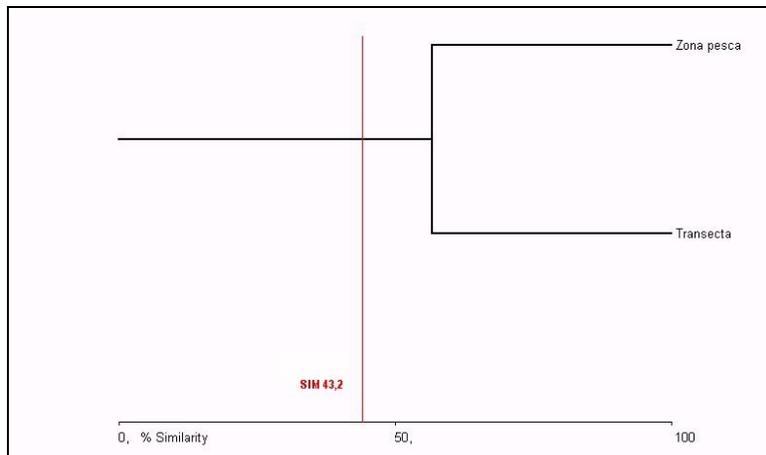
**Figura 56.** Porcentaje de frecuencia de aparición o nivel de ocurrencia de las principales presas en ambas zonas de estudio (costera - oceánica).



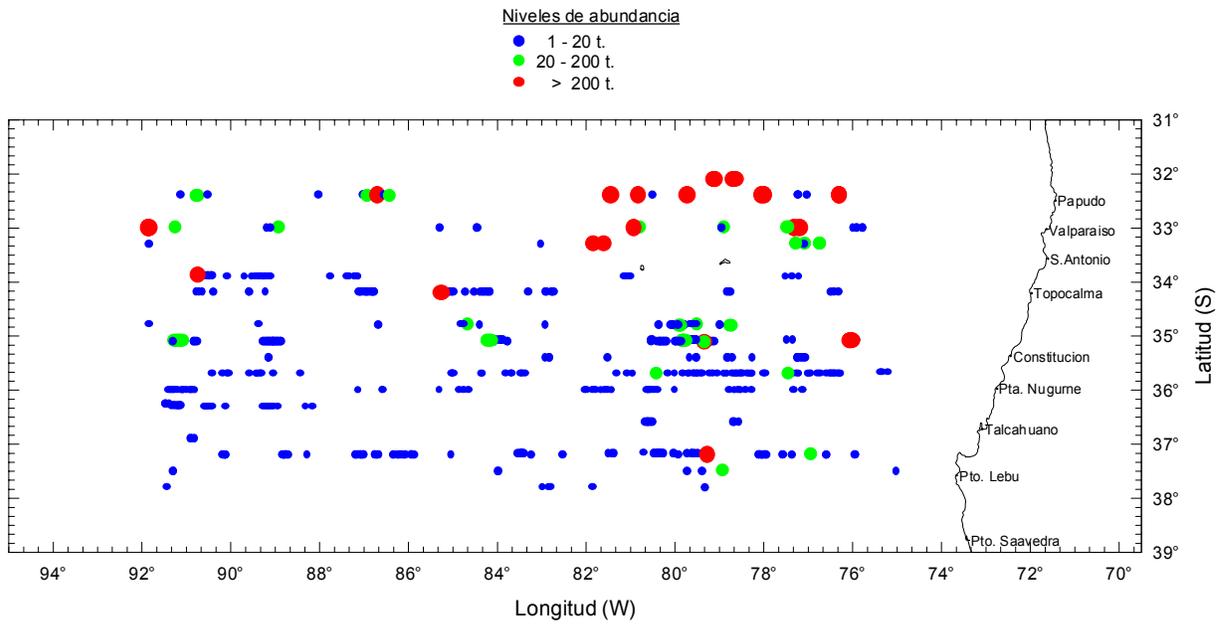
**Figura 57.** Dendrograma de similitud trófica en jurel, separados por grupos de tamaños, para muestras de la zona oceánica.



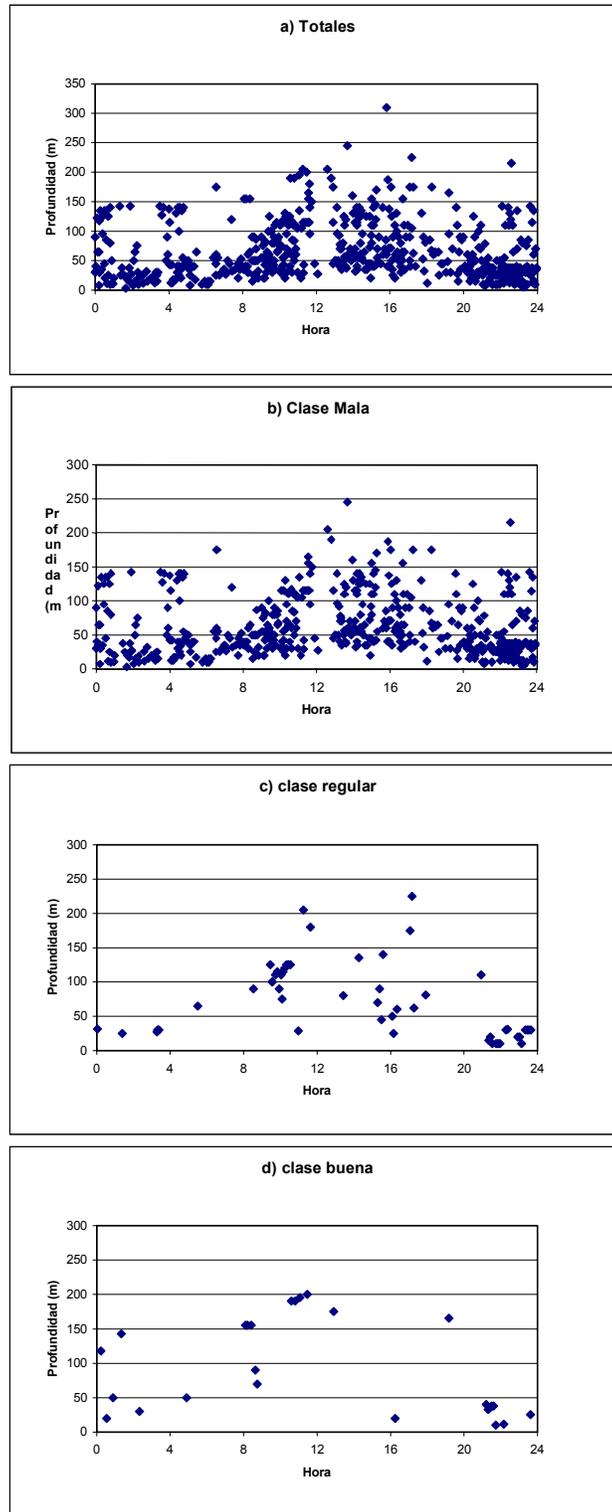
**Figura 58.** Dendrograma de similitud trófica en jurel, separados por grupos de tamaños, para muestras de la zona costera.



