Instituto de Investigación Pesquera

Av. Colón 2780,
Casilla 350
Talcahuano
Tel: +56-41-2920410
Fax: +56-41-2920411
inpesca@inpesca.cl
www.inpesca.cl

Informe Final

FIP 2006-05

Condición Biológica del Jurel en Alta Mar, año 2006

Talcahuano, 2009

TITULO DEL PROYECTO	:	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2006
REQUIRENTE	:	Consejo de Investigación Pesquera (CIP) Fondo de Investigación Pesquera (FIP) Presidente CIP: Carlos Hernández Salas Secretario Ejecutivo: Rubén Pinochet Polastri
UNIDAD EJECUTORA	:	Departamento de Pesquerías Instituto de Investigación Pesquera Director: Aquiles Sepúlveda Oróstica
UNIDADES SUBCONTRATADAS	:	Instituto de Fomento Pesquero Director: Mauricio Braun Universidad Católica de la Santísima Concepción Rector: Juan Cancino Cancino
JEFE PROYECTO	:	Aquiles Sepúlveda Oróstica Biólogo Marino Instituto de Investigación Pesquera Casilla 350, Talcahuano, Chile Tel.: 56-41-2920410 Fax: 56-41-2920411 E-mail: asepulveda@inpesca.cl

FIP 2006-05

CONDICIÓN BIOLÓGICA DE JUREL EN ALTA MAR, AÑO 2006

Jefe Proyecto

Aquiles Sepúlveda Oróstica

AUTORES

Aquiles Sepúlveda

Patricia Ruiz

Rubén Alarcón Muñoz

Sergio Núñez

Roberto Bahamonde

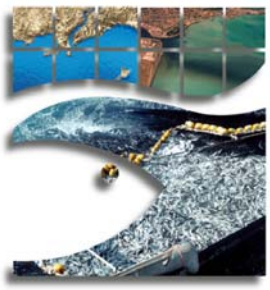
José Córdova

Javier Chong

Hernán Rebolledo

Mario Aguayo

Luis Bustos



Instituto de Investigación Pesquera Octava Región

Talcahuano (Chile), 2009.-

PERSONAL PARTICIPANTE

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA

PERSONAL PROFESIONAL	TÍTULO PROFESIONAL	FUNCIÓN
Aquiles Sepúlveda O.	Biólogo Marino	Jefe de Proyecto. Coordinación. Modelos asignación de la edad. Crucero de adultos. Asignación de edad. Modelos GAM. Informes
Sergio Núñez E.	Oceanógrafo	Relación ambiente recurso. Oceanografía
Claudio Gatica	Biólogo Marino	Estimación de varianza. Evaluación de tamaños de muestra adultos y estaciones. Análisis de sensitividad. Informes.
Eduardo Navarro	Biólogo Marino	Oceanografía e ictioplancton. Informes. Análisis relación ambiente- recurso.
Patricia Ruiz	Biólogo Marino	Ictioplancton. Asignación de edades a huevos. Experimento de incubación a bordo. Clasificación de estadios de desarrollo. Condición macroscópica de madurez. Análisis sensitividad. Informes
Rubén Alarcón	Biólogo	Análisis espacial de la densidad de huevos y larvas. Geoestadística. Informes.
Mario Aguayo	Biólogo Marino	Estimación biomasa desovante por edad. Informes.
Marcos Arteaga	Biólogo Marino	Estimación de varianza. Evaluación de tamaños de muestra adultos y estaciones.
Sebastián Vásquez	Biólogo Marino	Crucero, análisis espacial de la densidad de huevos y larvas. Geoestadística.
Hernán Rebolledo	Ingeniero de Ejecución en Gestión Pesquera	Crucero. Análisis de la alimentación.
Carlos Gonzalez	Tecnólogo Marino	Coordinación crucero. Preparación cartas satelitales de temperatura superficial.
Marcia Neira	Biólogo Marino	Edad y Crecimiento jurel.
Luis Bustos E.	Tecnólogo Marino	Crucero, plancton y adultos. Muestreo y análisis de muestras de estómago.
Evelin Sanhueza	Biólogo Marino	Crucero, revisión muestras planctónicas. Edad y Crecimiento.
Ivonne Calisto	Biólogo Marino	Revisión muestras planctónicas.
Roberto Torres	Técnico	Crucero.
Carlos Pincheira	Técnico	Crucero.
Rubén Mena	Técnico	Crucero.

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

NOMBRE	**TITULO**	**FUNCION**
José Córdova M.	Ingeniero Pesquero	Coordinación. Procesamiento, análisis de datos y elaboración de informes.
Jorge Castillo	Ingeniero Pesquero	Procesamiento, análisis de datos y preparación de informes.
Roberto Bahamonde	Ingeniero Pesquero	Preparación de crucero. Embarque, procesamiento, análisis de datos y preparación de informes.
Carolina Lang	Ingeniero Pesquero	Embarque, procesamiento, análisis de datos.
Bernardo Leiva P.	Ingeniero Pesquero	Embarque, procesamiento de datos.
Rodolfo Serra B.	Biólogo Marino	Análisis de datos.
José Araya	Técnico Marino	Embarque y registro de datos. Preparación de informes.
Carola Hernández	Ingeniero Pesquero	Embarque. Registro y proceso de datos.
Felipe Cerda	Ingeniero Pesquero	Embarque. Registro de datos
María Elena Eastman	Ingeniero Pesquero	Embarque. Registro de datos
Jorge Angulo	Ingeniero Pesquero	Embarque. Registro de datos
Carlos Mendoza	Ingeniero Pesquero	Embarque. Registro de datos
Carlos Concha	Ingeniero Pesquero	Embarque. Registro de datos
Patricio Yánez	Ingeniero Pesquero	Embarque. Registro de datos

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION

Personal Profesional	Título Profesional	Función
Javier Chong L.	Lic. Biología	Condición reproductiva. FPO, fecundidad.
Paola Gonzalès K.	Lic. Biología	Condición reproductiva. FPO.
Ricardo Chong F.	Lic. Biología	Fecundidad
NN1	Biólogo Marino	Fecundidad
NN2	Biólogo Marino	Condición reproductiva.
NN3	Biólogo Marino	Condición reproductiva.

EXPERTOS INTERNACIONALES Y NACIONALES

PROFESIONAL	FUNCION	PARTICIPACION	INSTITUCION
Miguel Bernal	Análisis, interpretación y discusión de resultados	Modelos GAM y análisis de resultados MDPH	Instituto Español de Oceanografía (Laboratorio de Cádiz) España
Andrés Uriarte	Análisis, interpretación y discusión de resultados	Estructuración de la biomasa desovante por edades	AZTI España

1 RESUMEN EJECUTIVO

Se presentan los principales resultados correspondientes al Proyecto FIP 2006-05 "Condición Biológica de Jurel en Alta Mar, año 2006", el cual tiene por objetivo estimar índices relativos de abundancia de huevos y larvas de jurel en el sector oceánico de Chile centro-sur, determinar su condición reproductiva y caracterizar las agregaciones del recurso en el área, durante el período de máxima actividad reproductiva.

El crucero de investigación se desarrolló entre los días 14 y 26 de noviembre de 2006, el cual contempló la utilización de 9 naves de pesca industrial que cubrieron simultáneamente el área de estudio localizada entre los 32°50'S - 38°50'S y los 74°00'W - 92°00'W. Las embarcaciones realizaron una grilla sistemática compuesta de 18 transectas separadas cada 20 millas náuticas y estaciones dispuestas cada 18 millas náuticas a lo largo de cada transecta.

Para el área prospectada, la TSM reveló un rango térmico entre los 12,1 y los 19,9 ºC, situación muy similar a lo registrado en el crucero de Noviembre de 2005. Aguas más cálidas (> 18ºC) fueron detectadas sólo en el vértice noroccidental del área de estudio, al norte de los 34ºS y al oeste de los 90ºW. La distribución espacial de la TSM evidenció mayor variabilidad meridional y escasa variación zonal. En la región norte (al norte de los 36ºS) se verificó el dominio de aguas más cálidas (> 16ºC), quedando el extremo austral bien caracterizado por la disposición espacial de la isoterma de 14ºC.

El viento superficial mostró un patrón de distribución similar al descrito para el año 2005, esto es, vientos predominantes del Sur y Sur-oeste, un patrón de rotación anticiclónico, intensidades altas hacia el sector costero (< 78ºW) en el que predominan vientos del sur y magnitudes mucho menores hacia el cuadrante NW situado más allá de los 85ºW y al norte de los 36ºS. Similar distribución es descrita para la turbulencia que evidenció valores menores a 30 m^3 s^{-3} en el sector oceánico situado al norte de los 37 ºS.

El área de estudio alcanzó una extensión de 391.755 mn^2 lo que significa un incremento de 9,9% respecto del área prospectada en noviembre de 2005. El área de desove alcanzó a 199.000

mn^2, siendo 4,1% menor que el área de desove observada en el año 2005 (=208.180 mn^2) para aproximadamente el mismo período de evaluación (noviembre).

La distribución espacial de huevos de jurel presentó una amplia cobertura, con altas densidades de huevos hacia el cuadrante noroccidental del área prospectada (al norte de los 34ºS y al oeste de los 86ºW), a excepción de la existencia de un solo núcleo costero situado en el vértice nororiental del área prospectada. Para el caso de las larvas la cobertura espacial fue similar, con núcleos de mayor densidad (>600 larvas 10 m^{-2}) hacia el cuadrante noroccidental. A diferencia de los huevos, las larvas de jurel evidenciaron muy baja densidad hacia el sector sur (> 36ºS) y hacia la costa (<84ºW).

Las estaciones positivas para huevos de jurel representaron un 38,9% del total de estaciones, porcentaje levemente inferior al reportado para el crucero anterior (2005) y claramente más bajo al reseñado para el 2004, constituyendo el valor más bajo informado para el período histórico de estudio (1997-2006). Para las larvas, las estaciones positivas representaron un 25,9% de las estaciones realizadas, porcentaje inferior al reportado para el crucero de 2005, y también el más bajo de la serie histórica 1997-2006 La densidad de huevos en las estaciones totales (111,3 huevos $10m^{-2}$) y positivas (285,8 huevos $10m^{-2}$) fueron levemente superiores a lo reportado para el crucero del año 2005 y, al menos para la densidad en estaciones positivas, para el crucero de noviembre del año 2003. La densidad de larvas en las estaciones totales (37,7 larvas $10m^{-2}$) fue la más baja de la serie histórica, y la densidad para las estaciones positivas (142,7 larvas $10m^{-2}$) fue el segundo valor más bajo de la serie analizada.

El análisis estructural para la distribución espacial de huevos indicó la ausencia de anisotropía , verificándose una distribución isotrópica. En el caso de las larvas de jurel, éstas presentaron anisotropía zonal con dirección Este-Oeste.

En el área de estudio, la producción diaria de huevos fue de 147.9 ind/$10m^2$, cifra superior en un 32,7 % a lo reportado el año 2005. Por su parte, la tasa de mortalidad fue de 0,42. Esta tasa de mortalidad indica que el 34,29 % de los huevos de jurel muere diariamente.

En cuanto al crucero de adultos, Se realizaron un total de 57 lances de pesca, siendo en su mayoría realizados de manera protocolar, esto es, sin ningún tipo de avistamiento. Del total de estos lances, 32 fueron positivos (56 %), sin embargo en 5 de éstos se obtuvieron capturas menores a 10 ejemplares. En resumen, se contó con 27 lances positivos para caracterizar la condición reproductiva del jurel. La estructura de tallas de jurel estuvo representada por ejemplares de entre 26 y 61 cm LH, con una moda principal centrada en los 35 cm y un tamaño promedio de 37 cm LH. No se observaron ejemplares bajo talla (< 26 cm de LH) en toda el área prospectada.

El análisis de contenido estomacal, reveló que la proporción de estómagos con contenidos alcanzó a los 50,3 %, siendo el principal ítem presa los eufáusidos con un valor de (IIR = 3,95), dominando tanto en número (51,4 %), peso (85,0 %) como en frecuencia de aparición (65,0), seguido por la fuerte presencia de copépodos, salpas, heteropodos y mictófidos.

La fracción media de hembras desovantes fue de 0,0696, lo cual permite señalar que aproximadamente un 7 % de la población desovó diariamente durante el periodo de estudio, valor que corresponde a la mitad registrada en el 2005, a un 25 % del año 2004, e inferiores a la mitad determinada en los años anteriores (2003, 2001). La fecundidad media poblacional fue de 48.213 ovocitos hidratados, la cual fue superior a todos los años previos, y muestra un aumento constante durante los años de estudio, lo que en este caso está asociado con un aumento de la talla o edad de los ejemplares de jurel.

La biomasa desovante de jurel para el área de estudio, fue de 3.282.628 toneladas (CV= 29%). Esta cifra es tres veces superior a la registrada el año 2005 y muy similar a la reportada el año 2004. La biomasa desovante en el año 2006 es soportada por los grupos de edad V, VI y VII quienes aportan casi un 66% del total, situación que refleja la fuerza de las clases anuales 1998, 1999 y 2000.

Con respecto a la distribución espacial de las agregaciones de jurel en la zona de estudio, se evidenció que el el índice de cobertura (IC), expresado en unidades básicas de muestreo con presencia de ecotrazos de jurel fue del 7,44%, presentándose un incremento relativo del índice

(IC) hacia el sector oceánico, evidenciando una mayor presencia del recurso hacia el sector oeste, especialmente en la zona norte. La mayor presencia de jurel en el área oceánica también fue observada a través del índice de presencia de ecotrazos IPE (número de agregaciones presentes por milla náutica lineal).

Los valores más altos del índice de cobertura en el presente estudio se detectaron en la zona norte costera (IC=3,24%) y norte oceánica (IC=2,54%), situación similar a la registrada en 2004 donde los agregaciones se localizaron principalmente en la macrozona norte oceánica (IC=5,09%) y norte costera (IC=2,64%), presentándose un situación diferente en el año 2005, donde los máximos valores se localizaron en el área sur oceánica (IC=1,81%) y sur costera (IC=0,64%).

La distribución espacial del jurel muestra que el recurso se ubicó ampliamente en toda la zona de estudio, predominando los sectores donde se detectó ecotrazos con niveles de abundancia de clase "baja", en tanto las mayores densidades de jurel caracterizadas por abundancias tipo "media" y "alta", fueron bastante escasos, localizándose estas principalmente en el macrozona norte - oceánica, situación similar a la observada en noviembre del 2004 y 2005. Esta distribución espacial no mostró zonas importantes de concentración del recurso (stock parental), más bien focos puntales de alta abundancia y un número importante de ocurrencia de niveles bajos de abundancia, coincidiendo con el patrón de distribución espacial observado en ecoprospecciones anteriores realizadas en la zona de estudio.

TABLA DE CONTENIDOS

1 RESUMEN EJECUTIVO 7

2 OBJETIVO GENERAL 27

3 OBJETIVOS ESPECIFICOS 27

4 RESULTADOS ESPERADOS 27

5 ANTECEDENTES 29

5.1 HIPOTESIS DE TRABAJO 32
5.1.1 Con respecto a la distribución y zonas de producción de huevos: 32
5.1.2 Con respecto a la distribución y agregaciones del recurso 33

6 METODOLOGIA 34

6.1 AREA Y EPOCA DE ESTUDIO 34

6.2 DISEÑO DE MUESTREO ICTIOPLANCTONICO 35

6.3 HUEVOS Y LARVAS DE JUREL 37
6.3.1 Muestras planctónicas 37
6.3.2 Estimación de índices de abundancia de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio 40
6.3.3 Determinación de la distribución vertical de huevos y larvas 41
6.3.4 Análisis Geoestadístico de la distribución de huevos y larvas de jurel 46

6.4 MUESTREO OCEANOGRAFICO 53
6.4.1 Información Ambiental 53
6.4.2 Información satelital 53
6.4.3 Variabilidad ambiental y distribución de huevos y larvas de jurel 55

6.5 ESTIMACION DE PRODUCCION DIARIA DE HUEVOS Y TASA DE MORTALIDAD 57
6.5.1 Modelos para asignar la edad a los huevos de jurel 57
6.5.2 Modelo de estimación de la producción diaria de huevos 60
6.5.3 Delimitación del área de desove 65

6.6 DISEÑO DE MUESTREO DE ADULTOS 66
6.6.1 Plan crucero de adultos 66
6.6.2 Relación longitud-peso y peso promedio de hembras maduras 68
6.6.3 Proporción sexual 69
6.6.4 Examen macroscópico de la condición reproductiva 71

6.6.5 Análisis histológico de la condición reproductiva de jurel en alta mar 72
6.6.6 Fecundidad parcial 74
6.6.7 Caracterización de los folículos postovulatorios de jurel 75
6.6.8 Fracción de hembras maduras desovantes 77
6.6.9 Determinación de la talla de primera madurez sexual 79
6.6.10 Experimentos a bordo de jurel para datar Folículos Postovulatorios FPO 80
6.7 ALIMENTACION 84
6.8 CARACTERIZACION ESPACIAL DE LAS AGREGACIONES DE JUREL 88
6.8.1 Ecoprospección 88
6.8.2 Ecosonda 89
6.8.3 Sonar 91
6.8.4 Distribución espacial de las agregaciones de jurel 91
6.8.5 Morfología de las agregaciones y distribución batimétrica 94
6.8.6 Análisis multitemporal de la distribución de los ecotrazos de jurel y huevos. 96
6.8.7 Análisis de estructura espacial de jurel y huevos 98
6.9 ESTIMACION DE LA BIOMASA DESOVANTE DE JUREL 103
6.10 COMPOSICION POR EDADES DE LA BIOMASA DESOVANTE 105
6.10.1 Muestreo 105
6.10.2 Abundancia en número por grupo de edad 106
6.10.3 Proporción a la edad (Pa) 107
6.10.4 Abundancia por grupo de edad en el stock desovante 109
6.10.5 Peso medio a la edad 109
6.10.6 Biomasa desovante por grupo de edad (BSD_a) 110
7 RESULTADOS 111
7.1 VARIABLES AMBIENTALES 111
7.1.1 Datos de terreno (termómetros de mercurio) 111
7.1.2 Información satelital 112
7.1.3 Vientos superficiales 119
7.1.4 Clorofila 124
7.1.5 Corrientes geostróficas 125
7.1.6 Registros verticales de CTD 128
7.1.7 Diagramas T-S 132
7.1.8 Relaciones Ambiente – Recurso 133
7.1.9 Variabilidad ambiental y distribución espacial de huevos y larvas de jurel 135
7.1.10 Modelos Aditivos Generalizados 138

7.1.11 Huevos/Larvas de jurel y remolinos de mesoescala ____ 142

7.2 DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARVAS DE JUREL ____ 143
7.2.1 Area de desove y polígonos de estimación ____ 143
7.2.2 Distribución espacial de huevos y larvas de jurel ____ 145
7.2.3 Determinación de la estratificación vertical de huevos y larvas de jurel ____ 153

7.3 PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS Y TASA DE MORTALIDAD INSTANTÁNEA ____ 153
7.3.1 Comparación de Modelos de asignación de edad ____ 153
7.3.2 Distribución de estadíos de desarrollo ____ 156
7.3.3 Producción diaria de huevos y mortalidad ____ 157
7.3.4 Estimaciones alternativas de la producción diaria de huevos ____ 158

7.4 CRUCERO DE ADULTOS ____ 160
7.4.1 Estructura de tallas ____ 164
7.4.2 Relación longitud-peso ____ 165

7.5 CONDICIÓN REPRODUCTIVA ____ 168
7.5.1 Número de muestras y estructura de tallas del jurel ____ 168
7.5.2 Exámen macroscópico de la condición reproductiva ____ 169
7.5.3 a) Indice gonadosomático ____ 170
7.5.4 b) Estados de madurez macroscópicos ____ 172
7.5.5 Análisis microscópico de la condición reproductiva de jurel ____ 175
7.5.6 Fecundidad parcial del jurel durante el periodo de desove noviembre 2006 ____ 180
7.5.7 Talla de primera madurez sexual ____ 184
7.5.8 Condición reproductiva del jurel durante el mes de diciembre ____ 188

7.6 ALIMENTACIÓN ____ 189
7.6.1 Importancia relativa de las presas. (IIR) ____ 190

7.7 CARACTERIZACION DE LAS AGREGACIONES DE JUREL ____ 195
7.7.1 Distribución espacial Batimétrica ____ 195
7.7.2 Índice de cobertura ____ 197
7.7.3 Distribución batimétrica en el ciclo de las 24 horas ____ 206
7.7.4 Distribución de profundidad media promedio de los ecotrazos por periodo del día, tipo de ecotrazo y abundancia ____ 208
7.7.5 Altura y profundidad promedio de las agregaciones ____ 213
7.7.6 Índice de agregación, índice de cobertura e índice sintético de presencia de huevos de jurel 216
7.7.7 Análisis multitemporal de la distribución de los ecotrazos de jurel de los cruceros realizados en el periodo 1997 - 2006 ____ 219

7.7.8 Índice de cobertura (IC) por periodo del día, año y macrozona. 219
7.7.9 Análisis del centro de gravedad 227
7.7.10 Morfología de los ecotrazos por periodo y macrozona. 228
7.7.11 Índice de presencia de ecotrazos (IPE) y clusters (1997-2006) 237
7.7.12 Índice sintético de presencia de huevos (1997-2006) 239
7.7.13 Curva de Lorenz e Índice de Gini 239
7.7.14 Análisis de estructura espacial de jurel y huevos. 243
7.8 ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA DESOVANTE DE JUREL 257
7.9 COMPOSICION POR EDADES DE LA BIOMASA DESOVANTE 259
7.9.1 Número de muestras a analizar 259
7.9.2 Elaboración de clave edad-talla (CET) 261
7.9.3 Proporción a la edad (Pa) 263
7.9.4 Abundancia por grupo de edad (Na) 265
7.9.5 Peso medio por grupo de edad (W_a) 266
7.9.6 Biomasa del stock desovante por grupo de edad (B_a) 266
8 DISCUSION 267
9 CONCLUSIONES 272
10 REFERENCIAS 274
11 ANEXOS 284
11.1 PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD 285
11.1.1 Asignación Horas Hombre del equipo de trabajo utilizadas hasta este Informe 286
11.1.2 Detalle de muestreos realizados y personal participante 288
11.2 Taller de Discusión de Resultados 289

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Transectas asignadas a los barcos participantes proyecto FIP 2006-05. _____ 36

Tabla 2. Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario. _____ 39

Tabla 3. Estaciones de búsqueda previa a la realización de las minigrillas_____ 44

Tabla 4. Resumen del número de lances planctónicos y estratificados obtenidos en el crucero de Noviembre de 2006. _____ 45

Tabla 5. Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales (adaptada de Holden y Raitt, 1975)._____ 67

Tabla 6. Escala de madurez microscópica. _____ 73

Tabla 7. Clases de folículos postovulatorios con sus respectivas características _____ 76

Tabla 8. Bitácora de pesca indicando nombre de la embarcación, número de lance, latitud, longitud, hora, número de estómagos extraídos y porcentaje de estómagos con contenido._____ 85

Tabla 9. Grupos de tamaños de *T. s. murphyi* definidos cada 5 cm (LH cm). _____ 86

Tabla 10. Embarcación, armador y transectas programadas para la zona de estudio, noviembre 2006. 88

Tabla 11. Macrozonas consideradas en el estudio, noviembre 2006. _____ 91

Tabla 12.Principales características de los cruceros realizados a fines de primavera entre los años 1997 y 2006 _____ 96

Tabla 13: Porcentaje de huevos de jurel asociado a rangos ambientales de las variables Temperatura (ºC), Turbulencia ($m^3\ s^{-3}$), Energía cinética ($cm^2\ s^{-2}$), magnitud del viento ($m\ s^{-1}$), gradiente de TSM (ºC 20 km^{-1}). _____ 134

Tabla 14: Porcentaje de larvas de jurel asociado a rangos ambientales de las variables Temperatura (ºC), Turbulencia ($m^3\ s^{-3}$), Energía cinética ($cm^2\ s^{-2}$), magnitud del viento ($m\ s^{-1}$), gradiente de TSM (ºC 20 km^{-1}). _____ 135

Tabla 15. Parámetros de los modelos GAM aplicados a huevos y larvas de jurel. _____ 139

Tabla 16. Área (mn^2) de los polígonos de estimación identificados para huevos y larvas de jurel en el área de estudio en noviembre de 2006 según el enfoque geoestadístico transitivo. _____ 144

Tabla 17. Parámetros del variograma teórico ajustado a los registros de densidad de huevos (huevos $10m^{-2}$) y larvas (larvas $10m^{-2}$) de jurel. Bondad de ajuste: SCR = suma de cuadrados residuales. 146

Tabla 18. Estadística de la distribución de huevos de jurel entre 1997 y 2006. D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas, EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima. _____ 150

Tabla 19. Estadística de la distribución de larvas de jurel entre 1997 y 2006. D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) =varianza de la densidad media en estaciones positivas, EE(Dpos)= error estándar; Dmin= densidad mínima, Dmax= densidad máxima._____ 151

Tabla 20. Estimación de la Producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad asociada. _____ 158

Tabla 21. Estimación de Po y Z, mediante metodologías alternativas. _____ 160

Tabla 22. Resumen de los lances de pesca realizados durante el crucero de Noviembre de 2006.___ 163

Tabla 23. Parámetros de la estructura de tallas de jurel, crucero noviembre 2006. _____ 164

Tabla 24. Número de lances y número de ejemplares de jurel muestreados según sexo y tipo de muestreo por embarcación._____ 169

Tabla 25. Número y porcentajes de los estado de madurez sexual macroscópica por embarcación, noviembre 2006. _____ 173

Tabla 26. Número y frecuencia porcentual de los estados de madurez sexual macroscópica por fecha de captura en hembras de jurel, noviembre 2006._____ 174

Tabla 27. Frecuencia de estados de madurez microscópicos y de FPO según edad, para la estimación de frecuencia de desove por lance (EMMI = estado de madurez microscopico; FPO 0, 1, 2 = foliculos postovulatorios de día 0, 1, 2; F. DES 1, 2, 1+2 = fracción desovante FPO 1, 2, 1+2)_____ 180

Tabla 28. Estimación de fecundidad media poblacional para hembras de jurel, durante noviembre 2006. _____ 186

Tabla 29. Número y frecuencia (%) de ejemplares maduros e inmaduros por cm. de longitud horquilla determinados mediante histología en hembras de jurel._____ 187

Tabla 30.Resumen por año de la estructura de tamaños de jurel, para la caracterización de los ítems alimentarios. 190

Tabla 31.Índice de Importancia Relativa (IIR), número (N), peso (P) y frecuencia de aparición (F) total y porcentual de las principales presas de *T. s. murphyi.* 191

Tabla 32.Índice de importancia relativa (IIR) separado por grupos de tamaños. 192

Tabla 33.Índice de importancia relativa (IIR) por años. 192

Tabla 34. Índice de cobertura (IC) de los ecotrazos reportados por el ecosonda en las macrozonas: norte-costero, norte-oceánico, sur-costero, sur-oceánico y total zona de estudio, noviembre 2006. 198

Tabla 35. Número de agregaciones presentes por milla náutica lineal (IPE) y número de agregaciones totales presentes por macrozonas, noviembre 2006. 203

Tabla 36.Clusters simples (CS) y Clusters complejos (CC) por: a) macrozona, b) nivel de abundancia y c) tipo de agregación, noviembre 2006. 205

Tabla 37.Índice de cobertura ($IC_{est,}$) estandarizado a una hora 212

Tabla 38. Índice de cobertura por ecotrazos y periodo del día (a) e Índice de cobertura estandarizado por ecotrazos y periodo del día (b). 213

Tabla 39. Profundidad mínima (Zmin), Profundidad máxima (Zmax), Profundidad media (Z media) y Altura media por: a) nivel de abundancia y b) tipo de agregación, noviembre 2006. 214

Tabla 40. Presencia de ecotrazos (%) en la columna de agua a una profundidad superior e inferior a los 100 m, por nivel de abundancia y tipo de agregación 215

Tabla 41.Índice de cobertura de huevos IC (%) y Ind/10m^2 promedio presentes por macrozonas y total, noviembre 2006. 217

Tabla 42. Índice de cobertura total y por macrozona para el período, 1997 - 2006. 221

Tabla 43. (A) Índice de cobertura (IC), profundidad media (Z) y altura media (Alt) de los ecotrazos reportados por el ecosonda, (B) Índice de cobertura estandarizado (IC_{est}) y altura media (Alt) de los ecotrazos reportados por periodo del día y (C) numero de cluster /10.000 mn^2 profundidad media de los registros (Z) y porcentaje de cardúmenes en profundidades menores o iguales a 100 m. 226

Tabla 44. Inferencia de las macro zonas en la profundidad media por año y los- hoc. Inferencia significativa (*) P< 0,05 y no significativa (NS), P> 0,05. 234

Tabla 45. Estadística descriptiva de las variables en estudio. _____ 244

Tabla 46.Modelos teóricos ajustados a las variables en estudio (Estructura espacial) _____ 245

Tabla 47. Parámetros de correlación espacial. _____ 247

Tabla 48. Estimación de la Biomasa Desovante de Jurel y sus parámetros asociados. Período 199-2006 _____ 257

Tabla 49 Covarianza (COVAR) y correlación (CORREL) entre los parámetros reproductivos de las hembras de jurel _____ 258

Tabla 50**.** Comparación entre la biomasa desovante del jurel estimada por el modelo de evaluación y el método de la producción diaria de huevos._____ 259

Tabla51. Frecuencia de otolitos de jurel correspondientes a hembras y macho, crucero 2006. _____ 260

Tabla 52. Composición por edad-talla en la muestra de hembras maduras (EM 3- 5) de jurel (2006)._ 262

Tabla 53. Composición edad-talla en la muestra de machos de jurel (2006). _____ 263

Tabla 54. Parámetros estimados para el stock desovante de jurel por grupo de edad en noviembre del año 2006._____ 264

Tabla 55. Abundancia y biomasa de jurel macho en el área de desove_____ 265

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución espacial de las transectas de muestreo realizadas en el crucero FIP 2006-05 (Noviembre 2006). _____ 37

Figura 2. Distribución espacial de las estaciones de muestreo durante el crucero desarrollado en noviembre de 2006. _____ 38

Figura 3. Sistema de cierre de la red WP2 (Gatillo + Mensajero) _____ 42

Figura 4. Localización de minigrillas de evaluación (distribución vertical de huevos y larvas). _____ 43

Figura 5. Distribución espacial de las estaciones de muestreo de temperatura superficial del mar durante el crucero de Noviembre de 2006. En rojo se indican las estaciones para perfiles verticales de CTD.__ 54

Figura 6. Análisis de la relación entre la densidad de huevos y la temperatura, latitud y longitud de las estaciones (quotation)._____ 64

Figura 7. Preparación de las bodegas de la nave para la mantención de ejemplares vivos _____ 82

Figura 8. Mantención de los ejemplares vivos de jurel en las jaulas. _____ 83

Figura 9. Distribución espacial de lances efectivos de pesca utilizados para la caracterización de los ítems alimentarios de jurel. _____ 84

Figura 10. Distribución de las transectas por embarcación en la zona de estudio, noviembre 2006. ___ 89

Figura 11. Tipos de Ecotrazos de jurel. _____ 90

Figura 12. Distribución espacial de la TSM en el área de estudio a partir de datos de termómetros de mercurio (datos de terreno)._____ 112

Figura 13. Imágenes satelitales diarias de la temperatura superficial del mar para el área y período de estudio. Noviembre 2006. _____ 113

Figura 14. Imagen satelital de la temperatura superficial del mar compuesta para el mes de Noviembre de 2006. 114

Figura 15. Distribución espacial de la TSM en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1998-2006. _____ 116

Figura 16. Distribución espacial de la anomalía de la TSM en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1998-2006. _____ 117

Figura 17. Serie de tiempo de la TSM para el área de desove de jurel frente a Chile central. Período: 1985-2007. En la figura, las flechas indican la situación temporal de los diferentes cruceros asociados a este proyecto. 118

Figura 18. Vientos de escaterometría durante el crucero realizado durante noviembre de 2006. 120

Figura 19. Imagen satelital de la viento superficial del mar compuesta para el mes de Noviembre de 2006. 121

Figura 20. Distribución de vientos (escaterometría) en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1999-2006. _____ 122

Figura 21. Distribución espacial de la turbulencia (m^3 s^{-3}) en el área de estudio, para el mes de Noviembre de 2006. 123

Figura 22. Distribución espacial de la turbulencia en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1999-2006. _____ 123

Figura 23. Imagen satelital de la clorofila superficial compuesta para el mes de Noviembre de 2006. 124

Figura 24. Distribución espacial de clorofila-a para el mes de noviembre del período 1999-2006 en el área de estudio. 125

Figura 25. Corrientes geostróficas calculadas para el mes de Noviembre de 2006 en el área de estudio. 126

Figura 26. Distribución espacial de las corrientes geostróficas (cm s-1) en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1998-2006. _____ 127

Figura 27. Distribución vertical de Temperatura (ºC), Salinidad (psu), Densidad (sigma-T), Oxígeno Dsuelto (mL L-1) y Clorofila-a (ug L-1) para la Transecta 2. _____ 130

Figura 28. Distribución Vertical de las variables, Transecta 3._____ 131

Figura 29. Distribución vetical de las variables, Transecta 6. _____ 131

Figura 30. Relación entre la temperatura y salinidad (Diagramas TS) considerando las estaciones de muestreo asociadas a la Transecta 2. _____ 132

Figura 31. Relación entre la temperatura y salinidad (Diagramas TS) considerando las estaciones de muestreo asociadas a la Transecta 3. _____ 133

Figura 32. Relación entre la temperatura y salinidad (Diagramas TS) considerando las estaciones de muestreo asociadas a la Transecta 6. _____ 133

Figura 33. Distribución espacial de huevos de jurel y a) Temperatura superficial del mar (ºC), b) magnitud del viento (m s^{-1}), c) turbulencia (m3 s^{-3}), d) corrientes geostróficas (cm s^{-1}). _____ 136

Figura 34. Distribución espacial de larvas de jurel y a) Temperatura superificial del mar (ºC), b) magnitud del viento (m s-1), c) turbulencia (m3 s-3), d) corrientes geostróficas (cm s-1). _____ 137

Figura 35. Densidad de huevos de jurel en relación con la latitud, longitud, temperatura superficial del mar, clorofila-a, turbulencia, energía cinética, gradientes térmicos y magnitud del viento. Noviembre de 2006. Las bandas representan intervalos de confianza del 95%. _____ 140

Figura 36. Densidad de larvas de jurel en relación con la latitud, longitud, temperatura superficial del mar, clorofila-a, turbulencia, energía cinética, gradientes térmicos y magnitud del viento. Noviembre de 2006. Las bandas representan intervalos de confianza del 95%. _____ 141

Figura 37. Porcentaje de asociación de huevos y larvas de jurel con remolinos de mesoescala (ciclónicos y anticiclónicos) en el área de desove de jurel frente a Chile central. Noviembre de 2006. _____ 143

Figura 38. Mapa que representa la disposición espacial del área de estudio de la distribución espacial de la densidad de huevos y larvas de de jurel (*Trachurus murphyi*) en noviembre de 2006._____ 145

Figura 39. Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de huevos de jurel (*Trachurus murphyi*, huevos $10m^{-2}$) en el área de estudio en noviembre de 2006. 146

Figura 40. Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de huevos (huevos/$10m^2$) de jurel (*Trachurus murphyi*) en el área de estudio en noviembre de 2006. ___ 147

Figura 41. Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de larvas de jurel (*Trachurus murphyi*, larvas $10m^{-2}$) en la zona de estudio._____ 148

Figura 42. Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de larvas (núm./$10m^2$) de jurel (*Trachurus murphyi*) en el área de estudio en noviembre de 2006._____ 149

Figura 43. Cambios interanuales en el número de estaciones totales y positivas para huevos de jurel en el área de estudio.152

Figura 44. Cambios interanuales en el número de estaciones totales y positivas para larvas de jurel en el área de estudio.152

Figura 45. Edad asignada a los diferentes estadíos de jurel mediante dos métodos. a) Modelo Lo, 1985 y b) Modelo generalizado de Lo (Bernal et al 2004). _____ 154

Figura 46. Salidas del modelo de incubación multinomial. _____ 155

Figura 47. Abundancia de huevos de jurel agrupados por estadío de desarrollo._____ 157

Figura 48. Abundancia de huevos de jurel clasificadas por cohortes a) Puntos negros: Modelo Lo+ GLM - Puntos Rojos: Generalización No paramétrica Modelo Lo + GLM. b) GLM + Modelo multinomial ____ 159

Figura 49. Modelado espacial de Po en el área de estudio. Nota: La escala de Po está en m^2, para estandarizar el valor hay que multiplicar por 10. _____ 159

Figura 50. Distribución Horaria de los lances de pesca_____ 161

Figura 51. Distribución espacial de los lances de pesca. Noviembre de 2006. _____ 162

Figura 52. Distribución de frecuencia de tallas de jurel durante el crucero de Noviembre de 2006. ___ 164

Figura 53. Distribución espacial de las modas, noviembre 2006. _____ 165

Figura 54. Relación longitud peso de *T. murphyi* para el total de individuos obtenidos en el crucero 2006. 166

Figura 55. Relación longitud peso de *T. murphyi* para el total de machos obtenidos en el crucero 2006. 166

Figura 56. Relación longitud peso de *T. murphyi* para el total de hembras obtenidos en el crucero __ 167

Figura 57. Histograma de frecuencia de talla de jurel por sexo, noviembre 2006. _____ 169

Figura 58. Variación del IGS promedio con la longitud horquilla correspondiente a la muestra aleatoria total de hembras de jurel, noviembre de 2006. _____ 170

Figura 59. Valores de IGS promedios correspondientes a los estados de madurez sexual macroscópicos en hembras de jurel, noviembre 2006._____ 171

Figura 60. Valores promedios de IGS, para los estados de madurez macroscópica correspondientes a los días de muestreo de jurel, noviembre de 2006._____ 171

Figura 61. Frecuencia porcentual de los estados de madurez sexual macroscópica, para el total de la muestra aleatoria, noviembre 2006._____ 172

Figura 62. Frecuencia porcentual de estados de madurez sexual macroscópica por embarcación, noviembre 2006. _____ 173

Figura 63. Frecuencia (%) de estados de madurez sexual macroscópica según día de captura._____ 175

Figura 64. Frecuencia (%) de EMMi determinada en hembras de jurel capturadas en alta mar en noviembre de 2006. _____ 176

Figura 65. Valores promedios de IGS (± d.e.) para los diferentes estados de madurez microscópicos, noviembre 2006. _____ 177

Figura 66. Frecuencia (%) de los EMMi por día de muestreos obtenidos en el crucero del jurel en alta mar, noviembre 2006. _____ 177

Figura 67. Frecuencia (%) de los EMMi por embarcaciones obtenidas en el crucero del jurel en alta mar, noviembre 2006. _____ 178