**Figura 59.** Dendrograma de similitud trófica entre zonas (costera - oceánica).



**Figura 60..** Distribución de las agregaciones. Crucero Noviembre 2000.



**Figura 61.** Distribución de las agregaciones por clases de abundancia. Crucero Jurel noviembre 2001.

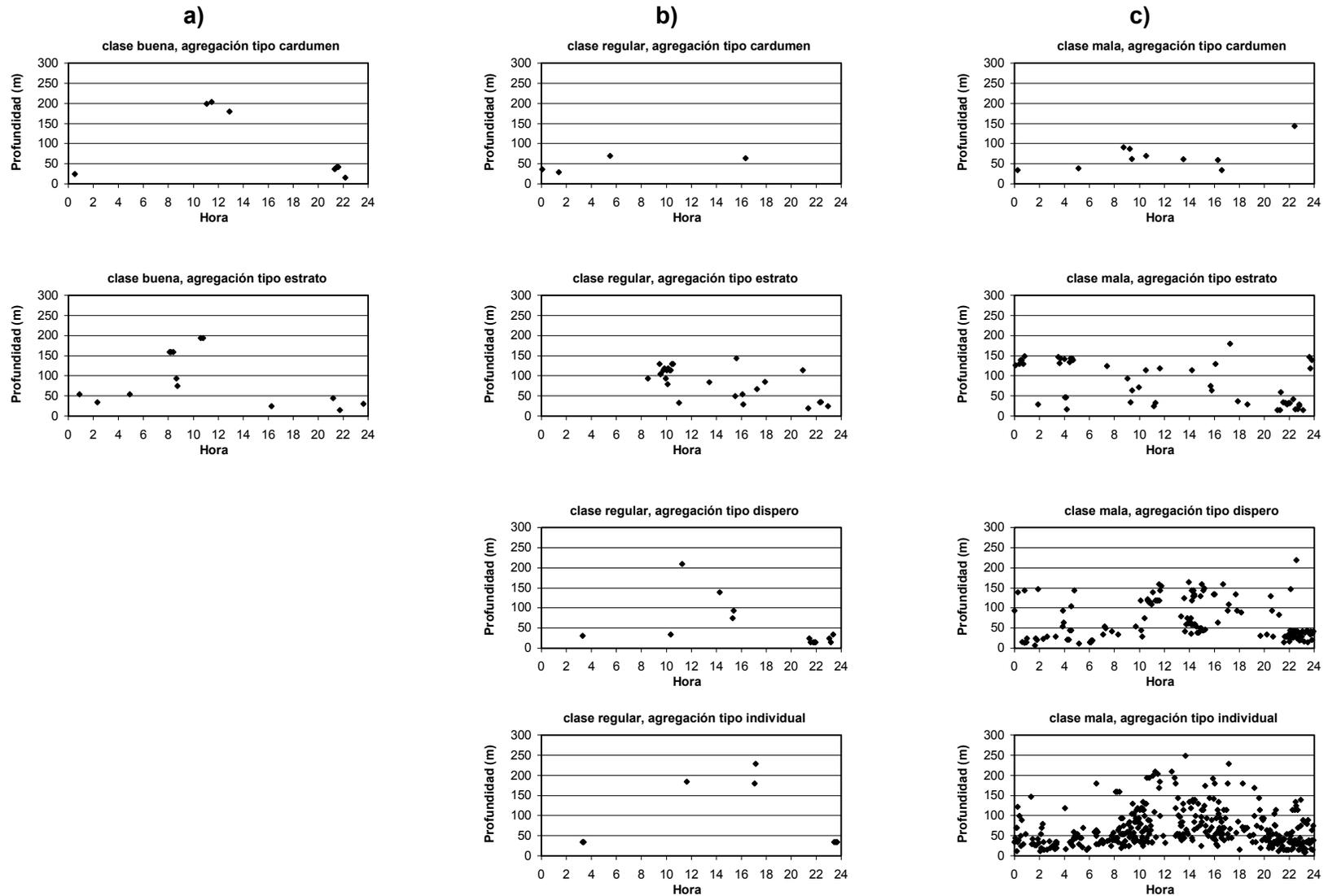
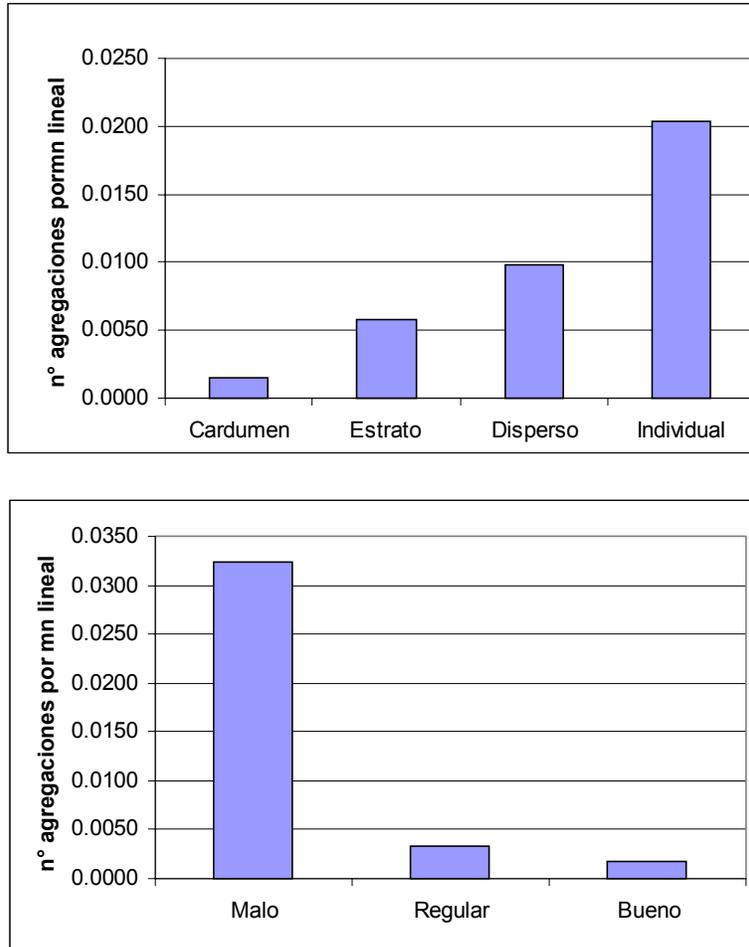
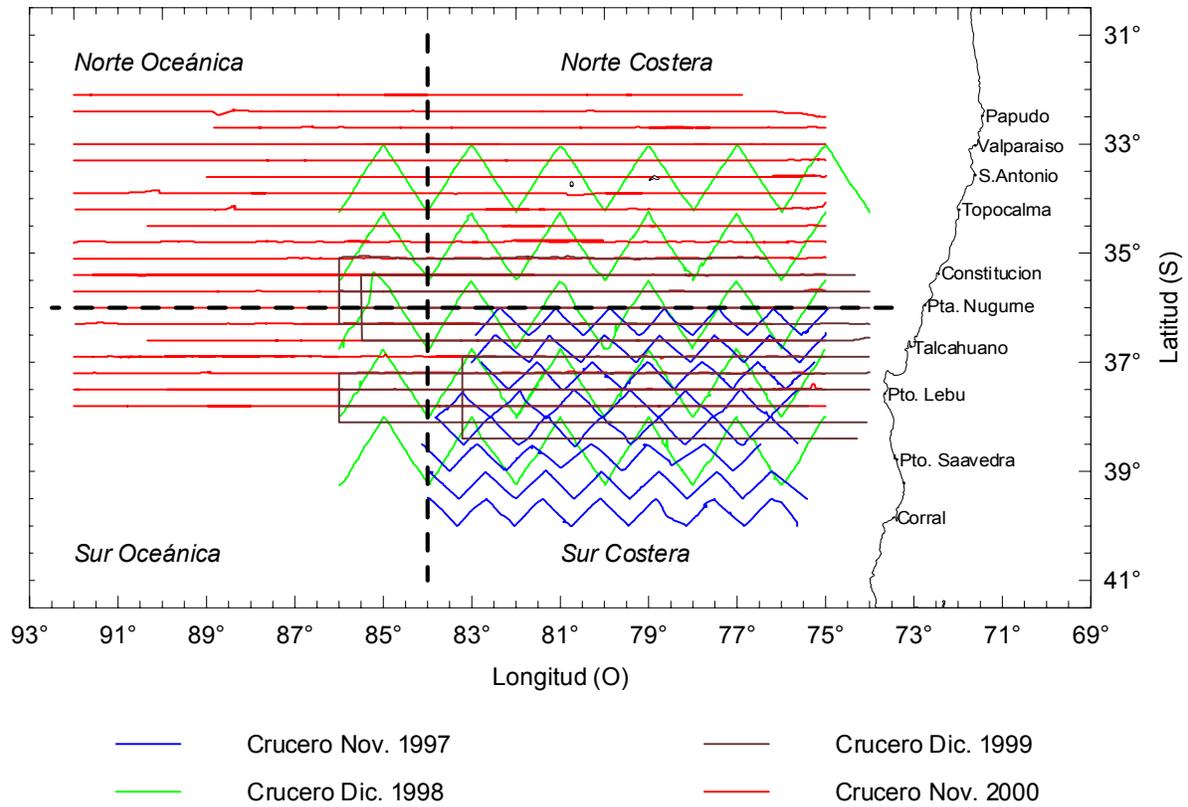


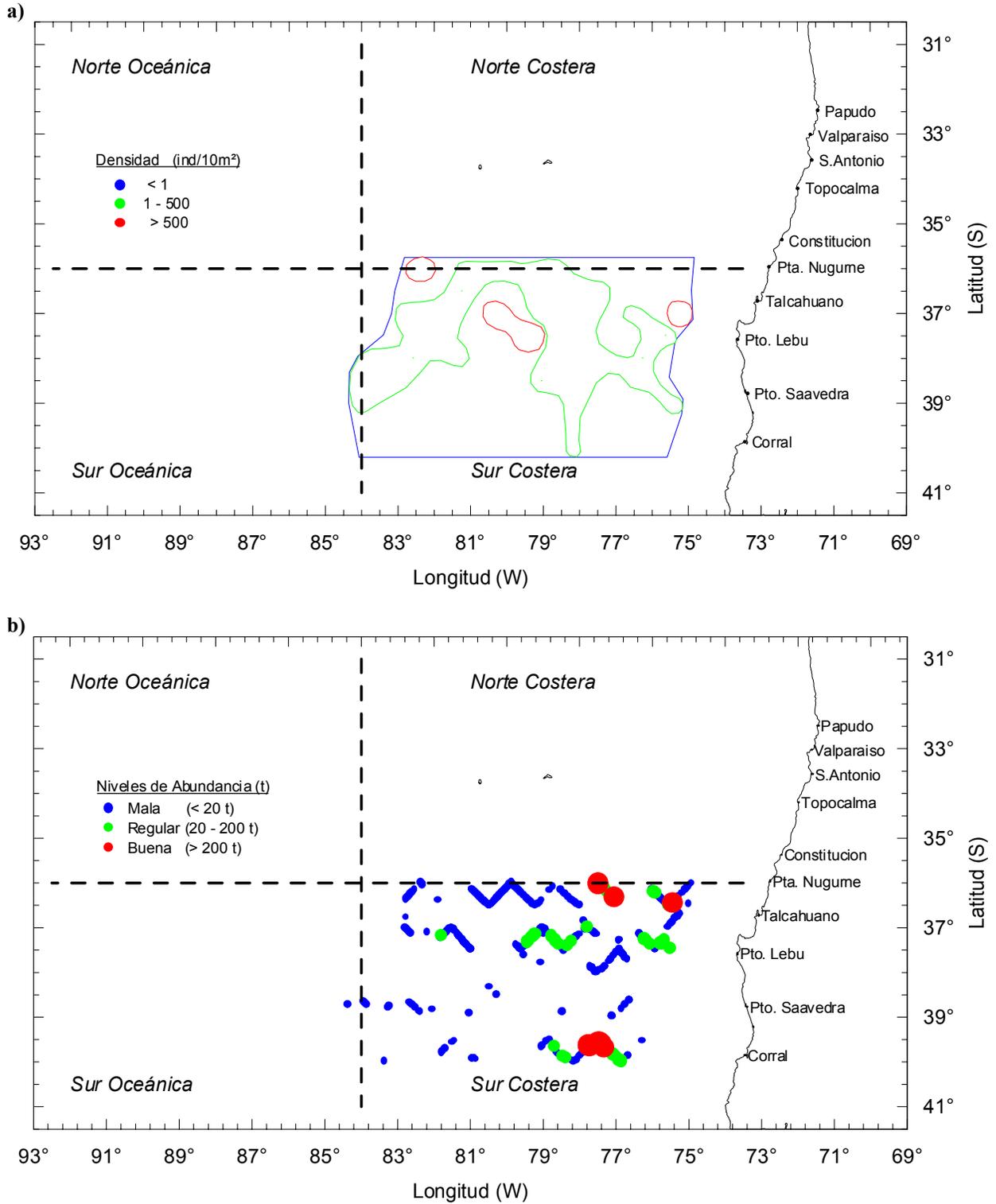
Figura 62. Distribución batimétrica del jurel por clase y tipo de agregaciones en Noviembre del 2000.



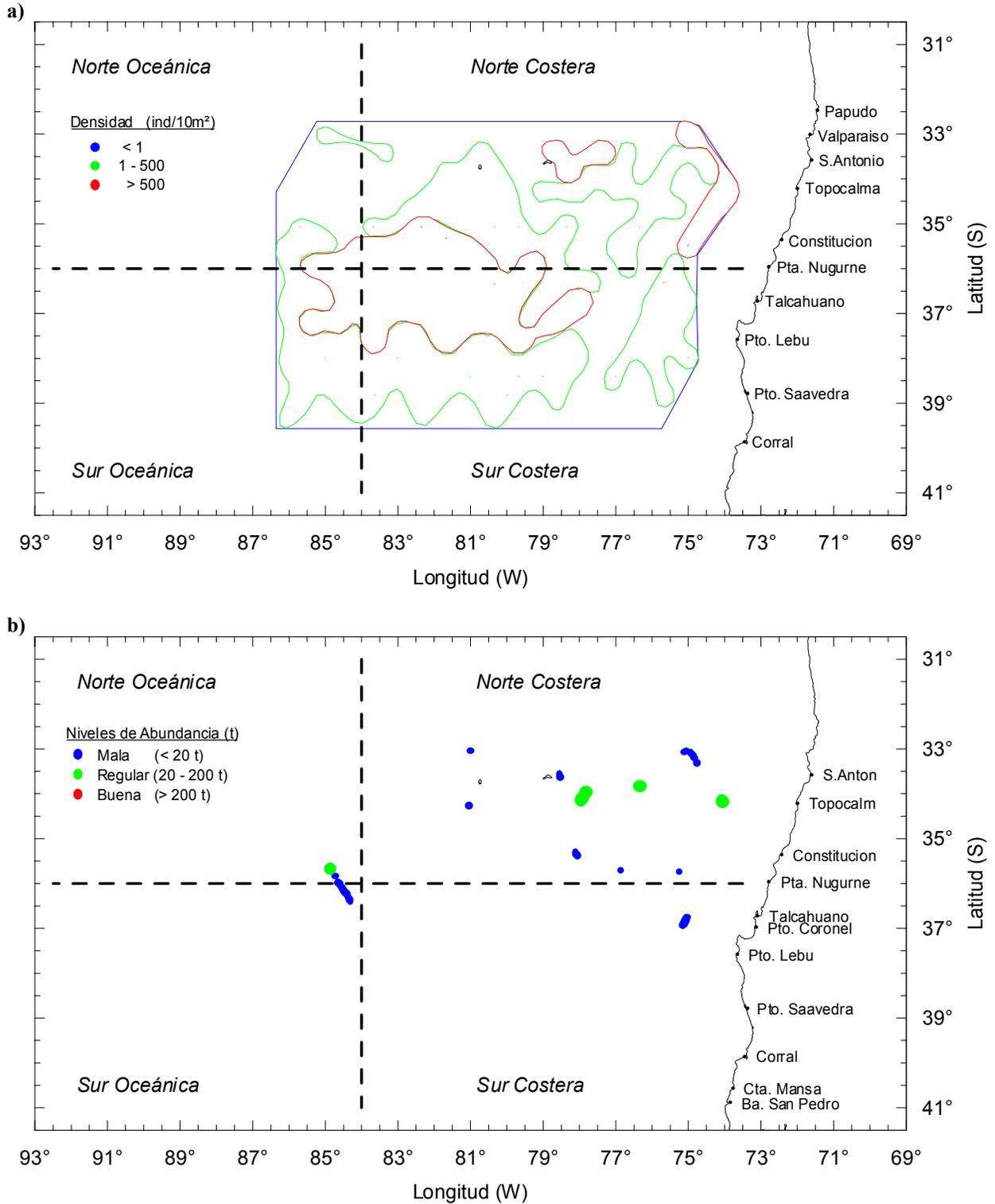
**Figura 63.** Índice de presencia de ecotrazos (IPE) expresado por el número de agregaciones por milla náutica lineal por transecta



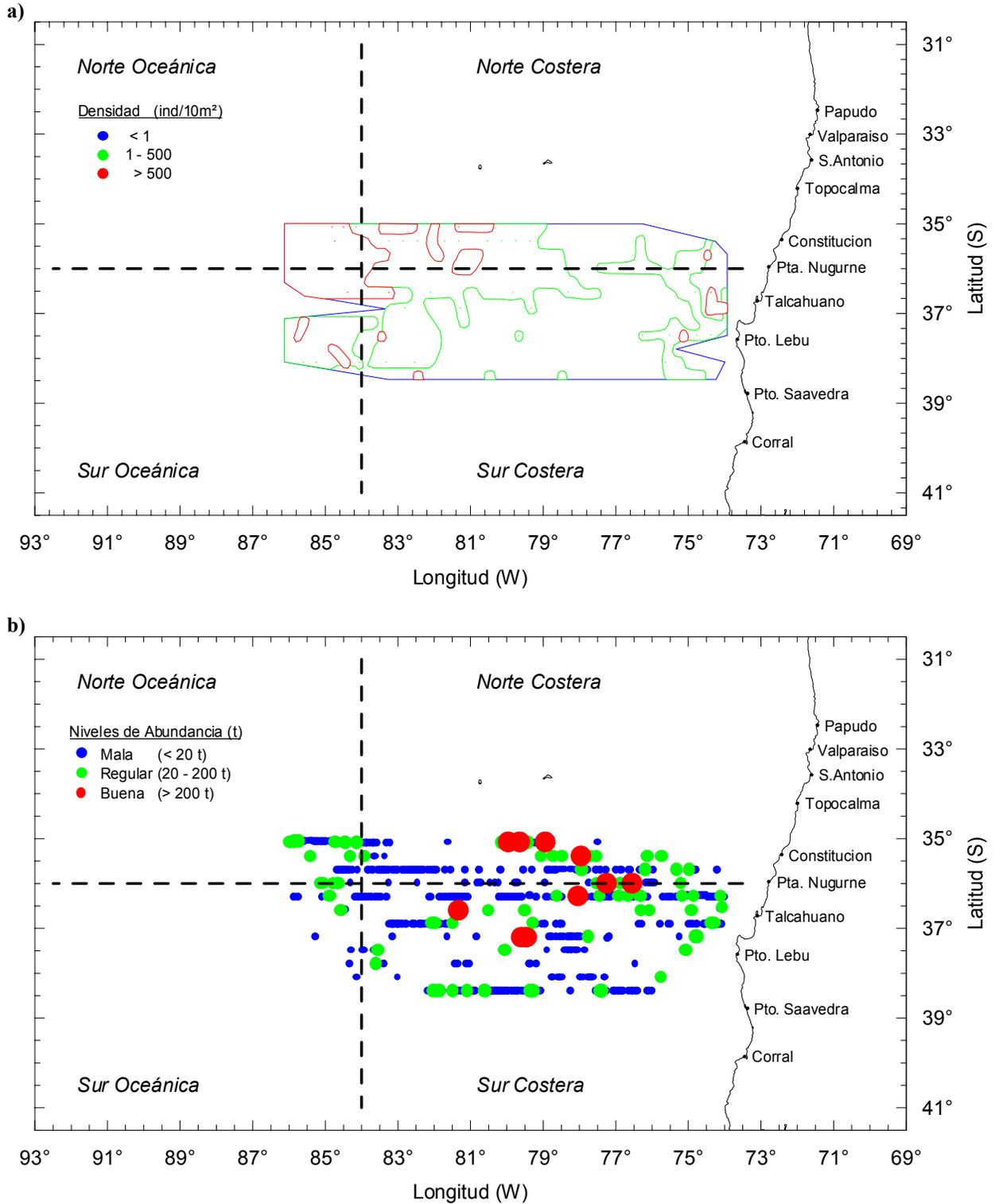
**Figura 64.** Track de navegación de los cruceros realizados en Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000.



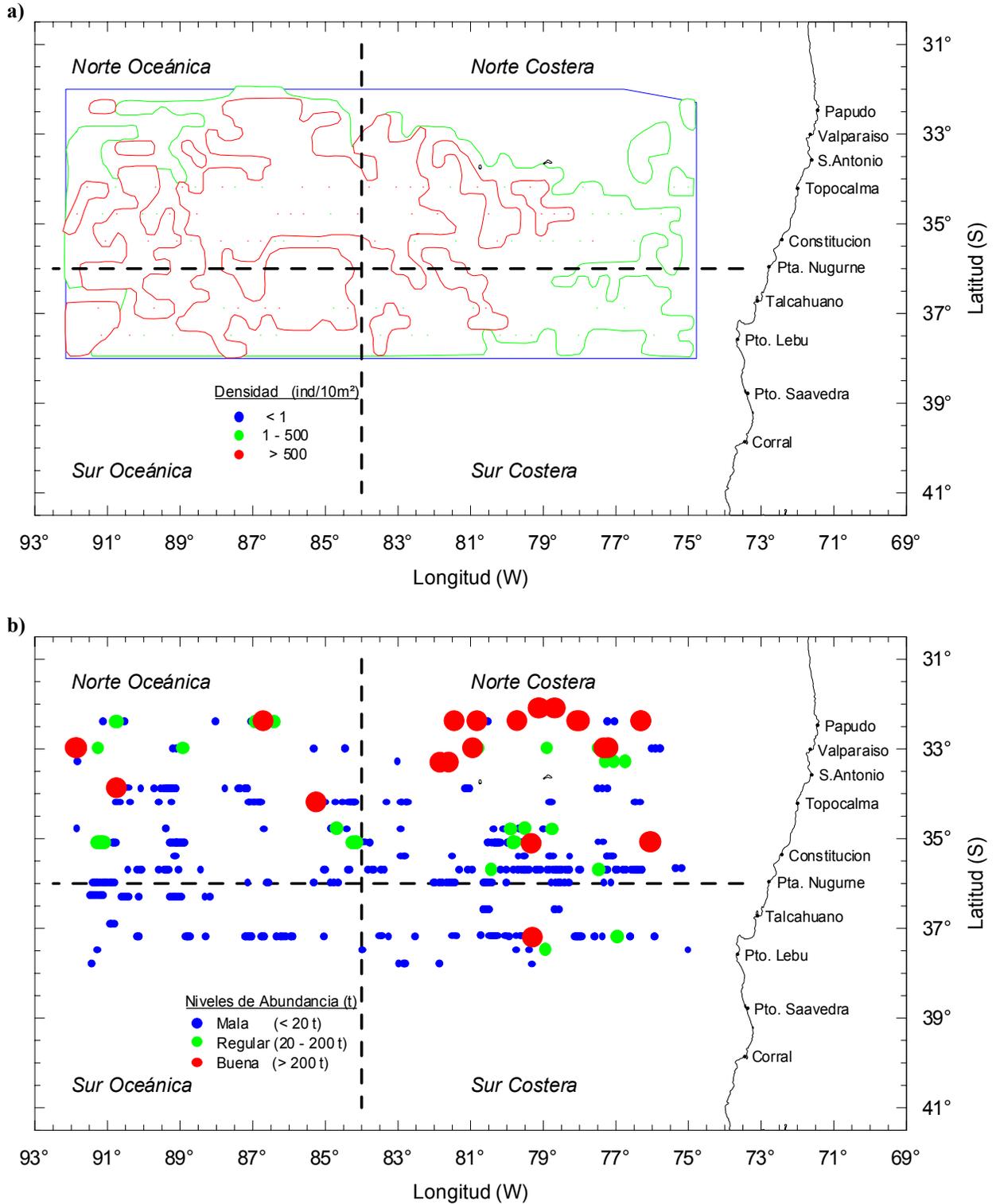
**Figura 65.** Distribución de: **a)** abundancia de huevos y **b)** presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Nov. 1997.