Figura 68. Frecuencia (%) de folículos atrésicos en ovarios de jurel durante los días del crucero en alta mar, noviembre 2006. _____ 178

Figura 69. Relación entre longitud horquilla y fecundidad parcial para hembras de jurel, noviembre 2006. 181

Figura 70. Relaciones entre a) peso total y b) peso eviscerado y la fecundidad parcial para hembras de jurel 183

Figura 71. Relación entre el peso de la gónada y la fecundidad parcial para hembras de jurel _____ 184

Figura 72. Frecuencia (%) de los EMMi obtenidos en hembras de jurel durante los días 14 y 16 del mes de diciembre 2006._____ 188

Figura 73.Distribución de frecuencia de tamaños expresada en porcentaje de los individuos utilizados para el análisis de contenido estomacal de Jurel. _____ 189

Figura 74.Dendrograma de similitud trófica en jurel, para 6 grupos de tamaños. _____ 193

Figura 75.Dendrograma de similitud trófica en jurel, entre años._____ 194

Figura 76. Distribución espacial de la abundancia de jurel registrada por: a) ecosonda y b) sonar en la zona de estudio, noviembre 2006._____ 196

Figura 77. Índice de cobertura por macrozona y abundancia, noviembre 2006. _____ 199

Figura 78. Índice de cobertura por macrozona y ecotrazo para la abundancia media y baja, noviembre 2006. 201

Figura 79. Índice de cobertura por macrozona y ecotrazo para la abundancia alta y zona de estudio total, noviembre 2006. _____ 202

Figura 80. Distribución de profundidad media de los ecotrazos en el ciclo de 24 horas por nivel de abundancia (baja y media) y tipo de agregación, noviembre 2006._____ 207

Figura 81. Distribución de profundidad media de los ecotrazos en el ciclo de 24 horas por nivel de abundancia (alta) y tipo de agregación, noviembre 2006. _____ 208

Figura 82. Profundidad promedio de los ecotrazos de jurel por periodos del día Orto (O), Día (D), Crepúsculo (C) y Noche (N), por tipo de ecotrazo, noviembre 2006. 209

Figura 83. Profundidad promedio de los ecotrazos de jurel por periodos del día Orto (O), Día (D), Crepúsculo (C) y Noche (N), por nivel abundancia, noviembre 2006. 210

Figura 84. Frecuencia de ecotrazos por periodo del día Orto (O), Día (D), Crepúsculo (C) y Noche (N), noviembre 2006. 211

Figura 85. Frecuencia de distribución de los ecotrazos en el ciclo de 24 horas, noviembre 2006. 212

Figura 86. Distribución espacial de la densidad de huevos de jurel (a), distribución de la abundancia de jurel (ecosonda) y zonas de alta densidad de huevos (b), noviembre 2006. 218

Figura 87. Índice de cobertura calculados para el periodo 1998 – 2006; a) para la macrozona norte, sur y área total. y b) para las macrozonas norte costero (NC), norte oceánico (NO), sur costero (SC) y sur oceánico (SO). 222

Figura 88. Índice de cobertura de las agregaciones para la abundancia baja y media entre 1997-2006. 224

Figura 89. Índice de cobertura de las agregaciones para la abundancia alta e IC total entre 1997-2006. 225

Figura 90. Centro de gravedad de jurel en primavera –verano, entre 1998-2006. 227

Figura 91.Profundidad media de jurel (m) por macrozona en la zona norte (a), sur (b) y por periodos del día (c).Donde norte costero (NC), norte oceánico (NO), sur costero (SC) y sur oceánico (SO). Para los periodos del día orto (O), día (D), crepúsculo (C) y noche (N). 230

Figura 92. Distribución de zonas de altas densidad de huevos y profundidad media de las agregaciones de jurel. Durante el periodo de día y noche en la zona norte (a) y en la zona sur (b), noviembre 2006. 232

Figura 93. Altura media (m) de las agregaciones y periodo del día entre 1997-2006 236

Figura 94. Índice de presencia de ecotrazos (a), índice de cobertura (b) y número de cluster por 10.000mn^2 entre 1997 y 2006. 238

Figura 95. Índice de cobertura total (IC) e índice sintético de la presencia de huevos (IA). 239

Figura 96. Curva de Lorenz para los cruceros 1997 a 2003. _____ 241

Figura 97. Curva de Lorenz para los cruceros 2004 a 2006. _____ 242

Figura 98. Índice de Gini para jurel y huevos de jurel para los cruceros 1997 a 2006. _____ 243

Figura 99**.** Variograma Omnidireccional experimental y teórico para: a) Abundancia jurel, b) Profundidad agregación y variograma cruzado abundancia jurel- profundidad agregación_____ 248

Figura 100. Variograma Omnidireccional experimental y teórico para: a) densidad de huevos, b) Temperatura superficial del mar y variograma cruzado densidad de huevos y TSM. _____ 249

Figura 101. Relación lineal log (semivarianza) y log (lag) para el cálculo de dimensión fractal en: a) abundancia jurel, b) profundidad agregación y c) asociación abundancia jurel-profundidad agregación. 251

Figura 102. Relación lineal log(semivarianza) y log(distancia) para el calculo de dimensión fractal en: a)densidad de huevos jurel, b)temperatura superficial del mar y c)densidad de huevos-TSM._____ 252

Figura 103. Distribución de la abundancia de jurel (log de abundancia de jurel) por método: a) interpolación por kriging y b) interpolación por co-kriging _____ 254

Figura 104. Distribución de la densidad de huevos (log de n°huevos/10m^2) por método: a) interpolación por kriging y b) interpolación por co-kriging _____ 255

Figura 105**.** Distribución de la temperatura superficial del mar durante el periodo de estudio**.** _____ 256

Figura 106. Estructura en número del stock desovante de jurel (NSD_a) en 2006._____ 265

Figura 107. Estructura por grupo de edad de la biomasa desovante (BSD en toneladas) en 2006. ___ 266

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

3.1 Estimar índices de abundancia de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio.

3.2 Caracterizar la condición reproductiva de jurel en la zona de estudio y determinar el área de desove.

3.3 Determinar y caracterizar la distribución espacial de las agregaciones de jurel en la zona de estudio.

4 RESULTADOS ESPERADOS

4.1 Distribución espacial de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio, y su comparación con estimaciones anteriores.

4.2 Indices de abundancia de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio y su comparación con estimaciones anteriores.

4.3 Estimación de la condición reproductiva del jurel en la zona de estudio, especificando los estadios de madurez microscópica, la fecundidad parcial en función del peso y tamaño corporal.

4.4 Determinación de la distribución espacial de jurel, en términos de profundidad, en la zona de estudio.

4.5 Determinación de los tipos de agregaciones y nivel de densidad de jurel en la zona de estudio.

(Esta página fue dejada en blanco)

5 ANTECEDENTES

El jurel, *Trachurus murphyi*, es una especie pelágica de amplia distribución en el Pacífico Sur-oriental y se encuentra formando dos unidades de stocks autosustentables, una localizada esencialmente frente a Perú y la otra frente a Chile; incluyéndose, en esta última, a la fracción oceánica que se distribuye frente a las costas de la zona centro-sur sobre la cual operó una flota internacional, principalmente rusa, entre 1978 y 1991 **(Serra 1991, Grechina *et al.*, 1998)**. En esta misma región, desde el año 2002 al 2005 se ha registrado operación por parte de naves de empresas de origen chino.

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

De acuerdo con **Arcos *et al.* (2001)** la población de jurel está organizada en tres hábitat: a) una zona de crianza de juveniles, localizada en aguas oceánicas al norte de los 30°S; b) una zona de alimentación de adultos donde se congregan los adultos y ocurre el reclutamiento de juveniles de 2 a 3 años en a la zona centro-sur; y c), un área de desove oceánica, la cual es visitada en primavera para llevar a cabo la reproducción. En el área de alimentación, cerca en la costa y a fines de otoño y comienzos del invierno, el jurel se distribuye conformando agregaciones densas entre la superficie y 230 m de profundidad, con el 39 – 90 % de las agregaciones entre la superficie y los 100 m de profundidad. Mientras que en primavera, cuando el jurel presenta una distribución más oceánica, éste se encuentra ampliamente distribuido en la columna de agua hasta 300 m de profundidad y sólo entre el 9 y 47,5 % se encuentra entre la superficie y los 100 m de profundidad. Entonces, el jurel se encuentra más ampliamente distribuido en la columna de agua y más profundo, formando agregaciones más pequeñas en primavera - verano **(Barbieri *et al.*, 1998)**.

En la época del desove, la estrategia reproductiva del jurel es dispersarse en una gran área frente a Chile central, entre los 30º – 40º S (**Barbieri *et al*., 1999**). **Evseenko (1987)** sugirió que el desove del jurel está confinado a la Zona de Convergencia Subtropical, que se extiende desde Chile hasta los 150 – 160°W. **Elizarov *et al*., (1993)** encontró importantes núcleos de abundancia de huevos desde los 78° – 90º W en los 38° – 42° S frente a Chile, extendiéndose hasta cerca de 150°W al analizar más de 10 años con datos ictioplanctónicos. Por otra parte, debido a que el jurel está completamente maduro entre los 3 – 4 años de edad, y cada hembra madura puede liberar varias tandas de huevos en la época de desove **(Macewicz y Hunter, 1993; Oyarzún y Gacitúa, 2003)**, se consideró que era factible estimar la biomasa desovante por medio del método de la producción diaria de huevos **(Lasker, 1985; Hunter y Lo, 1993; Hunter y Lo, 1997)**. Estudios realizados en la zona centro-sur del país entre 1998 y 2000, permitieron identificar núcleos donde se registraron los valores máximos de desove, los que conjuntamente con estimaciones de la producción anual de huevos dado por **Dejnik et al** (**1994**), sugieren la posibilidad de que la fracción desovante en esas aguas pueda ser estimada a partir de la producción diaria de huevos en esa región y a su vez se logre disponer de un índice de abundancia para la evaluación del recurso, de manera independiente de la pesquería.

La evaluación de stock de jurel que se realiza utilizando modelos edad-estructurados **(Serra *et al*., 2001; Cubillos 2001)**, requiere de índices de abundancia relativa o absolutas. En particular, se han utilizado datos de captura por unidad de esfuerzo estándar y las evaluaciones acústicas de biomasa realizadas frente a la zona centro-sur en otoño-invierno del período 1997-2001. Sin embargo, cambios operacionales en la flota debido al régimen de cuotas individuales, así como, cambios en la disponibilidad de jurel en la zona costera podrían ser determinantes en las tasas de captura de la flota y en la evaluación acústica de la biomasa. Un ejemplo de ello ocurrió en invierno del 2002, cuando la evaluación acústica se realizó desde Valparaíso hasta el 40°S y hasta las 200 millas náuticas, cuando en realidad el jurel presentó una distribución oceánica por fuera de las 200 millas náuticas al sur de los 36°S, conformando una baja densidad. Los resultados fueron cerca de 1,9 millones de t en circunstancias que el 2001 se habían evaluado casi 6 millones de t **(Córdova *et al*., 2002)**. Durante el año 2004, la pesquería del jurel se ha desarrollado sobre la base de una cuota anual de 1,47 millones de toneladas bajo la modalidad de explotación establecida por la Ley de Capturas Máximas por Armador. Aunque el régimen de

explotación se ha desarrollado ordenadamente durante este período, se han observado cambios en la disponibilidad y patrones de agregación del jurel frente a Chile centro-sur, similares a los presentados el año 2002. Esta situación no sólo afecta la operación de la industria sino que también la estimación de la biomasa de jurel mediante acústica, ya que la principal fracción del jurel se encontró en aguas oceánicas por fuera de las 200 millas náuticas de la costa entre los 33°20'S y 38º30'S **(Sepúlveda y Alarcón, 2004)**, reportándose un estimado de biomasa de 7,3 millones de toneladas.

En 1997, un análisis de la condición desovante de jurel, distribución y abundancia de huevos y larvas en aguas oceánicas fue determinante para considerar la posibilidad de contar con información nueva e independiente de la pesquería acerca de la situación del stock. Más tarde, se postuló que el Método de la Producción Diaria de Huevos **(Lasker, 1985)** tenía la potencialidad de ser aplicado al jurel. El Fondo de Investigación Pesquera (FIP), en los años 1999, 2000, 2001 y 2003, ha demandado analizar esta factibilidad, considerando las siguientes interrogantes: ¿Cuál es la principal área de desove del stock de jurel? ¿Cuáles son los límites oceánicos del desove de jurel? ¿Cuál es la abundancia de huevos y larvas en alta mar, en la época del desove? ¿Qué diseño de crucero debe ser óptimo para cubrir el área oceánica de jurel? ¿Cuál es el comportamiento de las agregaciones de jurel en condición reproductiva en aguas oceánicas? ¿Es posible estimar la biomasa desovante de jurel con el MPDH? ¿Qué representa esta estimación? ¿Cuál es la importancia para la evaluación del stock y el manejo de la pesquería?

Luego de tres años de trabajo, **Cubillos *et al.*, (2003)** realizaron por primera vez estimaciones de la biomasa desovante de jurel a partir de las estimaciones de producción de huevos y parámetros reproductivos de los estudios FIP 99-14 **(Sepúlveda *et al.*, 2001),** FIP 2000-10 **(Cubillos *et al.*, 2002a)**, y FIP 2001-12 **(Cubillos, 2003)**. Estas estimaciones fueron determinantes para la evaluación del recurso en el 2002 **(Cubillos, 2002b)**, ya que cambios en la disponibilidad y comportamiento de jurel fueron importantes al momento de realizar la evaluación acústica en invierno de 2002. Esta situación también se presenta en el año 2005 observándose cambios en la disponibilidad y en los patrones de agregación del jurel frente a Chile centro-sur.

El Instituto de Investigación Pesquera presentó la Oferta Técnica con el convencimiento de que las estimaciones de biomasa desovante de jurel, y los parámetros que definen la condición reproductiva del mismo, mejorarán con cada repetición anual del proyecto, tal y como fue planteado por el Dr. John Hunter y la Dra. Beverly Macewicz (NMFS, NOAA, USA) al revisar los resultados de los proyectos FIP 2000-10 y FIP 2001-12, respectivamente. En este contexto, el presente proyecto recoge los elementos que han sido limitantes en los proyectos anteriores y pretende mejorar varios aspectos, así como, la interpretación de los resultados.

En necesario destacar que el FIP 2006-05 realizado por el Instituto de Investigación Pesquera, logró la cooperación de la industria pesquera de la zona centro-sur, quienes dispusieron para el proyecto de un total de 10 embarcaciones industriales, realizándose la grilla de muestreo sistemática con 9 embarcaciones, mientras que una embarcación operó bajo un diseño de tipo adaptativo, dirigido a zonas con una mayor abundancia de huevos y larvas de acuerdo al seguimiento de variables de tipo ambiental.

5.1 HIPOTESIS DE TRABAJO

El presente estudio se basa en la existencia de un área de desove principal del jurel localizada en la alta mar contigua a Chile centro-sur, la cual es recurrente a través de los años y en la que se manifiesta una alta actividad reproductiva entre los meses de noviembre-diciembre **(Sepúlveda *et al.*, 2001, Cubillos *et al.*, 2003, Sepúlveda *et al.*, 2004).**

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

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

5.1.2 Con respecto a la distribución y agregaciones del recurso

La hipótesis sobre la distribución del jurel y su condición reproductiva indica que el jurel al momento del desove forma agregaciones dispersas de muy baja densidad. Las áreas de desove están condicionadas por características ambientales en conjunto con el patrón de distribución de adultos. Las agregaciones formadas por el jurel durante la fase reproductiva son de difícil detección por los equipos acústicos al ser utilizados de la manera convencional, ya que no se estarían formando densas agregaciones de tipo comercial. Por este motivo, la captura con redes de cerco es difícil, obteniéndose generalmente un número bajo de ejemplares. Sin embargo, un análisis de la precisión en los estimados de distribución de frecuencia de tamaños **(Gatica et al., 2003)**, indica que las muestras obtenidas son suficientes y representan satisfactoriamente el atributo del recurso en condición reproductiva en aguas oceánicas.

6 METODOLOGIA

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

6.1 AREA Y EPOCA DE ESTUDIO

Históricamente, los límites latitudinales del área de estudio están basados en los análisis satelitales de la temperatura superficial del mar, fijándose como límite sur la distribución de la isoterma de 15ºC en la semana previa a la realización del crucero.

Basándose en la distribución y abundancia de huevos de jurel del año 2005, en donde se verificaron áreas de abundancia de huevos cercanos al 75ºW y que además, los principales focos de desove estuvieron desplazados hacia el sur de los 35º50'S, es que este año se optó por ampliar la zona de estudio un grado más hacia el este y 10 millas más hacia el sur con la finalidad de delimitar de mejor forma el área de desove de este recurso.

El área de estudio fue fijada entre los límites latitudinales comprendidos entre los 32°50 - 38°50'S y 74° - 92°W, área que fue cubierta por 10 embarcaciones industriales de cerco; donde 9 embarcaciones realizaron transectas sistemáticas, totalizándose 18 transectas y una embarcación operó en un diseño de tipo adaptativo dirigido a zonas de mayor abundancia de huevos y larvas de jurel.

El muestreo de huevos en el área de estudio se desarrolló entre el 14 de noviembre y el 26 de noviembre de 2006, ya que los antecedentes disponibles señalan que si bien la principal época reproductiva de jurel se extiende entre octubre y diciembre, tiene un máximo en noviembre **(Cubillos, 2003)**.

6.2 DISEÑO DE MUESTREO ICTIOPLANCTONICO

Con el objeto de estimar índices de abundancia de huevos y larvas de jurel, la producción y la tasa de mortalidad diaria de huevos, y dar así cumplimiento al Objetivo Específico 3.1, se ejecutó un muestreo planctónico que cubrió el área de estudio en alta mar.

La macro-zona de estudio comprendió la región oceánica, dentro y fuera de la ZEE, frente a Chile centro-sur entre los 74º a los 92º de longitud oeste y latitudinalmente entre los 32º50' – 38º50'S. Participaron 9 embarcaciones las cuales realizaron 2 transectas cada una, completando un total de 18 transectas separadas entre sí por 20 millas náuticas en un esquema de diseño sistemático.

Las embarcaciones comenzaron la actividad en los extremos del área a prospectar (transectas 1-4 y 15-18) en los 74 ºW y hasta los 92ºW y regresaron en el centro del área de estudio desde los 92ºW hasta los 74ºW. (**Tabla y Figura 1**). Esta área, fue seleccionada a partir de la información satelital disponible de las temperaturas superficiales del mar (TSM), definiendo el área principal a cubrir, centrada en la ocurrencia de las isotermas de 16 y 17 ºC en el sector central del área de estudio.

Cabe señalar que por problemas de tipo mecánico, la embarcación Don Boris no pudo muestrear hasta los 92 ºW, llegando sólo hasta los 83º W. Esta situación generó que dos embarcaciones modificaran sus transectas con la finalidad de cubrir, de la mejor manera posible, las estaciones que el PAM Don Boris no pudo realizar. En total, sólo las transectas 1 y 7 estuvieron incompletas, cubriendo desde el 74º al 83ºW. El resto de las embarcaciones no sufrió ningún percance de importancia, completando exitosamente el resto de las transectas.

Adicionalmente a estas 9 naves, hubo una embarcación anexa que realizó un muestreo adaptativo con la finalidad de detectar focos de abundancia de huevos de jurel para la realización de un muestreo estratificado de huevos, experimentos de incubación y experimentos de datación de folículos postovulatorios (FPO).

Tabla 1. Transectas asignadas a los barcos participantes proyecto FIP 2006-05.

Transecta	Latitud	Longitud Inicial	Dirección	PAM
1	3250	7400	IDA	Matías
2	3315	7400	IDA	Ranquilhue
3	3340	7400	IDA	Don Boris
4	3405	7400	IDA	Don Telésforo
5	3430	7400	REGRESO	Matías
6	3450	7400	REGRESO	Ranquilhue
7	3510	7400	REGRESO	Don Boris
8	3530	7400	REGRESO	Don Telésforo
9	3550	7400	IDA	Allipén 1
10	3610	7400	REGRESO	Allipén 1
11	3630	7400	REGRESO	Gualpen
12	3650	7400	REGRESO	Toyita
13	3710	7400	REGRESO	Gardar
14	3730	7400	REGRESO	Mack
15	3750	7400	IDA	Gualpén
16	3810	7400	IDA	Toyita
17	3830	7400	IDA	Gardar
18	3850	7400	IDA	Mack
Muestreo Adaptativo				Malleco

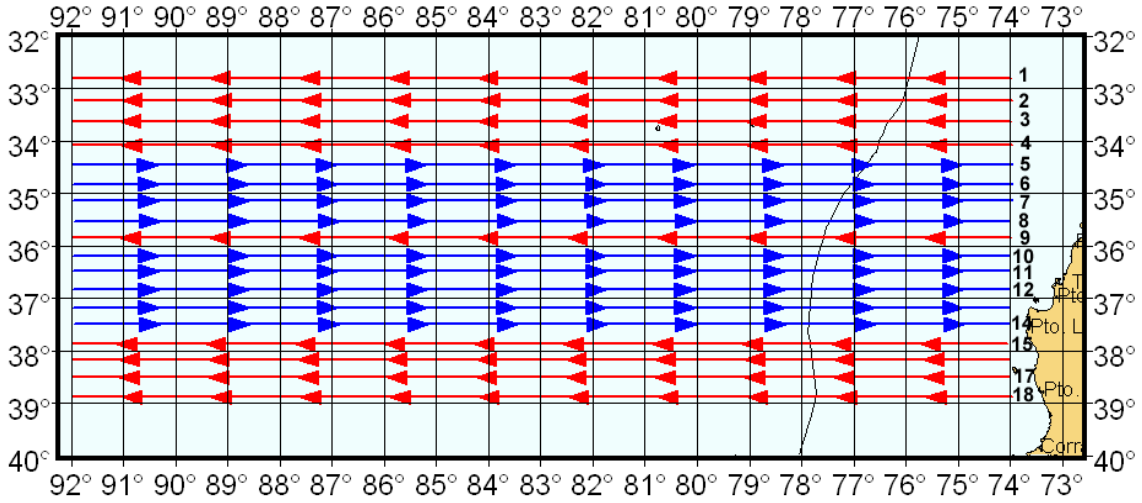


Figura 1. Distribución espacial de las transectas de muestreo realizadas en el crucero FIP 2006-05 (Noviembre 2006).

6.3 HUEVOS Y LARVAS DE JUREL

6.3.1 Muestras planctónicas

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

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

En el Instituto de Investigación Pesquera las muestras de plancton fueron analizadas bajo estereomicroscopios Zeiss y Japan Optical con el propósito de separar la totalidad del ictioplancton desde cada una de las muestras planctónicas, identificando y separando los huevos y larvas de jurel según los criterios de **Santander y Castillo (1971)**.

La distribución espacial de la densidad de huevos y larvas de jurel en el área de desove frente a Chile central, se realizó en base al muestreo sistemático de de 18 transectas dispuestas entre los 32º50'S y los 38º50'S, área en la cual se realizaron 791 estaciones de muestreo (**Figura 2**).

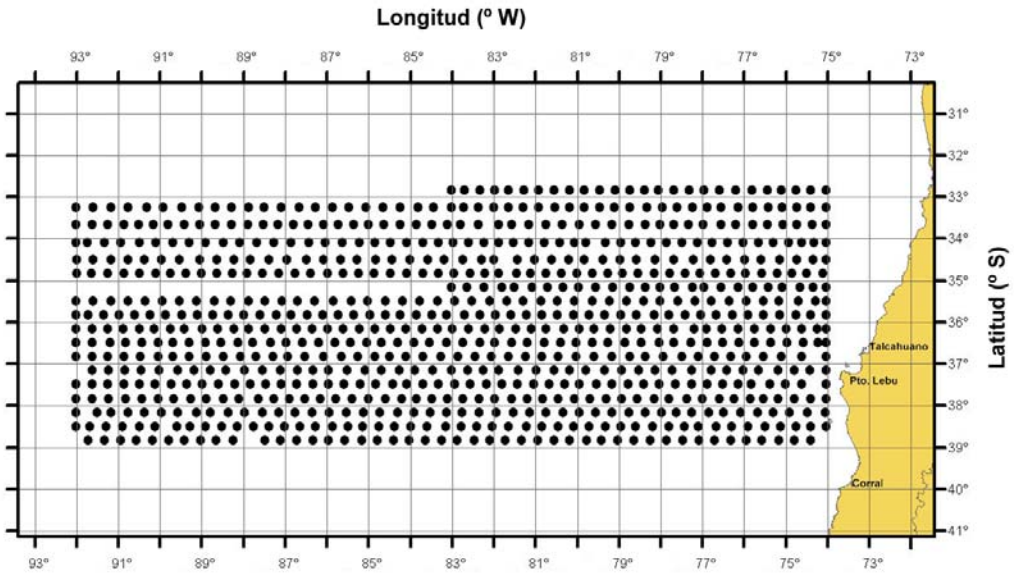


Figura 2. Distribución espacial de las estaciones de muestreo durante el crucero desarrollado en noviembre de 2006.

Adicionalmente a esta actividad, los huevos de jurel son identificados en estadíos de desarrollo. Los criterios de clasificación de huevos han sido previamente descritos por **Sepúlveda *et al.*, (2001)** sobre la base de **Moser y Ahlstrom (1985)** (**Tabla 2**), huevos con estadios de desarrollo no identificables o desintegrados, se les clasifica como huevos deteriorados.

Tabla 2. Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario.

ESTADIO	CARACTERISTICAS
Estadio I	La división celular no ha comenzado, sólo es posible diferenciar el polo animal vegetal (vitelo), el cual cubre 1/4 del corion.
Estadio II	Comienza con la primera división celular en dos blastómeros la cual se identifica por la formación de un surco que atraviesa el polo animal. También es posible observar la segunda división celular con la formación de otro surco perpendicular al anterior que genera cuatro células. Sucesivas divisiones poco diferenciables en cuanto al número de células pueden observarse constituyendo las llamadas mórulas, cuya característica más relevante es que las células son claramente diferenciables unas de otras. Este estadío finaliza con la formación del blastodisco en esta etapa la división celular a alcanzado tal magnitud que no es posible diferenciar las células tomando en la superficie un aspecto rugoso.
Estadio III	Esta fase que se caracteriza por la formación clara del blastodermo como un tejido, donde no es posible diferenciar entre cada célula. Además, en esta etapa se origina la cavidad de segmentación a partir del último clivaje. Al término de este estadío puede observarse la formación del anillo germinal a partir de un engrosamiento en el margen del blastodermo el cual ocupa 1/3 del área del corion.
Estadio IV	Al comienzo de este estadio el embrión ocupa 1/3 del corion. El embrión se observa hacia un costado del blastodermo, pero en general muestra un engrosamiento mucho más intenso al estadio anterior. La cavidad de segmentación se diferencia claramente ocupando alrededor de un 1/3 del corion. Al final de este estadio el embrión alcanza un largo de 2/3 del corion y el blastoporo puede ser observado muy claramente en la mayoría de los casos.
Estadio V	Se caracteriza porque el blastodermo se ha condensado completamente en un embrión que alcanza un largo total de 1/2 del corion. El blastoporo se observa en un amplio rango de aberturas hasta alcanzar su cierre casi total, además comienzan a aparecer los somitos. También se diferencia la cabeza y vesículas óticas.
Estadio VI	Este estadio comienza cuando el blastoporo esta casi al cierre para posteriormente cerrarse completamente. Después se produce un engrosamiento del embrión en su región caudal que finaliza con el comienzo de la separación de la cola del vitelo, la cabeza se observar claramente definida con las vesículas óticas y además en este estadio se observa el lente primordial, los somitos se sitúan a lo largo de todo el cuerpo con excepción de la región caudal.
Estadio VII	Este estadio comienza cuando la cola ha comenzado a desprenderse del vitelo, para luego elongarse y alcanzar como máximo la mitad del largo de la cabeza de embrión. Además se observarse un desarrollo incipiente de la aleta caudal.
Estadio VIII	En este estadio la cola es mayor a ½ del largo del embrión alcanzando una longitud

ESTADIO	CARACTERISTICAS
	igual al largo de la cabeza del embrión. La punta de la cola se ha tornado más puntiaguda y se dobla en el eje del embrión hacia la derecha o izquierda (Figura 8).
Estadio IX	El ancho de la aleta caudal se ha incrementado diferenciándose claramente. El largo alcanzado por la cola es mayor a 1/3 de la altura del corion.
Estadio X	La cola alcanza una longitud mayor a 2/3 de la altura del corion. El ancho de la aleta embrional es casi igual al de la cola.
Estadio XI	La cola alcanza una longitud mayor a 2/3 de la altura del corion y alcanza la cabeza o la traspasa. El ancho de la aleta es mayor o doble al ancho de la cola.

6.3.2 Estimación de índices de abundancia de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio

La abundancia de huevos y larvas de jurel fue estandarizada a número de individuos para una unidad de área estándar de 10 m^2 (en adelante Nº ind. 10 m^{-2}), para lo cual el ángulo de cala de la red fue medido periódicamente mediante un clinómetro manual.

La distancia efectiva recorrida por la red fue multiplicada por el área de la boca de la red para estimar la el volumen de agua filtrada en cada estación de muestreo. La estandarización a la unidad estándar se realizó por medio de la siguiente ecuación

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

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

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

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

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

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

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

donde Q es el volumen de agua filtrado por unidad de tiempo ($m^3 \times s^{-1}$), y t es el tiempo empleado en el arrastre (s). El valor de Q se calculó por

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

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

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

6.3.3 Determinación de la distribución vertical de huevos y larvas

Con el objeto de analizar la distribución vertical de huevos y larvas, se consideró analizar cuatro estratos en la columna de agua: 0 – 25 m, 25 – 50 m, 50 – 75 m, y 75 – 100 m los cuales fueron muestreados con redes WP-2 de 0,6 m de área de boca y 0,33 mm de abertura de malla. Para analizar la distribución vertical se utilizará el método integrado, consistente en muestrear en una estación fija los diferentes estratos de profundidad. Esta actividad se realizó mediante el uso de un sistema provisto de un gatillo accionable, el cual a través de un cable de acero de 6,25 mm vía mensajero, dispuesto en un huinche de cada embarcación utilizada, permite cerrar la red WP-2 a la profundidad requerida (**Figura 3**).

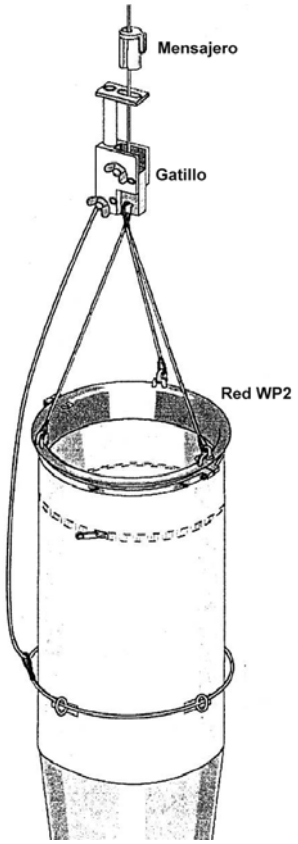


Figura 3. Sistema de cierre de la red WP2 (Gatillo + Mensajero)

Esta actividad contempló el diseño de minigrillas de muestreo, las cuales estaban compuestas por 3 estaciones dispuestas a lo largo de un eje central de latitud determinada, más sus respectivas réplicas tanto al sur como al norte de cada estación central (9 estaciones en total), la separación entre estaciones fue de 5 mn.

La ubicación de las minigrillas fue basada en zonas donde históricamente se han encontrado importantes focos de abundancia de huevos y larvas de jurel, esto es, al W del 80º y entre los 34º S y 35º40'S. Otro factor importante a considerar fue la TSM. Un análisis que recopiló 6 cruceros realizados (FIP 2004-06), muestra que larvas y huevos del jurel presentan una preferencia por aguas cálidas > 16,2 ºC, existiendo evidencia histórica que indicaría un rechazo de huevos a temperaturas mayores a 20,5 ºC. 4.

Con estos antecedentes, se realizó un sistema de búsqueda de focos de importancia de huevos de jurel con la finalidad de realizar estas minigrillas y además encontrar un número adecuado de huevos en estadío temprano de desarrollo, para realizar experimentos de incubación.

Para ello, la embarcación Malleco, implementó a bordo un laboratorio en el cual se instalaron lupas para verificar la presencia de huevos en esas zonas, previo a la realización de las minigrillas. Se realizaron 46 estaciones planctónicas en busca de focos de abundancia, las cuales fueron medianamente exitosas. (**Tabla 3**). Se verificó un pequeño foco de huevos de jurel entre los 33º20 y 34º S entre las longitudes 79 y 81 ºW. Basados en esta información, más información de TSM *in situ*, se realizaron 2 minigrillas de muestreo en esas zonas. En total se realizaron 66 muestreos estratificados (**Tabla 4, Figura 4**).

Cabe señalar que la búsqueda hacia zonas más oceánicas no pudo concretarse, debido que la embarcación debía coordinar además, la realización lances de pesca con buenas abundancias del recurso para realizar experimentos de datación de los folículos postovulatorios (FPO). A través del comunicado radial, se reportaron abundancias de jurel de nivel intermedio en áreas más costeras, debiendo reorientar el muestreo hacia esas zonas.

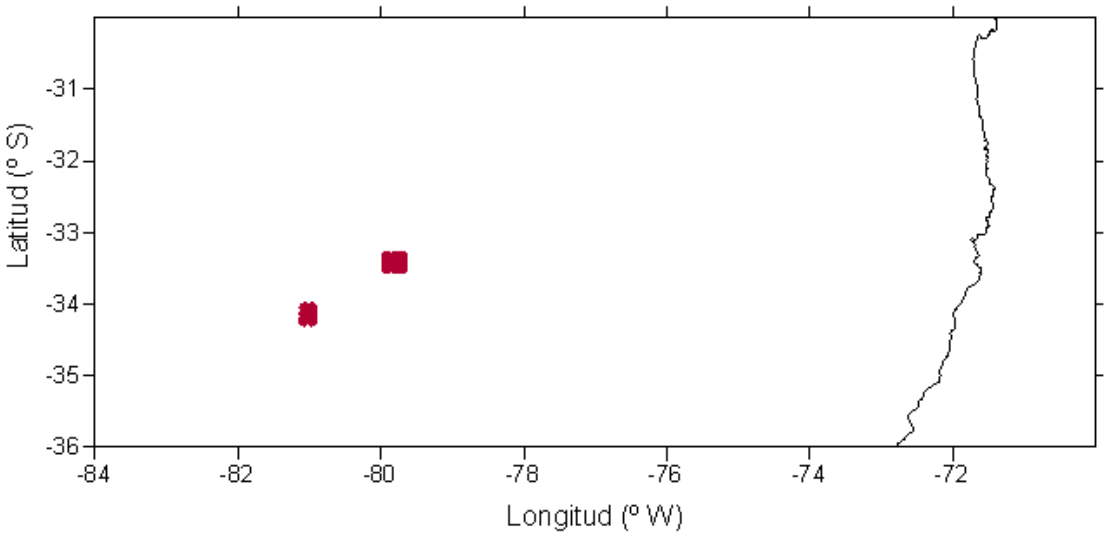


Figura 4. Localización de minigrillas de evaluación (distribución vertical de huevos y larvas).

Tabla 3. Estaciones de búsqueda previa a la realización de las minigrillas

Estación	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	TSM	Huevos Jurel	Larvas Jurel
1	17/11/2006	0:25	3553	7413	15,7	-	-
2	17/11/2006	2:30	3544	7431	14,5	-	-
3	17/11/2006	5:55	3530	7500	14,7	2	-
4	17/11/2006	16:20	3504	7641	15,2	-	-
5	17/11/2006	22:30	3405	7721	16	-	-
6	18/11/2006	0:08	3350	7731	15,2	-	-
7	18/11/2006	2:11	3350	7756	15,9	-	-
8	18/11/2006	4:08	3349	7817	15,4	-	6
9	18/11/2006	10:47	3350	7947	16,1	-	1
10	18/11/2006	12:07	3345	7941	16,2	-	-
11	18/11/2006	13:19	3340	7935	16,5	-	-
12	18/11/2006	14:26	3332	7935	16,6	-	-
13	18/11/2006	16:11	3315	7937	16,7	-	-
14	18/11/2006	23:31	3321	7942	16,5	10	-
15	19/11/2006	1:02	3322	7933	16,7	-	-
16	19/11/2006	2:22	3320	7925	16,6	3	-
17	19/11/2006	3:35	3320	7918	16,6	-	-
18	19/11/2006	5:05	3325	7909	16,6	-	-
19	21/11/2006	0:00	3347	8109	15,7	2	-
20	21/11/2006	0:15	3346	8127	15,7	6	1
21	21/11/2006	3:10	3351	8127	16	1	1
22	21/11/2006	4:00	3352	8119	15,9	1	-
23	21/11/2006	5:30	3344	8117	16	1	1
24	21/11/2006	22:57	3357	8241	16,1	1	-
25	22/11/2006	0:26	3358	8256	15,9	1	-
26	22/11/2006	1:38	3359	8306	15,9	-	-
27	22/11/2006	2:49	3355	8315	15,9	-	-
28	22/11/2006	4:29	3346	8317	15,8	-	-
29	22/11/2006	5:46	3345	8329	16,3	-	-
30	22/11/2006	7:18	3355	8335	16,1	-	-
31	22/11/2006	21:50	3509	8407	15,7	3	-
32	23/11/2006	0:10	3500	8410	15,9	7	-
33	23/11/2006	1:08	3459	8417	16	5	-
34	23/11/2006	1:56	3455	8424	15,9	2	-
35	23/11/2006	3:03	3445	8424	15,8	4	-
36	23/11/2006	4:30	3438	8434	15,8	7	-
37	23/11/2006	6:01	3444	8420	15,5	4	-
38	23/11/2006	21:23	3545	8236	15,4	-	-
39	23/11/2006	23:00	3547	8221	15,3	-	-
40	24/11/2006	0:35	3539	8209	15,1	-	-
41	24/11/2006	2:09	3540	8156	15,3	-	-
42	24/11/2006	7:00	3510	8110	15,1	-	-
43	24/11/2006	8:23	3500	8110	15,3	-	-
44	24/11/2006	10:02	3445	8110	15,6	-	-
45	24/11/2006	11:17	3435	8110	15,6	-	-
46	24/11/2006	13:08	3420	8105	15,7	2	-

Tabla 4. Resumen del número de lances planctónicos y estratificados obtenidos en el crucero de Noviembre de 2006.