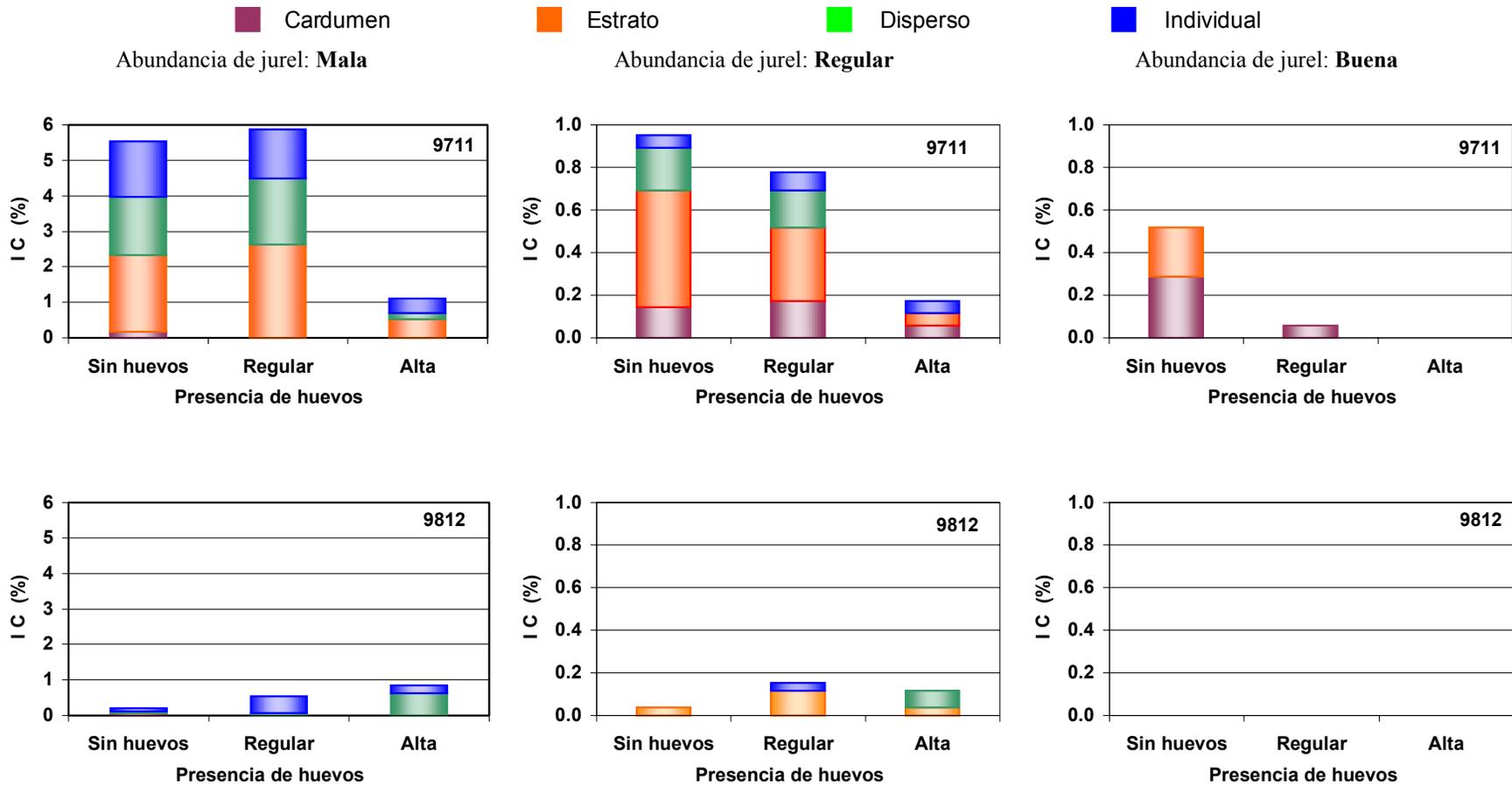
**Figura 66.** Distribución de: a) abundancia de huevos y b) presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Dic. 1998.



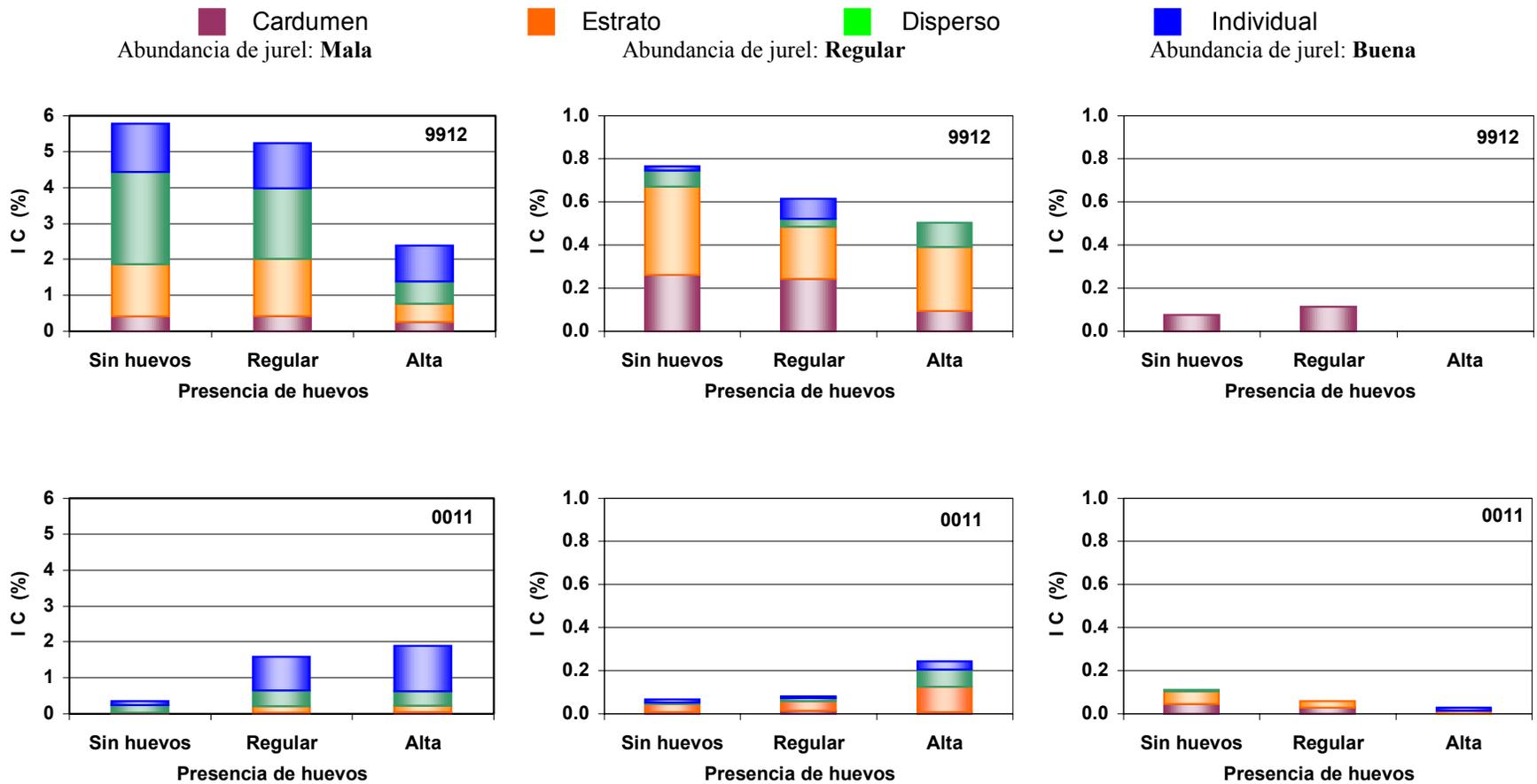
**Figura 67.** Distribución de: **a)** abundancia de huevos y **b)** presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Dic. 1999.



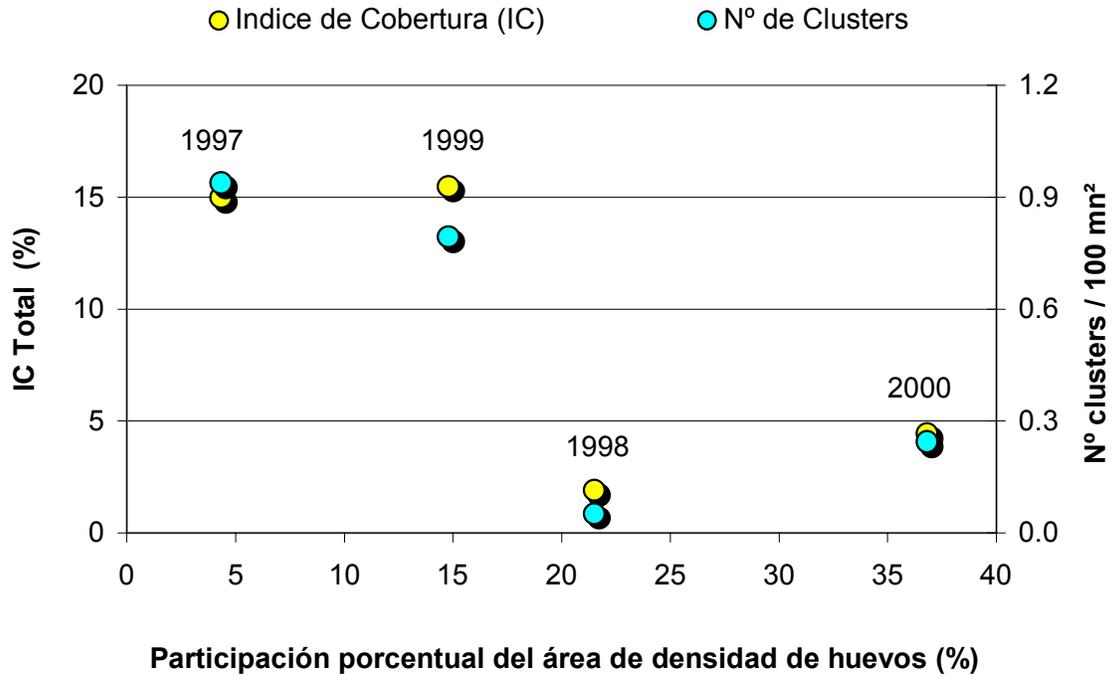
**Figura 68.** Distribución de: **a)** abundancia de huevos y **b)** presencia de ecotrazos acústicos de jurel. Crucero Nov. 2000.



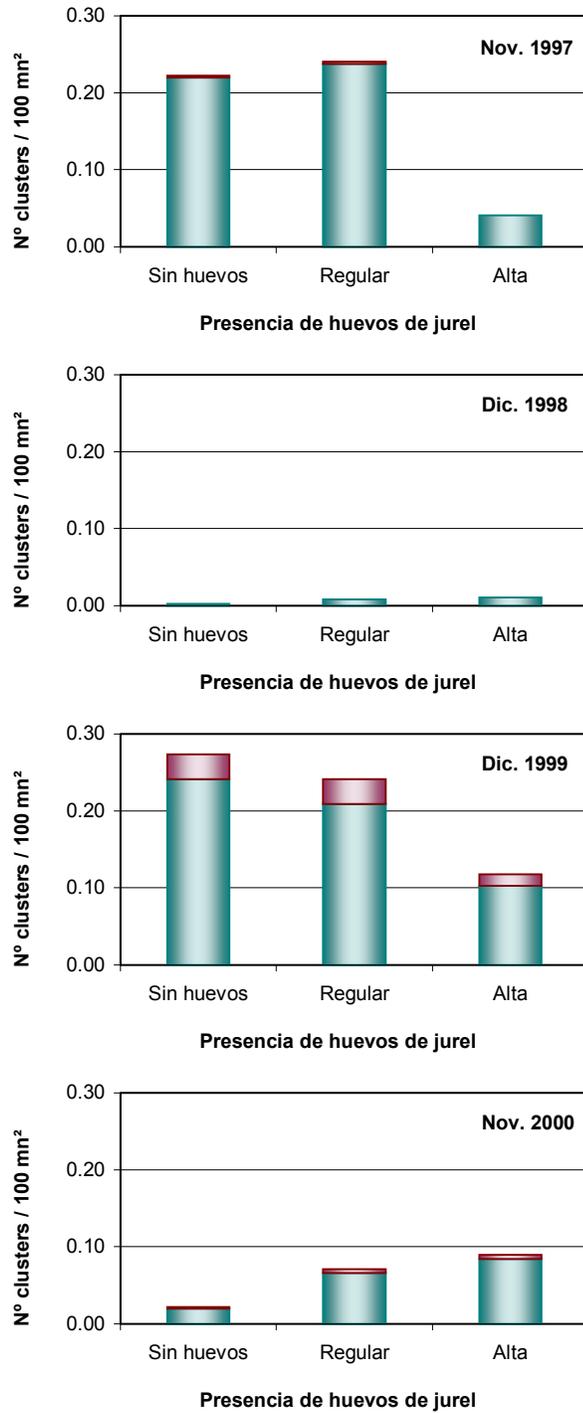
**Figura 69.** Indices de cobertura (IC %) por tipo de agregación y por clase de abundancia de registros acústicos de jurel. Cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000.



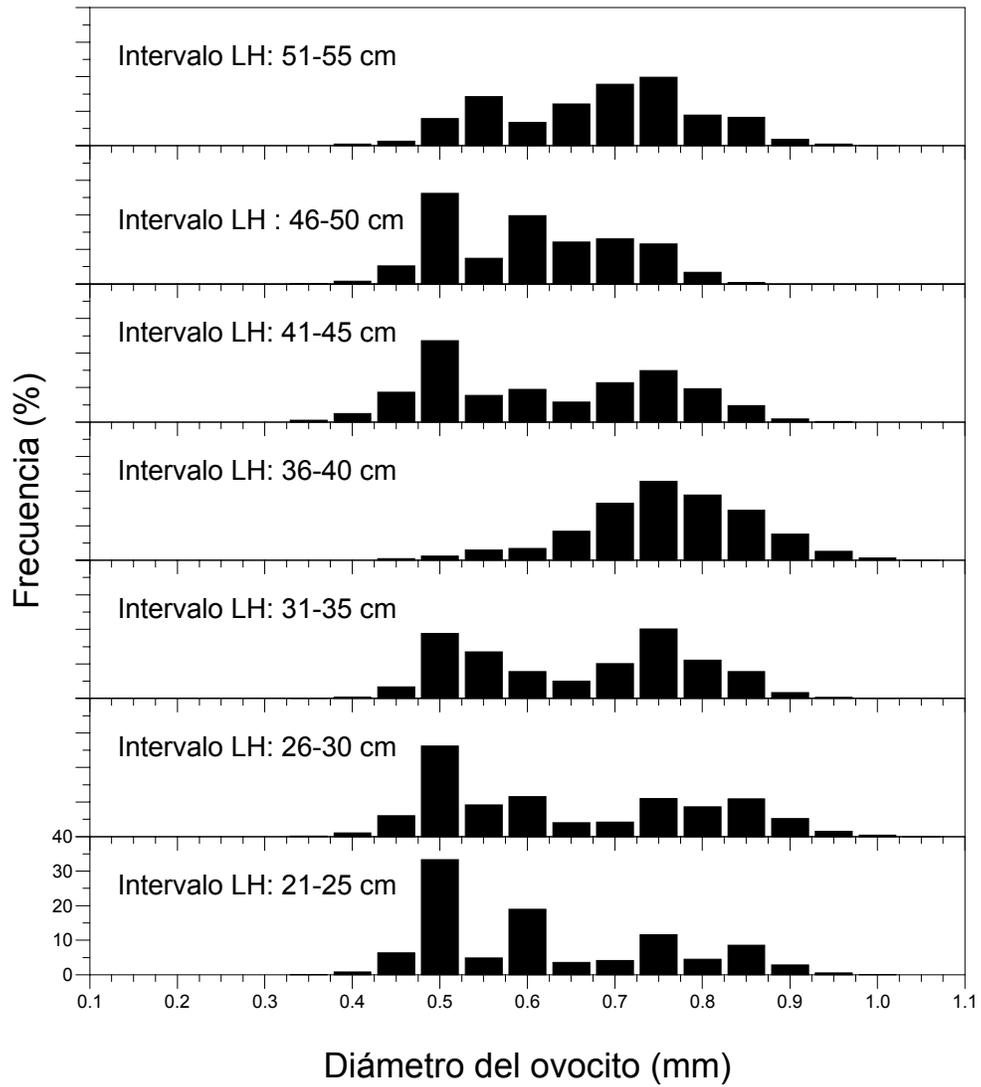
**Figura 69.** (continuación). Índices de cobertura (IC %) por tipo de agregación y por clase de abundancia de registros acústicos de jurel. Cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000.



**Figura 70.** Índice de cobertura (IC) total y número de clusters en relación a la participación porcentual del área de mayor densidad de huevos jurel con respecto al área total prospectada en los cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000.



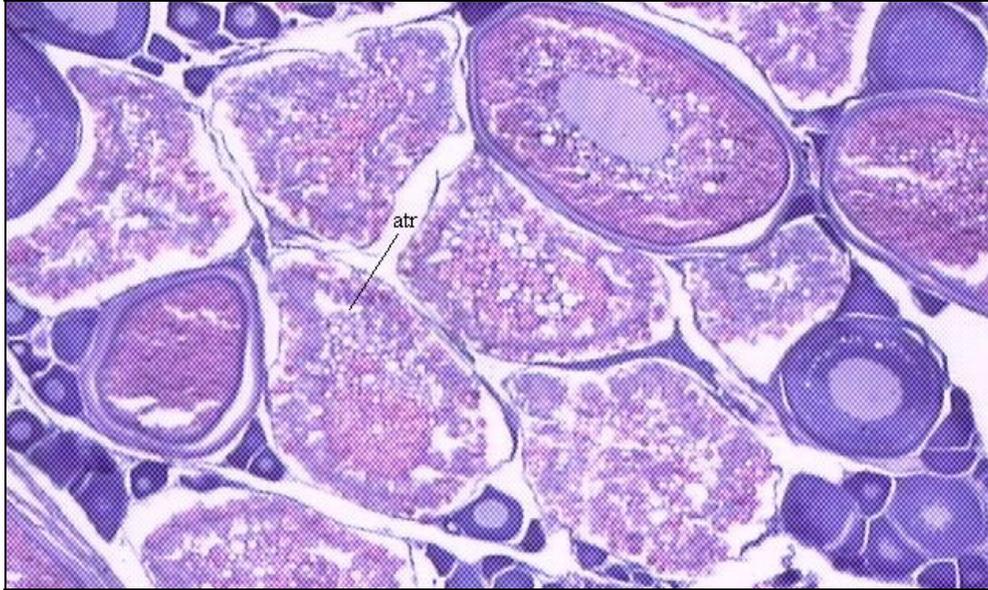
**Figura 71.** Número de clusters simples y clusters complejos por cada 100 mn<sup>2</sup> en los cruceros Nov. 1997, Dic. 1998, Dic. 1999 y Nov. 2000.