Transecta	Pam	Latitud	Nº Estaciones Planctónicas	Nº Estaciones Estratificadas
1	Matías	3250	25	
2	Matías	3315	24	
2	Ranquilhue	3315	25	
3	Don Boris	3340	24	
3	Ranquilhue	3340	25	
4	Don Telesforo	3405	49	
5	Matías	3430	44	
6	Ranquilhue	3450	49	
7	Don Boris	3510	25	
8	Don Telesforo	3530	45	
9	Allipén I	3550	49	
10	Allipén I	3610	49	
11	Gualpén	3630	47	
12	Toyita	3650	45	
13	Gardar	3710	44	
14	Mack	3730	48	
15	Gualpén	3750	49	
16	Toyita	3810	46	
17	Gardar	3830	48	
18	Mack	3850	45	
	Malleco			66
	Total		805	66

Inicialmente, las temperaturas seleccionadas para las incubaciones fueron de 13, 16 y 20 ºC. Lamentablemente, en las zonas de búsqueda de focos de abundancia de jurel, no se encontraron focos importantes de huevos de jurel en estados tempranos de desarrollo, lo cual impidió la realización de esta experiencia.

En la actualidad, se emplea para asignar edad a los huevos de jurel, la información obtenida de los experimentos de incubación realizados en los proyectos FIP 2000-10 y FIP 2004-33, en los cuales se emplearon temperaturas de 14, 17 y 19 ºC. Si bien las temperaturas empleadas son esperables de encontrar en el océano en época de desove, el número de observaciones no es el óptimo, por lo cual es necesario repetir esta experiencia en próximas prospecciones, con la finalidad de mejorar el número de las observaciones y por ende, la estimación. Los modelos para asignar edad a los huevos de jurel, se explican más adelante en este informe.

6.3.4 Análisis Geoestadístico de la distribución de huevos y larvas de jurel

Se realizó un análisis geoestadístico para describir la distribución espacial 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.

Para ello, se empleó el análisis estructural de la correlación espacial entre las observaciones utilizando una medida de continuidad espacial representada por el variograma y sus parámetros (*i.e*. rango, *sill* y efecto *nugget*). El rango del variograma ajustado se utilizará para estimar el diámetro del parche para el total de número de huevos y larvas (**Lo et al., 2001**). Una vez definido el modelo de variograma, se procederá a interpolar valores en una grilla regular utilizando un algoritmo de optimización denominado *kriging*.

a) Análisis estructural

El análisis estructural consiste en analizar 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 dimesiones), y h es un vector de distancia que tiene dirección y magnitud. Bajo la hipótesis de estacionalidad 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

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \qquad (5)$$

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.

b) Modelo de Variograma

Una vez calculado el variograma experimental, se ajustará un modelo estadístico que permita relacionar la estructura observada con el supuesto proceso generador. El modelo que se ajustará puede estar representado por los modelos exponencial, esférico o gausiano **(Cressie, 1993).** Los parámetros del modelo serán estimados a partir del variograma experimental mediante el método de mínimos cuadrados descrito por **Cressie (1993),** minimizando la siguiente función objetivo

$$\sum_{i=1}^{H} N(h_i)\left(\frac{\gamma(h_i)}{\gamma(h_i)}-1\right)^2 \qquad (6)$$

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 realizará 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 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, Petitgas 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:

$$Z^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^{n} w_i Z(x_i, y_i) \qquad (7)$$

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)**.

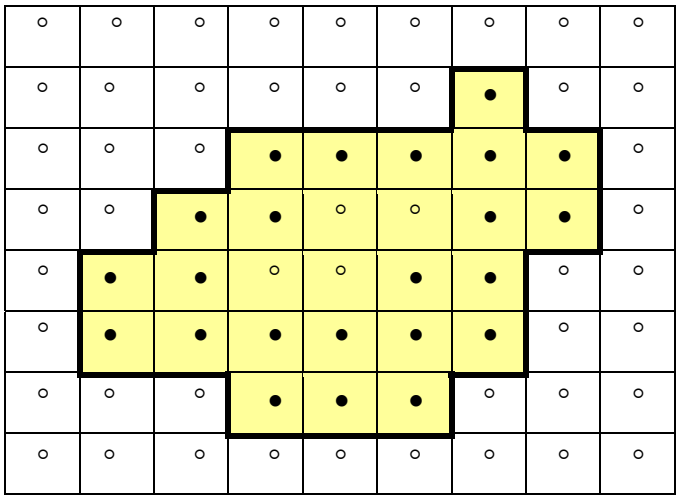
Una vez realizada la interpolación, sólo aquellos nodos de la grilla que se encontraron dentro de los polígonos de estimación, definidos sobre la base de las estaciones positivas y negativas, se consideraron en el mapeo de la densidad y posterior estimación de la densidad media. Se utilizó el módulo Spatial Stat del *software* S-Plus 2000 para el cálculo de los variogramas experimentales, para la validación cruzada, y para el *kriging*. El posterior mapeo de la densidad se realizó en el programa SURFER 8.0.

e) Determinación de áreas de focos de distribución de huevos/larvas

El área de los focos de distribución de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio se determinó bajo dos enfoques metodológicos, a saber:

a) Cuantificación de las sub-áreas que representan estaciones positivas

Este procedimiento consiste en cuantificar las sub-áreas que representan las estaciones positivas (con presencia de huevos/larvas) y se basa en considerar el área mínima de presencia de huevos/larvas para cada estación de muestreo. Debido a la existencia de estaciones negativas (ausencia de huevos/larvas) al interior de algunas transectas, circundadas por estaciones positivas, estas fueron consideradas como ceros locales que contribuyen a la estimación del área total de distribución. Este criterio fue aplicado en los ejes norte-sur (entre transectas adyacentes) y este-oeste (entra estaciones sobre una misma transecta). Posteriormente, se procedió a juntar las celdas de manera que los bordes definen los vértices del polígono de estimación, tal y como lo muestra el siguiente esquema:



donde las celdas amarillas con un punto negro al centro representan celdas positivas y las celdas amarillas con punto blanco corresponden a celdas negativas consideradas ceros locales.

b) Geoestadística transitiva

Varios son los métodos de estimación del área de distribución espacial de una variable ambiental o biológica a partir de un diseño de muestreo cualquiera, a saber: (a) posicionamiento de todas las estaciones de muestreo (positivas y negativas) en cartas náuticas; (b) antecedentes históricos sobre la distribución y dinámica del recurso estudiado; (c) información de lances comerciales realizados en la misma área y período (en el caso de recursos pesqueros); (d) área que circunscribe los lances de pesca con captura (presencia); (e) interpolación lineal (geométrica); (f) método de kriging, entre otros.

En el caso del kriging, sin embargo, sustentado en la teoría intrínseca de la geoestadística, asume la existencia de un efecto de borde, esto es, que la distribución espacial de la variable estudiada es truncada por un límite previamente establecido e independiente de la propia naturaleza que de la variable (efecto de la geometría del hábitat).

Por otro lado, cualquier método de estimación basado en la estadística clásica del muestreo de poblaciones finitas no está permitido pues esa teoría supone que el número total de unidades de muestreo en la población es conocido antes de la estimación. Consecuentemente, cualquier método de remuestreo exhibe de la misma deficiencia pues los datos mismos a ser re-muestreados no contienen información independiente acerca del número de datos a ser re-muestreados. Incluso, la teoría intrínseca de la geoestadística no permite una estimación del área porque en esa teoría no está definida la covarianza entre el hábitat y el proceso estocástico.

Afortunadamente, existe una rama de la geoestadística que permite cubrir este problema desde un punto de vista consistente con la teoría de estimación estadística, la geoestadística transitiva. Esta teoría fue desarrollada por el fundador de la teoría geoestadística, **Matheron (1971)**, pero no ha sido ampliamente usada en pesquerías a pesar del ya consolidado uso de la geoestadística para el análisis de datos espaciales de densidad de recursos pesqueros. Aparte de un trabajo de **Petitgas (1996)** en una dimensión, la literatura principal pesquera registra sólo dos estudios recientes, a saber: **Bez y Rivoirard (2001) y Bez (2002)**. Se propone la introducción de estas técnicas específicamente para la estimación del área de las distintas particiones del stock a ser evaluadas mediante transectas espaciadas regularmente (**Petitgas y Lafont, 1997**).

Como el análisis de la distribución espacial de las variables estudiadas en este estudio ya está cubierta por el uso de la geoestadística intrínseca, sólo interesa estimar el área *S*. Convenientemente, entonces, realizamos la transformación de los datos muestreales con la función indicadora

$$I(x,y) = \begin{cases} 0, & si \quad z(x,y) = 0 \\ 1 & si \quad z(x,y) > 0 \end{cases}$$

lo que significa que la grilla regular dentro de cada partición espacial de la variable analizada se convierte en una grilla de 1s y 0s. Esta técnica permite que la doble integral sobre la latitud y la longitud, multiplicada por el área de influencia de cada unidad muestral, sea inmediatamente igual al área de la partición espacial del stock que se está considerando. Sea *S* el área total que cubre la distribución espacial de la función indicadora *I*(*x*,*y*), entonces la cantidad a ser estimada es

$$S = \int_{-\infty}^{+\infty} dx \int_{-\infty}^{+\infty} I(x,y)dy$$

y su estimador geoestadístico transitivo es

$$\hat{S}(x_0, y_0) = s_x s_y \sum_{k_1=-\infty}^{+\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{+\infty} I(x_0 + k_1 s_x, y_0 + k_2 s_y)$$

donde x_0, y_0 son los puntos de partida de la grilla, que deben ser elegidos aleatoriamente para garantizar insesgamiento respecto del diseño (que se cumple aquí pues nuestra primera transecta fue elegida al azar dentro de cada estrato), s_x y s_y son las áreas latitudinales y longitudinales cubiertas por cada unidad de muestreo (cada estación de muestreo dentro de cada transecta), iguales para todas las unidades (garantizado por el diseño de espaciamiento regular), y donde las sumas van hacia el infinito porque se permite el efecto de borde y de hecho el borde mismo es estimado.

En esta teoría, la herramienta estructural conveniente no es el variograma de la teoría intrínseca, sino que el covariograma transitivo de la forma

$$g(h) = \int_{-\infty}^{+\infty} dx \int_{-\infty}^{+\infty} I(x,y)I(x+u,y+v)dy$$

donde *u* y *v* son los lados de un triángulo tal que el vector de distancia cuadrático $h^2=u^2+v^2$. La varianza de estimación es equivalente a la varianza del estimador ya que este método es diseño-basado y luego la cantidad *S* no se supone que sea la realización de una variable aleatoria sino que se supone fija,

$$\sigma_S^2 = s_x s_y \sum_{k_1=-\infty}^{+\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{+\infty} g(k_1 s_x, k_2 s_y) - \int_{-\infty}^{+\infty} g(h)dh$$

6.4 MUESTREO OCEANOGRAFICO

6.4.1 Información Ambiental

Temperatura desde termómetros de mercurio: La temperatura superficial del mar (TSM) fue registrada en cada una de las estaciones de muestreo (**Figura 5**) por medio de termómetros de mercurio de 0,1 ºC de precisión. Se efectuaron un total de 805 registros de TSM durante el crucero.

Caracterización vertical de la columna de agua

La estructura vertical de la columna de agua fue evaluada en tres transectos perpendiculares a la costa situados en el sector norte del área de prospección, esto es: Transecta 2 (33º15'S), Transecta 3 (33º40'S) y Transedcta 6 (34º50'S) (**Figura 5**). Por razones logísticas, las transectas 2 y 3 involucraron solo la mitad costera y la mitad oceánica del trayecto originalmente planteado, respectivamente. Por fallas en una de las sondas oceanográficas durante el crucero, no pudo realizarse otros dos transectos dispuestos originalmente en el sector situado entre los 35 y los 37ºS. El registro vertical de la temperatura, la salinidad y la densidad del agua de mar en el sector norte del área de estudio se realizó por medio de una sonda oceanográfica CTDO SeaBird Electronics Mod. SB-19 Plus, evaluando los primeros 100 metros de la columna de agua.

6.4.2 Información satelital

Para el período de estudio, se contó con imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y de Clorofila, obtenidas desde el Programa MODIS Aqua Level-3 Globales con una resolución espacial de 4x4 km, desde el sitio web OceanColor Web (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html). Las imágenes fueron escaladas y corregidas atmosféricamente con el software Matlab 6.1, para obtener finalmente valores de temperatura (ºC) y clorofila (mg m^{-3}) para la región oceánica frente a Chile central.

Asimismo, el campo de velocidades geostróficas para el mes de noviembre de 2006, fue obtenido desde el Programa AVISO (http://www.aviso.oceanobs.com), así como imágenes de viento superficiales obtuvieron del Programa QuickScat, con una resolución espacial de 27,8 x 27,8 km. Con propósitos comparativos también se obtuvo el campo horizontal de velocidades

geostróficas para el área de desove de jurel frente a Chile central, correspondiente a los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2003, 2004 y 2005.

El campo horizontal de viento superficial fue obtenido a través de: (a) el Programa del CERSAT (Centre ERS d'Archivage et de Traitement), base programática de los satélites ERS 1 y ERS 2, cuya información posee una resolución espacial de 111,1 x 111,1 km y una resolución temporal igual a una semana, y (b) el Programa QuickScat, con una resolución espacial de 27,8 x 27,8 km y una resolución temporal igual a un día. Con esta información se obtuvo las cartas de distribución espacial de los vectores de viento, así como también se calcularon los parámetros asociados al viento (*i e*., turbulencia).

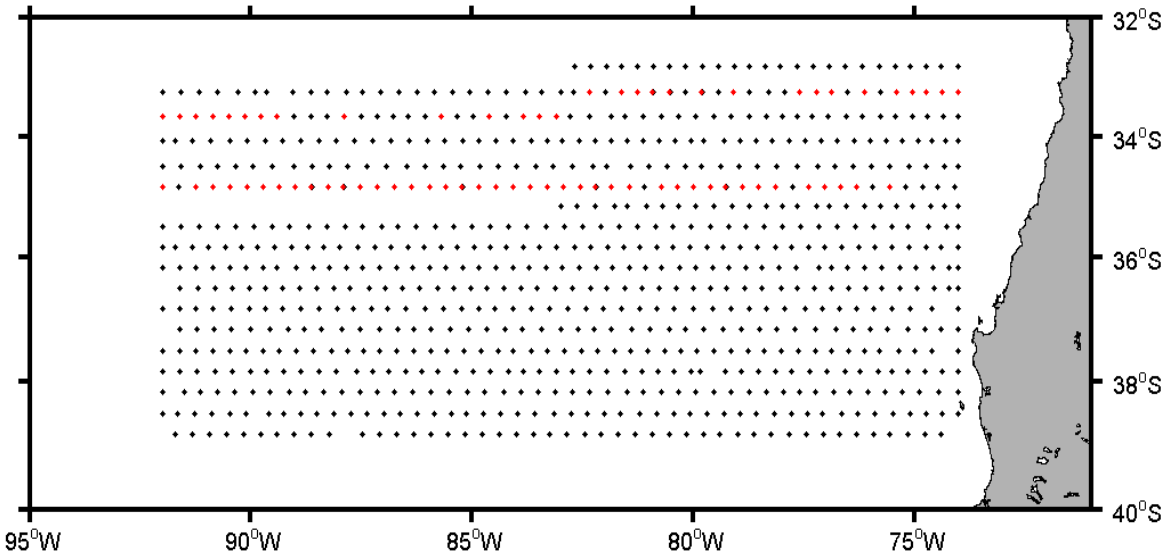


Figura 5. Distribución espacial de las estaciones de muestreo de temperatura superficial del mar durante el crucero de Noviembre de 2006. En rojo se indican las estaciones para perfiles verticales de CTD.

6.4.3 Variabilidad ambiental y distribución de huevos y larvas de jurel

En el análisis de eventuales relaciones entre los huevos y larvas de jurel con respecto a las variables ambientales consideradas en este informe, se indagó mediante diferentes metodologías, a saber:

a) Análisis de rangos de variables ambientales para la presencia de huevos y/o larvas de jurel en el área de estudio.

b) Análisis cartográfico entre la distribución espacial de huevos y larvas de jurel respecto de la distribución espacial de las variables ambientales medidas. Para ello, la distribución de las variables ambientales fueron interpoladas para llevarlas a la misma resolución de la grilla espacial de huevos y larvas de jurel, proceso realizado en ambiente MatLab.

c) Aplicación del Método Aditivo Generalizado (GAM) para analizar la densidad de huevos en función de las variaciones espaciales del ambiente (relaciones no lineales). El modelo aditivo extiende el modelo lineal permitiendo que las funciones lineales de los predictores sean reemplazadas por funciones suavizadas y flexibles de estos predictores. La forma del modelo lineal que es: $\mathrm{Y} = \alpha + \sum_{i=1}^{n} \beta X_i + \varepsilon$ es modificada a la forma

$$\mathrm{Y} = \alpha + \sum_{i=1}^{n} f_i(X_i) + \varepsilon$$

donde Y es la respuesta, X_i son los predictores, α y β son constantes, y ε es el error. Los términos *fi* se pueden modelar en forma paramétrica o no-paramétrica, o ambas formas se pueden combinar en un modelo semiparamétrico. Los términos no-paramétricos de la función fueron ajustados mediante suavizadores de dispersión ("*scatterplot smoothers*", **Hastie & Tibshirani, 1990**) que permiten una buena descripción de la relación entre una respuesta y un predictor sin imposición de una forma *a priori*, permitiendo un buen diagnostico de las relaciones funcionales sugeridas por los datos (**Daskalov, 1999**). En este caso, se utilizó un suavizador de dispersión del tipo *spline* para estimar la función no paramétrica. Se utilizó una probabilidad de

distribución del tipo *Quasi-Poisson* que describe correctamente la distribución de probabilidades en conjuntos con alta ocurrencia de datos cero, como lo son datos de abundancia por estación para un muestro sistemático de organismos que se distribuyen en "parches" (Long, 1997). Se utilizaron como variables predictoras las variables de posición latitud y longitud, la temperatura superficial del mar (TSM, ºC), la concentración de clorofila-a (mg m^{-3}), la turbulencia (m^3 s^{-3}), la energía cinética (cm^2 s^{-2}), el gradiente térmico (ºC 20 km^{-1}) y la intensidad del viento (m s^{-1}).

d) La asociación espacial entre huevos y larvas de jurel y estructuras de mesoescala recurrentes en el área de estudio (remolinos). En este caso, los remolinos de mesoescala fueron determinados a partir de imágenes satelitales de altimetría para conocer el campo de velocidades geostróficas en el área de estudio. Para determinar y delimitar estas estructuras, se utilizó el parámetro de Okubo-Weiss (**Isern-Fontanet *et al.*, 2004; 2006**), el cual diferencia dentro del campo de vorticidad, la vorticidad tangencial y la vorticidad relativa, permitiendo delimitar el giro o remolinos. En nuestro caso, seleccionamos giros de un diámetro superior a 80 km, separando además los que fueron ciclónicos y anticiclónicos. Para cada uno de éstos, se contabilizó la densidad de huevos y larvas de jurel en su interior, con el objeto de conocer si estas estructuras fuerzan o modulan la distribución espacial de los productos de desove de jurel en el sector oceánico frente a Chile central.

6.5 ESTIMACION DE PRODUCCION DIARIA DE HUEVOS Y TASA DE MORTALIDAD

6.5.1 Modelos para asignar la edad a los huevos de jurel

a) Determinación de la edad promedio (horas) de los huevos por estadios

Con la información generada en los experimentos de incubación (FIP 2000-10 y FIP 2004-33), se determinó la edad promedio (horas) de los huevos por estadio para cada réplica y de cada temperatura, según la siguiente fórmula

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

Donde:

Y_i = Edad promedio observada del estadio i en cada réplica
n_i = Número de huevos observados en el estadio (i)
h = hora a la cual fue observado el estadio (i)
i = 1,2,3,.....11
j = 1,2,3.....n

b) Estimación de edad mediante el modelo de Lo, 1985

Una vez obtenidas las edades promedio por estadio y temperatura, se analizó la información según el modelo desarrollado por **Lo (1985)** para la anchoveta de California (*Engraulis mordax*). La primera relación a analizar fue la existente entre cada estadio y su edad promedio (horas) para cada temperatura según la relación:

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

Donde:

Y i, t : Edad promedio observada de los huevos para cada estadio y temperatura

t : Temperatura

i : Estadio de desarrollo

a, b y c: Son constantes temperatura-específicas

Finalmente, se desarrolló un modelo temperatura dependiente, el cual permite estimar la edad de un huevo de jurel en función de su temperatura y estadio. Esto permite, por lo tanto, obtener la edad de un huevo de jurel en un estadio de desarrollo cualquiera, desde una muestra planctónica a una temperatura de terreno determinada.

Basado en el modelo elaborado por **Lo (1985)**, esta relación se describe como:

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

Donde:

Y i,t :Edad promedio estimada de los huevos de jurel para cada estadio y temperatura

t :Temperatura

i :Estadio de desarrollo

a, b, c y d : Son constantes comunes para todos los estadíos y temperatura

Para la aplicación de este modelo, es necesaria una vez asignada la edad a la totalidad de los huevos de jurel encontrados en la muestras (previa clasificación por estadio de desarrollo), se procede a corregir esa edad por la hora de colecta de los huevos.

Para ello, se aplicó la metodología de **Lo (1985)**, la cual corrige la estimación de la edad al tiempo de la colecta de los huevos, considerando un tiempo cero que corresponde a la hora del desove, asumiéndose para esta especie, las 23:30 horas. La corrección considera un ajuste por la fracción del día desde la hora del desove hasta la colecta. Para ello, se utilizó:

$$Y_{D,T,k} = Y_{D,T} + k - f$$

donde $Y_{D,T}$ es la edad estimada por el modelo estadío-temperatura dependiente, *k* es la hora de la colecta (lance), y *f* es la porción remanente que surge de la suma de la hora estimada y la hora del desove menos 24 horas. Las decisiones de corrección según la hora de colecta son:

$$Y_{D,T,k} = \begin{bmatrix} k < (f-g) \Rightarrow & y_{D,T} - g \\ (f-g) < k < (f+g) \Rightarrow & y_{D,T} + k - f \\ (f+g) < k \Rightarrow & y_{D,T} + g \end{bmatrix}$$

donde *g* es el doble de la desviación estándar promedio de la edad dentro de cada estadío.

c) Modelo de Lo Generalizado

Con la finalidad de mejorar el ajuste de la datación, se aplicó un modelo desarrollado por **Bernal et. al.,2004**, el cual a diferencia del modelo de Lo, se basa en una función no paramétrica un tanto más flexible que el modelo tradicional, el cual relaciona la edad media v/s el estadío y temperatura empleando GAM (Modelo Aditivo generalizado). Este modelo ofrece la alternativa de seleccionar el grado de smoothness (suavizadores) de manera más objetiva. El modelo a aplicar se describe como:

Yi,t = s (Estadio, Temperatura)

Donde Yi,t, es la edad asignada al huevo en función de su estadío y temperatura (variables predictoras) los cuales están agrupados en una función más suavizada y flexible (s).

d) Modelo Multinomial (Método Bayesiano)

El modelo de Lo ha sido históricamente el modelo más empleado en la datación de huevos, sin embargo, presenta algunas falencias en su desarrollo, siendo la principal, una asunción de sincronicidad del desove muy fuerte, es decir, si la edad predicha por el modelo de desarrollo ± rango de edades del estadio es consecuente con el pico de puesta, la edad se calcula como el tiempo exacto entre el pico de puesta y la hora de muestreo. (**Punto b**).

Producto de lo anterior, **Bernal et. al., 2004**, encontró que una mejor forma de interpretar la información proveniente de un experimento de incubación es analizar la información como una distribución multinomial.

A diferencia del Modelo de Lo, este modelo considera una asunción de sincronicidad del desove probabilística (distribución normal), en donde la edad se estima como la probabilidad de un huevo de encontrarse en un estadio en particular a medida que la edad (horas) avanza. Este supuesto, asume que existe la probabilidad de encontrar, en una misma hora, más de un estadío de desarrollo (predice valores entre 0 y 1), lo cual se acerca más a lo que realmente pasa en el desarrollo de huevos de jurel.

El modelo, está dado por:

$N_{i,t} \sim Mult (N , p_{i,t})$

Donde :

$N_{i,t}$ = Edad del huevo

$p_{i,t}$ = f (Edad, Temperatura) (función probabilística)

6.5.2 Modelo de estimación de la producción diaria de huevos

Con la finalidad de mejorar problemas de sesgo en la estimación, se han realizado las siguientes modificaciones a la data original:

1) Una vez asignadas y corregidas las edades para cada estadío de desarrollo identificado según, las abundancias de huevos se agrupan por cohortes diarias (< 1, 2 y 3 días). El número de cohortes esperadas depende de la temperatura de cada estación, para este crucero la mayor edad esperada estuvo cercana a los 3 días, razón por la cual se emplearon las 3 cohortes antes mencionadas. La edad asignada a cada cohorte corresponde al promedio ponderado por el número de huevos encontrados en cada estadío. En el caso que una cohorte no esté representada

en la estación (ausencia de huevos), se le asigna la edad esperada según la hora de colecta y la hora de desove (23:30 hrs) y su abundancia tendrá valor cero.

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

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

La estimación de este parámetro en la actualidad, es producto de una minuciosa metodología la cual ha sido mejorada año tras año con la finalidad de mejorar problemas tanto de sesgo como de precisión en la estimación de este estimador y a la vez hacer comparable esta estimación con la de otros países en donde se aplica el Método de Producción de Huevos.

a) Estimación tradicional (mínimos cuadrados)

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

La primera estimación de Po fue mediante el método tradicional, el cual consiste en estimar la producción diaria de huevos, P_0, y su varianza, mediante el siguiente modelo de mortalidad:

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

donde

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

t = Edad en días de los huevos

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

Z = Tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos

ε =Término de error aditivo.

El modelo aplica el modelo de Lo para asignar la edad a los huevos, asumiendo que todos los huevos son fertilizados y desovados a una hora fija, y que todos los huevos experimentan una tasa instantánea de mortalidad constante hasta la eclosión. Debido a la estructura aditiva del término error, se utilizó regresión no lineal minimizando las diferencias cuadráticas entre la producción de huevos estimada por el modelo y la observada.

b) Estimación por GLM

Se realizó una variante de la estimación de Po, mediante la aplicación de un modelo lineal generalizado, el cual es una generalización de los modelos lineales generales.

En su caso más simple, el modelo lineal especifica una relación entre la variable respuesta Y (que sigue una dist. Normal) y un conjunto de variables predictoras X's:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + ... + b_kX_k$$

Los términos b_i corresponden a los coeficientes de la regresión calculados a partir de los datos. Para un gran número de problemas de análisis de datos, las estimaciones a partir de relaciones lineales pueden ser adecuadas para describir los datos y para realizar predicciones razonables. Pero existen muchas relaciones que no pueden ser resumidas por una simple ecuación lineal principalmente por dos razones:

- La distribución de la variable dependiente: La variable de interés puede no tener una distribución continua, (dist. Multinomial, Poisson).

- La función Link: El efecto de las variables predictoras sobre la variable dependiente puede ser de naturaleza no lineal.

El Modelo Lineal Generalizado es útil para predecir respuestas tanto para variables dependientes discretas como continuas las cuales pueden estar relacionadas no linealmente con las variables predictoras.

En el caso de la producción diaria de huevos, este modelo permite tratar los datos de una manera más correcta, utilizando una asunción de distribución binomial negativa, en este caso, los pesos empleados fueron el área proporcionada por cada estación y un offset equivalente al área efectiva muestreada en cada estación.

El modelo se describe de la siguiente forma;

Poglm <- glm.nb(Numb~offset(log(Efarea))+Age

Donde:
Poglm: Producción diaria de huevos
Numb: Abundancia de huevos
Offset: Area efectiva de cada estación (Efarea)
Age: Edad asignada a esa abundancia según el modelo temperatura-dependiente a emplear.

Este modelo se aplicó para los tres modelos de asignación de edad expuestos anteriormente.

c) Estimación por GAM

Este método permite modelar de manera espacial la producción diaria de huevos. Para ello, es necesario conocer que variables estarían afectando y / o modelando la producción. Para ello es necesario realizar una exploración de las posibles variables explicatorias.

En este caso, se relacionaron las variables temperatura, latitud y longitud con la densidad de huevos, con la finalidad de encontrar "preferencias de desove". Para ello se realizó un análisis de cuantiles (quotation plot).

En la **Figura 6**, se presentan los resultados del análisis, en donde se observa que para el caso de la TSM, las mayores abundancias de huevos se encuentran en el rango de temperaturas que van desde los 16.1-18.1 ºC. En el caso de la latitud, las mayores abundancias se encuentran al norte de los 34ºS y en el caso de la longitud, al W de los 85º. Por lo tanto existiría un grado de asociación de estas tres variables con la abundancia de huevos de jurel y por ende, con la producción diaria de huevos.

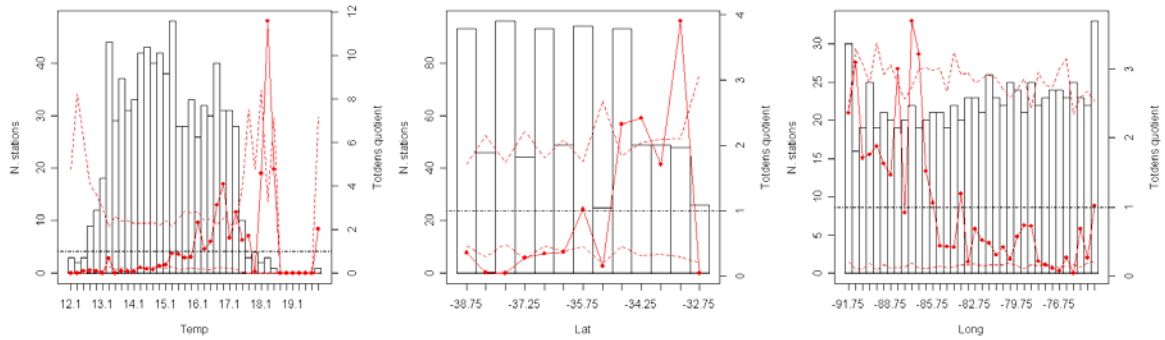


Figura 6. Análisis de la relación entre la densidad de huevos y la temperatura, latitud y longitud de las estaciones (quotation).

Cabe destacar que tal vez la latitud y la longitud por si solas no son variables explicatorias del modelo (sólo dan cuenta de la posición de las estaciones), por lo tanto para la aplicación del GAM, se optó por la aplicación de un modelo tridimensional que relaciona estas dos variables con la temperatura.

El modelo se describe de la siguiente forma:

E [Nt] = g-1 (offset(log(Efarea))+s(Lat, Stand.long, Stand.temp, by = Po) + age

Donde:

E [Nt] : Número de huevos en la cohorte diaria i

g-1 : El inverso de la función link (función que hace la relación entre la variable de respuesta y el predictor lineal, en este caso logaritmo (Poisson).

Po: Producción diaria de huevos

age: edad media de los huevos en la cohorte i
s(Lat, Stand.long, Stand.temp): función suavizadora (smooth) que describe la relación entre la producción de huevos (en escala logarítmica) y el set de covariables)

Todas las estimaciones se realizaron mediante un procedimiento automatizado realizado en el programa estadístico R (The R Foundation for Statistical Computing, Version 2.3.1).

6.5.3 Delimitación del área de desove

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

6.6 DISEÑO DE MUESTREO DE ADULTOS

El objetivo específicos 3.2 requiere que simultáneamente con el desarrollo del crucero de huevos se determinen parámetros relacionados con la dinámica reproductiva de ejemplares adultos. Para ello, se implementó un plan de muestreo para satisfacer los requerimientos de cada parámetro reproductivo. De acuerdo con la Oferta Técnica, se ha planteado analizar los siguientes indicadores reproductivos: a) Estados de madurez macroscópicos; b) Peso promedio de hembras maduras; c) Proporción sexual; d) Indice gonadosomático; e) Análisis histológico de la condición reproductiva; f) Fecundidad parcial y fecundidad media poblacional; y g) Fracción de hembras desovantes.

6.6.1 Plan crucero de adultos

Se estableció en el protocolo de muestreo la realización de 8 lances de pesca de carácter obligatorio con red de cerco en aguas abiertas (1 lance por día), distribuidos en cuatro lances de pesca en el track de ida y cuatro durante el regreso por cada embarcación. Este requerimiento fue basado en que el recurso en alta mar se encuentra muy disperso, lo cual disminuye la probabilidad de pesca de tipo comercial. De esta forma, se asegura contar con un número de lances que permita describir la condición reproductiva del jurel en aguas oceánicas.

a) Muestreo aleatorio

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

En el caso de las hembras, la frecuencia de individuos se registró por estado de madurez sexual de las gónadas según la escala macroscópica de madurez de cinco puntos (**Tabla 5**). En esta escala de madurez, un indicador de desove inminente lo constituye el EMS 4 que representa los ovarios hidratados. La hidratación de los ovocitos es un proceso que dura pocas horas, siendo una condición de los cardúmenes desovantes. A su vez, la mayor proporción de individuos en el EMS 3 indicará una mayor actividad reproductiva poblacional.

Tabla 5. Escala empírica de madurez sexual para hembras de especies desovantes parciales (adaptada de Holden y Raitt, 1975).

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

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

hembra, barco, lance y número correlativo de la planilla de muestreo. Posteriormente esta muestra se guardó en una bolsa con cierre hermético (tipo ziploc).

b) Muestreo dirigido

Una vez finalizado el muestreo aleatorio, se realizó un muestreo dirigido para contar con un número suficiente de hembras hidratadas con el objeto de utilizar estas muestras en la estimación de fecundidad parcial. Se destaca que la frecuencia de hembras hidratadas es una propiedad de los cardúmenes desovantes más que de los individuos, razón por la cual el número de hembras hidratadas en cardúmenes no desovantes puede ser muy bajo. Debido a que la fecundidad parcial se relacionará con el tamaño y peso corporal de las hembras, interesa cubrir un rango amplio de tallas y peso corporal. Se consideró como criterio buscar la mayor cantidad de hembras hidratadas en los primeros lances (60 ejemplares), y luego de contar con un número suficiente bajar a un tamaño mínimo de 30 hembras hidratadas, a las cuales se les medirá la longitud horquilla y el peso eviscerado en formularios separados. Las gónadas de estas hembras fueron guardadas en formalina al 10 % con los datos de la hembra, barco, lance y número correlativo de la planilla. Estas muestras fueron rotuladas con el nombre hidratadas para diferenciarlas del muestreo aleatorio de las gónadas que serán utilizadas para la estimación de la fracción de hembras desovantes diarias.

6.6.2 Relación longitud-peso y peso promedio de hembras maduras

Para determinar la relación longitud-peso se utilizaron las mediciones de longitud horquilla (cm) y peso total (g) de los ejemplares muestreados, de acuerdo a la función forma siguiente:

$$W = a \cdot L^b \qquad (28)$$

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

El peso promedio de las hembras maduras fue estimado a partir del tamaño fijo de la sub-muestra de 50 hembras maduras por lance. A partir del peso promedio de las hembras en cada lance, se estimó el peso promedio de hembras maduras por:

$$\overline{\overline{W}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \overline{W}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \qquad (29)$$

Y la varianza por:

$$\hat{VAR}(\overline{\overline{W}}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i^{\,2} (\overline{W}_i - \overline{\overline{W}})^2}{\overline{m}^{\,2} n(n-1)} \qquad (30)$$

Donde: $\overline{\overline{W}}$ es el peso promedio de hembras maduras, $\overline{W}_i$ es el peso promedio de hembras maduras en el lance i, m_i es el número de peces muestreados del lance i, y n es el número total de lances.

$\overline{m} = \sum_{i=1}^{n} m_i / n$.

6.6.3 Proporción sexual

La sub-muestra aleatoria de 70 machos y 70 hembras por lance fue utilizada para estimar el peso promedio. Se define por y_i al número de peces de la muestra de frecuencia de tallas y $\overline{R}_i$ a la fracción en peso de hembras maduras. Se destaca que tanto los peces maduros como inmaduros son incluidos en la estimación debido a que es imposible distinguir entre machos maduros e inmaduros. Por lo tanto, se asume que la razón de sexos, en peso, es la misma para peces maduros e inmaduros. Para ahorrar esfuerzos de muestreo, $\overline{R}_i$ es un valor estimado más que un valor medido directamente. El peso promedio para cada sexo fue estimado para cada lance a partir de la submuestra.

El peso total, de cada sexo en la submuestra, se estimó multiplicando el número observado de machos y hembras en las muestras de frecuencia de la muestra aleatoria de 300 peces por el peso promedio de cada sexo en la submuestra:

$$\hat{W}_i^H = y_i^H \overline{W}_i^H \qquad (31)$$
$$\hat{W}_i^M = y_i^M \overline{W}_i^M$$

Donde: $\hat{W}_i^k$ (k = H, M) es el peso total estimado del sexo k en el lance i; y_i^k es el número de peces del sexo k de la muestra de frecuencia de tallas i; y $\overline{W}_i^k$ es el peso promedio del sexo k estimado a partir de la submuestra de 70 peces en el lance i. Luego se estimó la suma del peso total de machos más hembras

$$\hat{y}_i = \hat{W}_i^F + \hat{W}_i^M \qquad (32)$$

Y $\overline{R}_i$ se estimó utilizando el peso total estimado de hembras dividido por $\hat{y}_i$

$$\overline{R}_i = \frac{\hat{W}_i^F}{\hat{y}_i} \qquad (33)$$

La proporción total de hembras en peso fue estimada por:

$$\overline{\overline{R}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \overline{R}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \qquad (34)$$

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

$$\hat{VAR}(\overline{\overline{R}}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i^{\,2} (\overline{R}_i - \overline{\overline{R}})^2}{\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{m_i}{n}\right]^2 n(n-1)} \qquad (35)$$

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

6.6.4 Examen macroscópico de la condición reproductiva

El examen de la condición reproductiva desde un punto de vista macroscópico consideró la determinación las variaciones del índice gonadosomático (IGS) y el análisis de los estados de madurez macroscópicos (EMMa).

a) Indice gonadosomático

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

$$IGS = \frac{G}{W - G} \times 100 \qquad (36)$$

Donde: G representa el peso del ovario y W es el peso total.

b) Estados de madurez macroscopios

En las muestras de frecuencia de tallas, a cada ejemplar se le determinó el sexo a través de la observación directa de las gónadas y las hembras fueron clasificadas en estados de madurez mediante criterios macroscópicos, abordo de las embarcaciones. En su determinación se utilizó la escala de madurez de cinco estados para reproductores parciales (adaptada de Holden & Rait,

1975), los cuales correspondieron a: 1 inmaduro, 2 madurando, 3 maduro, 4 hidratado, y 5 en regeneración (**Tabla 5**).

La medición y el peso de los ejemplares se realizaron abordo de las embarcaciones, mediante ictiómetros y balanzas de contrapeso; en tanto que el peso de las gónadas de las hembras se efectuó con posterioridad en el laboratorio en balanzas digitales (0,001 g) a partir de muestras fijadas en formalina al 10%.