**Figura 72.** Distribución de frecuencia del diámetro de los ovocitos de jurel por clases de talla retenidos en un tamiz de 0,7 mm (Fuente: datos no publicados FIP 99-14).

## Anexo 1: Cortes Histológicos

a)

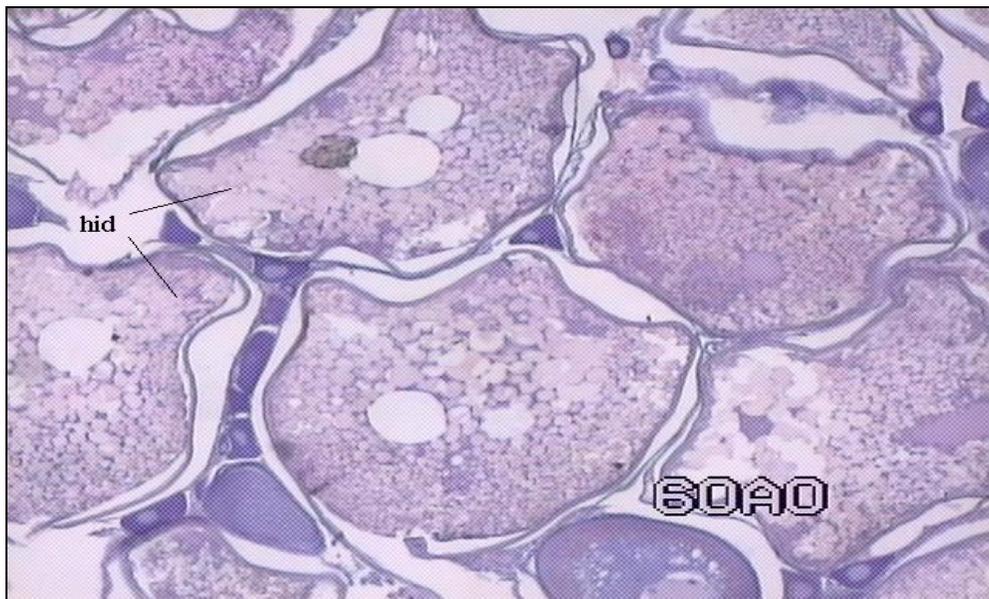


b)

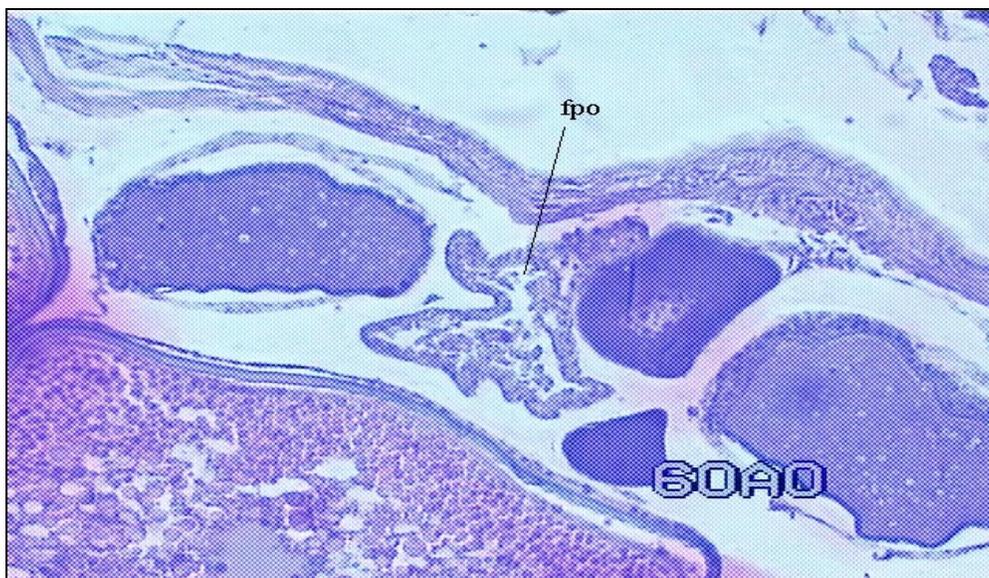


**Figura 1.** Fotografía en microscopía electrónica de cortes de histológicos de ovarios de *Trachurus symmetricus murphy* correspondientes a ovocitos atrésicos (a) y maduros (b).

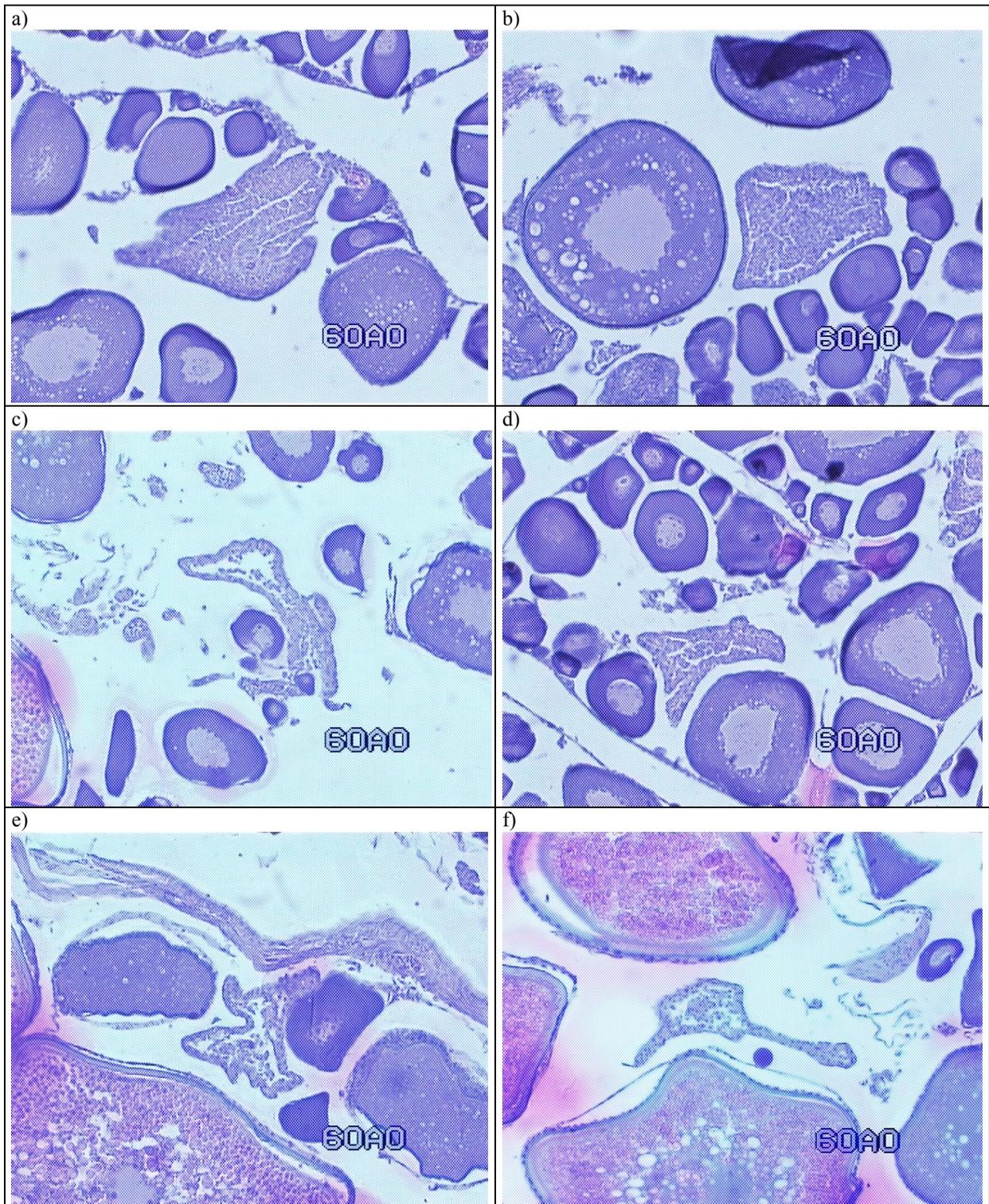
c)



d)

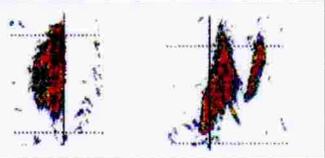
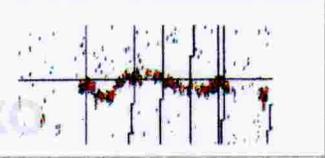
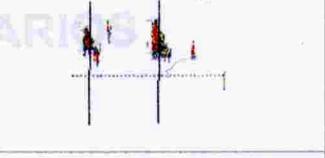
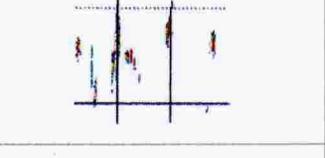
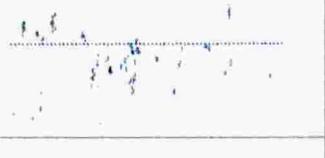
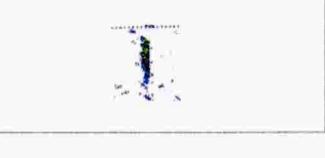


**Figura 1.** Fotografía en microscopía electrónica de cortes de histológicos de ovarios *Trachurus symmetricus murphy* correspondiente a ovocitos hidratados (c) y folículos postovulvares (d).