6.6.5 Análisis histológico de la condición reproductiva de jurel en alta mar

La condición reproductiva del jurel en aguas oceánicas se realizará a partir de estados microscópicos de madurez y de la fecundidad parcial. Las muestras de ovarios obtenidas abordo fueron inmediatamente fijadas en formalina al 10% neutralizada con Borax, preparada según la metodología citada por **Hunter (1985)**, **Oliva *et al*., (1989)**, **Rojas y Oliva (1993)**, consistente en 16,2 l de agua destilada, 117 g de fosfato de sodio dibásico (Na_2 H PO^4), 72 g de fosfato de sodio monobásico ($Na\ _2PO^4H_2O$), y 1,8 l solución de formaldehído (37 %).

a) Análisis microscópicos

Las gónadas de las hembras preservadas en formalina fueron procesadas en el laboratorio de histología de la Universidad Católica de la Santísima Concepción y el peso de cada par de ovarios se registró en una balanza con una precisión de 0,001 g. Posteriormente, se hicieron 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 hemateína por oxidación. La hematoxilina-eosina colorante nuclear (aniónico) y colorante citoplasmático (catiónico).

Las condición reproductiva se determinó a través del análisis de la distribución de los estados de madurez microscópicos de los ovarios, aplicando la escala microscópica específica basada en los criterios señalados por **Oliva et al.1982** (**Tabla 6**). La clasificación de los estados de madurez sigue el criterio de una escala de cuatro estadios, y tratándose de una especie desovante parcial,

el estado más avanzado en la gónada determina la clasificación de madurez de cada individuo. En los ovarios 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. También se determinó la presencia de atresia.

Tabla 6. Escala de madurez microscópica.

Estado	Actividad	Descripción
Estado I	Inactivos	Son aquellos ovarios que presentan sólo ovocitos que aún no han comenzado la vitelogénesis.
Estado II	Previtelogénesis	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 presentan folículos postovulatorios ya que son signo evidente de un desove ocurrido en las últimas 24 horas.

6.6.6 Fecundidad parcial

En la determinación de la fecundidad parcial se aplicó el método gravimétrico descrito por **Hunter *et al.* (1985),** el cual se basa en el conteo de los ovocitos hidratados en una porción del ovario como estimador de la fecundidad parcial. Todos los ovarios clasificados como hidratados del muestreo dirigido, asi como los del muestreo aleatorio fueron sometidos a un examen histológico, descartando para estimar la fecundidad a aquellos con indicios de desove (presencia de FPO).

Para el recuento de los ovocitos hidratados, el líquido superficial fue absorbido con papel filtro y luego se obtuvo una submuestra de la mitad más grande del ovario, tomando dos segmentos del tejido: uno del centro y otro de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. En cada una de las dos submuestras de 0,19 a 0,20 g se contabilizaron los huevos bajo microscopio estereoscópico. El promedio del número de ovocitos hidratados de las dos submuestras (**Hunter *et al.* 1985**) fue utilizado para estimar el número total de ovocitos hidratados del ovario mediante la siguiente expresión:

$$\overline{F}_i = \overline{n}\, W_i \qquad (37)$$

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

a) Fecundidad parcial por hembra madura y fecundidad media poblacional

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

$$\overline{\overline{F}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \overline{F}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \qquad (38)$$

Donde: $\overline{\overline{F}}$ es la fecundidad media poblacional, m_i es el número de hembras en el lance i, $\overline{E}_i$ 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 de la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variación adicional:

$$Var(\overline{\overline{F}}) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{(\overline{F}_i - \overline{\overline{F}})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + (w_i^* - w_h^*)s_\beta^2\right]}{\left(\sum_{i=1}^{n}(m_i/n)\right)^2 n} \qquad (39)$$

Donde: $\overline{\overline{F}}$ es el estimado de la fecundidad media poblacional, $\overline{F}_i$ es el promedio de la fecundidad para el lance i, s^2_h es la varianza de la regresión, n_h es el número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión, $\overline{W}_i^*$ es el peso corporal promedio para el lance i, $\overline{W}_h^*$ 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.

6.6.7 Caracterización de los folículos postovulatorios de jurel

La caracterización de los folículos postovulatorios (FPO) se realizó sobre la base del 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 FPO no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, sin embargo, éste se deteriora rápidamente y es reabsorbido. Para usar los FPO 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. Los criterios para clasificar por edad a los FPO se basan en la hora de colecta, hora de desove y en los diferentes estadios de degeneración por los que ellos atraviesan, la definición de éstos se llevó a cabo sobre la base de criterios discretos de las características citológicas y morfohistológicas del folículo (tamaño, forma aparente, aspectos de las células de la granulosa y del lúmen).

En la clasificación por edades de los FPO se utilizaron los criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Goldberg (1980) para *Engraulis mordax* y por Macewicz y Hunter (1993) para *Trachurus symmetricus*, asumiendo que dichos criterios y cambios estructurales son similares a los que experimentan los FPO de jurel (**Tabla 7**).

Tabla 7. Clases de folículos postovulatorios con sus respectivas características

EDAD	APARIENCIA HISTOLÓGICA DEL FPO
FPO nuevos de día 0 (< 24 h)	Folículos postovulatorios nuevos que no muestran signos de degeneración. Estructura de forma irregular formada por una columna epitelial bien organizada con numerosas involuciones. Adyacente a las células foliculares se ubica la lámina de células tecales conectivas que pueden verse como una capa prominente. El lúmen es amplio e irregular.
FPO de día 1 (24 h < FPO 48 h)	Folículos postovulatorios en regresión, mostrando signos de degeneración. Son más pequeños que los folículos postovulatorios nuevos, por contracción sobre sí mismo. Presencia de células foliculares con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico, cuyas paredes no son claramente distinguibles. La disposición lineal de las células se mantiene. La lámina tecal se destaca claramente. El lúmen es estrecho e irregular.
FPO de día 2 (> 48 h)	Folículos postovulatorios con marcada degeneración celular. De menor tamaño que el folículo postovulatorio de día 1. Epitelio folicular desorganizado, que pierde la disposición lineal de sus células, las cuales se presentan en avanzado estado degenerativo, de forma irregular, con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico. Lámina tecal desarrollada. El lúmen está ocluido.

6.6.8 Fracción de hembras maduras desovantes

La fracción diaria de hembras desovantes se determinó a partir de las ecuaciones de **Santander *et al.* (1984).** Cuando el muestreo de hembras hidratadas o de hembras con FPO de día 1 ó de día 2 no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes en el lance i puede ser estimado por:

$$S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} o \frac{m_{1,i}}{m_i} o \frac{m_{2,i}}{m_i} \qquad (40)$$

Donde:

$$m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i} \qquad (41)$$

Y, cada uno de los términos corresponden a:

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

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

m_{2i} = Número de hembras de día 2 en el lance i.

m_{ai} = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con FPO con una edad menor de 9 horas, FPO nuevos)

m_i = Número de hembras maduras en el lance i.

S_i = Fracción desovante en el lance i.

Debido a que los lances de pesca que se realizan con red de cerco pueden sesgar el número de hembras hidratadas (**Alheit, 1985**), es necesario realizar una corrección. El número de hembras hidratadas (m_{hi}), se asume que puede ser representada por:

$$m_{h,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} \qquad (42)$$

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

$$S_{1,i} = \frac{m_{1,i}}{\frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{1,i}}{m_{y,i}} \qquad (43)$$

y la fracción desovante de hembras de día 2 es:

$$S_{2,i} = \frac{m_{2,i}}{\frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{2,i}}{m_{y,i}} \qquad (44)$$

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

$$m_{y,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i} \qquad (45)$$

Finalmente, la estimación de la fracción de hembras desovantes diarias para el lance i se realizó promediando las ecuaciones (43) y (44), mediante la siguiente expresión:

$$\overline{S}_i = \frac{S_{1,i} + S_{2,i}}{2} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2\sum \left[\frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i} \right]} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2\sum m_{y,i}} \qquad (46)$$

La fracción de hembras desovantes promedio se estimó según:

$$\overline{\overline{S}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \overline{S}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \qquad (47)$$

Con varianza igual a:

$$Var(\overline{\overline{S}}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left(\frac{m_{y,i}}{\overline{m}} \right)^2 (\overline{S}_i - \overline{\overline{S}})^2 \qquad (48)$$

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

$$\overline{m} = \sum \frac{m_{y,i}}{n} \qquad (49)$$

6.6.9 Determinación de la talla de primera madurez sexual

La estimación de la talla de primera madurez sexual, se realiza mediante la asignación de individuos maduros e inmaduros considerando los estados de madurez diagnosticados en forma microscópica de las gónadas. De esta forma se incluye como maduro a todos aquellos ejemplares con ovarios que presenten ovocitos en maduración o con algún grado de formación de vitelo. En la estimación se aplicara el criterio de L_{50}, que corresponde a la longitud donde el 50% de las hembras se encuentran maduras, para lo cual se utiliza el ajuste mediante la Función Logística.

La expresión que describe la curva de madurez según la función logística es:

$$P_{(l)} = \frac{1}{1 + e^{(\beta_1 + \beta_2 * l)}} \qquad (50)$$

Donde:

P *(l)*= proporción de individuos maduros a la longitud "*l*"

β_1 y β_2= coeficientes de posición de la función logística (constantes)

Posteriormente el cálculo de la talla de la primera madurez deriva de la siguiente expresión que representa la talla a una proporción de madurez dada:

$$l_p = \frac{1}{\beta_2}\ln\left(\frac{1}{P} - 1\right) - \frac{\beta_1}{\beta_2} \qquad (51)$$

Donde: los parámetros β_1, β_2 fueron definidos previamente, P corresponde a la proporción de madurez y l_p representa la longitud a una proporción de madurez dada (**Hosmer & Lemeshow, 1989**). Con la expresión anterior es posible determinar la talla de primera madurez sexual utilizando para ello el criterio $L_{50\%}$, asumiendo entonces que P = 0,5, por lo que la expresión anterior se simplifica y queda reducida a:

$$l_{50\%} = -\frac{\beta_1}{\beta_2} \qquad (52)$$

Finalmente, el intervalo de confianza asintótico es obtenido utilizando el método "Bootstrap percentil", a través de la técnica de simulación Monte Carlo incluida en el algoritmo MATSIM (**Roa *et al. fide* Roa & Tapia, 1998**).

6.6.10 Experimentos a bordo de jurel para datar Folículos Postovulatorios FPO

Datación de los Folículos Postovulatorios (FPO)

Producto de recomendaciones de talleres de discusión de resultados (FIP 2004-33, FIP 2005-11), se generó la necesidad de crear una escala de escala de estadíos foliculares y una posterior asignación de edades, mediante un procedimiento similar al desarrollado para el modelo de datación de huevos. Para ello, es necesaria la mantención en cautiverio de ejemplares adultos de jurel, a los cuales se les seguiría el desarrollo de los FPO por el transcurso de al menos 3 días, a temperatura controlada.

Para determinar el tiempo de desarrollo de folículos Post-Ovolutarios (FPO), se realizaron experiencias de mantención de ejemplares vivos, a bordo del PAM Malleco, actividad que fue

llevada a cabo durante el desarrollo de la búsqueda de focos de abundancia de huevos y larvas de jurel (muestreo adaptativo).

Colecta de ejemplares

Para lograr resultados óptimos, es necesario obtener lances de pesca positivos con una captura mayor a una tonelada, esto, para asegurar un número mínimo de 600 ejemplares para el traslado a las bodegas de la nave, las que fueron previamente preparadas para esta experiencia.

Previo a la colecta, se diseñó y construyó 4 estructuras rectangulares de acero galvanizado de 1, 2 x 1 x 4 m, estructura que fue revestida con red anchovetera, a modo de jaula, e instaladas dentro de las bodegas de pesca previamente seleccionadas para el experimento (**Figura 7**). La mantención de la temperatura (ambiente) en la bodega se realizó mediante el rebalse y llenado de la bodega, proceso que se llevó a cabo con la ayuda del jefe de máquina de la embarcación. Durante esta experiencia, la temperatura no fue controlada con los equipos de la nave, producto que el mantener una temperatura ideal y constante dentro de las bodegas hacía que se incurriera en gastos de petróleo extras que imposibilitarían el término satisfactorio de otros objetivos del proyecto.

Figura 7. Preparación de las bodegas de la nave para la mantención de ejemplares vivos

Mantención de los ejemplares

El traslado de los peces desde la red de pesca a las bodegas se realizó con dos alternativas. Con baldes desde cubierta y con utilización de una bomba centrífuga o "Yoma" del barco, resultando la primera opción más eficiente, provocando un menor estrés y menor mortalidad en las primeras horas de la captura (**Figura 8**).

Obtenidos los ejemplares, se registraron los datos del lance de pesca, con especial énfasis en la hora de colecta y la temperatura superficial de mar.

Según la justificación y el marco teórico antes descrito, se programó que estas actividades durasen alrededor de 3 días, para lo cual se obtuvieron submuestras de 20 ejemplares en promedio, cada un intervalo de 4 horas. Sin embargo, cabe señalar que los lances de pesca no

fueron lo suficientemente exitosos y el número ejemplares capturados sólo alcanzó para que el experimento durase 2 días.

Con cada submuestra obtenida, se realizó un muestro biológico completo registrando en la planilla de muestreo, la fecha y hora de colecta, y la temperatura de la bodega, verificando el sexo, evitando dañar las gónadas (en especial de las hembras), longitud horquilla, peso total y eviscerado.

Las gónadas de las hembras en la muestra se preservaron en formalina bajo el esquema de procedimientos de fijación y preservación de material gonádico para el análisis histológico.

Figura 8. Mantención de los ejemplares vivos de jurel en las jaulas.

Lamentablemente, los cortes histológicos de las hembras muestreadas, no presentaron folículos postovulatorios, lo cual impidió realizar una caracterización de los mismos y su posterior datación. Se sugiere repetir esta experiencia con un previo período de aclimatación de los ejemplares para evitar el estrés de los ejemplares y a la vez evitar altas tasas de mortalidad.

6.7 ALIMENTACION

Las muestras de estómagos fueron obtenidas de lances efectivos de pesca realizados en el área de estudio. De cada lance se separaron como máximo 100 ejemplares (50 machos y 50 hembras), a los cuales se les midió el peso y la longitud de horquilla (LH), con el número y posición del lance respectivo. Los estómagos extraídos de estos individuos fueron debidamente etiquetados y congelados, o en su defecto fijado en formalina comercial al 10% neutralizada con Borax para su posterior análisis en laboratorio.

Se realizaron un total de 57 lances de pesca de los cuales 32 fueron positivos y se consideraron para desarrollo de este objetivo. La distribución espacial de esos lances, se presenta en la **Figura 9**.

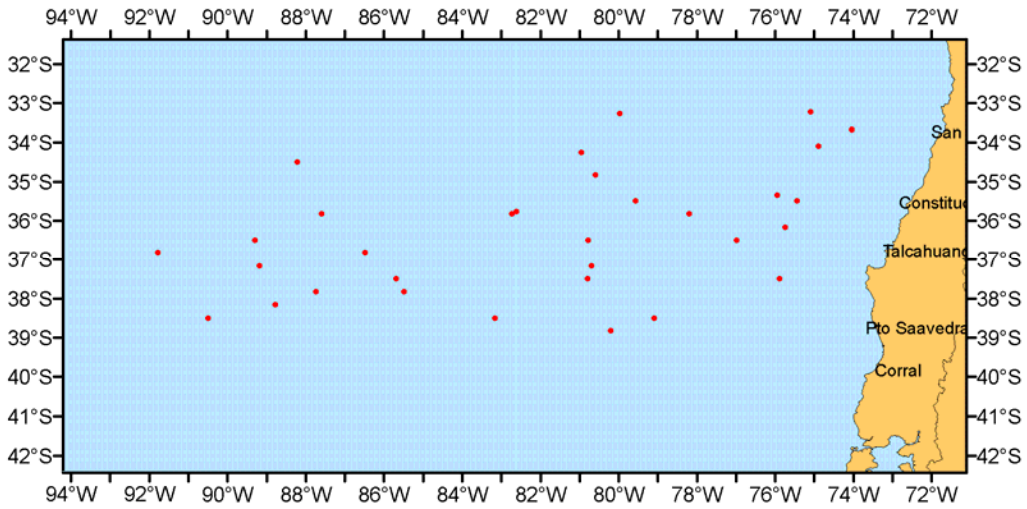


Figura 9. Distribución espacial de lances efectivos de pesca utilizados para la caracterización de los ítems alimentarios de jurel.

El número total de estómagos obtenido y la información relativa a cada lance de pesca se presenta en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Bitácora de pesca indicando nombre de la embarcación, número de lance, latitud, longitud, hora, número de estómagos extraídos y porcentaje de estómagos con contenido.

Barco	Nº Lance	DD	MM	AA	Posición		Hora	Muestra (Número)	Estómagos (%) c/contenido
					Latitud	Longitud			
Allipen I	1	16	11	2006	3550	7811	12:15	115	31,3
Allipen I	2	17	11	2006	3550	8243	11:40	25	76,0
Allipen I	3	18	11	2006	3550	8735	12:15	63	58,7
Allipen I	6	22	11	2006	3610	7543	20:30	30	76,7
Don Boris	1	15	11	2006	3340	7401	18:00	98	21,4
Don Telesforo	1	15	11	2006	3406	7452	20:40	50	0,0
Don Telesforo	5	22	11	2006	3530	7933	21:31	102	52,9
Don Telesforo	6	23	11	2006	3530	7525	19:51	50	0,0
Gardar	1	16	11	2006	3831	7905	21:09	2	0,0
Gardar	2	17	11	2006	3831	8309	22:03	22	90,9
Gardar	4	19	11	2006	3831	9029	23:30	110	77,3
Gardar	5	21	11	2006	3710	8910	7:10	55	72,7
Gardar	8	23	11	2006	3710	8040	7:00	9	100,0
Gualpen	3	17	11	2006	3750	8528	19:30	6	83,3
Gualpen	4	18	11	2006	3750	8743	19:49	10	50,0
Gualpen	5	20	11	2006	3630	8917	20:30	94	43,6
Gualpen	7	22	11	2006	3630	8046	18:31	1	100,0
Gualpen	8	23	11	2006	3630	7658	17:40	100	57,0
Mack	1	16	11	2006	3850	8011	18:35	10	100,0
Mack	3	20	11	2006	3730	8540	19:32	46	56,5
Mack	4	21	11	2006	3730	8047	19:39	54	77,8
Mack	5	22	11	2006	3730	7552	20:00	46	93,5
Malleco	1	17	11	2006	3521	7555	10:53	80	81,3
Malleco	2	18	11	2006	3316	7957	18:23	50	100,0
Malleco	3	23	11	2006	3546	8236	18:09	75	41,3
Malleco	4	24	11	2006	3415	8056	20:35	121	52,9
Matías	5	20	11	2006	3430	8812	21:44	60	40,0
Ranquilhue	1	15	11	2006	3314	7504	18:10	140	20,7
Ranquilhue	6	22	11	2006	3450	8035	20:54	97	75,3
Toyita	3	18	11	2006	3810	8846	8:49	100	49,0
Toyita	4	19	11	2006	3650	9146	9:45	100	39,0
Toyita	5	20	11	2006	3650	8628	10:06	100	19,0
Total	32							2021	50,3

El análisis e identificación del contenido estomacal de la especie objetivo se realizó considerando el nivel taxonómico más bajo posible, dependiendo del grado de digestión de los recursos alimentarios, utilizando para ello un estereoscopio marca Zeis de amplificación 10x. El bolo alimenticio fue analizado utilizando los métodos gravimétricos, numérico y de frecuencia de ocurrencia. (**Hynes, 1950**). Aquellos ítems con un alto grado de digestión que imposibilitaron su identificación, se agruparon en categorías más amplias (restos de crustáceos, teleósteos en el caso de los peces y restos de cefalópodos).

El análisis e identificación de los recursos alimentarios, se realizó por conglomerados clasificados arbitrariamente en seis grupos de tamaño que representan la totalidad de los ejemplares capturados. (**Tabla 9**).

Tabla 9. Grupos de tamaños de *T. s. murphyi* definidos cada 5 cm (LH cm).

Grupo	Longitud Horquilla (cm)	
	Desde	Hasta
I	<30	30
II	31	35
III	36	40
IV	41	45
V	46	50
VI	51	>51

a) Índice de Importancia Relativa

La importancia de cada ítem presa fue determinada mediante el Índice de Importancia Relativa (**Pinkas *et al*. 1971, modificado, *FIDE* Hyslop 1980**), donde relaciona el número (N), la frecuencia de ocurrencia (F) y el peso (P) del ítem presa i, todos expresados en porcentaje, según la siguiente expresión:

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

b) Similitud Trófica

La similitud trófica en los estómagos fue determinada mediante el cálculo de similitud de Czekanowski, o Bray-Curtis, también conocido como índice de similitud porcentual (**Bloom, 1981**). El análisis de similitud trófica consideró componentes entre grupos de tamaños y resultados de cruceros anteriores.

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

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

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

6.8 CARACTERIZACION ESPACIAL DE LAS AGREGACIONES DE JUREL

El estudio se desarrolló entre el 14 y 26 de noviembre del 2006, realizando en el crucero de investigación una prospección acústica, pesca de identificación, caracterización ambiental (temperatura superficial y perfiles térmicos), estaciones de plancton verticales estratificada y muestreo de tallas de jurel.

6.8.1 Ecoprospección

La zona de estudio se extendió en sentido latitudinal desde los 32° 50´ S (Valparaíso) hasta los 38° 50´ S (sur de Pto. Lebu), en sentido longitudinal desde los 74° 00**'** W hasta los 92° 00' W (1.000 mn promedio) (**Figura 10**). La superficie muestreada en el estudio fue de aproximadamente 242.380 mn^2.

La zona fue explorada por 9 embarcaciones de empresas pesqueras que habitualmente operan en la pesquería del jurel centro-sur (**Tabla 9**). La ecoprospección consideró la realización de 18 transectos perpendiculares a la costa y paralelos entre sí, con una separación de 25 mn entre las latitudes 32° 50,0' S a 34° 30,0' S y 20 mn entre las latitudes 34° 30,1' a 38° 50,0' S **(Tabla 10)**. Cada embarcación ejecutó dos transectos a una velocidad de 12 nudos, recorriendo una distancia aproximada de 14.491,28 millas lineales (**Figura 10**).

Tabla 10. Embarcación, armador y transectas programadas para la zona de estudio, noviembre 2006.

Embarcación	Armador	Transectas
Matías	Pesquera Bahía Coronel	1 (32° 50' LS) y 5 (34° 30' LS)
Ranquilhue	Pesquera Alimentos Marinos S.A.	2 (33° 15' LS) y 6 (34° 50' LS)
Don Boris	Sociedad Pesquera Landes S.A.	3 (33° 40' LS) y 7 (35° 10' LS)
Don Telésforo	Pesquera San Jose S.A.	4 (34° 05' LS) y 8 (35° 30' LS)
Allipén I	Pesquera Itata S.A.	9 (35° 50' LS) y 10 (36° 10' LS)
Gualpén	Southpacific Korp S.A.	11 (36° 30' LS) y 15 (37° 50' LS)
Toyita	Pesquera Bahía Coronel S.A.	12 (36° 50' LS) y 16 (38° 10' LS)
Gardar	Pesquera Bío Bío S.A.	13 (37° 10' LS) y 17 (38° 30' LS)
Mack	Pesquera El Golfo S.A.	14 (37° 30' LS) y 18 (38° 50' LS)

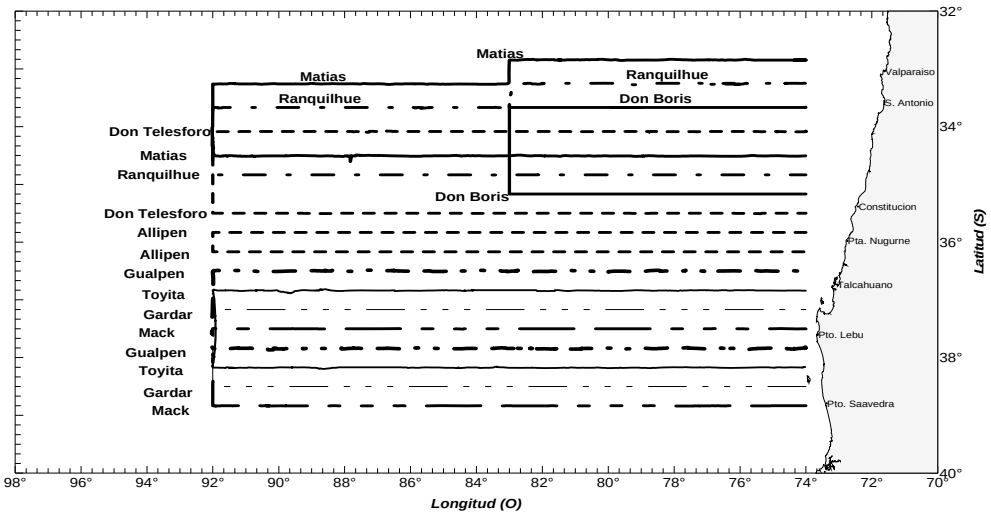


Figura 10. Distribución de las transectas por embarcación en la zona de estudio, noviembre 2006.

El diseño original de transectas fue modificado debido a una falla presentada en la embarcación Don Boris, la cual sólo le permitió cubrir las primeras 500 millas de las transectas comprometidas (transecta 3 y 7). Lo anterior hizo necesario una redistribución en el plan de muestreo, cubriendo las embarcaciones vecinas (PAM Matias y PAM Ranquilhue) el sector no prospectado por la embarcación Don Boris (**Figura 10).**

La ecoprospección se efectuó con los equipos acústicos (ecosonda y sonar) de las embarcaciones, se registró la información del ecosonda, la observación de este equipo fue continua la que para efecto de análisis se discretizó en unidades básicas de muestreo (ubm) de 6 minutos. Se aplicó el diseño de prospección propuesto por **Barbieri *et al*., (1998)**, que considera los procedimientos de diseño del crucero y análisis propuesto por el ICES **(Simmonds *et al*., 1991; MacLennan y Simmonds, 1992).**

6.8.2 Ecosonda

Para cada ecotrazo registrado, se determinó su posición (latitud y longitud) y profundidad superior e inferior, clasificándose las agregaciones por tipo y niveles de abundancia:

i) **Tipos de ecotrazos**: cardúmen, estrato, disperso e individual (**Figura 11**) y

ii) **Niveles de abundancia**, los que se clasificaron en:

- **Baja**: cuando los niveles de captura esperados (NCE) eran inferiores a 20 toneladas.
- **Media**: cuando los NCE eran de 21 a 200 t y
- **Alta**: cuando los NCE eran superiores a 200 toneladas.

TIPOS DE ECOTRAZOS DE JUREL

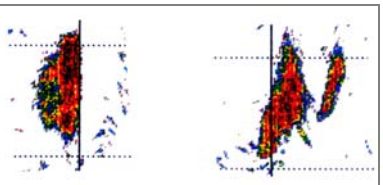
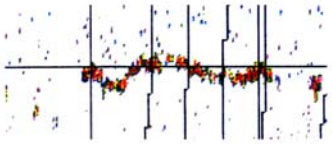
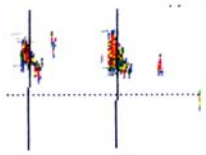
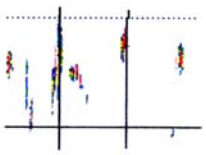
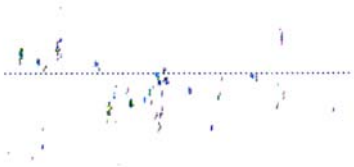
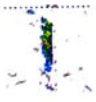
1) Cardumen	
2) Estrato denso	
3) Estrato medio	
4) Estrato disperso	
5) Disperso	
6) Individual	

Figura 11. Tipos de Ecotrazos de jurel.

6.8.3 Sonar

Par el caso del sonar, los registros detectados se clasificaron en niveles de abundancia (alta, media y baja), considerando los mismos rangos utilizados para el ecosonda. El sonar fue operado con los siguientes controles: ángulo de barrido 360°, rango de búsqueda 1.500 m, ángulo de incidencia 3° (tilt), ganancia (TVG) intermedia.

6.8.4 Distribución espacial de las agregaciones de jurel

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

A modo de facilitar el análisis de los resultados la zona de estudio se dividió en cuatro sectores (**Tabla 11**).

Tabla 11. Macrozonas consideradas en el estudio, noviembre 2006.

Macrozonas	Limite Longitudinal	Limite Latitudinal
Norte – Costero	74°00′ W – 84°00′ W	32°50′ S -36°00′ S
Norte - Oceánico	84°01′ W -92°00′ W	32°50′ S -36°00′ S
Sur – Costero	74°00′ W – 84°00′ W	36°01′ S -38°50′ S
Sur - Oceánico	84°01′ W -92°00′ W	36°01′ S -38°50′ S

Las prospecciones en el periodo de estudio entre 1997 y 2006 han tenido distintos diseños y estos se pueden dividir en dos etapas, una que considera los cruceros de los años 1997 y 1998, en la que se efectuaron transectas tipo zig-zag y la segunda entre1999 y 2005 en que se realizaron transectas perpendiculares a la costa. Como la superficie prospectada entre cruceros difiere en ubicación y tamaño, es necesario estandarizar los resultados estimando índices como el índice de cobertura (IC) (**Castillo y Robotham 2004**), el índice de presencia de ecotrazos (IPE) y el número de cluster por milla náutica lineal.

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

A partir de la información obtenida con el ecosonda y sonar en la ecoprospección del área de estudio, se determinó el índice de cobertura (IC), que representa la cantidad de UBM positivas registradas en una unidad de distancia recorrida:

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

donde:

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

También se estimó el IC por macrozona, tipo de agregación, tipo de abundancia y periodo del día de acuerdo a la siguiente formulación:

$$IC\ (\%) = \frac{\sum_{n=1}^{Ni} UBM_{h,a,p,m}^{+}}{\sum_{n=1}^{N} UBM} \times 100$$

Donde:

h = corresponde al tipo de agregación (cardumen, estrato, disperso e individual).
a = corresponde al nivel de abundancia de la agregación (baja, media y alta).
p = periodos del día (orto, día, crepúsculo y noche).
m = Macrozona

El índice de cobertura (IC) es empleado como un indicador del uso del espacio por parte del jurel **(Córdova *et al.*, 1997; 1998; 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; Barbieri *et al.*, 1998)**, así como también sido utilizado en las pescas de Investigación " Determinación de la distribución espacial de jurel entre la V y y X Regiones, entre los años 2003 y 2006" **(Barbieri *et al*, 2003, Barbieri *et al*,**

2004, Barbieri *et al*, 2005, , Bahamonde *et al*, 2006), estudios que son utilizados para fijar anualmente el área de investigación para el crucero de evaluación hidroacústica de jurel.

Para permitir la comparación del IC en los distintos periodos del día se calculó el $IC_{est,}$ que se obtiene de los pesos alcanzados en la sumatoria de las frecuencias de las agregaciones en el ciclo de 24 horas, de esta forma la contribución acumulada de las agregaciones en cada periodo del día se pondera a una hora del ciclo convirtiéndose en un ponderador estandarizado del IC por periodo del día.

$$P = \frac{\sum UBM^{+} / UBM}{H} * 100$$

Donde:

P = Ponderador

UBM^{+} = Numero de unidades básicas con ecotrazos de jurel observados en las horas correspondientes a cada periodo del día.

UBM = Número total de unidades con ecotrazos de jurel.

H = Número de horas por período.

Luego se calcula el IC_{est} que corresponde:

$$ICest = (P) * \text{IC}$$

b) Índice de cobertura de huevos (ICH)

También se estimó el ICH por macrozona, de acuerdo a la siguiente formulación:

$$ICH\ (\%) = \frac{\sum_{n=1}^{Ni} EST_m^{+}}{\sum_{n=1}^{N} EST} \times 100$$

Donde:

ICH = índice de cobertura de huevos.

EST^{+} = número de estaciones con presencia de huevos de jurel.

EST = número total de estaciones.

M = macrozona

c) Índice de presencia de ecotrazos (IPE)

Este índice (IPE) corresponde al número de agregaciones presentes por 100 milla náutica lineal. En cada transecta se determinó la posición de los ecotrazos y cada transecta se discretizó con un paso de retardo de una milla náutica. Los ecotrazos se agruparon en clusters considerando el número de cardúmenes observados por unidad de distancia.

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

6.8.5 Morfología de las agregaciones y distribución batimétrica

a) Altura y profundidad de las agregaciones

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

$$A = Z_{\text{inf}} - Z_{\text{sup}}$$

La altura promedio de las agregaciones en el crucero por tipo (*j*) de ecotrazo (*et*) estaba dada por:

$$A_{prom_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} A_{ji}}{\sum_{i=1}^{n_i} et_{ji}}$$

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

$$A = ((Z_{\text{inf}} + Z_{\text{sup}}) / 2) + C$$

donde:

Z_{sup} = profundidad superior del ecotrazo en m.
Z_{inf} = profundidad inferior del ecotrazo en m.
C = calado medio de la embarcación en m.

b) Distribución batimétrica de las agregaciones

La distribución batimétrica y temporal del jurel se describe para los tipos de ecotrazos (cardúmenes, estratos, disperso e individual) y niveles de abundancia (alta, media y baja) considerando la posición batimétrica de los ecotrazos en un ciclo de 24 horas. Este ciclo comprende cuatro periodos: orto (5:48 a 7:48 hr), día (7:48 a 19:57 hr), crepúsculo (19:57 a 21:59 hr) y noche (21:59 a 5:48 hr), para realizar la subdivisión se tomó la latitud media y la fecha media de la prospección, se empleó la tabla solunar publicada por (www.basslucio.com). Para comparar los IC durante el ciclo nictemeral se estandarizó a 1 hora, lo que permite hacer comparable los diferentes periodos.

6.8.6 Análisis multitemporal de la distribución de los ecotrazos de jurel y huevos.

Se comparan diez cruceros que se realizaron a fines de primavera, entre los años 1997 y 2006, entregándose las principales características de estos en la **Tabla 12**.

Tabla 12.Principales características de los cruceros realizados a fines de primavera entre los años 1997 y 2006

Crucero	**Latitud (Sur)**	**Longitud (Oeste)**	**Area Total mn²**	**Millas Náuticas lineales**	**Nº de Barcos**	**Tipo de muestreo**	**Distancia entre transectas**
Nov. 1997	36º 00' – 40º 00'	74º 54' – 84º 07'	108.078	4.299	4	Zig Zag	30 mn
Dic. 1998	33º 00' – 39º 00'	75º 00' – 86º 00'	231.340	4.947	5	Zig Zag	75 mn
Dic. 1999	35º 06' – 38º 24'	74º 00' – 86º 00'	114.917	6.401	6	Cajón	18 mn
Nov. 2000	32º 06' – 37º 48'	75º 00' – 92º 00'	306.327	16.134	10	Cajón	18 mn
Nov. 2001	32º 05' – 37°50'	75º 00' - 92º 00'	288.406	14.405	9	Cajón	18 mn
Nov. 2003	33°00'–38°00'	75º 00' - 92º 00	240.000	12.714	8	Cajón	18 mn
Nov. 2004	31°40'– 38°00'	75º 00' - 92º 00	317.340	16.705	10	Cajón	18 mn
Nov. 2005	31°40'– 38°40'	75º 00' - 92º 00	266.746	14.032	9	Cajón	20 mn
Nov. 2006	32°50'– 38°50'	75º 00' - 92º 00	242.380	14.491	9	Cajón	20-25 mn

Con el fin de realizar el análisis multitemporal, para cada crucero se consideraran los siguientes parámetros:

- Superficie explorada en mn^2
- Índice de cobertura (IC) por tipos de ecotrazos (cardumen, estrato, disperso e individual).
- Índice de cobertura por niveles de abundancia de los ecotrazos (baja, media y alta).
- Morfología (profundidad y altura) de las agregaciones de jurel
- Índice de presencia de ecotrazos (IPE).
- Centro de gravedad de la distribución.

Para el caso de los huevos de jurel, se definieron tres estratos de densidad; <1 ind/10m^2 (densidad baja), 1 – 499 ind/10m^2 (densidad media) y ≥500 ind/10m^2. (densidad alta). Para cada estrato de densidad de huevos (por crucero) se estimó el IC por tipo de ecotrazo (cardumen, estrato, disperso e individual), por niveles de abundancia de los ecotrazos (baja, media y alta), profundidad y altura de los ecotrazos e IPE.

Con fines de la comparación se emplearon además los siguientes índices:

- Índice sintético del área de presencia de huevos

Como un índice sintético del área de presencia de huevos se estimó. el índice de áreas (*IA*):

$$IA = \frac{SAH}{ST} * 100$$

Donde:

SAH: superficie en mn^2 del área ocupada por estratos de alta densidad de huevos

ST : superficie en mn^2 del área de distribución de jurel.

- Índice de agregación

Se estimó el grado de agregación del jurel y los huevos, mediante la determinación del índice de Gini a partir de la aplicación de la curva de Lorenz. Esta se construye representando en el eje de las abscisas el porcentaje acumulado del área, mientras que en el eje de las ordenadas el porcentaje acumulado de los niveles de abundancia del jurel o de los huevos. Si los organismos están homogéneamente distribuidos, la curva de Lorenz correspondería a la función identidad, pero si están concentrados la curva tiende hacia abajo y hacia la derecha. El Índice de Gini o índice de concentración, se estima como dos veces el área comprendida entre la función identidad y la curva de Lorenz (**Myers and Cadigan, 1995**). Su formulación es:

$$Gini = \sum_{i=1}^{N} 2(x_i - y_i)\Delta x_i$$

Donde.

X_i : 1/N

Y_i : Porcentaje acumulado del área

ΔX_i : $X_i - X_{i-1}$

6.8.7 Análisis de estructura espacial de jurel y huevos

Para estimar el tamaño de la estructura espacial del jurel se emplea el enfoque geoestadístico (**Rivoirard *et al;* 2000**), se estima el semivariograma que entrega una descripción detallada del modelo espacial global, que establece la correlación como una función de la distancia midiendo desigualdad promedio entre los datos de los puntos de muestreo separados por la distancia del vector (*h).* Se estima como la mitad de la diferencia media entre los componentes de cada par de datos,

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} \left[z(x_i) - z(x_i + h) \right]^2$$

donde x_i = ubicación del dato, h = vector "lag", z(x) = valor del dato en la ubicación x_i, N = número de pares de datos a la distancia h y $z(x_i)-z(x_i+h)$ = se denomina el incremento-h de la variable z.

La estructura básica del semivariograma es el lag (la distancia del intervalo de clase o tamaño de la ubm), la meseta o "sill" (corresponde al rango y refleja la máxima varianza de la data), el rango (distancia hasta la que los valores están correlacionados espacialmente) y la pepita o "nugget" (representa la magnitud de la variación al azar dentro de los datos a la distancia de 0, esta es debida a error de muestreo o error en variabilidad a pequeña escala) (**Isaaks & Srivastra, 1989**). En el proceso de cálculo se consideraran varios aspectos: detección de anisotropía y dirección de la estimación.

El semivariograma permite obtener un modelo de ajuste teórico apropiado con propiedades matemáticas conocidas, el cual se empleará para interpolar las cartas de distribución del jurel y huevos, considerando indicaciones acerca del patrón de distribución del jurel a gran escala.

Modelo esférico:

$$\gamma(h,\theta)=\begin{cases}0, & |h|=0\\ c_0+c\{(3/2)(|h|/a)-(1/2)(|h|/a)^3 & 0<|h|\le a\,\theta\\ c_0+c & |h|>a\end{cases}$$

Modelo exponencial:

$$\gamma(h,\theta)=\begin{cases}0, & h=0\\ c_0+c\{1-\exp(-h/a)\}, & h\neq 0\end{cases}$$

Modelo gaussiano:

$$\gamma(h,\theta)=\begin{cases}0, & h=0\\ c_0+c\left\{1-\exp\left(-|h|^2/a^2\right)\right\}, & h\neq 0\end{cases}$$

Donde, c_0 corresponde a la variabilidad de microescala, *c* representan la varianza estructural de los respectivos modelos de variogramas y *a* los rangos o distancias hasta la cual los datos presentan correlación.

El ajuste del variograma experimental a un modelo teórico, se efectuará de acuerdo a 3 criterios:

RSS (suma de cuadrados residuales) proporcionado por el software GS^+, entrega una medida del ajuste del modelo a los datos, el menor valor de este criterio, reduce la suma de los cuadrados entregando el mejor ajuste.

WSS (suma de cuadrados ponderados) se obtiene de acuerdo a la propuesta de Cressie (1985) y (Ribeiro and Diggle, 2006), mediante el método de los mínimos cuadrados minimizando la función:

$$WSS=\sum_h w(h)\left[\frac{\gamma(h)-y^*(h)}{y^*(h)}\right]^2$$

Donde w(h) es el numero de pares utilizados en el cálculo del semivariograma, $\gamma(h)$ es el semivariograma experimental y $\gamma^*(h)$ es el modelo ajustado

Gof (bondad del ajuste) recomendado por Fernandes and Rivoirard, 1999 (**Rivoirard et al, 2000**):

$$Gof = \frac{\sum_h w(h)[\gamma(h) - \gamma^*(h)]^2}{\sum_h w(h)[\gamma(h)]^2}$$

Donde w(h) es el número de pares utilizados en el cálculo del semivariograma, $\gamma(h)$ es el variograma experimental y $\gamma^*(h)$ es el modelo ajustado. La cercanía del índice Gof a 0, indica un mejor ajuste.

a. Asociaciones entre el nivel de abundancia de los ecotrazos de jurel, profundidad de las agregaciones , densidad de huevos y TSM

Para medir la co-variabilidad espacial entre dos variables se utiliza la función de semivariogramas cruzados. Relacionando la profundidad registrada de la agregación con la abundancia de jurel y la temperatura superficial del mar (TSM), variable que representara la condición oceanográfica, con la densidad de huevos estimando los semivariogramas cruzados como diferencia entre los incrementos de $z_\alpha(x_i)$ - $z_\beta(x_i + h)$.

$$\gamma_{\alpha\beta}^{p}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} \left[z_\alpha(x_i) - z_\alpha(x_i + h) \right] \times \left[z_\beta(x_i) - z_\beta(x_i + h) \right]$$

Donde z_α y z_β son los valores de variables jurel y TSM en el punto de muestreo. La meseta del semivariograma experimental cruzado reflejará la magnitud de la correlación entre las dos variables y el rango mostrará la dependencia espacial cruzada a pequeña y gran escala.

b. Análisis de correlación espacial

Para comparar y medir el efecto de la estructuración espacial se calculan dos índices que permiten describir la correlación espacial.

Índice de dependencia espacial (**Rivoirard *et al*, 2000**).

Spd=(1-Co/(Co+C))*100

A mayor valor de este índice (rango 0-100), indica una mayor dependencia espacial.

Dimensión fractal (**Dubois *et al*, 2002**).

Se aplicó la propuesta basada en la dimensión fractal D del estadístico Haussdorff-Besicovich de correlación espacial estimado de la pendiente de la relación log-log del semivariograma.

$$\mathbf{D} = 2 - 1/2 * (\log(\text{semivarianza}) / \log(\text{distancia}))$$

D varía entre 1 (fuerte correlación espacial con pendiente igual a 2) y 2 (sin correlación espacial, con pendiente igual a 0)

6.9 ESTIMACION DE LA BIOMASA DESOVANTE DE JUREL

Se aplicó el modelo desarrollado por **Stauffer y Picquelle (1980)** para la estimación de la biomasa desovante:

$$B = \frac{P_0 A \times k \times W}{R \times F \times S}$$

donde:

B = Biomasa Desovante (toneladas)

P_0 = Producción diaria de huevos (huevos×m^{-2} ×d^{-1})

W = Peso promedio de hembras maduras (g)

R = Proporción en peso de hembras maduras

F = Fecundidad media poblacional, número de huevos por hembra madura

S = Fracción de hembras maduras desovantes por día

A = Area de desove (en m^2);

k = Factor de conversión de gramos a toneladas.

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

$$E[B] = \hat{B} + b$$

donde E[B] es el valor esperado de la biomasa y $\hat{B}$ es el estimado de la Ec. (1). El sesgo puede estimarse aproximadamente de la siguiente forma:

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

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

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

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

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

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

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

donde X representa estimaciones de los parámetros de adultos, los subíndices i y j representan diferentes parámetros de adultos; e.g. $X_i = F$ y $X_j = W$. El signo de cualquiera de los dos términos es positivo si ambos están en el numerador o denominador de la ecuación, en caso contrario es negativo.

6.10 COMPOSICION POR EDADES DE LA BIOMASA DESOVANTE

El desarrollo metodológico de este estudio se basa principalmente en el trabajo desarrollado por **Uriarte (2001)**, que se detalla a continuación:

6.10.1 Muestreo

De acuerdo con **Uriarte (2001)**, el muestreo de ejemplares adultos es un requisito básico para convertir los estimados de producción de huevos en biomasa para sus respectivas edades. El muestreo es bietápico correspondiendo los otolitos a una submuestra del muestreo biológico de adultos. Además de la extracción de los otolitos saculares de machos y hembras para cada pez se registró la longitud de horquilla (cm) y peso total (g) y estado de madurez sexual.

Las frecuencias de longitud analizadas para el estudio de edad corresponden a lances correspondientes a 10 barcos, sin embargo, dado que muchos de estos lances tienen un bajo número de ejemplares (< de 50) se decidió agrupar las frecuencias de longitudes por barco, de manera que se contó con 10 distribuciones de longitud horquilla con un total de 2314 ejemplares para ambos sexos (1135 hembras y 1179 machos) con un rango de longitud horquilla de 20 – 55 cm en machos y 21-55 cm en hembras.

Para efectos de determinación de edad se contó con una muestra total de 981 otolitos que se desglosan en 841 otolitos provenientes de las muestras biológicas a bordo de las embarcaciones que realizaron el estudio y 140 adicionales provenientes de muestreos en embarcaciones comerciales que operaron en la misma área. Finalmente, las CET se construyeron con 464 otolitos para hembras correspondientes a los estados de madurez 3-5 y 517 para machos sin considerar su estado de madurez.

Los otolitos fueron almacenados en bolsas de papel etiquetadas y con la información correspondiente al pez (longitud horquilla, sexo, etc.), siendo posteriormente leídos en el laboratorio previa una hidratación en agua corriente por un tiempo de alrededor de 3 horas, ya

que su hidratación es rápida. Se ha determinado que un periodo mayor hace perder nitidez de los anillos de crecimiento como se comprobó en estudios anteriores (**Aguayo, 2005, 2006**).

Las lecturas de edad a partir de los otolitos se realizaron con lupas estereoscópicas con aumento 10x1, provista de micrómetro ocular con 100 divisiones (d.m.o.) para mediciones de los anillos de crecimiento (1 d.m.o.= 0.01mm).

6.10.2 Abundancia en número por grupo de edad

El modelo usado para la estimación de la población en número es:

$$NSD_a = NSD * P_a = (BSD_d / W_t) * P_a \qquad (1)$$

NSD_a : número estimado del stock desovante por grupo de edad
NSD : número estimado del stock desovante total
BSD_d : estimado de biomasa del stock desovante
W_t : peso promedio de hembras maduras de jurel en la población
P_a : frecuencia relativa (número) a la edad en la población.

La estimación de la media y varianza respectiva del peso total y la proporción por edades, fue realizada en base a lo propuesto por **Uriarte (2001)** y que se deriva aplicando el método delta.

En general, la media de un parámetro estimado a partir de (n) muestras obtenidas de manera aleatorio corresponde a:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \qquad (2)$$

correspondiendo la varianza a:

$$Var(Y) = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i^2 (y_i - \overline{Y})^2}{\overline{M}^2 n(n-1)} \qquad (3)$$

donde:

Y : media de un parámetro de adulto

y_i : valores de observación en la muestra i

M_i : factor ponderador de la muestra i representado por el tamaño.

n : número de muestras.

6.10.3 Proporción a la edad (Pa)

La estimación de P_a mediante una CET tiene dos posibilidades que son similares y que están expresadas en la ecuación (4), la primera y que es usualmente aplicada utiliza el muestreo de longitud de todas las muestras (i) para estimar la distribución de frecuencias de longitud de la población P_l (frecuencia relativa), a través de una adecuada ponderación de las muestras, las que se consideran proporcional a la abundancia de la población en número representada por la muestra (M_i). Luego la CET (q_{al} o proporción de edad "a" a la talla l) se aplicó a la distribución para estimar la proporción por grupo de edades de la población o stock desovante de hembras. La segunda posibilidad que se exploró fue el de aplicar la única CET disponible a cada muestra por lance, no obstante presentar una baja representación para obtener estimados de P_a para cada muestra (P_{ai}), para luego promediar las muestras totales con factores ponderadores proporcionales a la abundancia de la población en número representadas por la muestra (M_i).

Las posibilidades de estimación de la proporción a la edad "a" en la población están expresadas en la siguiente ecuación:

$$P_a = \sum_{l=1}^{L} P_l \cdot q_{al} = \sum_{L=1}^{L} \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \cdot q_{al} = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i P_{a,i}}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \qquad (4)$$

donde:

q_{al} : proporción de edad "a" para el estrato de longitud "l"

P_{li} : frecuencia relativa en número de "l" en la muestra "i"

P_{ai} : frecuencia relativa en número por grupo de edad "a" en muestra "i"

M_i : factor ponderador proporcional a la abundancia en el número de individuos por muestra.

Se debe tener en cuenta que la estimación de las frecuencias relativas por longitudes P_l en la población son el promedio ponderado de los estimados de la muestra P_l con los usuales factores ponderadores proporcionales al número.

La varianza usada para la primera aproximación es dada por:

$$Var(P_a) = \frac{\sum_{l=1}^{L} q_{al}^2 \cdot \sum_{i}^{n} M_i^2 (P_{li} - Pl)^2}{\overline{M}^2 n(n-1)} + \frac{2\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=l+1}^{L} q_{al} \cdot q_{ah} \sum_{i=1}^{n} M_i^2 (P_{li} - P_l)(P_{hi} - P_h)}{\overline{M}^2 n(n-1)} +$$

$$+ \sum_{l=1}^{L} \frac{P_l^2 q_{al}(1-q_{al})(1-f_{2l})}{(m_l - 1)} \qquad (5)$$

Los tres componentes de la varianza de la ecuación 5 corresponden a la variabilidad en longitud entre muestras, efectos cluster o covarianza de longitudes dentro de las muestras, y el tercero a la incertidumbre asociada a la clave edad-talla. El segundo término de la varianza desaparece si se supone distribución de longitud multinomial. El tercer término incluye una corrección de población finita por longitud ($l\text{-}f_{2l}$) para el caso cuando los otolitos se obtienen de los individuos que dan origen a la distribución de longitud, no obstante en la mayoría de los casos esta corrección es insignificante y puede omitirse (**Uriarte, 2001**). Para comprobar que en el caso de jurel se cumplen las suposiciones planteadas anteriormente, la varianza de P_a se estimó con los tres términos.

Para la segunda aproximación cuando se trabaja con proporciones por grupo de edad y por muestra por lance se utiliza una expresión equivalente:

$$Var(P_{a)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i^2 (P_{ai} - P_a)^2}{\overline{M}^2 n(n-1)} + \sum_{l=1}^{L} \frac{P_l^2 q_{al}(1-q_{al})(1-f_{2l})}{(m_l - 1)} \qquad (6)$$

en la que P_{ai} es el estimado de P_a en la muestra i mediante la aplicación de la CET a su distribución de longitud. Esta alternativa también se exploró.

6.10.4 Abundancia por grupo de edad en el stock desovante

La abundancia por grupo de edad (NSD_a) se calculó con la ecuación:

$$NSD_a = NSD * P_a = \sum_{l=1}^{L} N_l \cdot q_{al} \qquad (7)$$

donde NSD es el número total del stock desovante.

La varianza de NSD_a se estimó como:

$$Var(NSD_a) = (NSD)^2 * Var(P_a) + P_a^2 * Var(NSD) \qquad (8)$$

6.10.5 Peso medio a la edad

Para la estimación de los pesos promedios por talla (W_l) se empleó la relación longitud – peso estimada para la fracción desovante de hembras de jurel cuya expresión es:

$$W_l = 0{,}0426 \cdot LH^{2{,}6277} \qquad r^2 = 0{,}926$$

Para los machos esta relación es:

$$W_l = 0{,}0301 \cdot LH^{2,7212} \qquad r^2 = 0{,}925$$

Para jurel sin diferenciar sexos la relación es:

$$W_l = 0{,}0349 \cdot LH^{2,6814} \qquad r^2 = 0{,}925$$

Para estimar el peso promedio por grupo de edad se usó la siguiente ecuación:

$$W_a = \frac{\sum_{l=1}^{L} P_l \cdot q_{al} \cdot W_l}{\sum_{l=1}^{L} P_l \cdot q_{al}} \qquad (9)$$

Para estimar la varianza de Wa se usó la expresión:

$$Var(W_a) = \sum_{l=1}^{L} \frac{(P_l \cdot q_{al}) \cdot (W_{al} - \overline{W}_a)^2}{P_a} \qquad (10)$$

6.10.6 Biomasa desovante por grupo de edad (BSD_a)

La biomasa total desovante por edad fue estimada como:

$$BSD_a = NSD_a * W_a \qquad (11)$$

y su varianza (asumiendo independencia de ambas estimaciones) puede estimarse por

$$Var(BSD_a) = (NSD_a)^2 * Var(W_a) + W_a^2 * Var(NSD_a) \qquad (12)$$

7 RESULTADOS

OBJETIVO 1: Estimar índices de abundancia de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio

7.1 VARIABLES AMBIENTALES

7.1.1 Datos de terreno (termómetros de mercurio)

En cada una de las estaciones de muestreo consideradas para la evaluación de huevos de jurel, se registró la temperatura superficial del mar (TSM) mediante termómetros de mercurio. Los datos de terreno revelaron un rango térmico entre los 12,1 y los 19,9 ºC, situación similar a lo reportado para el crucero de evaluación realizado en el mes de noviembre de 2005 (13,4 – 20,7 ºC). Trabajos recientes han revelado una relación entre la distribución espacial de huevos de jurel y la TSM sobre un rango térmico entre 15,0 y 18,5 ºC, y el acoplamiento espacial entre altas concentraciones de huevos jurel y TSM comparativamente más altas (16,5 - 18,0 ºC) en el área de desove de Chile central (**Núñez *et al*., 2004; Cubillos *et al*., 2004; Núñez *et al*., 2006**).

La distribución horizontal de la TSM (**Figura 12**) evidenció una baja variabilidad zonal asociada sólo al extremo norte del área de prospección, donde se detectó aguas comparativamente más cálidas hacia el vértice noroccidental (al norte de los 34ºS y al oeste de los 90ºW), lugar bien caracterizado por la presencia de aguas superficiales con temperaturas superiores a los 18ºC. La isoterma de los 16ºC se situó al norte de los 36ºS, desplazándose levemente al norte hacia las cercanías de la costa, expresándose a lo ancho del toda el área de prospección sin evidenciar gradientes zonales (cambios en el sentido costa-océano) de importancia. Por el contrario, en el área de prospección dominó claramente la variabilidad meridional, con aguas comparativamente más cálidas (> 16ºC) que predominaron al norte de los 36ºS y, aguas más frías (< 14ºC) hacia el sur de los 37ºS.

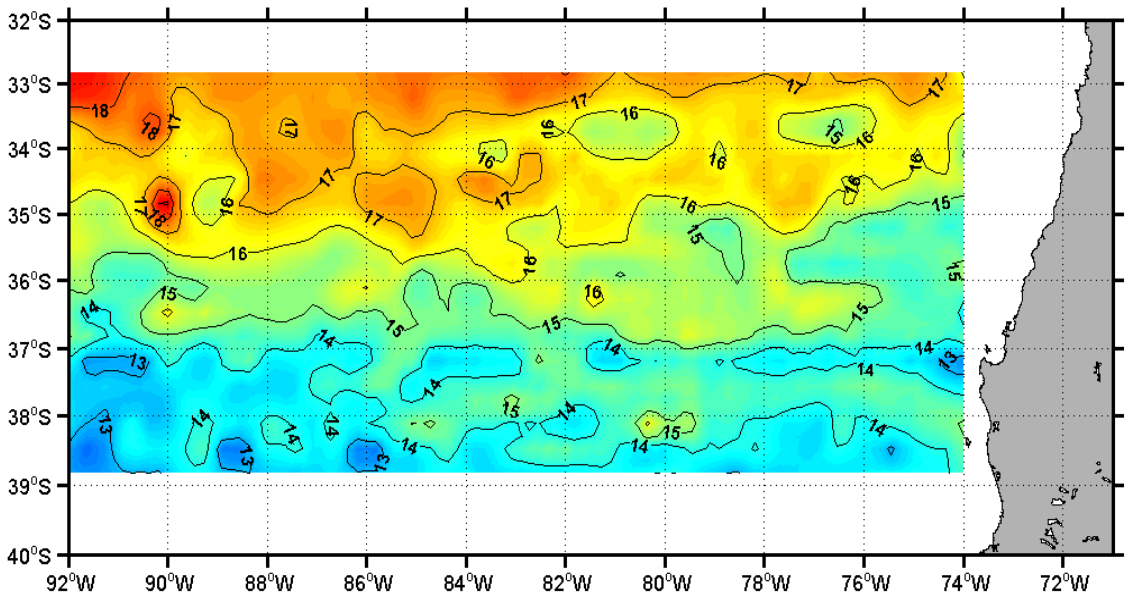


Figura 12. Distribución espacial de la TSM en el área de estudio a partir de datos de termómetros de mercurio (datos de terreno).

7.1.2 Información satelital

El análisis de imágenes satelitales diarias de TSM (resolución 4x4 Km, **Figura 13**) para el período de estudio (Noviembre de 2006), reveló gran cobertura de nubes en el área de estudio, lo que impidió la ejecución de un análisis diario de buena forma. Por lo anterior, se decidió analizar la imagen compuesta de TSM para el mes de noviembre de 2006 (**Figura 14**).

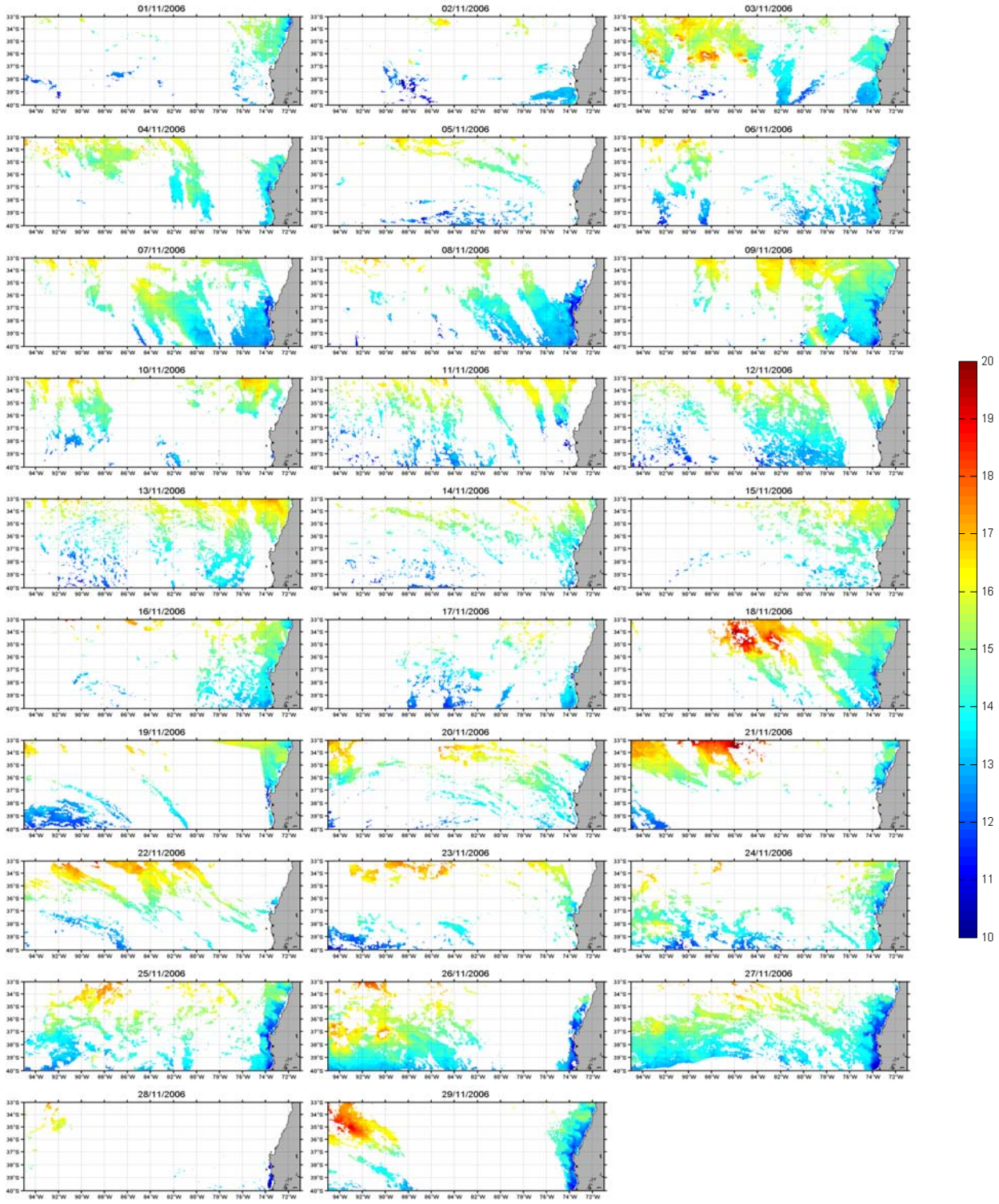


Figura 13. Imágenes satelitales diarias de la temperatura superficial del mar para el área y período de estudio. Noviembre 2006.

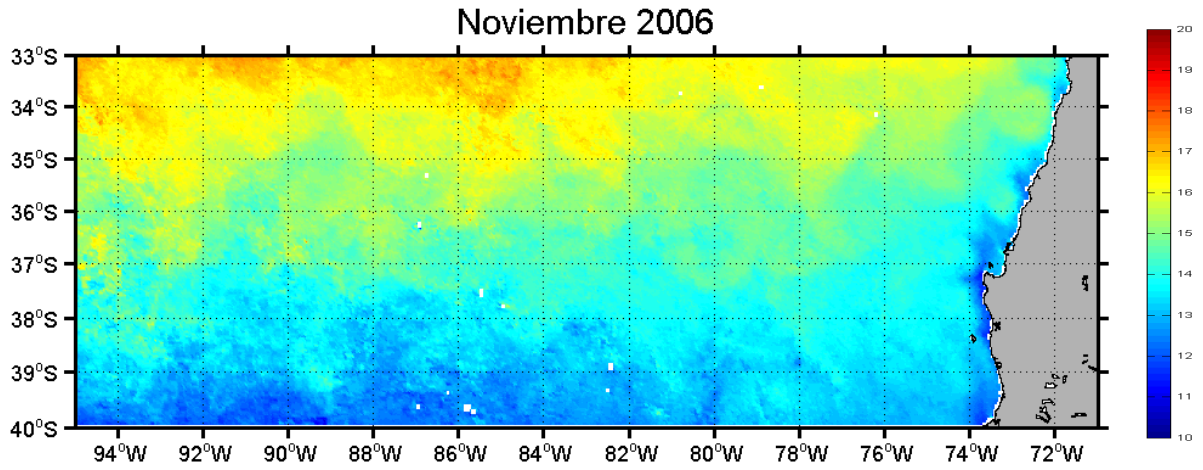


Figura 14. Imagen satelital de la temperatura superficial del mar compuesta para el mes de Noviembre de 2006.

La **Figura 14** revela el dominio de aguas cálidas (> 18ºC) en el sector noroccidental del área de estudio, al norte de los 34ºS y al oeste de los 82ºW, lo que genera un débil gradiente zonal en el sector norte situación que no se verifica al sur de los 36ºS donde la distribución de temperatura mantiene un patrón zonal similar en el área de estudio. Sin embargo, la imagen muestra un claro gradiente meridional con aguas comparativamente más cálidas en la región norte (especialmente en el cuadrante NW) y aguas más frías hacia el sur del área de prospección, alcanzando temperaturas menores a 14ºC al sur de los 38ºS.

Análisis histórico

Las **Figuras 15 y 16**, presentan la distribución de la TSM y de la Anomalía de la TSM, respectivamente, para el área de desove de jurel frente a Chile central, contemplando el mes de noviembre del período comprendido entre los años 1998 y 2006. La **Figura 15** muestra en general un patrón similar de distribución espacial para el período histórico (1998-2006), destacando el claro gradiente meridional y leves diferencias zonales (intensificadas especialmente en los años 2000 y 2001), éstas últimas observadas especialmente al norte de los 34ºS, debido a la presencia de aguas comparativamente más cálidas en el vértice NW del área de prospección. No obstante lo anterior, y en atención al desplazamiento meridional (norte-sur) de las isotermas (ejemplo: isoterma de 16ºC), fue posible detectar un ambiente claramente más cálido para el mes de noviembre de los años 1998, 1999 y 2005 debido a la disposición de la isoterma de 16ºC

centrada aproximadamente en los 36ºS y la presencia de aguas con TSM mayores a 18ºC en el extremo NW del área de estudio, a diferencia de los observado para el mes de noviembre de los años 2001, 2002, 2004 y 2006, caracterizado como períodos comparativamente más fríos donde la isoterma de 16ºC se situó generalmente al norte de los 34ºS y se verificó la ausencia de la isoterma de 18ºC en el extremo norte del área de estudio. La distribución de TSM en el mes de noviembre de los años 2000 y 2003, evidenció un patrón intermedio entre los períodos anteriormente descritos, con la isoterma de 16ºC situada al sur de los 34ºS, y la ausencia de aguas con TSM mayores a 18ºC. Esta interpretación se ve corroborada por el análisis espacial de las anomalías de la TSM para igual período histórico presentado en la **Figura 16**, donde se verifica el predominio de anomalías positivas (ambiente comparativamente más cálido) en el mes de noviembre de los años 1998, 1999 y 2004, con escasa presencia de anomalías negativas (sólo en el sector más costero). Por el contrario, para los años 2001, 2002 y 2006 se reporta la presencia de anomalías negativas en gran parte del área de prospección de huevos de jurel, observándose sólo leves anomalías positivas en el extremo nororiental. Durante el mes de noviembre de 2006, el área de estudio estuvo caracterizada por anomalías positivas en el sector NE con máximos de 0,4 ºC, y aguas comparativamente más frías en todo el resto del área prospectada, con valores que alcanzaron los – 0,8 ºC en el extremo SW del área de estudio.

Por su parte, la **Figura 17** muestra la serie de tiempo de la anomalía de la TSM para el área oceánica de desove de jurel frente a Chile central, considerando el período entre los años 1985 y 2007. Este análisis integra, en la escala mensual, las anomalías de las temperaturas superficiales descritas para el área delimitada entre los 30° y los 40ºS y entre los 75° y los 92ºW, dando muestra de la variabilidad interanual en el área de desove de jurel, la cual se sectorizó en los cuadrantes NW, SW, NE y SE. En este período es posible observar la clara variabilidad interanual en la anomalía de la TSM, donde destaca la alternancia entre períodos fríos y cálidos, los que se representan de forma relativamente similar en los cuatro cuadrantes analizados. Así, es posible identificar un período frío al inicio de la serie, entre los años 1985 y 1988, entre 1991 y 1994, entre 1998 y mediados del 2000 (a excepción de anomalías positivas en 1999) y al término de la serie, entre finales de 2004 e inicios de 2007. Por el contrario, anomalías positivas de TSM (aguas comparativamente más cálidas) se verifican en los periodos 1988-finales de 1990, mediados de 1995-inicios de 1998, y 2001-mediados de 2004 (**Figura 17**). Cabe destacar que los

cruceros que han involucrado los proyectos sobre la "Condición Biológica del Jurel en Alta Mar" han estado insertos en períodos tanto cálidos como períodos fríos en el área de estudio.

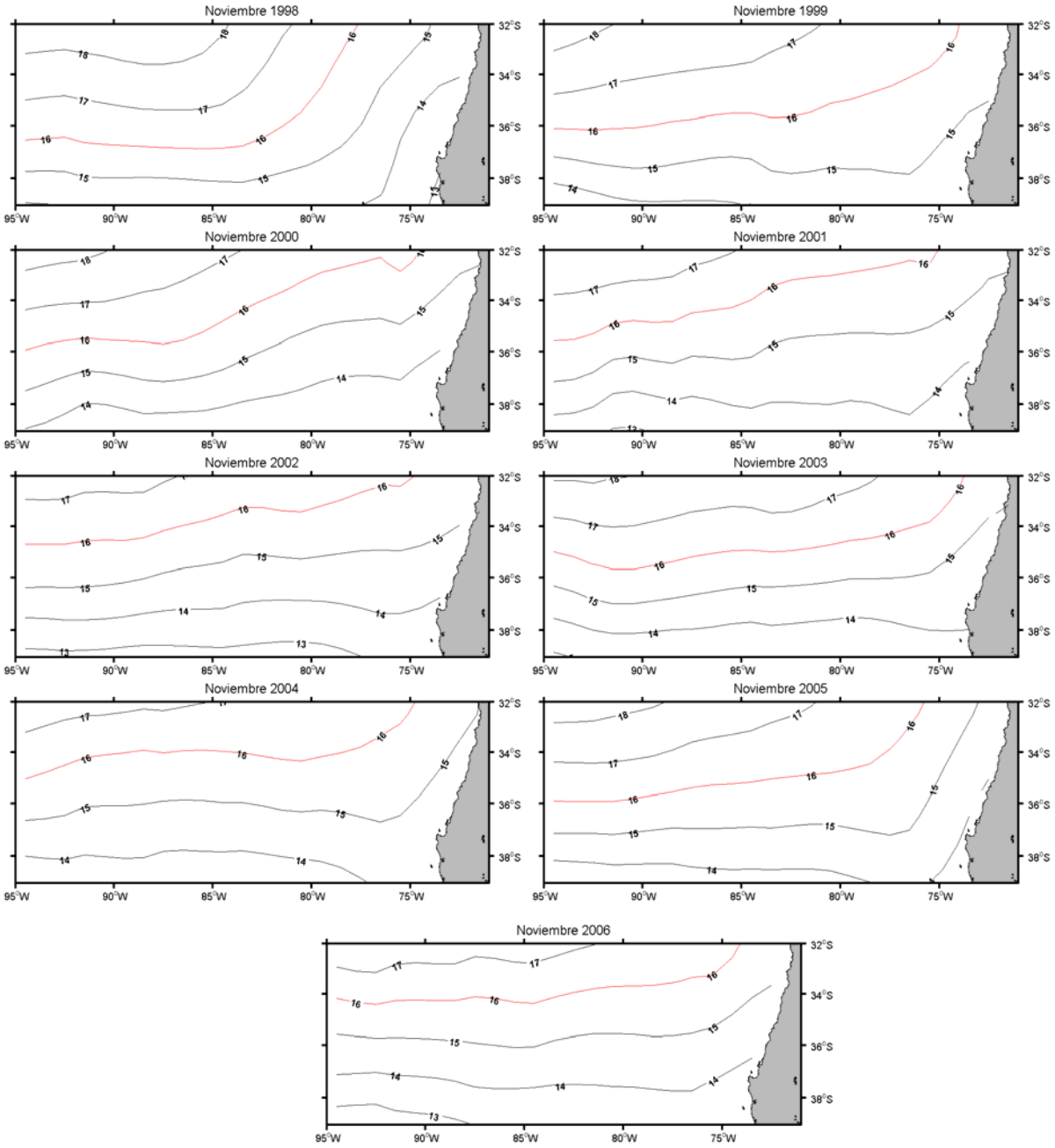


Figura 15. Distribución espacial de la TSM en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1998-2006.

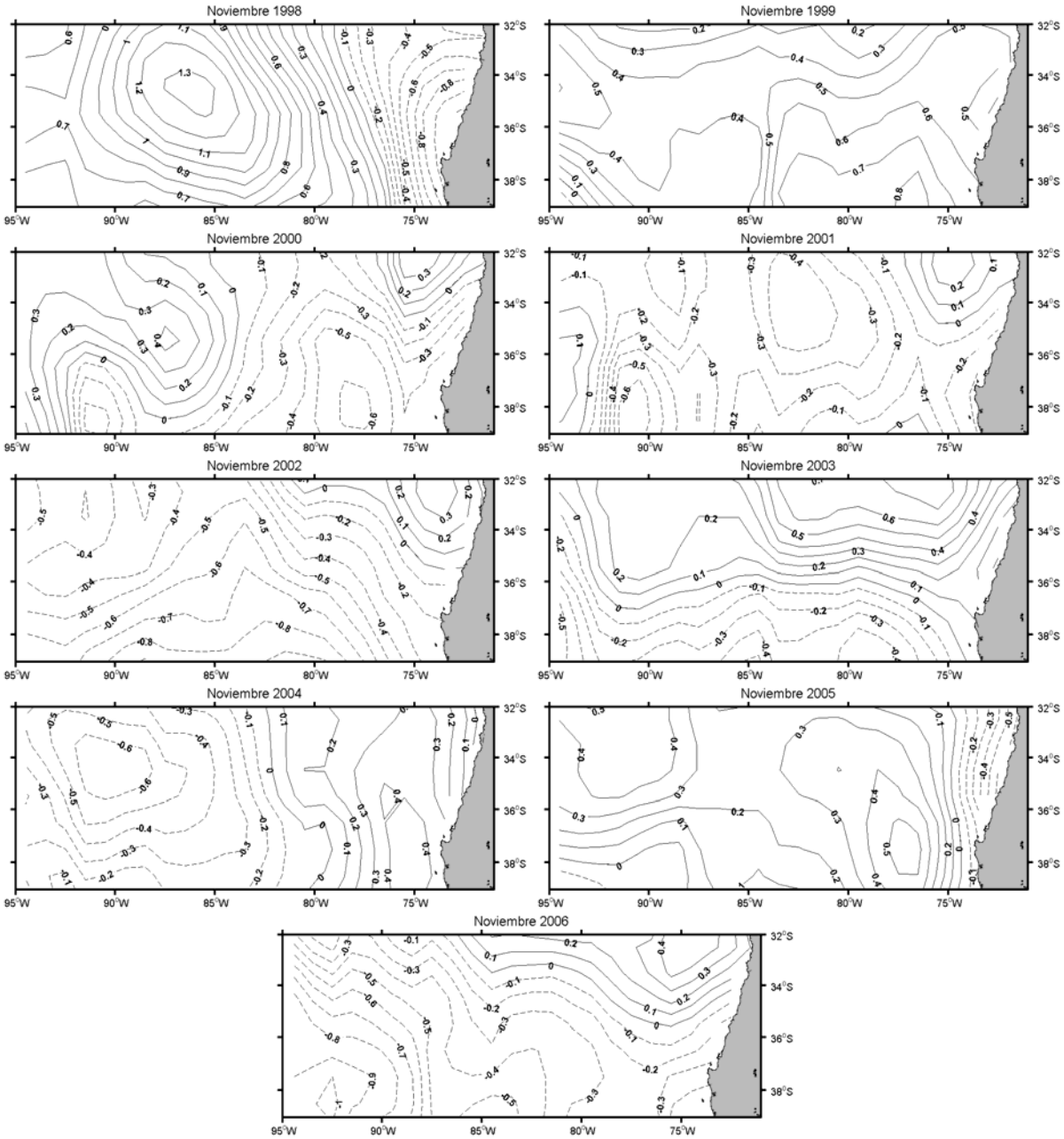


Figura 16. Distribución espacial de la anomalía de la TSM en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1998-2006.

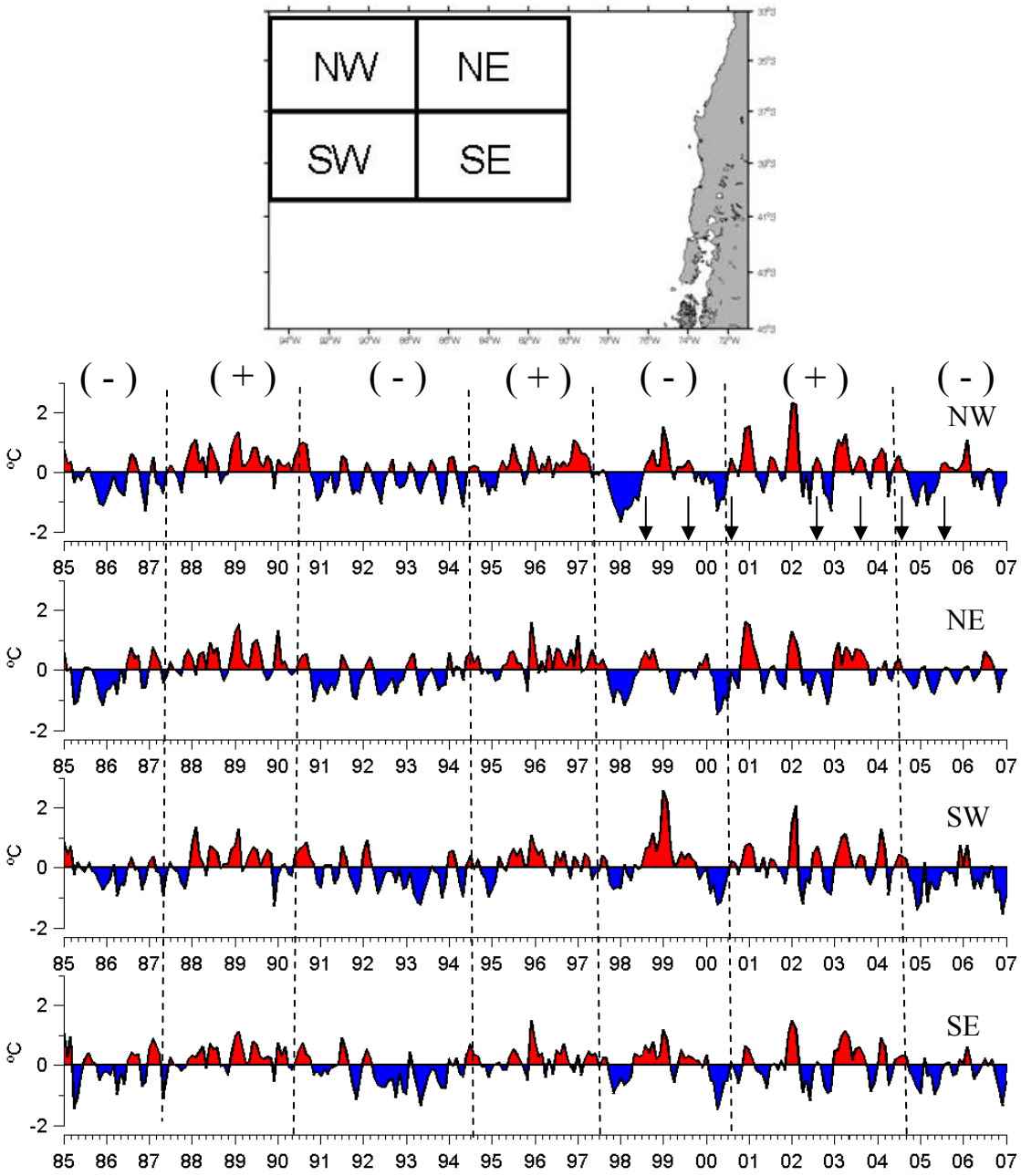


Figura 17. Serie de tiempo de la TSM para el área de desove de jurel frente a Chile central. Período: 1985-2007. En la figura, las flechas indican la situación temporal de los diferentes cruceros asociados a este proyecto.