**Figura 2.** Fotografía en microscopía electrónica de cortes de histológicos de ovarios de *Trachurus symmetricus murphy* correspondientes a folículos postovulatorios nuevos (**a** y **b**) y viejos (**c**, **d**, **e** y **f**).

## Anexo 2: Caracterización de las agregaciones de jurel

TIPOS DE ECOTRAZOS DE JUREL	
1) Cardumen	
2) Estrato denso	
3) Estrato medio	
4) Estrato disperso	
5) Disperso	
6) Individual	

### **Anexo 3: Talleres de discusión**

**Primer Taller de Discusión**  
**FIP 2000-10**  
**“Condiciones Biológicas del Jurel en Alta Mar, año 2000”**  
Auditorio Instituto de Investigación Pesquera  
Talcahuano, 22 de junio de 2001  
(INPESCA – IFOP – UDEC)

#### **Objetivos**

Analizar y discutir las condiciones biológicas de jurel en la época y área de desove de 2000, y establecer criterios metodológicos para estandarizar y comparar indicadores.

#### **Programa de Trabajo**

- 11:00-11:10** Presentación del proyecto FIP 2000-10 “Condiciones biológicas del jurel en alta mar, año 2000”  
*Expositor* A. Sepúlveda
- 11:15-11:30** Condiciones oceanográficas horizontales y verticales.  
*Expositor* H. Peña
- 11:35-11:50** Distribución y abundancia de huevos y larvas.  
*Expositor* S. Núñez
- 11:55-12:10** Distribución y estructura de las agregaciones en aguas oceánicas.  
*Expositor* M.A. Barbieri – J. Cordova
- 12:25-12:40** Indicadores reproductivos de jurel en aguas oceánicas.  
*Expositor* C. Oyarzún
- 12:45-13:45** **Almuerzo**
- 14:00-14:15** Estructura de tallas y alimentación de jurel  
*Expositor* L. Cubillos – H. Rebolledo
- 14:20-14:40** Desarrollo temperatura dependiente de huevos de jurel y producción diaria de huevos  
*Expositores* A. Sepúlveda y L. Cubillos
- 14:45-15:30** **Discusión ampliada y conclusiones**

## **Participantes**

Gabriel Claramunt, Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat.

Jorge Oliva, Instituto de Fomento Pesquero – Iquique.

Rodolfo Serra, Instituto de Fomento Pesquero.

María Angela Barbieri, Instituto de Fomento Pesquero

Fernando Balbontín, Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso.

Claudio Bernal, Subsecretaría de Pesca.

Ciro Oyarzún, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.

Renato Quiñones, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.

Leonardo Castro, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.

Aquiles Sepúlveda, Instituto de Investigación Pesquera

Sergio Núñez, Instituto de Investigación Pesquera

Héctor Peña, Instituto de Investigación Pesquera

Luis Cubillos, Instituto de Investigación Pesquera

## **Observadores**

Sr. Alex Daroch, Instituto de Fomento Pesquero – Talcahuano.

Sr. Santiago Gacitúa, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.

Sr. Claudio Gatica, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.

Srta. Flor Vejar, Instituto de Investigación Pesquera

Srta. Patricia Ruiz, Instituto de Investigación Pesquera.

## **Conclusiones y Recomendaciones del Taller de Discusión**

Los participantes del taller coincidieron en señalar los siguientes puntos:

- a) Sobre la importancia de cubrir el área de desove:

Si los objetivos del proyectos están orientados a una estimación de la biomasa desovante de jurel por el método de la producción diaria de huevos, los siguientes aspectos deben tomarse en cuenta:

- Si bien el diseño de muestreo del crucero de noviembre de 2000 permitió cubrir la distribución del desove en la principal área de reproducción del jurel, la situación podría cambiar año tras año debido a la probable influencia de las condiciones ambientales asociadas con eventos El Niño-Oscilación del Sur. Se planteó la posibilidad que el área de desove se desplace latitudinalmente o longitudinalmente, razón por la cual las condiciones ambientales se deberán tomar en cuenta para cubrir el área de desove.
- Estudiar la factibilidad de perder en precisión y cubrir en extensión del área de desove hacia el norte, estipulando que la separación entre estaciones sea de 20 millas náuticas en vez de 18 como se ha hecho hasta el momento. La alta incidencia de estaciones positivas favorece esta factibilidad.

- b) Sobre la distribución de huevos

- Se considera relevante implementar en algunas transectas un muestreo estratificado de colecta de huevos con el objeto de establecer la distribución vertical de los mismos.
  - En la misma problemática, surge necesario determinar la boyantes de los huevos de jurel y determinar su distribución vertical.
- c) Sobre la época del crucero
- Se discutió la posibilidad de que el crucero se haya realizado después del máximo desove. Esta discusión se apoya en la incidencia de hembras atrésicas y también en observaciones realizadas en muestras de jureles de la zona norte. Es necesario contar con un monitoreo reproductivo que permita tomar la decisión sobre cuando hacer el crucero, aspecto que podría ser cubierto con el sistema de vigilancia que lleva el Instituto de Fomento Pesquero en la zona norte.
- d) Sobre la producción de huevos
- Debido al alto número de estaciones positivas y la incidencia de cobertura espacial del desove, la producción diaria de huevos parece ser uno de los parámetros sujetos a menor incertidumbre, siempre y cuando se cubra el área de desove. El modelo de desarrollo de huevos temperatura-dependiente debe mejorarse incluyendo tiempos de desarrollo por estadios a temperaturas más bajas.
- e) Sobre el muestreo de adultos
- El muestreo de adultos para la caracterización reproductiva constituye uno de los aspectos críticos. Lamentablemente, esta situación se debe al comportamiento reproductivo del recurso que no forma agregaciones importantes como para que sean eficientemente capturados en alta mar.
  - Si bien es cierto hubo pocos lances con muestras de calidad que permitieran contrastar la condición reproductiva entre ejemplares capturados con red de arrastre y cerco, es altamente recomendable analizar la influencia del arte.
  - La fecundidad parcial estuvo condicionada por la estructura de tallas, aunque se discutió que parece ser baja. Se destaca que el 80% de la fecundidad parcial proviene de hembras en el rango de tallas 24-29 cm LH.
  - El número de muestras fue insuficiente desde el punto de vista de poder separar la edad de los folículos postovulatorios. Este aspecto debe ser mejorado en futuros estudios.
- f) Sobre el comportamiento de las agregaciones
- El comportamiento de las agregaciones reproductivas indica que no se detecta jurel (o la presencia es muy baja) en las áreas donde se presentan la mayor densidad de huevos.
  - Para implementar un mejor diseño de muestreo de adultos podría ser necesario considerar la participación del B/I Abate Molina, y utilizar el arte de pesca de arrastre. Sin embargo, esta posibilidad debe evaluarse en el contexto del diseño de muestreo de huevos en relación con el área de cobertura que podría realizar el B/I Abate Molina.

**Segundo Taller de Discusión**  
**FIP 2000-10**  
**“Condiciones Biológicas del Jurel en Alta Mar, año 2000”**  
Salón Rojo Instituto de Investigación Pesquera  
Talcahuano, 26 de Julio 2001  
(INPESCA – IFOP – UDEC)

**Programa de Trabajo**

- 10:00-10:20** Presentación del proyecto FIP 2000-10 “Condiciones biológicas del jurel en alta mar”.  
*Expositor* *Luis Cubillos*
- 10:30-10:50** Distribución y abundancia de huevos y larvas.  
*Expositor* *Aquiles Sepúlveda*
- 11:00-11:20** Distribución y estructura de las agregaciones en aguas oceánicas.  
*Expositor* *María Angela Barbieri*
- 11:30-11:50** Café
- 12:00-12:20** Indicadores reproductivos del jurel en aguas oceánicas.  
*Expositor* *Ciro Oyarzún*
- 12:30-12:40** Producción diaria de huevos y biomasa desovante  
*Expositor* *Luis Cubillos*
- 12:50-13:30** Discusión de resultados
- 13:30-14:40** Almuerzo
- 15:00-16:00** Mesa Redonda

Este segundo taller contó con la participación de un experto internacional, el Sr. John Hunter, Director del Southwest Fisheries Science Center, California, USA. La revisión y recomendaciones del proyecto que realizó el Sr. Hunter se presentan en el siguiente texto.

**Review and recommendations regarding the 2000 egg production estimate of the biomass of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, carried out by the Instituto de Investigación Pesquerías.**

John R. Hunter,  
Director, Fisheries Resources Division, Southwest Fisheries Science Center,  
National Marine Fisheries Service, La Jolla, California, USA

**Background**

The review took place in Talcahuano Chile, 24-27 July 2001 and consisted of a series of private presentations to me by the staff of the Instituto de Investigación Pesquerías (IIP) on the 24 and 25 July, an open workshop with the Chilean scientific community on the 26<sup>th</sup>, and a debriefing meeting on the 27<sup>th</sup>. While I am fully responsible for the contents and recommendations in this review, the comments and concerns expressed by workshop participants were very helpful. I want to acknowledge the participants in the workshop for their insightful comments and suggestions. I also wish to thank Renato Quinones for simultaneous translation of the workshop discussions which I would never have understood given my poor knowledge of Spanish.

**General Comments.**

This is a highly competent regional estimate of jack mackerel biomass using the Daily Egg Production Method (DEPM). After a few minor revisions of measurements and calculations, particularly in relation to the adult parameters, the estimate will be as good as any DEPM estimate in the published literature. One of the most outstanding features of this estimate is that a precise estimate of egg production was carried out over a huge region using voluntary contributions from the fishing industry. It takes a very high level of management and coordination skills to carry out such an undertaking and the IIP team have done a remarkable job. This work shall provide an important regional estimate of spawning biomass which will increase in value with every annual repetition. The work shall also make an outstanding scientific publication, as documentation of the vast extent of the Chilean jack mackerel spawning habitat is a very important and interesting scientific contribution.