7.1.3 Vientos superficiales

La **Figura 18** muestra la evolución espacial y diaria de los vientos superficiales en la zona y periodo de estudio para el mes de Noviembre de 2006. Las imágenes destacan un patrón de rotación anticiclónico, lo que se expresa generalmente al norte de los 36ºS y entre la costa y los 90ºW. En la mayoría de las imágenes se observa magnitudes moderadas a bajas en el sector central y noroccidental del área de prospección. Al obtener el promedio mensual de las componentes de la velocidad del viento (**Figura 19**), se muestra el patrón general descrito para la época y el área de estudio, esto es: vientos predominantes del Oeste, Sur-oeste cambiando a Sur, en la medida que se acercan a la costa, mostrando la existencia de un giro anticiclónico centrado en los 90ºS y 35ºS, bajas velocidades hacia el sector central y NW y velocidades máximas hacia el sector costero del área de estudio.

Con el propósito de contrastar el patrón de viento superficial reportado para este crucero con el registrado para el mes de noviembre de los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2003, 2004 y 2005, se graficaron cartas de vientos mensuales utilizando la información satelital proveniente del Programa QuickScat (**Figura 20**). En términos generales, el patrón de distribución del viento superficial fue similar para el mes de noviembre de los años contrastados, mostrando: a) una rotación anticiclónica, b) intensidades altas hacia el sector costero del área prospectada (< 78ºW) donde predominaron los vientos provenientes del cuadrante sur, típicos del verano en el área de estudio, y, c) vientos con magnitudes comparativamente menores hacia el cuadrante noroccidental (> 82ºW), no obstante existe cierta variabilidad meridional y zonal en la zona de velocidades bajas (núcleo) en el área de estudio. Algunos estudios recientes han mostrado un buen acoplamiento entre abundancias altas de huevos de jurel y bajas intensidades de viento y turbulencia en el área de desove de jurel frente a Chile central (**Núñez *et al.*, 2004**).

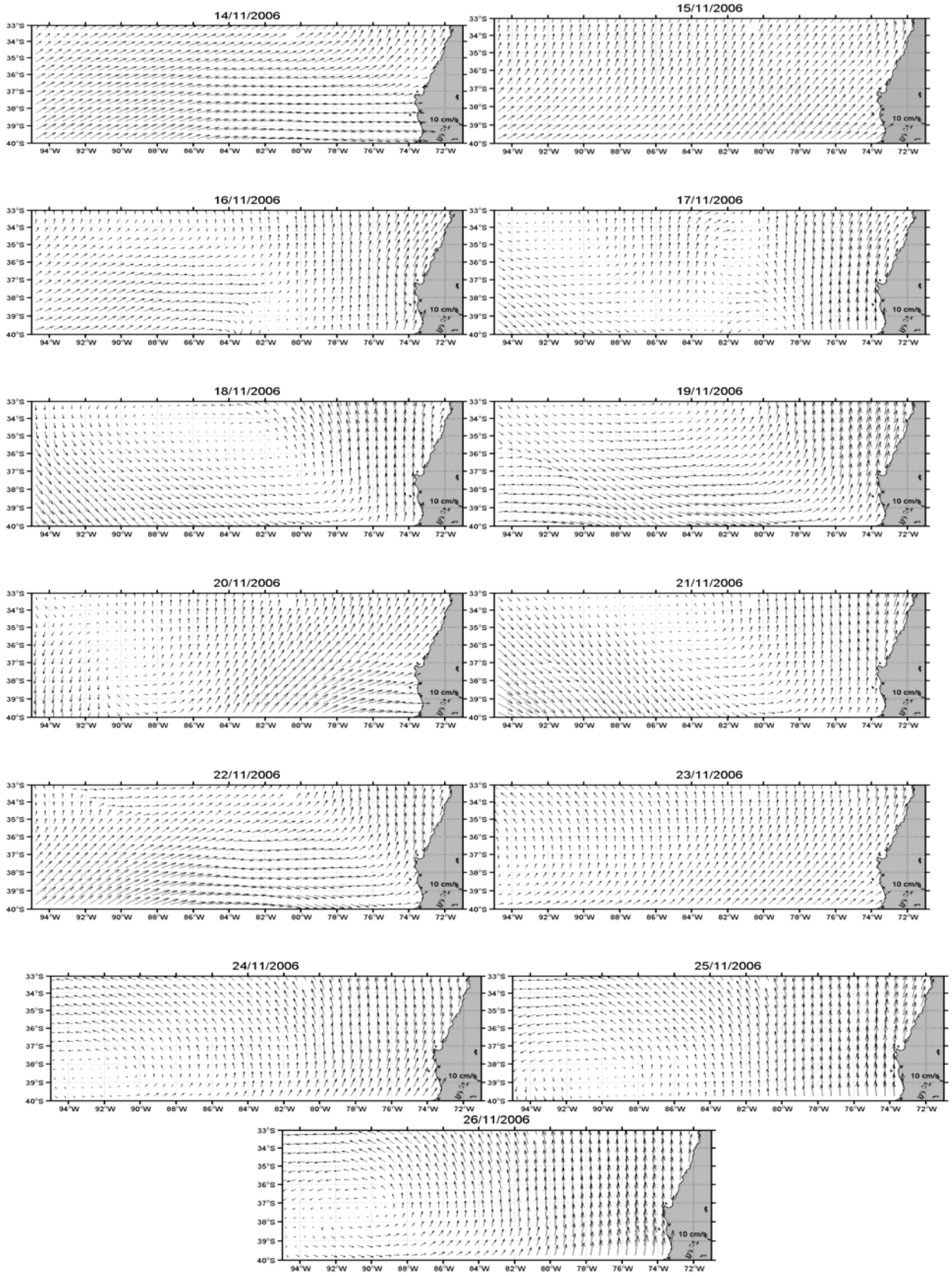


Figura 18. Vientos de escaterometría durante el crucero realizado durante noviembre de 2006.

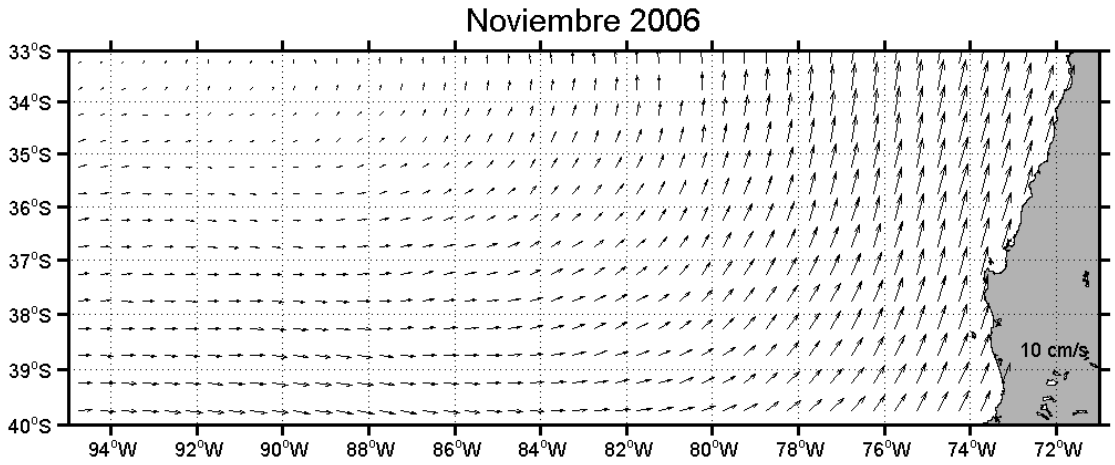


Figura 19. Imagen satelital de la viento superficial del mar compuesta para el mes de Noviembre de 2006.

Por otra parte, la **Figura 21** muestra el patrón de distribución espacial de la turbulencia estimada a partir de la información de viento derivada del satélite, para los meses de noviembre del período 1998 - 2006. Los resultados para noviembre de 2006 indicaron una clara diferenciación zonal, especialmente al norte de los 37ºS, con valores altos de turbulencia (>300 m^3 s^{-3}) al Este de los 78ºW, una zona de fuerte gradiente lateral situada entre los 80 y 82ºW, y una región oceánica (más allá de los 85ºW) con muy bajos valores de turbulencia (<20 m^3 s^{-3}), especialmente al norte de los 37ºS. Este patrón de distribución de la turbulencia es consistente con lo reportado para el mes de noviembre de los años 2000, 2002, 2003 y 2004 (**Figura 22**). En general, el área de desove de jurel frente a Chile central ha estado vinculada con valores de turbulencia menores a 200 m^3 s^{-3} (Núñez *et al*., 2004), con la excepción de noviembre de 2002 donde se detectó magnitudes significativamente superiores, y de noviembre de 2001 donde estos valores estuvieron restringidos al vértice noroccidental del área de prospección.

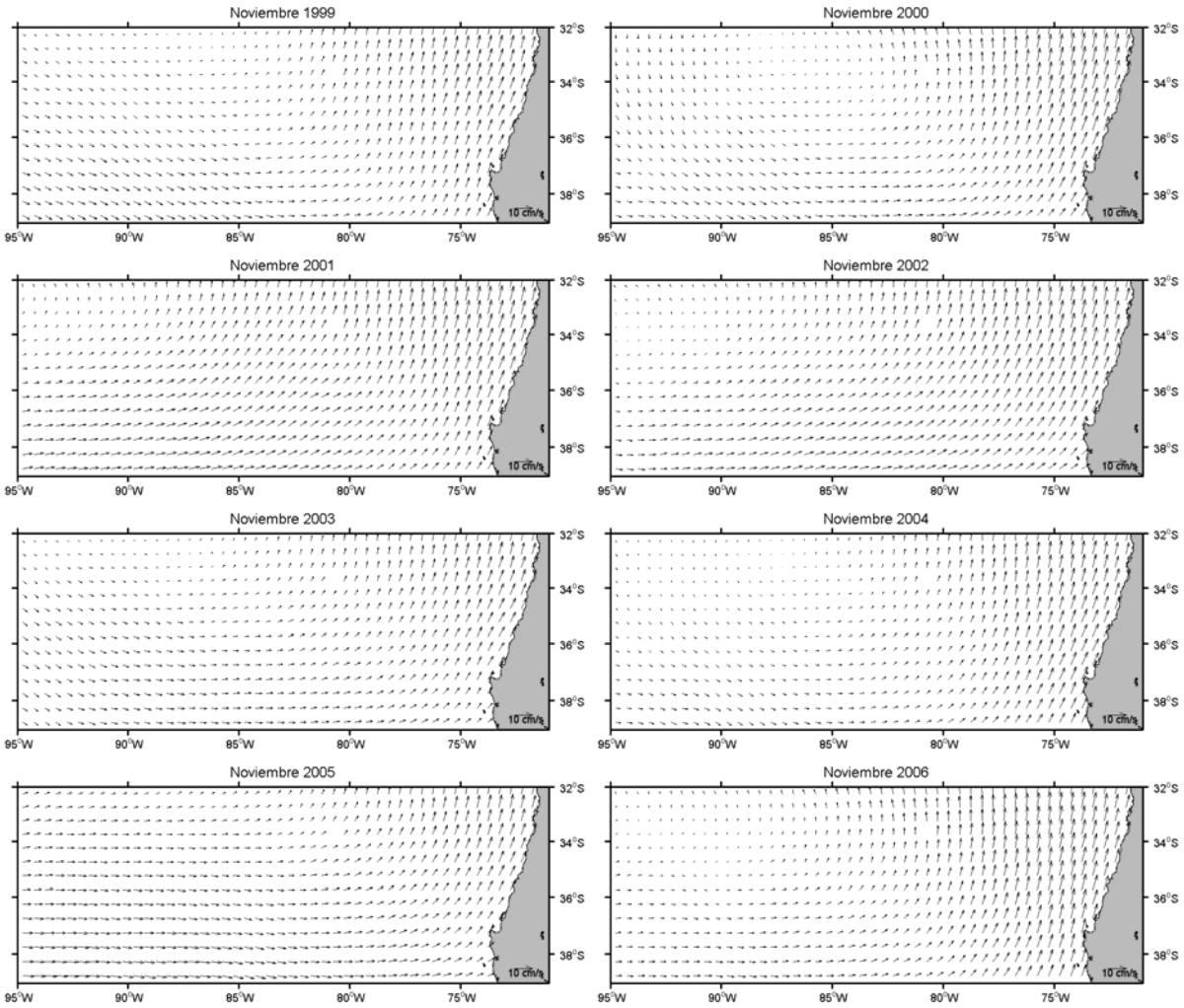


Figura 20. Distribución de vientos (escaterometría) en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1999-2006.

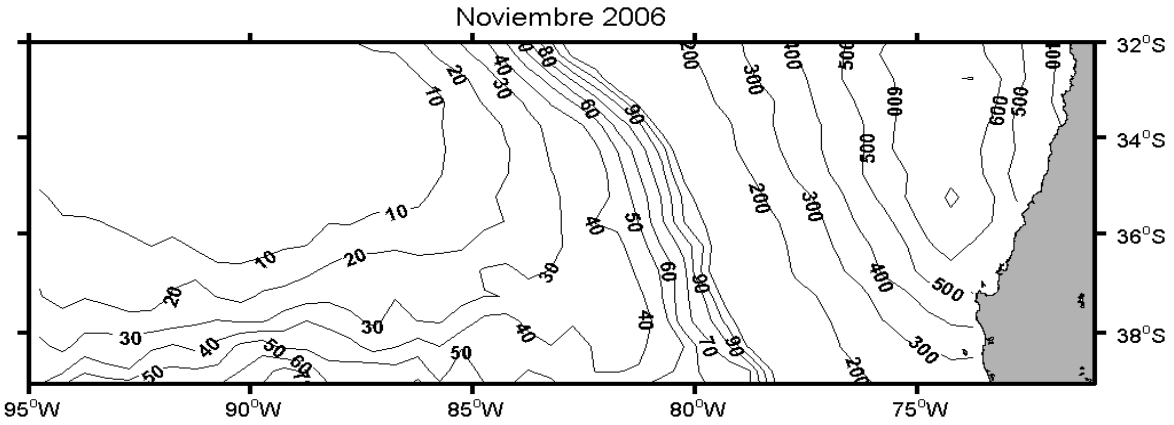


Figura 21. Distribución espacial de la turbulencia (m^3 s^{-3}) en el área de estudio, para el mes de Noviembre de 2006.

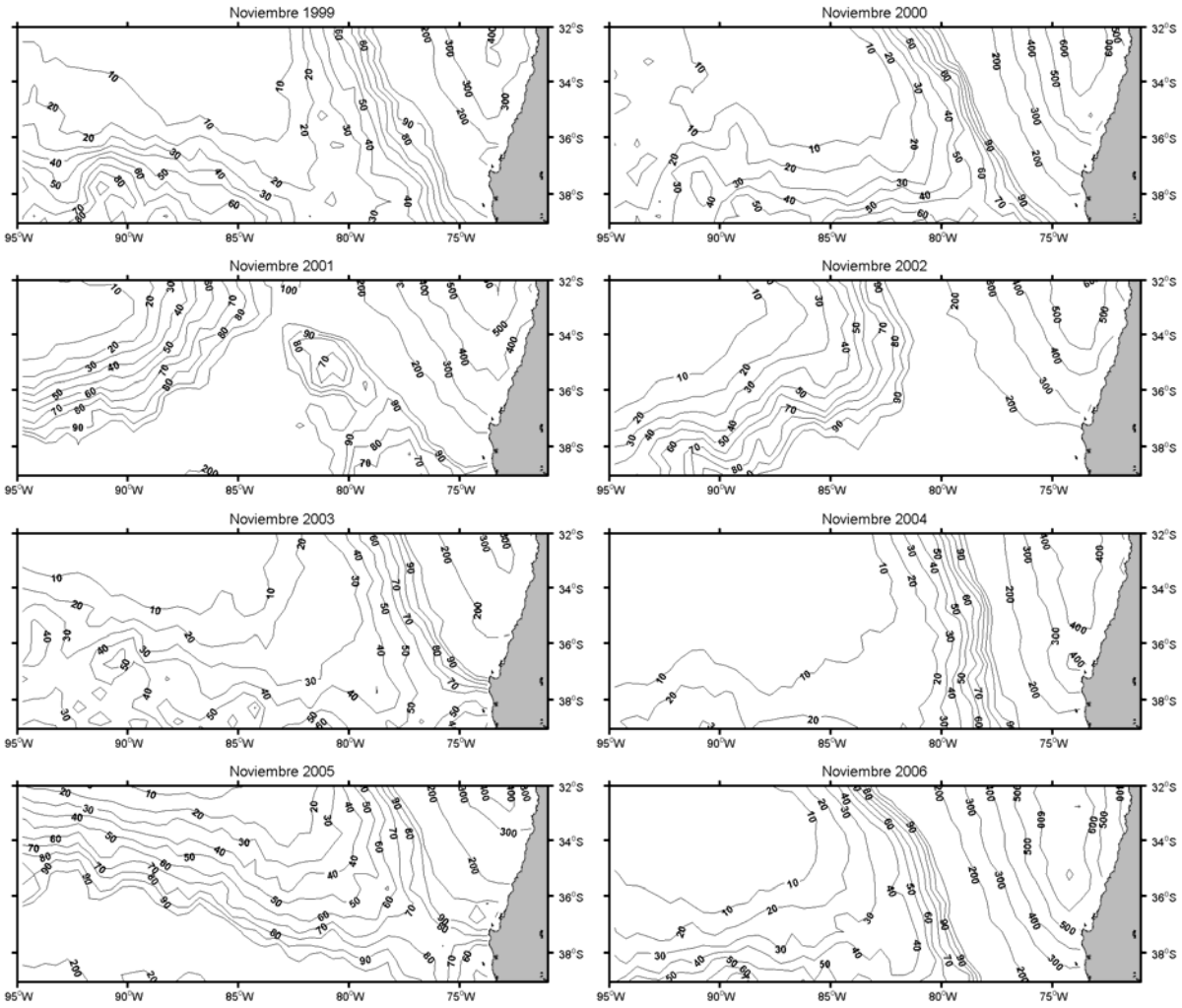


Figura 22. Distribución espacial de la turbulencia en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1999-2006.

7.1.4 Clorofila

El análisis de imágenes satelitales de clorofila, evidenció una clara diferenciación zonal, por la presencia de concentraciones costeras superiores a 4 mg m^{-3} asociados a la banda costera de surgencia (< 30 mn desde la costa), así como la zona de influencia o de exportación de la biomasa de fitoplancton hacia el océano interior a través de filamentos y estructuras meándricas, que alcanza hasta las 100 mn desde la costa, con valores menores a 2 mg m^{-3} (**Figura 23**). En el sector océanico, asociado con el límite de la Zona de Transición Costera (hasta los 600 km desde la costa, **Hormazábal *et al.*, 2004**) se encuentran valores centrados en los 0,5 mg m^{-3}, sin evidenciar variaciones meridionales. Por último, el sector más oceánico (al oeste de los 80ºW) presentó valores bajos de clorofila en todo el sector (< 0.2 mg m^{-3}). Los resultados sobre la distribución espacial de la clorofila en el área de estudio y especialmente su clara variabilidad zonal, reseñados para el mes de noviembre de 2006, fueron también válidos para el mes de noviembre del período 1999-2006 (período en que se han realizado cruceros de similar naturaleza) como se muestra en la **Figura 24**.

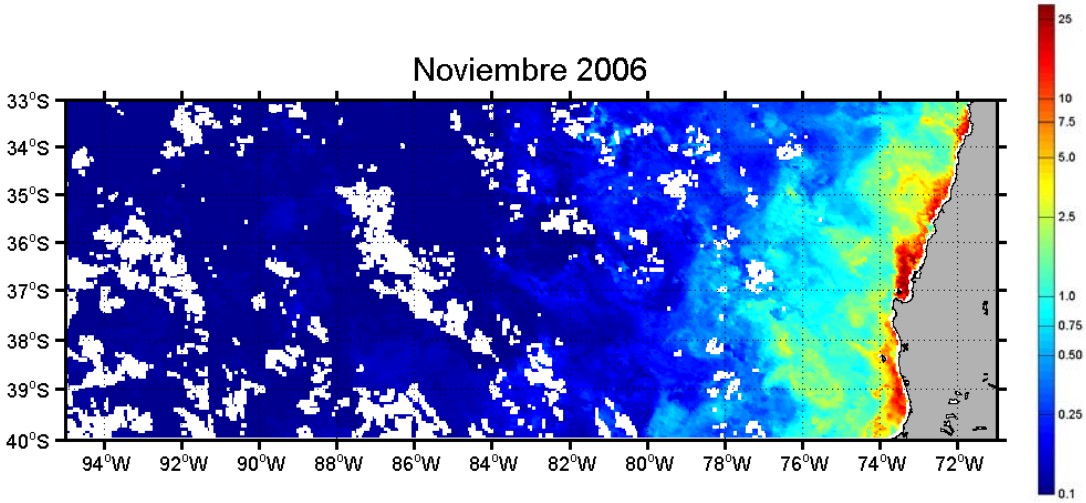


Figura 23. Imagen satelital de la clorofila superficial compuesta para el mes de Noviembre de 2006.

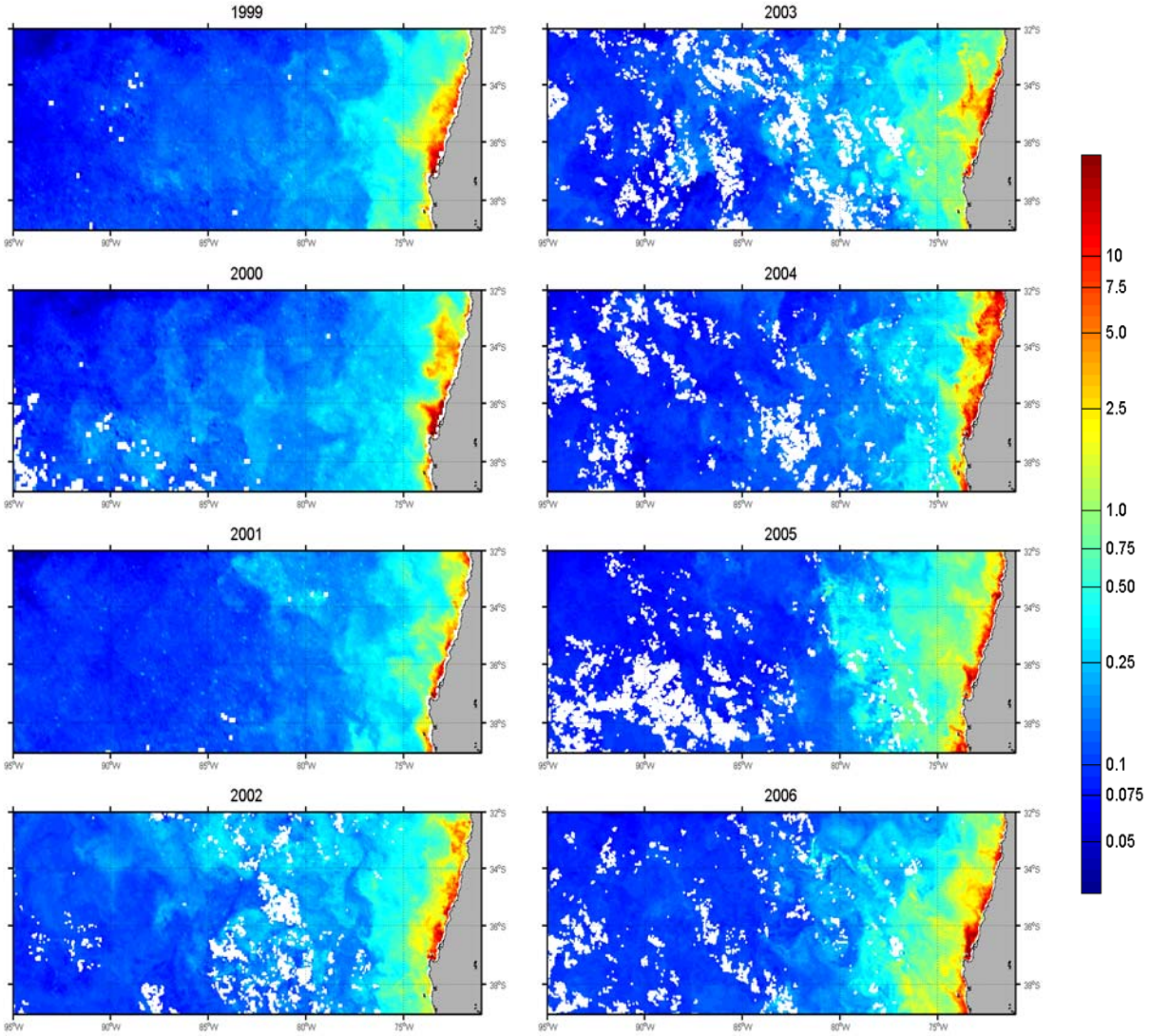


Figura 24. Distribución espacial de clorofila-a para el mes de noviembre del período 1999-2006 en el área de estudio.

7.1.5 Corrientes geostróficas

El campo horizontal de velocidades geostróficas fue obtenido a partir de información satelital de altura de nivel mar (http://www.aviso.oceanobs.com). La **Figura 25** representa el promedio de 30 imágenes con una resolución temporal de 1 día y espacial de 1/3 de grado. Los resultados para Noviembre de 2006 revelaron numerosas estructuras de mesoescala (corrientes de meandro, frentes, remolinos) al interior del área de desove de jurel frente a Chile central, las que

han sido señaladas como estructuras recurrentes en el sistema oceánico del área de prospección (**Leth & Middleton, 2004; Hormazábal *et al*., 2004; Núñez *et al*., 2006**). La **Figura 25** muestra una banda costera importante de corrientes (> 20 cm s^{-1}) al norte de los 37ºS, y la presencia de sectores de meandros y de anillos de mesoescala, ciclónicos y anticiclónicos, situados al oeste de los 76ºW, los que aparecen como más importantes y numerosos hacia el sector sur de los 37ºS. Estos giros evidencian la gran dinámica presente en el área de estudio y su importancia para procesos ecológicos (*e g*., giros ciclónicos asociados a surgencias que contribuye a la mezcla somera, y giros anticiclónicos que generan hundimiento y la profundización de la termoclina). Recientes estudios han analizado la variabilidad de estos giros frente a Chile central (**Hormazábal *et al*., 2004, 2006; Leth & Middleton, 2004**), revelando que se trata de estructuras de mesoescala (semanas-meses), características del sistema costero y oceánico frente a Chile central, y que se verificaron también en el mes de noviembre del período 1998-2006 (**Figura 26)**.

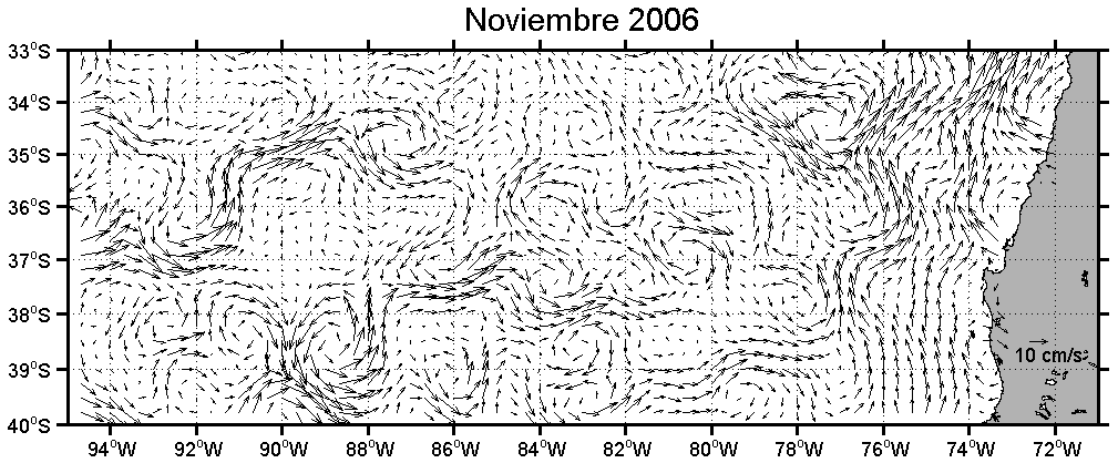


Figura 25. Corrientes geostróficas calculadas para el mes de Noviembre de 2006 en el área de estudio.

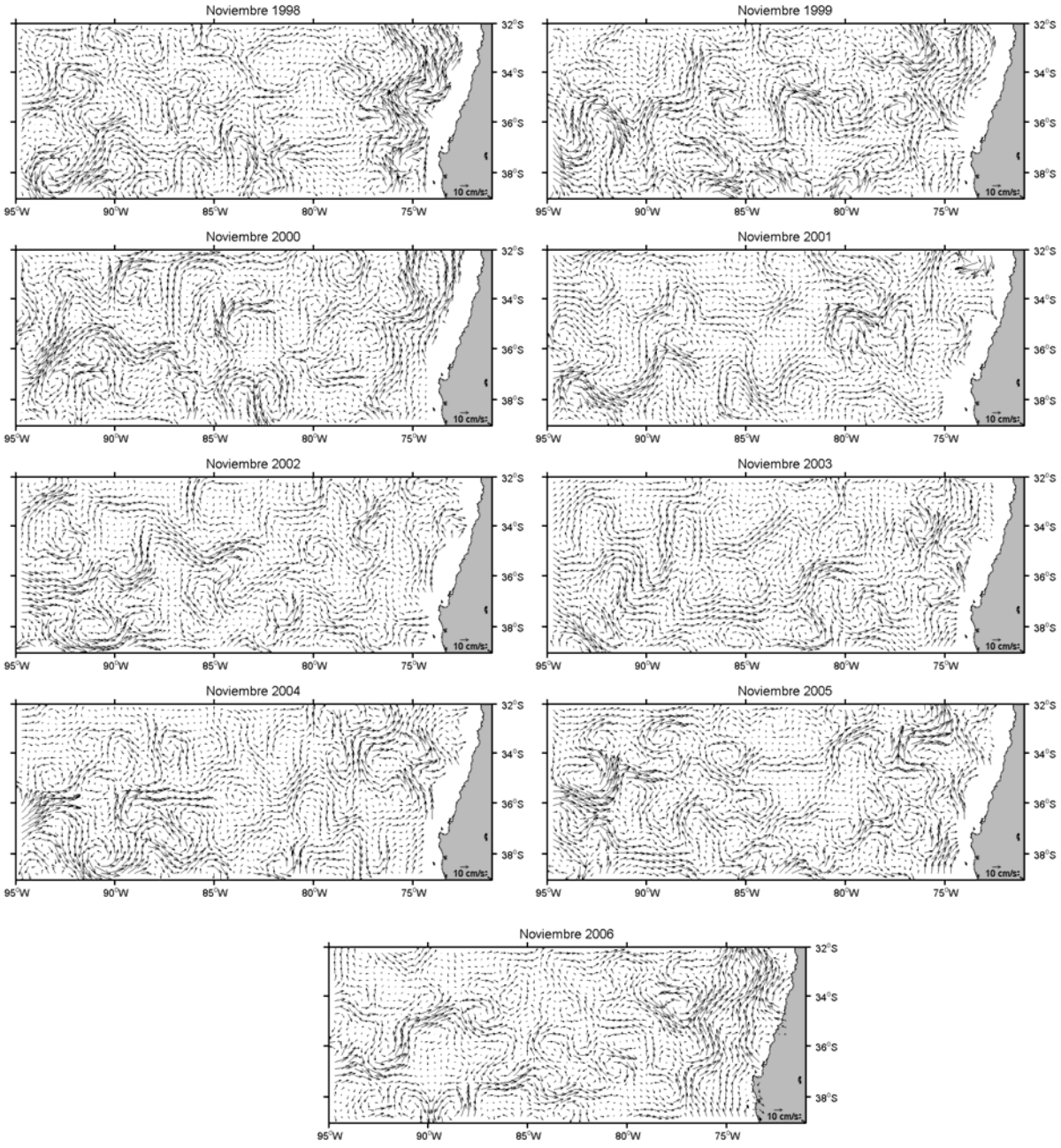


Figura 26. Distribución espacial de las corrientes geostróficas (cm s-1) en el área de estudio para el mes de noviembre del período 1998-2006.

7.1.6 Registros verticales de CTD

La disposición geográfica de las transectas que contaron con perfiles verticales de CTD se muestra en la **Figura 5**. La transecta 2, ubicada en la región norte del área de prospección (33º15'S), tuvo una extensión longitudinal que alcanzó los 82º30'W, en tanto que la transecta 3 situada a los 33º40'S, se extendió desde los 82º30'W hasta los 92ºW y la transecta 6 (34º50'S) tuvo una extensión longitudinal que alcanzó los 92ºW. La caracterización vertical de los transectos precitados se muestra en las **Figuras 27, 28, y 29**.

Para la temperatura, el estrato superficial de la transecta 2 evidenció un leve gradiente zonal, con aguas comparativamente más cálidas (> 16ºC) en los primeros 30 m de la columna de agua a partir de los 77ºW y hacia el oeste con pronunciados ascensos de la isoterma de 16ºC producto de estructuras superficiales como giros. Aguas levemente más frías (< 15ºC) fueron sólo detectadas a lo largo del transecto bajo los 60 m de profundidad. La zona de estratificación vertical de temperatura (termoclina) fluctuó producto de ondulaciones que generaron el ascenso o descenso de las isotermas, situándose entre los 50 m y los 70 m de profundidad. En esta transecta, las menores temperaturas fueron reportadas para el sector oriental bajo los 80 m de profundidad, donde se reportó aguas con temperaturas menores a los 13ºC, generando también un leve gradiente zonal en este estrato de profundidad. Por su parte, la transecta 3 presentó una alta variabilidad vertical, con fuertes variaciones en la profundidad de las isotermas de 15 y 16ºC mostrando escasa variabilidad zonal, sin mostrar un estrato superficial térmicamente estable. La presencia de la isoterma de 16ºC en el sector más cercano a la costa (84º30'W) y al final del transecto (91ºW) muestra un pronunciado descenso con junto a un ascenso de la isoterma de 15ºC entre los 85º30'W y 90ºW. Asimismo, la transecta 6, situada en los 34º50'S, presentó una distribución similar de temperatura a lo reseñado, con alta variabilidad vertical en las isotermas de 15 y 16ºC, y un fuerte predominio de aguas con temperaturas bajo los 15,5ºC bajo los 20 metros de profundidad.

Por su parte, para la salinidad, la distribución vertical en los tres transectos evaluados evidenció un comportamiento similar caracterizado por la presencia de gradientes zonales positivos al océano, con aguas comparativamente más salinas hacia el sector occidental y ausencia de estratificación vertical (haloclinas). La sección realizada en los 33º40'S evidenció

salinidades más altas, que alcanzaron valores superiores a 34,5 psu centrados en los 90ºW, y salinidades menores a los 34,2 psu al Este de los 89ºW a excepción de aguas con salinidades de 34,3 psu centradas en los 84º30'W. El transecto 6 mostró salinidades menores a 34,1 psu al oriente de los 76º30'W, mientras que hacia el occidente, en general, se observaron gradientes zonales positivos al océano.

El campo vertical de la densidad evidenció un comportamiento similar para los tres transectos, caracterizado por leves gradientes zonales a excepción de aguas comparativamente menos densas (<24,9 σt) en el extremo costero del Transecto 2, un ascenso de las isopicnas hacia el océano producto de la intrusión de aguas menos densas (<25,1 σt) evidenciando una picnoclina situada entre los 20 y los 60 metros de profundidad (con excepción del transecto 3). Bajo los 60 m de profundidad, la densidad se incrementa a una tasa relativamente constante con la profundidad hasta alcanzar valores mayores a 26,0 σt en la máxima profundidad de muestreo.

En tanto, la distribución vertical de la concentración de oxígeno disuelto mostró en general un estrato superficial (primeros 100 metros) bien oxigenado, con valores generalmente altos a excepción de los transectos 2 y 6 que muestran un ascenso de aguas con valores comparativamente más bajos (<5 ml L^{-1}) en sector más cercano a la costa. Por último, la distribución vertical de la concentración de clorofila-a evidenció valores bajos para los transectos 3 y 6 (<0,9 mg m^{-3}) a diferencia del transecto 2 donde se observaron núcleos subsuperficiales de concentraciones comparativamente mayores (>1 mg m^{-3}) centrados en los 81ºW, 77ºW y 75ºW y a los 35, 60 y 40 metros de profundidad, respectivamente, así como un núcleo superficial que se extiende hasta los 35 metros de profundidad centrado en los 79ºW de longitud.

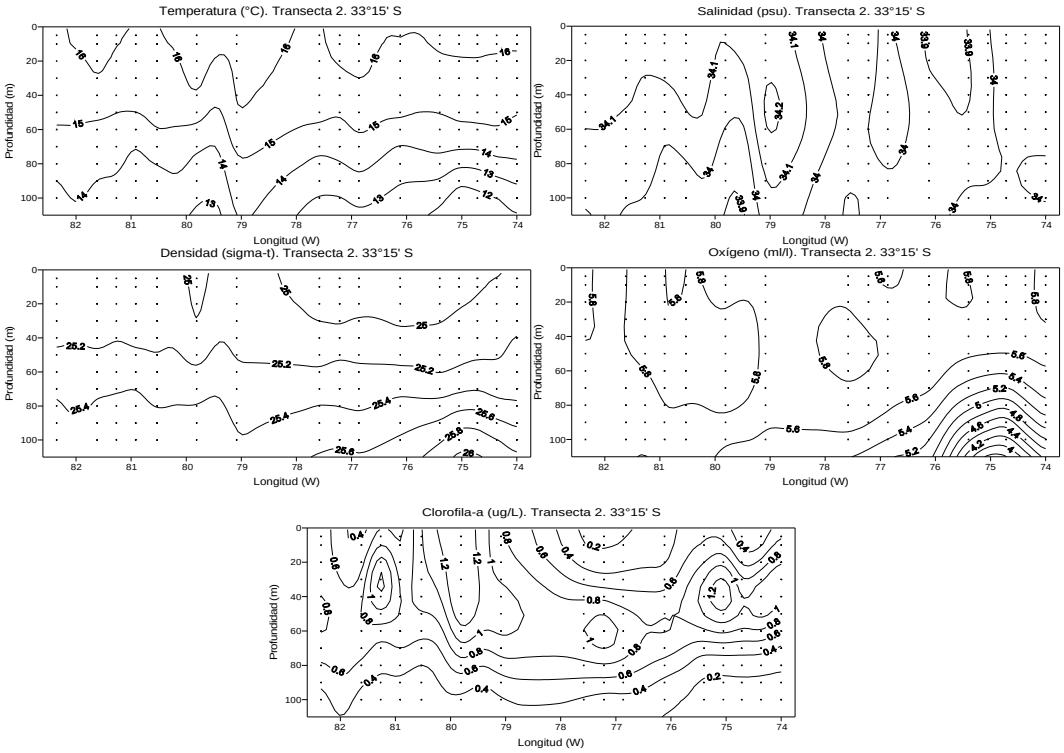


Figura 27. Distribución vertical de Temperatura (ºC), Salinidad (psu), Densidad (sigma-T), Oxígeno Dsuelto (mL L-1) y Clorofila-a (ug L-1) para la Transecta 2.

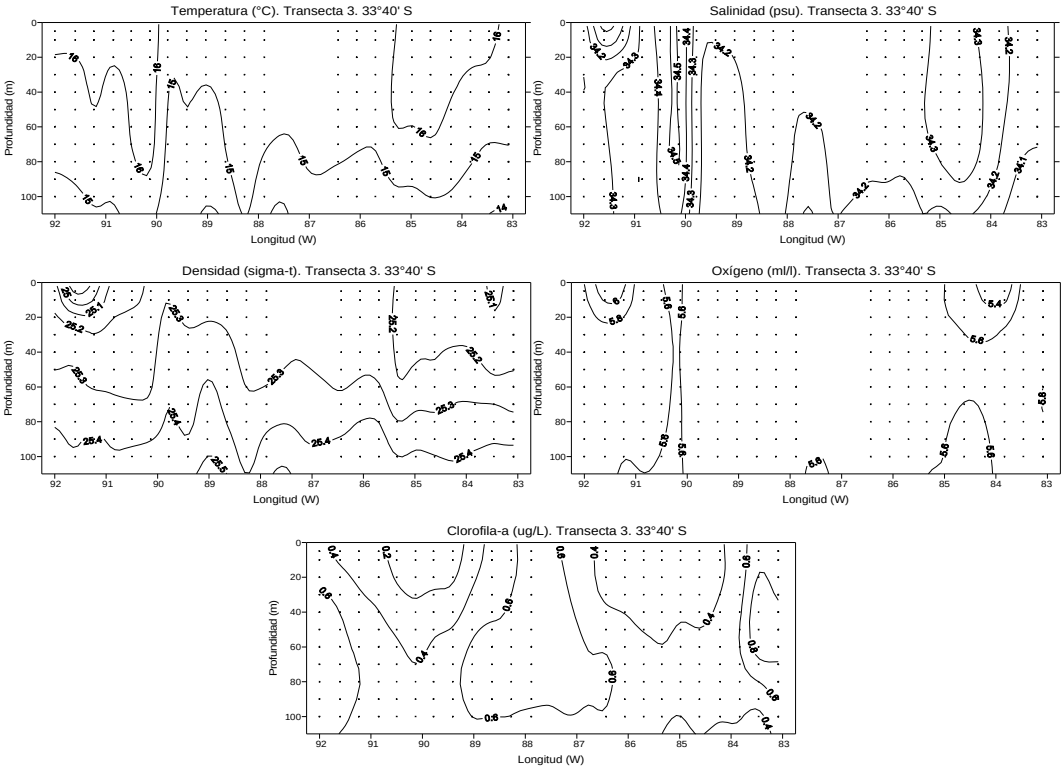


Figura 28. Distribución Vertical de las variables, Transecta 3.

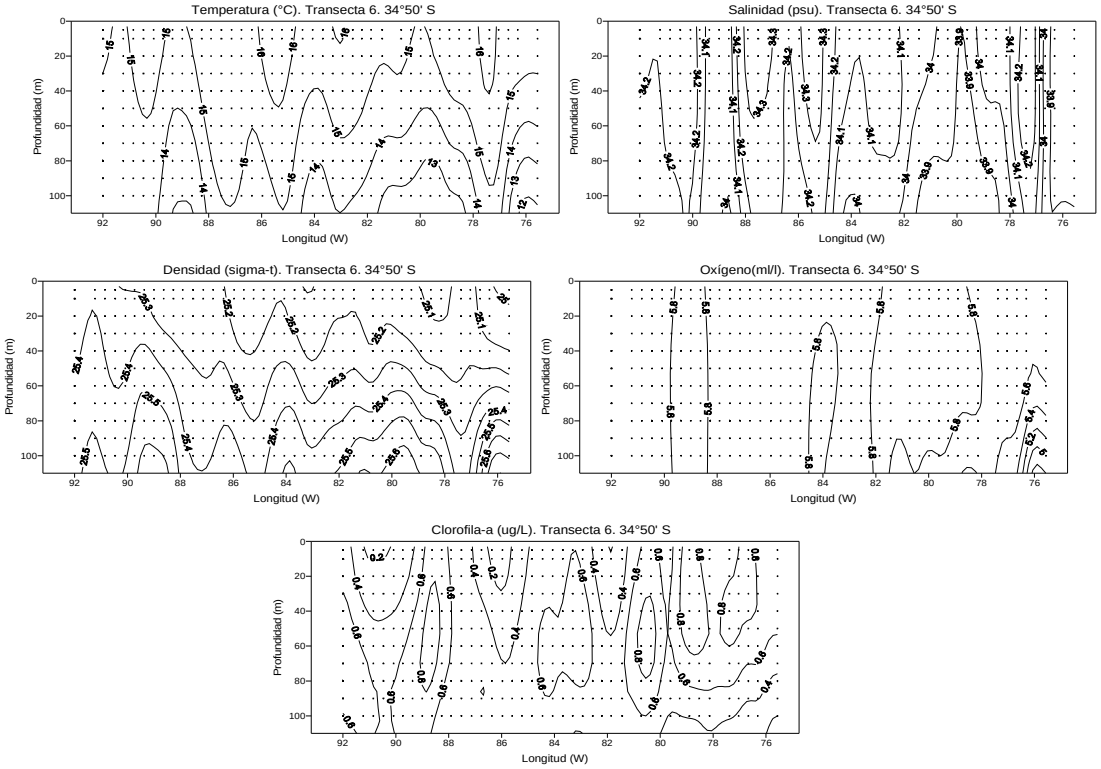


Figura 29. Distribución vetical de las variables, Transecta 6.

7.1.7 Diagramas T-S

La identificación de patrones hidrográficos enfocados a la presencia de masas de aguas se realizó a través de la interpretación de diagramas T-S (temperatura-salinidad). El análisis se llevó a cabo agrupando los perfiles verticales realizados en las tres diferentes transectas, los que se presentan en las **Figuras 30, 31 y 32**, para los transectos 2, 3 y 6, respectivamente. Durante la prospección, se identificó la presencia de un tipo de agua: Agua Subantártica (ASAA); sin embargo, en el área prospectada se registró Agua Subtropical en proceso de mezcla con la Subantártica. Los valores característicos para estos tipos de agua descritos en este estudio concuerdan con lo encontrado por otros autores en la región (**Blanco *et al.*, 2001; Rojas & Silva, 1996; Bernal *et al.*, 1983; Silva & Konow, 1975**).

Los diagramas TS para la zona norte del área de prospección muestran la presencia principalmente de ASAA, con índices termosalinos mayores a 33,81 psu de salinidad, y entre 11 y 15ºC de temperatura, mostrando valores de temperatura mayores a 15,5ºC y salinidades superiores a 33,82 psu lo que podría indicar la presencia incipiente de aguas subtropicales, las cuales estarían situadas verticalmente en los primeros 10 a 15 metros de profundidad.

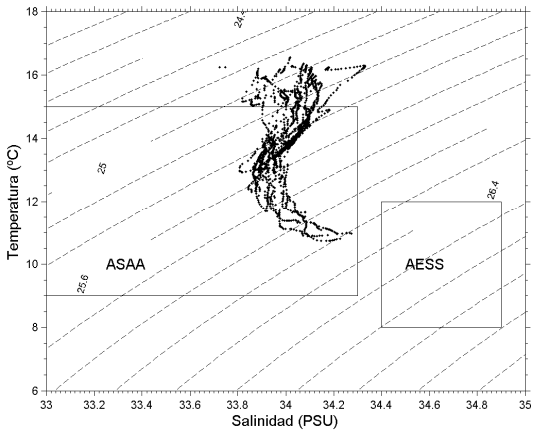


Figura 30. Relación entre la temperatura y salinidad (Diagramas TS) considerando las estaciones de muestreo asociadas a la Transecta 2.

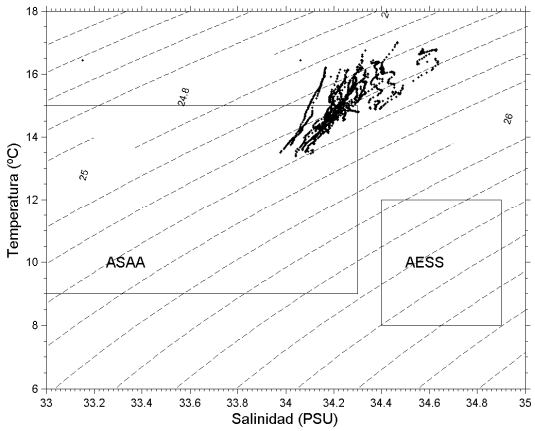


Figura 31. Relación entre la temperatura y salinidad (Diagramas TS) considerando las estaciones de muestreo asociadas a la Transecta 3.

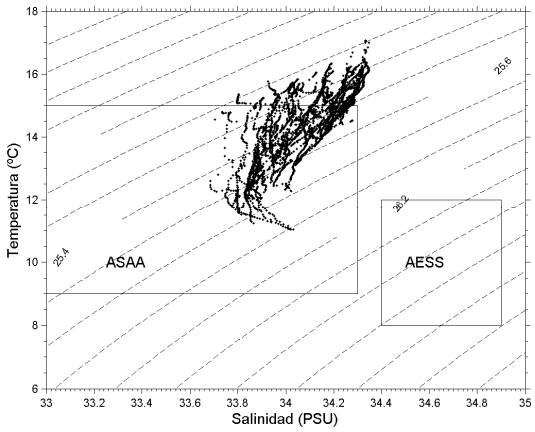


Figura 32. Relación entre la temperatura y salinidad (Diagramas TS) considerando las estaciones de muestreo asociadas a la Transecta 6.

7.1.8 Relaciones Ambiente – Recurso

Rangos ambientales

Las **Tablas 13 y 14** muestran los rangos de las variables ambientales consideradas en este estudio, en los cuales se detectó presencia de huevos y/o larvas de jurel, considerando toda el área de prospección. Los resultados muestran que el mayor porcentaje de huevos y larvas de jurel se encontró asociados a un rango de temperaturas intermedias (15-17ºC), bajos valores de viento, turbulencia, energía cinética y bajos gradientes superficiales de temperatura. Así, los datos

revelaron que el 73,4% de los huevos de jurel estuvieron asociados a temperaturas entre 15,1 y 17 ºC (**Tabla 13**), en tanto al analizar la turbulencia y la magnitud del viento, un alto porcentaje de los huevos estuvieron vinculados a turbulencias menores a 50 m^3 s^{-3} (81,8%) y a vientos menores a 2,5 m s^{-1} (68,1%). Por su parte, un alto porcentaje de los huevos de jurel (90,7%) se encontraron asociados a valores bajos de energía cinética (<100 cm^2 s^{-2}), y gradientes de TSM igualmente bajos (<0,1 ºC 20 km^{-1}) agruparon un alto porcentaje (> 66%) de los huevos de jurel en el área de estudio.

Para el caso de las larvas de jurel (**Tabla 14**), el resultado fue relativamente similar a lo ya reseñado para los huevos, esto es: a) un mayor porcentaje de larvas (86,1%) encontrada en el rango térmico de 15,1 a 17 ºC, b) un alto porcentaje de larvas vinculadas con vientos menores a 2,5 m s^{-1} y turbulencias menores a 50 m^3 s^{-3} (76,8% y 87,2%, respectivamente) y, c) un mayor porcentaje de larvas (77,3%) se encontró en gradientes menores a 0,1 ºC 20 km^{-1}.

Tabla 13: Porcentaje de huevos de jurel asociado a rangos ambientales de las variables Temperatura (ºC), Turbulencia (m^3 s^{-3}), Energía cinética (cm^2 s^{-2}), magnitud del viento (m s^{-1}), gradiente de TSM (ºC 20 km^{-1}).

Temperatura		Turbulencia		Energía cinética		Mag. viento		Gradientes TSM	
Rango	%	Rango	%	Rango	%	Rango	%	Rango	%
12,1-13,0	0,04	0-50	81,84	0-50	73,36	0,0-1,5	32,42	0-0,035	24,87
13,1-14,0	4,42	51-100	1,61	51-100	20,29	1,6-2,5	35,64	0,036-0,071	27,04
14,1-15,0	9,44	101-200	5,22	101-200	4,78	2,6-3,5	8,60	0,072-0,1061	14,66
15,1-16,0	43,79	201-300	2,53	201-300	0,68	3,6-4,5	4,42	0,1062-0,1412	18,36
16,1-17,0	29,57	301-400	0,32	301-400	0,0	4,6-6,0	5,22	0,1413-0,1763	6,99
17,1-18,0	2,65	401-700	7,35	401-700	0,0	6,1-9,0	9,60	0,1764-0,22	2,53

Tabla 14: Porcentaje de larvas de jurel asociado a rangos ambientales de las variables Temperatura (ºC), Turbulencia ($m^3\ s^{-3}$), Energía cinética ($cm^2\ s^{-2}$), magnitud del viento ($m\ s^{-1}$), gradiente de TSM (ºC 20 km^{-1}).

Temperatura		Turbulencia		Energía cinética		Mag. viento		Gradientes TSM	
Rango	%	Rango	%	Rango	%	Rango	%	Rango	%
12,1-13,0	0,0	0-50	87,18	0-50	85,01	0,0-1,5	52,36	0-0,035	22,01
13,1-14,0	0,48	51-100	1,21	51-100	9,07	1,6-2,5	24,43	0,036-0,071	28,54
14,1-15,0	6,29	101-200	2,90	101-200	5,20	2,6-3,5	5,44	0,072-0,106	26,72
15,1-16,0	42,81	201-300	2,18	201-300	0,73	3,6-4,5	1,09	0,106-0,141	11,0
16,1-17,0	43,29	301-400	1,69	301-400	0,0	4,6-6,0	3,02	0,141-0,176	7,26
17,1-18,0	2,90	401-700	3,63	401-700	0,0	6,1-9,0	7,13	0,1764-0,22	3,39

7.1.9 Variabilidad ambiental y distribución espacial de huevos y larvas de jurel

Las **Figuras 33 y 34** muestran los campos horizontales de las variables ambientales en conjunto con la distribución espacial de huevos y larvas de jurel, respectivamente.

La mayor densidad de huevos de jurel (**Figura 33**) se distribuyó en el cuadrante NW del área de estudio (al norte de los 36ºS y al oeste de los 85ºW), en un ambiente bien delimitado meridionalmente por las isotermas entre 15 y 17ºC, y caracterizado por sus bajos valores de magnitud de viento y de turbulencia. Este gran parche de altas densidades de huevos de jurel (> 500 huevos $10m^{-2}$) situado en el cuadrante NW, se encuentra asimismo bien delimitado hacia el sur por una fuerte corriente de meandro de dirección W-E, y por una serie de remolinos ciclónicos y anticiclónicos (**Figura 33**). Para el caso de las larvas de jurel (**Figura 34**), las zonas de altas densidades se encontraron más restringidas al extremo NW del área de estudio, con una nula presencia al sur de los 36ºS (ambientes más fríos, <15ºC) y escasas densidades al Este de los 85ºW. Al igual que lo reseñado para huevos, las mayores densidades de larvas se asociaron con ambientes más estables (baja turbulencia y viento), concordantes con lo reseñado el análisis de rangos ambientales.

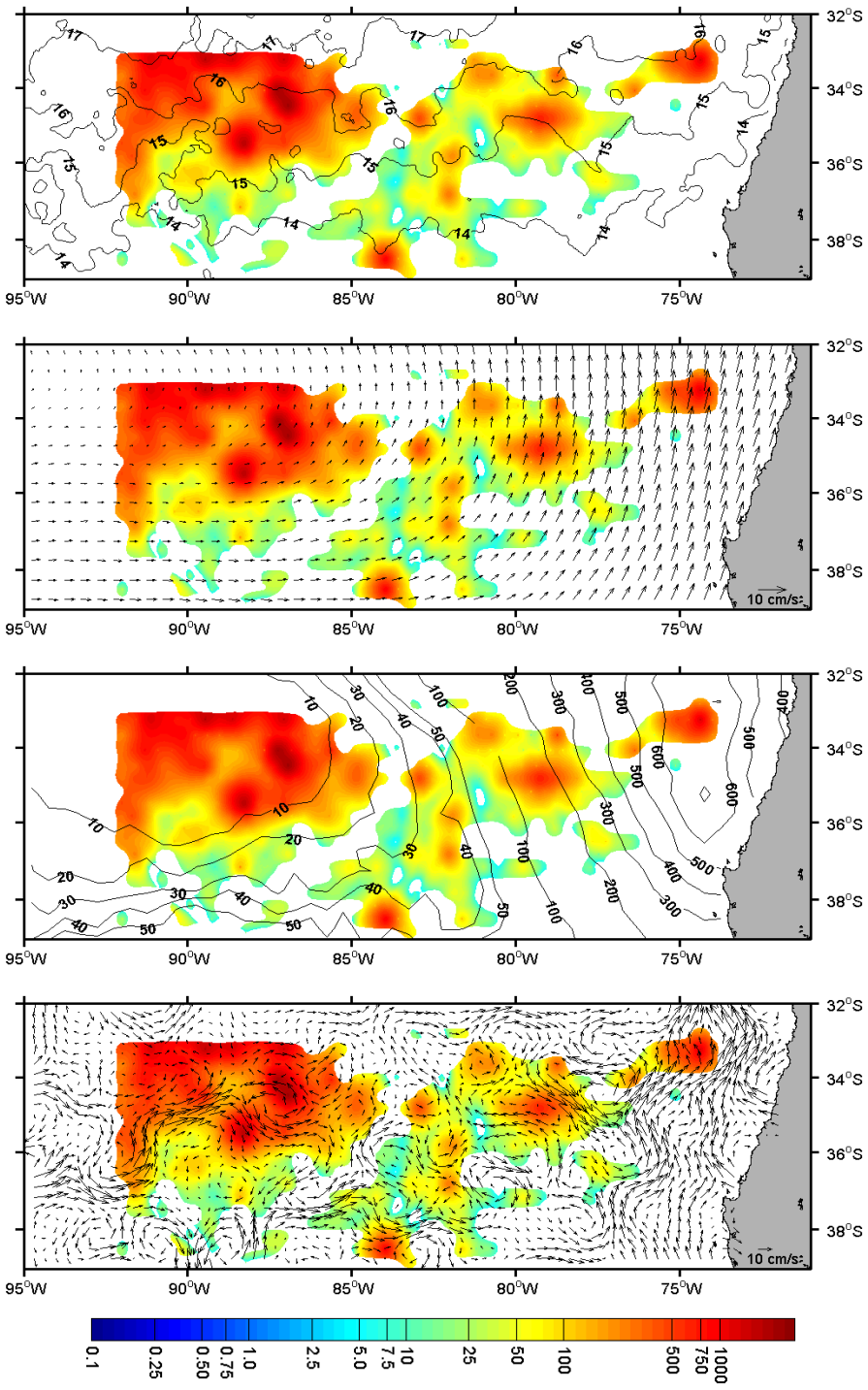


Figura 33. Distribución espacial de huevos de jurel y a) Temperatura superficial del mar (ºC), b) magnitud del viento (m s^{-1}), c) turbulencia (m3 s^{-3}), d) corrientes geostróficas (cm s^{-1}).

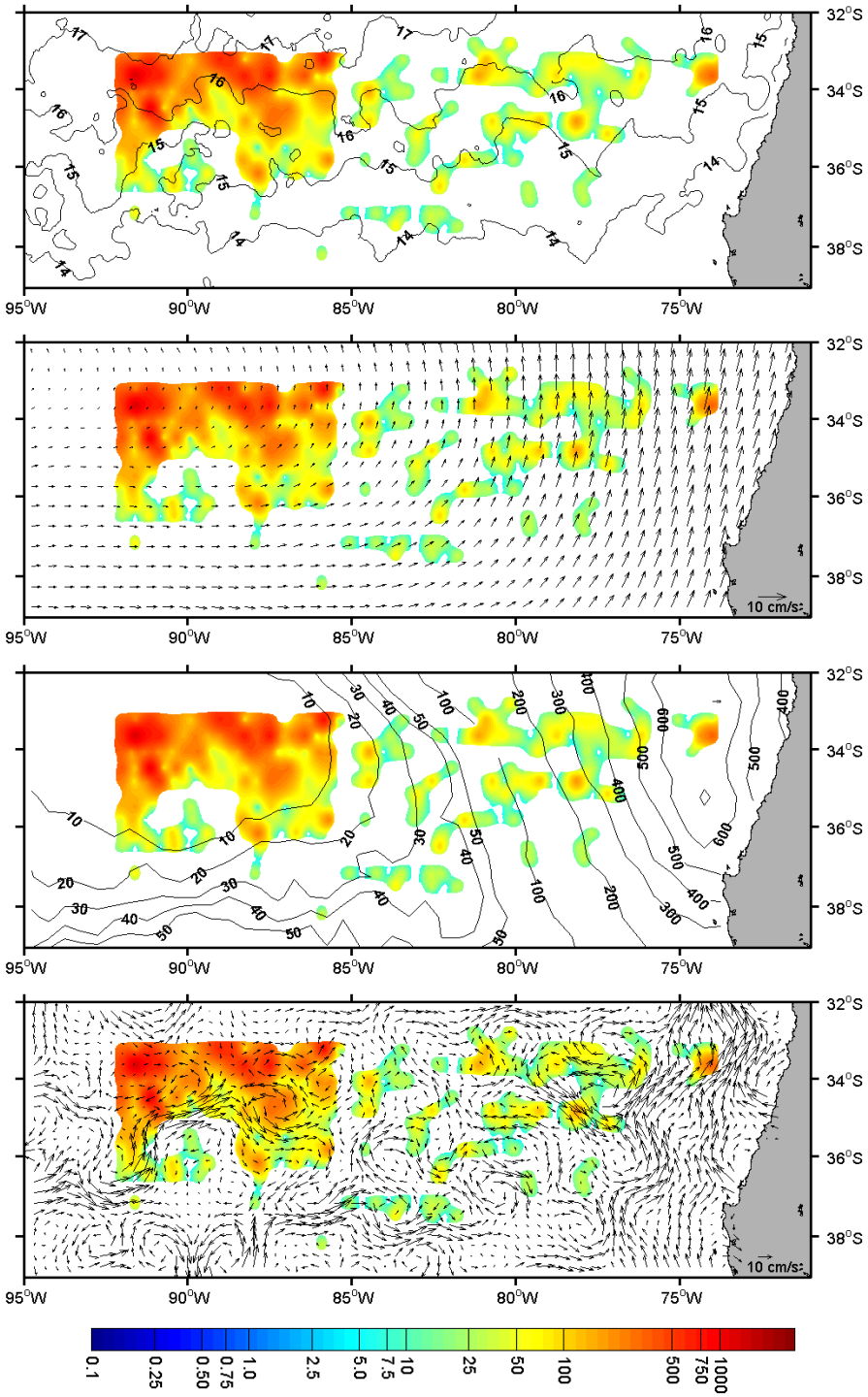


Figura 34. Distribución espacial de larvas de jurel y a) Temperatura superificial del mar (ºC), b) magnitud del viento (m s-1), c) turbulencia (m3 s-3), d) corrientes geostróficas (cm s-1).

7.1.10 Modelos Aditivos Generalizados

En la modelación se incluyó variables de posición (latitud y longitud) y variables que caracterizaron ambientalmente el hábitat de desove del jurel. El modelo GAM, de tipo descriptivo, se basó en la utilización de funciones de suavizamiento del tipo "*spline*". Se utilizaron las variables densidad de huevos y de larvas independientemente para ser modeladas en función de las variables seleccionadas. En la modelación de la densidad de huevos de jurel, se obtuvo un modelo con parámetros significativos para explicar la distribución y cambios en los niveles de densidad en función de las variables ambientales, a excepción de la temperatura, clorofila y turbulencia; sin embargo, la temperatura y la turbulencia mostraron tendencias que pueden ser discutidas. Los resultados de la aproximación exploratoria se presentan en la **Figura 35**, donde se observa que la distribución de huevos se incrementa fuertemente al norte de los 36ºS, encontrándose las máximas densidades entre los 34 y 36ºS. Se observó un incremento de la densidad con la longitud, mostrando las mayores agregaciones entre los 84ºW y los 92ºW, con un máximo asociado a los 88ºW. El efecto de la temperatura aumenta linealmente a partir de los 15ºC, extendiéndose esta relación hasta sobre los 17ºC, siendo nula la influencia de esta variable ambiental hacia más valores bajos, lo que entrega límites de tolerancia o de baja preferencia del recurso, restringiendo el límite sur del hábitat de desove.

En relación a la turbulencia, aunque no hubo sustento estadístico, la tendencia mostró una mayor influencia de bajos niveles de turbulencia en las densidades de huevos, dando cuenta de una preferencia en el desove hacia áreas con mayor estabilidad, escenario que se ve respaldado por la tendencia mostrada en relación a la energía cinética, la que muestra un efecto en forma de domo asociado a bajas intensidades (entre 25 y 110 $cm^2\ s^{-2}$) y por los resultados obtenidos en relación con el viento, en donde se obtuvo efecto positivo en las densidades de huevos hacia magnitudes bajas. Por otra parte, menores densidades de huevos de jurel estuvieron asociadas a fuertes gradientes térmicos. La **Tabla 15** resume la bondad de ajuste y la significancia estadística de los parámetros de los modelos ajustados para huevos y larvas de jurel en el área de estudio.

En el caso de las larvas de jurel, se observó una distribución similar (aunque más acotada) a la señalada para los huevos. Sin embargo, la mayor distribución de larvas ocurre más hacia el extremo NW que la distribución de huevos, esto es, entre los 33ºS y 34ºS. Longitudinalmente, se observó un incremento en la densidad de larvas hacia el oeste de forma sostenida a partir de los

84ºW, pudiéndose inferir que la distribución de larvas de jurel podría extenderse más allá de los 92ºW, que representa el límite occidental del área de muestreo. En función de la temperatura, se observó también una relación no lineal, con un efecto positivo sobre la densidad larval a partir de los 15,2 ºC y máximas concentraciones larvales en un estrecho rango térmico comprendido entre 15,5 y 16 ºC. En el caso de la clorofila-a, no hubo significancia estadística ni tendencia alguna en la modelación. De manera similar a lo ya reportado para los huevos de jurel, se obtuvo una relación inversa entre altas densidades de larvas de jurel y bajos valores del índice de turbulencia, energía cinética e intensidad del viento, evidenciando concentraciones larvales (de diferentes edades) en ambientes de baja energía y una columna de agua más estable (**Figura 36**). Las mayores densidades de larvas de jurel estuvieron asociadas también a bajos gradientes térmicos al igual que lo señalado para huevos.

Tabla 15. Parámetros de los modelos GAM aplicados a huevos y larvas de jurel.

Huevos	**g. de l.**	**Nº de parámetros**	**Valor F**	**Valor p**
s (Latitud)	1	3	2.3955	0.067032
s (Longitud)	1	3	2.1262	0.095498
s (TSM)	1	3	0.911	0.435178
s (clorofila)	1	3	1.4407	0.229593
s (turbulencia)	1	3	2.0549	0.104797
s (energía cinética)	1	3	3.5476	0.014248
s (gradiente térmico)	1	3	4.4985	0.003869
s (magnitud del viento)	1	3	2.9621	0.031478
Larvas	**g. de l.**	**Nº de parámetros**	**Valor F**	**Valor p**
s (Latitud)	1	3	4.1981	0.0058502
s (Longitud)	1	3	7.9741	0.0000031
s (TSM)	1	3	6.3242	0.0003073
s (clorofila)	1	3	1.5328	0.2046005
s (turbulencia)	1	3	2.2566	0.0805022
s (energía cinética)	1	3	0.5757	0.6311326
s (gradiente térmico)	1	3	1.2398	0.2941957
s (magnitud del viento)	1	3	4.5413	0.003647

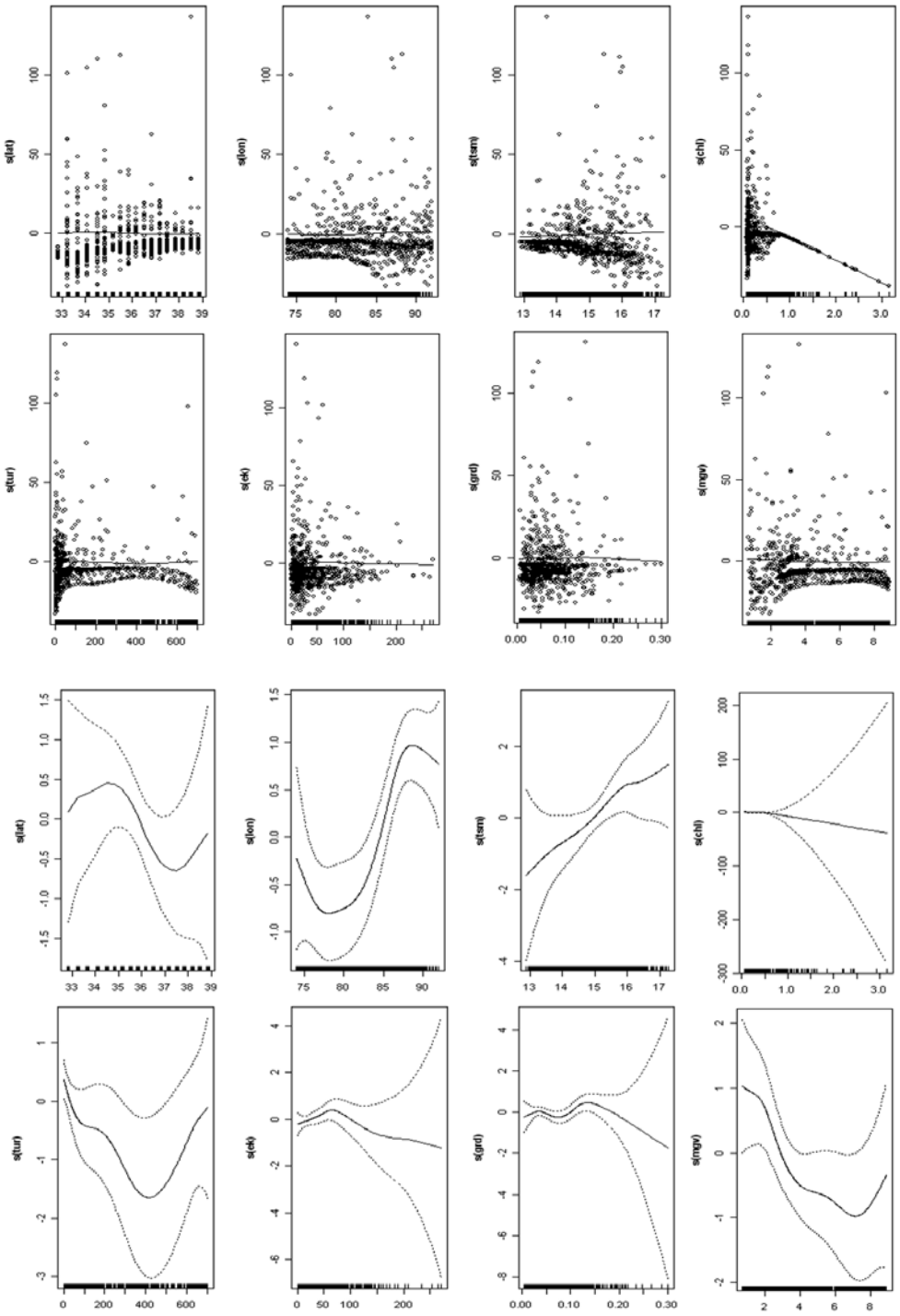


Figura 35. Densidad de huevos de jurel en relación con la latitud, longitud, temperatura superficial del mar, clorofila-a, turbulencia, energía cinética, gradientes térmicos y magnitud del viento. Noviembre de 2006. Las bandas representan intervalos de confianza del 95%.

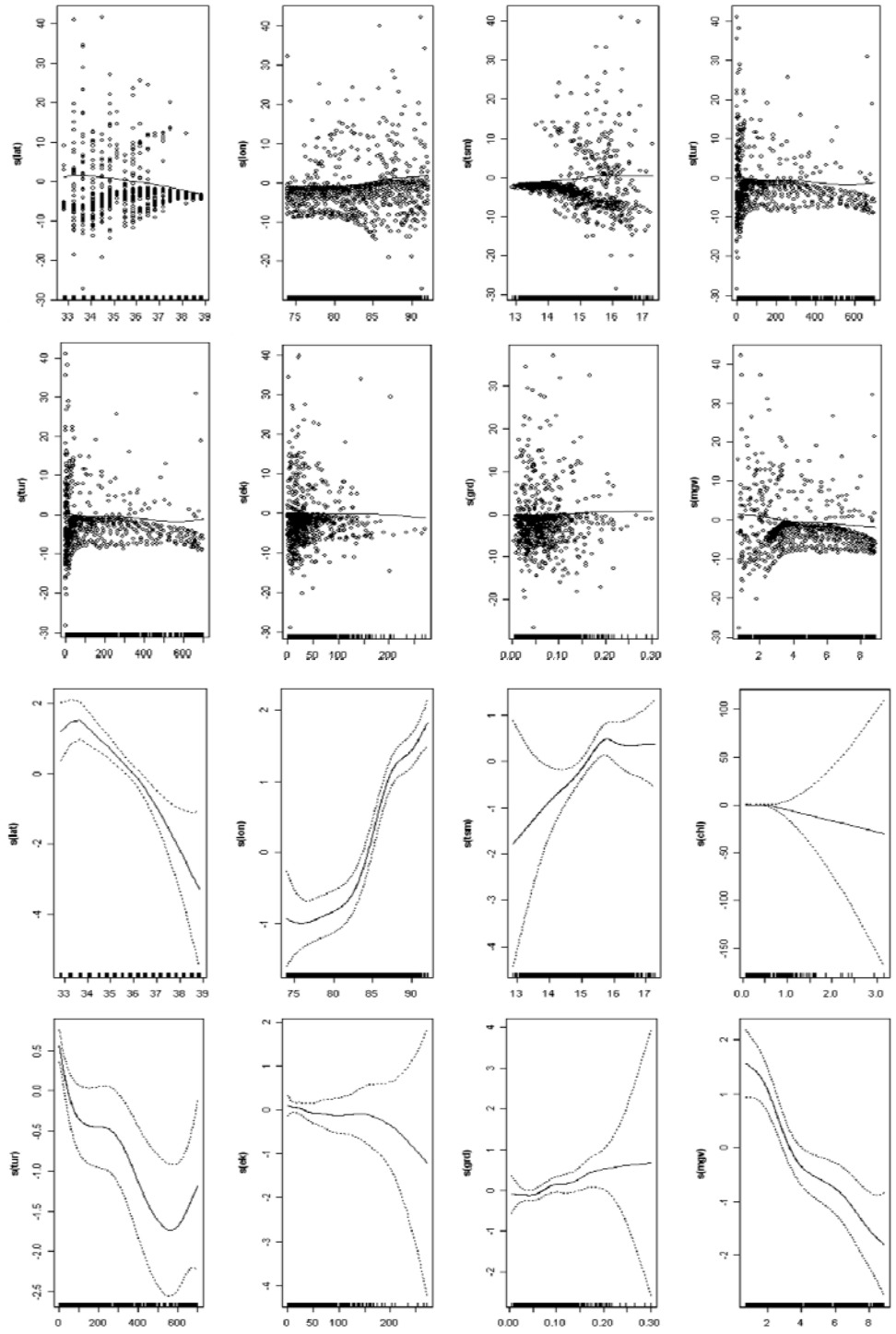


Figura 36. Densidad de larvas de jurel en relación con la latitud, longitud, temperatura superficial del mar, clorofila-a, turbulencia, energía cinética, gradientes térmicos y magnitud del viento. Noviembre de 2006. Las bandas representan intervalos de confianza del 95%.

7.1.11 Huevos/Larvas de jurel y remolinos de mesoescala

Con el propósito de conocer sobre la asociación de huevos y larvas de jurel y remolinos de mesoescala, reconocidos como estructuras recurrentes y dominantes de la dinámica costera y oceánica frente a Chile central (**Leth & Middleton, 2004; Hormazábal *et al.*, 2004**), se identificaron, delimitaron y cuantificaron los anillos ciclónicos y anticiclónicos en el área de desove prospectada en este estudio, mediante el parámetro de Okubo-Weiss (**Isern-Fontanet *et al.*, 2004; 2006**).

En el área de estudio se contabilizó un total de 17 remolinos ciclónicos con un diámetro que fluctuó entre los 80,5 y 167,5 kilómetros, y un total de 19 remolinos anticiclónicos con un diámetro entre los 81,7 y 160,6 kilómetros. Considerando la totalidad de la densidad de huevos y larvas en el área de estudio, los resultados indicaron que los huevos de jurel estuvieron asociados en un 20,5% y un 16,6% a remolinos anticiclónicos y ciclónicos, respectivamente; en tanto que, para el caso de las larvas, un 17,8% y un 17,2% se asociaron a remolinos anticliclónicos y ciclónicos, respectivamente. La **Figura 37** muestra una síntesis del porcentaje de asociación de huevos y larvas de jurel a estas estructuras de mesoescala, verificando porcentajes mayores a un 30% de la densidad total vinculados a anillos ciclónicos y anticiclónicos en el área de desove de jurel en Noviembre de 2006, porcentajes similares a los descritos para el período 1999-2005 en el área de estudio (**Núñez *et al.*, 2006, Vásquez *et al.*, 2007**).