The major uncertainties underlying the biomass estimate for jack mackerel are independent of the survey type. Uncertainties regarding the fraction of the stock enclosed within the survey boundaries, and the extent samples of adult fish are representative of the size and age composition of the population, are common problems in fishery surveys regardless if the method is a DEPM, bioacoustic or some other approach. These are universal survey issues with which every survey team must deal.

In the Specific Comments and Recommendations section that follows, I discuss a number of topics where I believe the basic methodology could be improved and ones where I identify topics for future research. I want to assure the reader that my list of comments does not indicate dissatisfaction with the overall program, which I think is excellent, but rather a desire to include many possible directions for future research.

**Specific Comments and Recommendations.**

**1. Method of calculating fecundity:** The method used to calculate batch fecundity (freeing oocyte from ovarian tissue using Gilson's fluid and counting oocyte retained on various meshes) is untried and uncalibrated as a technique for the DEPM. The DEPM requires estimation of the number of eggs to be spawned in a single night. While the use of the "Gilson's Method" in this application is innovative, there is no way to be sure that the oocyte that are retained on any filter are the batch of hydrated oocyte that will be spawned in one night. Thus, to satisfy this requirement of the DEPM hydrated oocyte need to be identified and counted. Because oocyte treated with Gilson's fluid shrink it may be difficult to identify them, and I suspect those preserved in formalin will be preferable to use for estimating batch fecundity. The gravimetric method using formalin preserved tissue is the preferable approach. In the future it might be possible to calibrate the Gilson's method after once determining the extent of hydration of the ovary by microscopic examination (one must be sure that hydration has proceeded to a late enough stage that the hydrated batch is fully recruited, and there are no postovulatory follicles). Another reason for specifically identifying the stage of oocyte before counting them is that Macewicz and Hunter (1993) report that jack mackerel ovaries may contain the equivalent of two batches of advanced oocyte but may hydrate only one of these potential batches at a time. Hence, counting and filtering without oocyte identification could lead to misleading results since the DEPM requires knowing the numbers spawned per day. Macewicz and Hunter also point out that it may be preferable to count only oocyte that have advanced beyond the migratory nucleus stage because the migratory nucleus stage may begin earlier than 24 hours before ovulation.

**2. Estimating of Spawning Frequency:** At this time, the fraction of females spawning per day, has not been directly estimated in this study because no calibration of the ages of the postovulatory follicles (PO) of Chilean jack mackerel exists. There are two possible solutions to this problem - the 24h time series method of establishing PO age criteria; and the hydrated oocyte method. Each are discussed below.

*Time series method of ageing PO.* In this method criteria for aging PO are developed by capturing females at intervals over a 24h period and examining the change in the PO with time from the easily distinguished new PO to later stages of follicle degeneration. While the present set of samples are not regularly distributed over a 24h period, there still may be sufficient ranges in the time of collection to develop aging criteria. If requested B. Macewicz would be willing to supply the time series of jack mackerel slides we used in our 1993 study which could be combined with the Chilean material to develop aging criteria. It may be preferable, however for the Chilean team to independently develop their own criteria since our method could use independent verification.

*Hydrated oocyte method:* In this approach the investigator determines the window of opportunity for estimating the frequency of females with hydrated oocyte, that is, the hours of the day when females with hydrated ovaries can be accurately counted without risk of undercounting due to inability to detect the early stages hydration, or losses of hydrated eggs due to spawning. The fraction of females spawning per day is the proportion of the females with hydrated oocyte occurring in the hydrated-oocyte window of opportunity. This window of opportunity could be expanded somewhat by including new PO with the hydrates. Whatever the criteria and window of opportunity is for estimating spawning fraction, it is important to be sure that the combined criteria persist for a period less than 24h.

Some evidence exists for anchovy that females with hydrated oocytes may be more vulnerable to capture than other females. Because of this potential bias, we have preferred to use the PO method. However, if the PO method is impractical the hydrated oocyte method should be pursued.

**3. Check for Potential Bias in vertical tows.** A common problem in taking vertical net tows, especially in rough weather, is that even with a heavy weight the net may tend to drag obliquely through the last 10m or so of the water column. Such a trajectory could result in the filtering of more water near the surface where eggs may be concentrated, thereby biasing the estimate of egg density per unit surface area. This would result in an over estimate of egg density. The observed egg densities for jack mackerel in Chile are much higher than for those in California (see Farris 1961). This means that either there is a major difference in spawning behavior or batch fecundity between California and Chile, or the Chilean net deployment may be over sampling the eggs. Deployment of the CalVET net would considerably reduce the bias if one exists. Thus, I recommend on the next survey that both the Chilean net and the CalVET be used on one vessel in paired tows and these tows compared to see if a bias exists. We would be happy to loan a CalVET net for this experiment.

**4. Precision and Bias in Adult Parameters.** There was considerable discussion during the workshop on whether or not the sample size for adult fish was adequate and if the absence of larger jack mackerel ( $L > 29\text{cm}$ ) from the sample would seriously bias the DEPM estimate of biomass. Since sample data exists, these questions are best addressed through analysis. Recommended analyses are described below.

*Precision:* Since the egg production estimate was so precise, the precision of the biomass estimate shall probably be driven by the variability in the adult parameters, (batch fecundity, spawning fraction, mean weight, sex ratio). Usually spawning fraction is the most variable of the adult parameters and contributes the most variability to the biomass estimate. In our experience, precision in spawning fraction is usually a compromise between the desired CV for the biomass estimate and how many collections of adults one can afford to take. In the present 2000 survey the number of sets was low (15) while the number of samples per set was high. It would be useful to compare within set and between set variability in spawning fraction and to determine how many sets and how many specimens per set are needed to obtain a desired level of precision for the biomass estimate. The issue of precision from the standpoint of batch fecundity is more manageable because it does not have to depend entirely upon random samples from the catch. We use the regression of batch fecundity on weight to estimate batch fecundity for the average weight female in the population. To increase our sample size of hydrated females for the batch fecundity estimate we take separate *non-random* samples of hydrated females to supplement those taken randomly for estimating spawning fraction. These additional non-randomly selected hydrated females can be obtained from the specimens used for length frequency measurements. Typically, we use a target of about 60 females for batch fecundity estimates and usually we need all the hydrated females we can find in order to make this quota. In fact, in sardine we have never been able to make the quota. Quite a few females are rejected later on because of the presence of postovulatory follicles due to either damage to the ovary or spawning.

*Bias:* The potential effect on the biomass estimate of possible under sampling of larger females ( $L > 29\text{cm}$ ) was discussed at length during the workshop. I recommend that this

problem be addressed by simulating the potential effects of larger females in the samples on the DEPM estimate of biomass. In this way one would be able to determine under what conditions the absence of larger females would greatly bias the biomass estimate and whether such an effect is likely. In this simulation one could evaluate various fractions of the stock being composed of large females. Fecundity and average weight for larger females can be estimated from regressions but the spawning fraction is a more difficult problem. My belief is that during the peak months of reproduction no difference exists between the spawning fraction of large and smaller individuals as the rates of spawning of active females is probably a biorhythm. Since this is only a belief, not a fact, one would need to consider the case that the fraction is higher in larger females. I recommend evaluating a range of values starting with the average fraction spawning per day from the 2000 study up to daily spawning (spawning fraction =1).

## **5. Survey Boundaries.**

It is clearly impractical to carry out a survey that totally encloses the spawning habitat of the Chilean jack mackerel. The current survey is an impressive effort to enclose a major fraction of that habitat. Nevertheless, there were consistently positive stations along the offshore boundary, and North and South boundaries. Assuming the same level of effort in 2001 is the same as in 2000, it may be preferable to give up some of the precision on the estimate of egg density in order to space the transect lines further apart than the current 18 nm to perhaps to 40 nm intervals. In this approach, perhaps a line of predominantly zeros would be identified on the north and south borders. Owing to costs, I do not think much can be done with the Western border, going offshore 1000 nm is truly an outstanding effort. The benefits would be to enclose a larger fraction of the stock, and perhaps encounter some boundaries for the north and south margins of the spawning habitat. The larger the fraction of the Chilean stock covered by the survey, the more useful it becomes in a stock assessment.

Perhaps the most cost effective approach is to use satellite imagery, observed sea surface temperature, and possibly other variables to guide the selection of transect line interval and set the outer boundaries. We use this real-time approach to establish the northern boundary of our annual sardine survey using a combination of the observed egg density, SST from the vessel and satellite-based water temperatures. While we make the decision each year more or less intuitively, one could also formalize the process by establishing rules based on probability of finding eggs at specific temperatures. In such an analysis, I am more inclined to use percent positive than egg density, since density is probably affected more by spawning behavior.

## **6. Increasing Benefits/Costs**

A central long range issue is how to increase the benefits/costs for the DEPM for Chilean jack mackerel. Benefits can be increased by annual repetition so that, with time, the DEPM estimate becomes a fishery independent index that will track annual changes in abundance. In this application, the number of samples along a line could be reduced and historic means used for the adult parameters there by greatly reducing costs without sacrificing much of its value as an index. The area represented by the survey should not be reduced, however as this effects the dynamic range of the index. The benefits increase however if the DEPM is used both as an index of abundance and as a point estimate of spawning biomass for a region. Such a point for the present pattern can be considered at least a minimum estimate of biomass. Point estimate of biomass would be more useful if

one knew the fraction of the total biomass of the stock that was present in the surveyed area. A best guess of this fraction is an important direction for future analytical work. If the DEPM is to be used as a point estimate of biomass, as well as a trend line, it may be necessary over the long term to reduce the costs of estimating the adult parameters on an annual basis since plankton sampling can be sustained at much lower costs. Options include using historical means and updating these data occasionally with new adult samples; developing and calibrating an index of spawning rate based on gonad and body weights; and using observers on board fishing boats to collect supplemental data on the adult parameters. The last two approaches would require research and development.