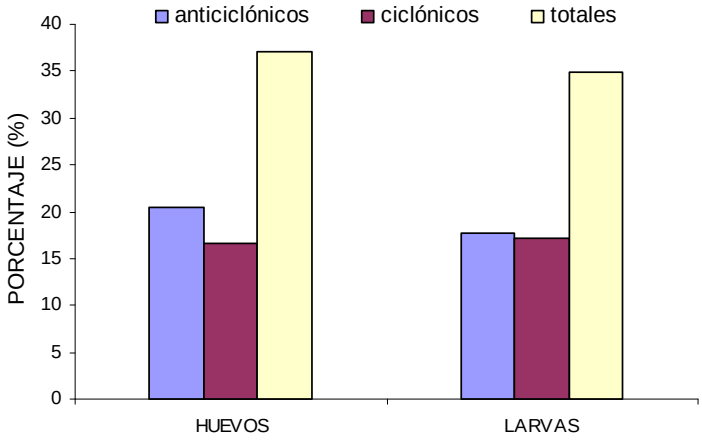


Figura 37. Porcentaje de asociación de huevos y larvas de jurel con remolinos de mesoescala (ciclónicos y anticiclónicos) en el área de desove de jurel frente a Chile central. Noviembre de 2006.

7.2 DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE HUEVOS Y LARVAS DE JUREL

La información de campo obtenida en el crucero de evaluación ejecutado en noviembre de 2006 fue procesada y analizada con el objeto de analizar la distribución espacial de huevos y larvas de jurel en la zona de estudio. Previamente, se definió los focos de abundancia, siguiendo el enfoque geoestadístico transitivo independientemente para huevos y larvas de jurel.

7.2.1 Area de desove y polígonos de estimación

El área de estudio, definida como la superficie efectivamente evaluada, alcanzó una extensión de 391.755 mn^2 (**Figura 38**), lo que significa un incremento de 9,9% respecto del área prospectada en noviembre de 2005 (=356.320 mn^2) y una reducción de un 3,0% respecto de noviembre de 2004 (=403.980 mn^2). El área de desove, calculada según la cuantificación de las sub-áreas que representan estaciones positivas alcanzó a 199.000 mn^2, siendo 4,1% menor que el área de desove observada en el año 2005 (=208.180 mn^2), para aproximadamente el mismo período de evaluación (noviembre).

Por otro lado, según el enfoque geoestadístico transitivo, para el caso de los huevos de jurel, se identificó 8 polígonos de estimación de la densidad (huevos $10m^{-2}$), que ocuparon una

superficie de 222.483,1 mn^2 (**Tabla 16**), representando 54,7% del área total de evaluación, difiriendo sustancialmente de la proporción de área ocupada en noviembre de 2005 (= 61%, FIP 2005-11). Al respecto, cabe hacer notar que el área de desove por el enfoque geoestadístico es un 11,8% mayor, lo que se atribuye al proceso de suavizamiento de los bordes del polígono de estimación.

En el caso de las larvas de jurel, el área de distribución según el enfoque de las sub-áreas, alcanzó a 121.095 mn^2, lo que equivale a 33,8% del área estudiada, que además es significativamente menor que la proporción de área ocupada en noviembre de 2005 (= 62,1%). Bajo el enfoque geoestadístico transitivo, el área de distribución de las larvas se encontró fragmentada en 11 polígonos de estimación con una superficie de 137.592,3 mn^2, un 13,6% mayor que en el caso anterior.

Tabla 16. Área (mn^2) de los polígonos de estimación identificados para huevos y larvas de jurel en el área de estudio en noviembre de 2006 según el enfoque geoestadístico transitivo.

Polígo	Huevos	Larvas
1	1.644,0	74.201
2	112.394	6.813,
3	90.337,	38.883
4	9.952,7	3.582,
5	5.041,8	3.886,
6	2.377,7	1.797,
7	367,5	1.100,
8	367,5	6.224,
9		367,5
10		367,5
11		367,5
Total	222.483	137.59

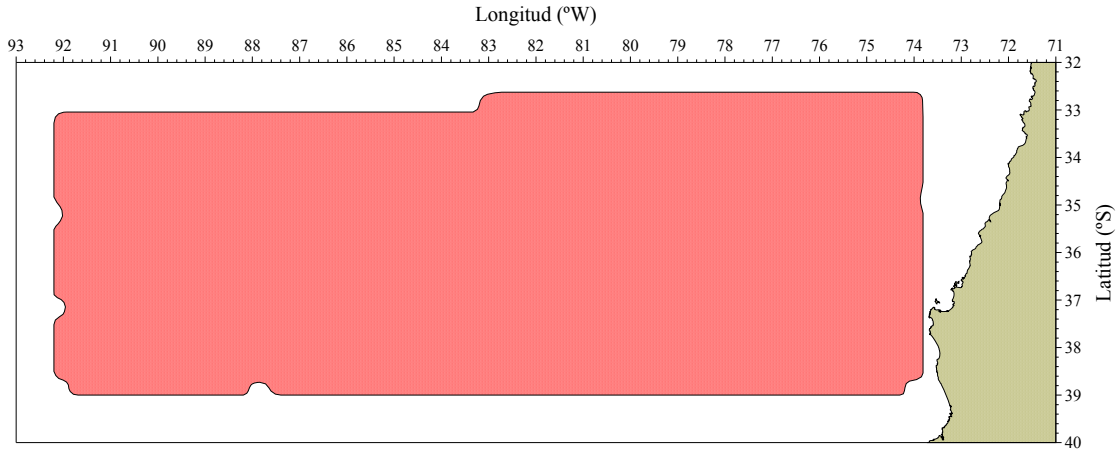


Figura 38. Mapa que representa la disposición espacial del área de estudio de la distribución espacial de la densidad de huevos y larvas de de jurel (*Trachurus murphyi*) en noviembre de 2006.

7.2.2 Distribución espacial de huevos y larvas de jurel

a) <u>Huevos de jurel</u>

El análisis estructural no reveló la presencia de anisotropía, por lo que la distribución espacial de huevos jure se consideró isotrópica. El modelo de variograma teórico ajustado al variograma experimental correspondió al modelo esférico, cuyos parámetros se entregan en la **Tabla 17**. El mismo análisis indica que la varianza no explicada por el variograma (**Figura 39**), alcanzó a 14,0%, considerado moderadamente bajo para este tipo de estudios. La distribución espacial de la densidad (huevos $10m^{-2}$) de huevos de jurel se entrega a la forma de un mapa de contornos en la **Figura 40**.

Tabla 17. Parámetros del variograma teórico ajustado a los registros de densidad de huevos (huevos $10m^{-2}$) y larvas (larvas $10m^{-2}$) de jurel. Bondad de ajuste: SCR = suma de cuadrados residuales.

Parámetros	Huevos	Larvas
Modelo	Esférico	Esférico
Rango (mn)	306,835	349,748
Umbral (*sill*)	4.498,191	617,236
Efecto pepita (nugget)	732,466	0,861
SCR	2.224.518,0	48.761,1

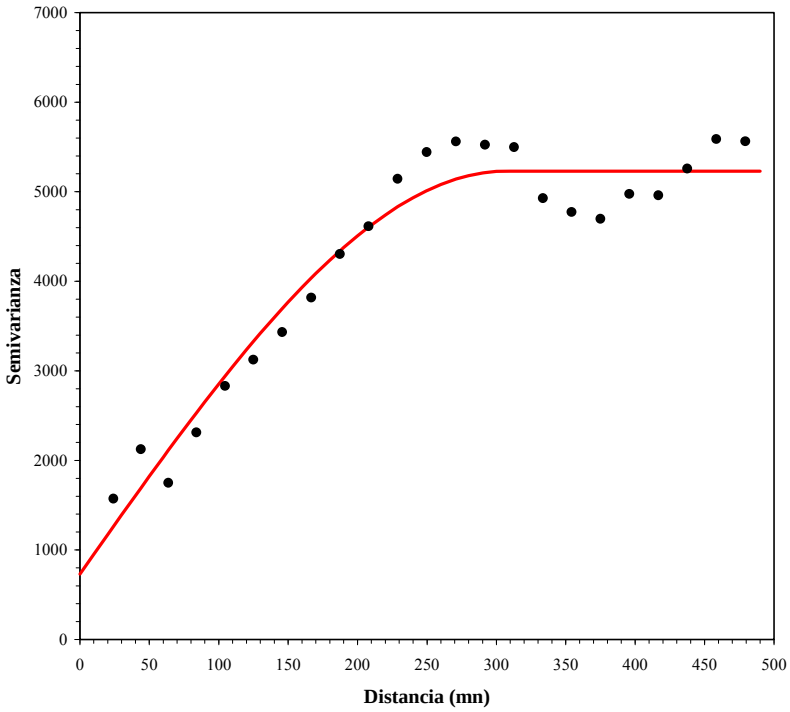


Figura 39. Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de huevos de jurel (*Trachurus murphyi*, huevos $10m^{-2}$) en el área de estudio en noviembre de 2006.

Durante el crucero realizado en noviembre de 2006 se observó una amplia cobertura de huevos de jurel, disminuída respecto del año 2005, destacando altas densidades de huevos (> 1000 huevos 10 m^{-2}) en la región noroccidental del área prospectada, esto es, al norte de los 34ºS

y al oeste de los 86ºW (**Figura 40**). Una excepción a lo anterior se verifica en un pequeño núcleo de alta densidad situada en el extremo nororiental del área de estudio, hacia los 33º20'S, y cercano a la costa. No obstante lo anterior, en general el sector costero (74-78ºW) y el sector sur (al sur de los 36ºS) evidenciaron una muy baja densidad de huevos.

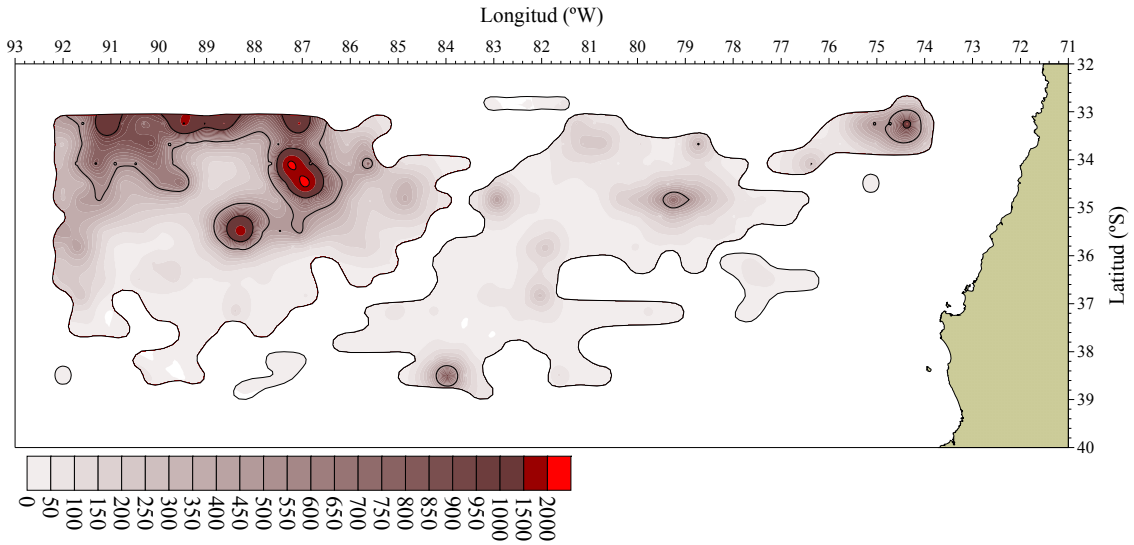


Figura 40. Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de huevos (huevos/10m^2) de jurel (*Trachurus murphyi*) en el área de estudio en noviembre de 2006.

b) Larvas de jurel

La distribución de larvas de jurel en el área de estudio, al igual que en el caso de los huevos, presentó anisotropía zonal en la dirección Este-Oeste. El análisis estructural reveló que el rango de las estructuras alcanzaron un tamaño de aproximadamente 350 mn **(Tabla 17**). El modelo de variograma teórico ajustado al variograma experimental que representa la continuidad espacial de la densidad de larvas de jurel en el área de estudio correspondió al modelo esférico, cuyos parámetros se entregan en la **Tabla 17** (**Figura 41**).

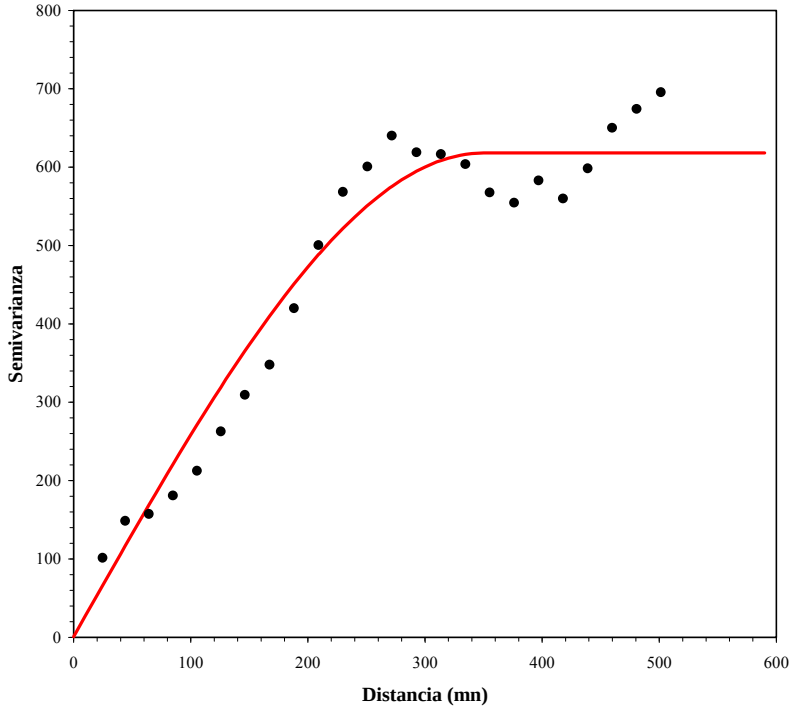


Figura 41. Variograma teórico (modelo esférico, línea roja) ajustado al variograma experimental (puntos) de la densidad de larvas de jurel (*Trachurus murphyi*, larvas 10m^{-2}) en la zona de estudio.

A diferencia de la distribución espacial de huevos, la distribución espacial de la densidad de larvas (larvas 10m^{-2}) se presentó más fragmentada, habiéndose identificado 11 focos de densidad (**Figura 42**), alcanzando en conjunto un área total de 137.592,3 mn^2 (**Tabla 16**), menor que el área de distribución de huevos (38,2%), y equivalente a 33,8% del área de evaluación. La distribución espacial de larvas de jurel descrita para este crucero, reveló una cobertura espacial similar a la reportada para los huevos de la especie, pero más acotada al extremo noroccidental del área prospectada, con núcleos de densidades superiores a los 600 larvas 10 m^{-2} situados al norte de los 34ºS y al oeste de los 86ºW. Cabe destacar la muy baja densidad de larvas de jurel hacia el sector situado al sur de los 36ºS, y hacia la costa (<84ºW).

La **Tablas 18 y 19** entregan los índices de abundancia de huevos y larvas de jurel para el período histórico de análisis (1997-2006). Para el caso de los huevos, las estaciones positivas representaron un 38,9% de las estaciones 791 estaciones, porcentaje levemente inferior al

reportado para el crucero anterior (2005) y claramente más bajo al reseñado para el 2004, constituyendo el valor más bajo informado para el período histórico de estudio (1997-2006). Los resultados de la densidad de huevos en las estaciones totales (111,3 huevos $10m^{-2}$) y positivas (285,8 huevos $10m^{-2}$) para este crucero fueron levemente superiores a lo reportado para el crucero del año 2005 y, al menos para la densidad en estaciones positivas, para el crucero de noviembre del año 2003. Para las larvas, las estaciones positivas representaron un 25,9% de las 791 estaciones realizadas, porcentaje inferior al reportado para el crucero de 2005, y el más bajo de la serie histórica 1997-2006. En este crucero, la densidad de larvas en las estaciones totales (37,7 larvas $10m^{-2}$) fue el más bajo de la serie histórica, siendo también bajo el valor de densidad para las estaciones positivas (142,7 larvas $10m^{-2}$), verificándose como el segundo valor más bajo de la serie analizada. Los cambios interanuales de las densidades de huevos y larvas de jurel considerando las estaciones positivas y el total de estaciones para el período histórico contrastado se presentan en las **Figuras 43 y 44**, respectivamente.

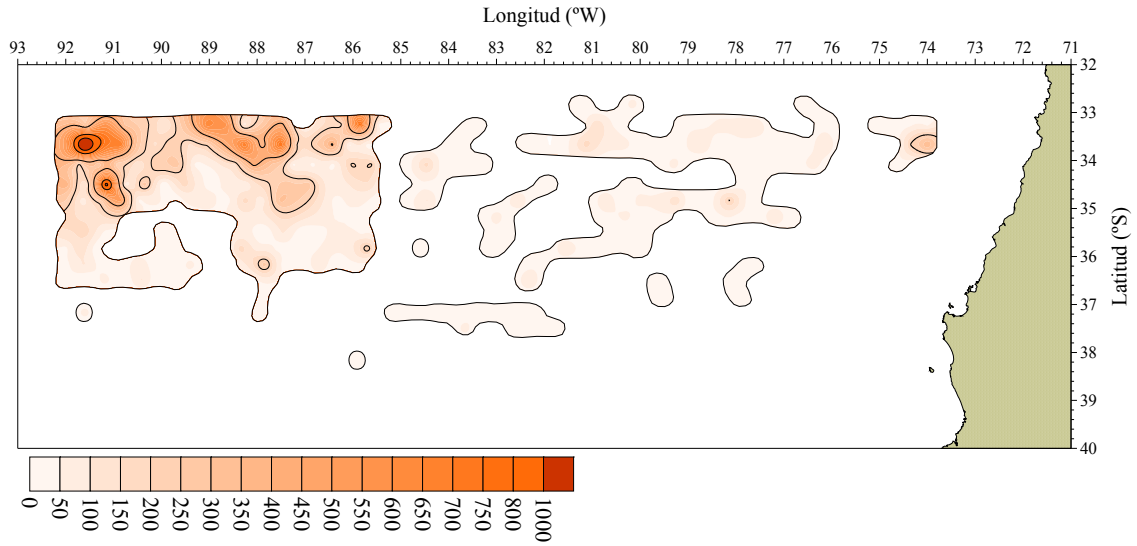


Figura 42. Diagrama de contorno (isolíneas) que representa la distribución espacial de la densidad de larvas (núm./$10m^2$) de jurel (*Trachurus murphyi*) en el área de estudio en noviembre de 2006.

Tabla 18. Estadística de la distribución de huevos de jurel entre 1997 y 2006. D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) = varianza de la densidad media en estaciones positivas, EE(Dpos) = error estándar; Dmin = densidad mínima, Dmax = densidad máxima.

Estadísticos	**1997**	**1998**	**1999-n**	**1999-d**	**2000**	**2001**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Estaciones	66	173	751	363	880	661	694	910	784	791
Est. positivas	34	125	546	212	660	478	419	658	326	308
%	51,5	72,3	72,7	58,4	75,0	72,3	60,4	72,3	41,6	38,9
D	108,5	317,9	561,7	266,3	444,2	640,2	132,0	373,5	98,4	111,3
Var(D)	506,9	1903,2	3618,6	400,9	413,9	1781,8	97,6	763,0	87,9	183,0
EE(D)	22,5	43,6	60,2	20,0	20,3	42,2	9,9	27,6	9,4	13,5
Dpos	210,6	440,0	772,6	455,9	592,2	885,8	218,7	516,6	236,7	285,8
Var(Dpos)	1938,1	3653,6	6550,4	1177,8	603,1	2956,0	222,6	1347,5	408,7	1046,8
EE(Dpos)	44,0	60,4	80,9	34,3	24,6	54,4	14,9	36,7	20,2	32,4
Dmin	26,2	30,1	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
Dmax	1176,2	3917,7	26844,1	3501,4	5199,1	11353,0	2900,2	14465,4	4420,9	4633,2

Tabla 19. Estadística de la distribución de larvas de jurel entre 1997 y 2006. D= densidad total, Var(D) = Varianza, EE(D) error estándar, Dpos = Densidad en estaciones positivas; Var(Dpos) =varianza de la densidad media en estaciones positivas, EE(Dpos)= error estándar; Dmin= densidad mínima, Dmax= densidad máxima.

Estadísticos	**1997**	**1998**	**1999-n**	**1999-d**	**2000**	**2001**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Estaciones	66	173	751	363	880	661	694	910	784	791
Estaciones Pos	18	101	501	207	678	504	270	483	367	205
%	27,3	58,4	66,7	57,0	77,0	76,2	38,9	53,1	46,8	25,9
D	38,0	243,0	192,6	152,0	266,0	242,4	49,9	97,6	86,9	37,7
Var(D)	62,3	1130,5	97,8	134,7	125,4	163,6	19,2	43,85	45,1.	16,1
EE(D)	7,9	33,6	9,9	11,6	11,2	12,8	4,4	199,8	188,0	112,8
Dpos	139,4	416,2	288,7	266,5	345,2	317,9	128,4	183,9	185,8	142,7
Var(Dpos)	873,6	3330,5	220,0	415,0	211,3	233,9	89,8	12,28	155,94	166,50
EE(Dpos)	29,6	57,7	14,8	20,4	14,5	15,3	9,5	243,6	239,2	184,8
Dmin	21,4	30,1	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
Dmax	425,2	2803	2794,1	2157,4	3395,3	2864,8	1379,3	1697,7	2122,1	1379,3

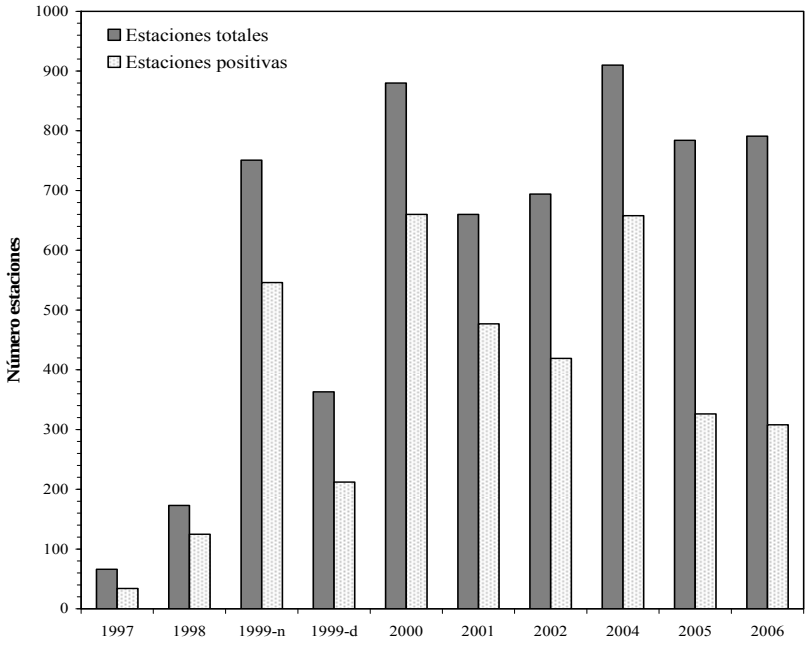


Figura 43. Cambios interanuales en el número de estaciones totales y positivas para huevos de jurel en el área de estudio.

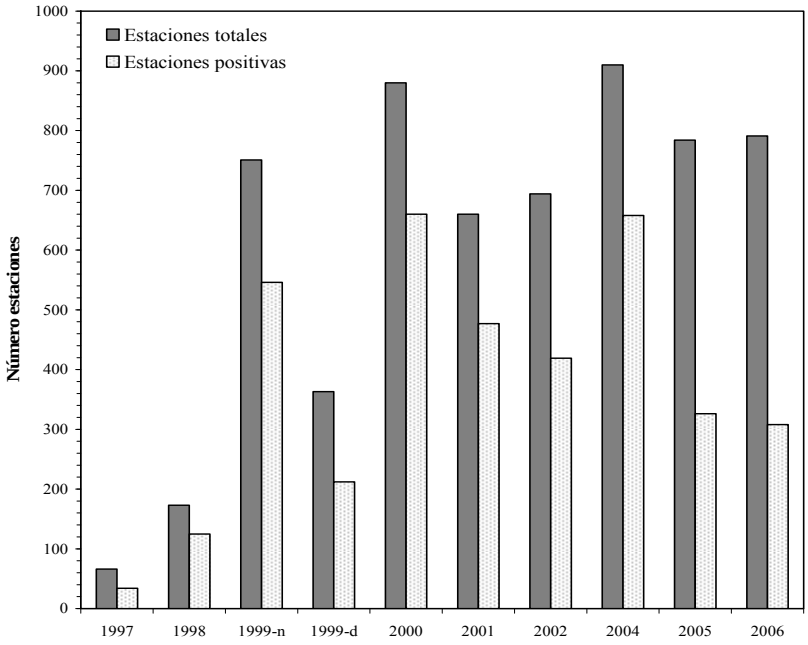


Figura 44. Cambios interanuales en el número de estaciones totales y positivas para larvas de jurel en el área de estudio.

7.2.3 Determinación de la estratificación vertical de huevos y larvas de jurel

Las dos minigrillas de evaluación realizadas entre las longitudes 79 y 81 ºW y las latitudes 33º20 y 34ºS, arrojaron muy bajas abundancias de huevos y larvas de jurel. Sólo se reportaron dos estaciones positivas, cada una con 1 huevo en la profundidad de 0 y 25 metros respectivamente. Esta situación, generó que el análisis de la distribución vertical no fuera posible de realizar. Si bien el proceso de búsqueda fue riguroso, no fue posible encontrar un foco de desove lo suficientemente abundante como para encontrar huevos de jurel a las distintas abundancias predeterminadas.

7.3 PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS Y TASA DE MORTALIDAD INSTANTÁNEA

7.3.1 Comparación de Modelos de asignación de edad

El ajuste mediante mínimos cuadrados del modelo de Lo, 1985, arrojó el siguiente modelo temperatura-dependiente:

$$Y_{D,T} = 4{,}1544 * \exp(-0.0380 * T - 0{,}0715 * D) * \left(D\right)^{1{,}6558}$$

Si bien el modelo estima todos los parámetros del modelo, no todos son significativos:

```
Formula: Mage ~ a * exp(-(b * Temp + c * Stage)) * Stage^d
Parameters:
  Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
a 4.154466   1.253344   3.315   0.0028 **
b 0.038095   0.007097   5.368 1.44e-05 ***
c 0.071572   0.038885   1.841   0.0776 .
d 1.655876   0.283455   5.842 4.30e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Residual standard error: 2.744 on 25 degrees of freedom

Además, es un modelo paramétrico que no es lo suficientemente flexible como para explicar la evolución de la edad media para cada estadío a las diferentes temperaturas analizadas, sobretodo en el caso de la temperatura a 14 º C (**Figura 45**). Al comparar este modelo con el Modelo generalizado de Lo (no paramétrico), se observa que éste es un modelo un tanto más flexible, el cual permite recoger la curvatura en la relación entre la edad media y los estadíos, la cual es mucho mayor en la temperatura más baja (14º C).

a) b)

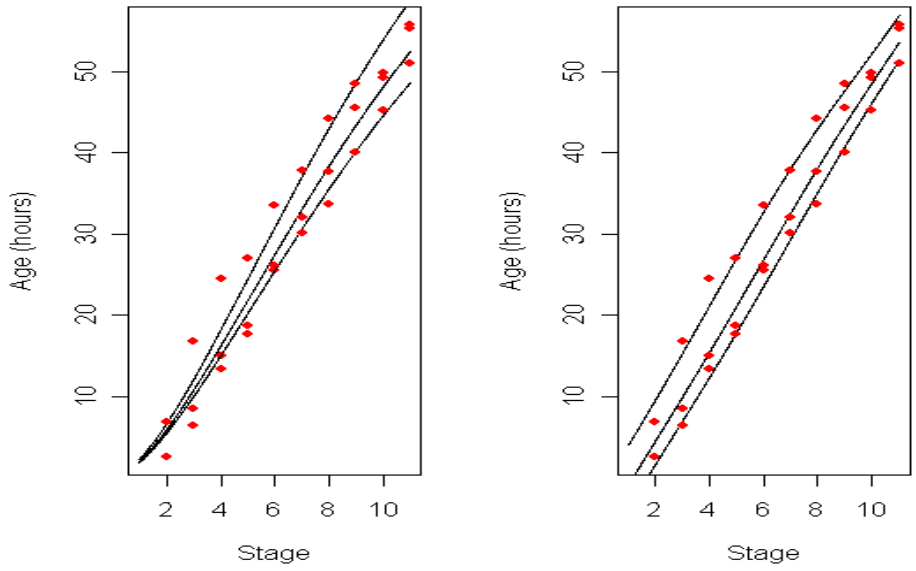


Figura 45. Edad asignada a los diferentes estadíos de jurel mediante dos métodos. a) Modelo Lo, 1985 y b) Modelo generalizado de Lo (Bernal et al 2004).

Además, este modelo se ajusta de excelente manera a la data, con un $R^2 = 0.989$ y una varianza explicada = 99.1 %:

Family: gaussian
Link function: identity
Formula:
Mage ~ s(Stage, Temp, k = 8)
Parametric coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 30.9824 0.3125 99.14 <2e-16 ***

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
                edf Est.rank      F p-value
s(Stage,Temp) 4.998        7 354.8  <2e-16 ***
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
R-sq.(adj) =  0.989   Deviance explained = 99.1%
GCV score = 3.5707   Scale est. = 2.8322     n = 29
```

En la **Figura 46**, se presentan las salidas del modelo multinomial ajustado. Cada panel representa una de las tres temperaturas analizadas y cada línea de cada panel es la evolución de la probabilidad ajustada de que un huevo esté en un estadío dado a medida que la edad incrementa.

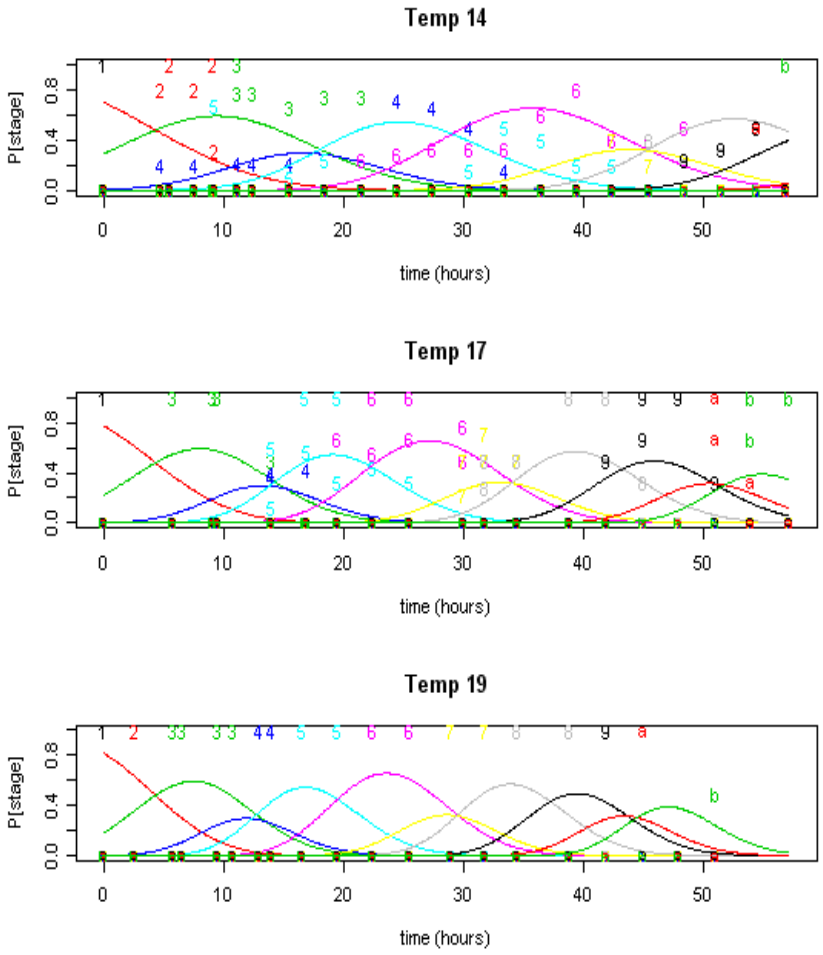


Figura 46. Salidas del modelo de incubación multinomial.

```
glm(formula = form, family = binomial(link = link), data = ninc,
```

```
    control = glmControl)
Deviance Residuals:
      Min         1Q     Median         3Q        Max
-3.752e+00   0.000e+00   2.980e-08   6.664e-08   5.363e+00
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
    Null deviance: 3361.01  on 565  degrees of freedom
Residual deviance:  320.26  on 529  degrees of freedom
Deviance explained = 91%

AIC: 484.42
Number of Fisher Scoring iterations: 20
```

Este modelo posee un buen ajuste también, explicando un 91 % de la varianza-

7.3.2 Distribución de estadíos de desarrollo

La distribución de huevos de jurel por estadío, se presenta en la **Figura 47** observándose que los estadíos de desarrollo 3, 5 y 6 son los más prevalentes en las muestras. Este patrón se mantiene al analizar cruceros anteriores, revelando que más del 58,4 % de los huevos identificados, se encuentra en el rango de los estadíos III a VI. Es coincidente, para toda la serie histórica, la baja presencia de los estadíos extremos, esto es, el I, II, X y XI. Con respecto a las abundancias, destacan los años 1999, 2000 y 2001 con los valores más altos de la serie (máximos por sobre los 100.000 huevos por estadío más abundante), a diferencia de los años 2002 (realizado el 2003), 2005 y 2006 los cuales presentaron abundancias no superiores a los 22.000 huevos en 10 m^2.

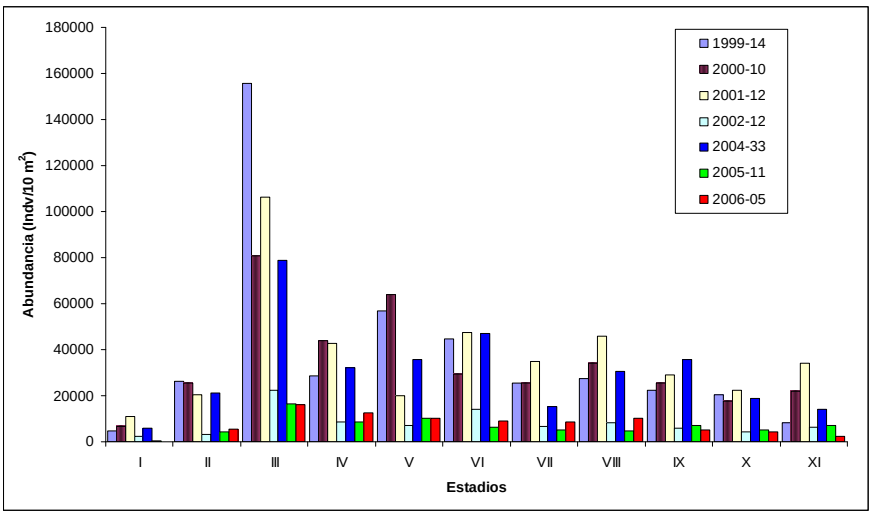


Figura 47. Abundancia de huevos de jurel agrupados por estadío de desarrollo.

7.3.3 Producción diaria de huevos y mortalidad

La producción diaria de huevos del año 2006 fue estimada mediante varias metodologías, con la finalidad de mejorar la precisión del estimado. Sin embargo, cabe señalar que son estimaciones alternativas a la estimación tradicional, por lo tanto para efectos de comparación con años anteriores y para la estimación de la Biomasa Desovante de jurel, año 2006, se empleará la estimación tradicional.

Las estimaciones alternativas y que se reportarán en el punto siguiente, están siendo evaluadas y aplicadas a la serie histórica, por lo tanto la decisión de utilizar una en particular para estimaciones futuras está en estudio y se reportará en su debido momento.

La producción diaria de huevos para el año 2006 fue de 147,9 ind/10m^2, valor superior en un 32.7 % al registrado en el año 2005. Al comparar la producción del año 2006 con los años restantes, se observa que las producciones de los años 2000 y 2001 son muy similares entre sí, siendo superiores en más de un 200% a la registrada en el presente proyecto. Destaca el año 1999, en donde se observó el valor más alto (Po (ind/10 m^2): 652,7), no comparable con ningún otro año de estudio.

En la **Tabla 20**, se presenta un resumen estadístico de la producción diaria de huevos y la tasa instantánea de mortalidad para el año 2005 y su comparación con los años anteriores.

Las tasas de mortalidad para la serie 1999-2006, presentan grandes fluctuaciones, con un rango que va desde los 0,28 día $^{-1}$ para el año 2004, hasta los 0.67 día $^{-1}$ en el año 1999. La tasa de mortalidad instantánea del año 2006 es muy similar a la registrada el año 2005, reflejando que el 34,2 % de los huevos de jurel muere diariamente.

Tabla 20. Estimación de la Producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad asociada.

Años	Po (ind/10m^2)	V (Po)	CV	95 % L C	Z (d^{-1})	V (Z)	CV	95% L C	Area desove (km^2)
1999	652,7	8932,1	14,5	519,89 - 1021,51	0,67	0,0289	25,4	0,99 - 0,48	663746
2000	491,6	1145,8	6,9	437,86 - 566,19	0,64	0,00689	13,0	0,77 - 0,53	823077
2001	462,2	1898,3	9,4	386,11 - 577,30	0,32	0,00672	25,6	0,46 - 0,20	600320
2003	92,0	107,3	11,3	74,98 - 119,43	0,38	0,01	26,3	0,55 - 0,24	647967
2004	273,2	790,2	10,3	228,14 - 352,00	0,28	0,00792	31,8	0,44 - 0,16	1054352
2005	99,40	163,5	12,9	77,03 - -138,52	0,40	0,0109	26,1	0,54 – 0,24	773602
2006	147,9	624,7	16,8	116,5 – 197,4	0,42	0,022	35,7	0,63 – 0,26	682550

7.3.4 Estimaciones alternativas de la producción diaria de huevos

En la **Figura 48** se presentan las abundancias por cohorte de huevos de jurel mediante GLM y para los tres modelos de asignación de edad Se observa que en general no existen grandes diferencias en la asignación de las cohortes. Las posibles diferencias se aprecian de mejor manera en los valore de Po y en los coeficientes de variación de los ajustes (**Tabla 21**).

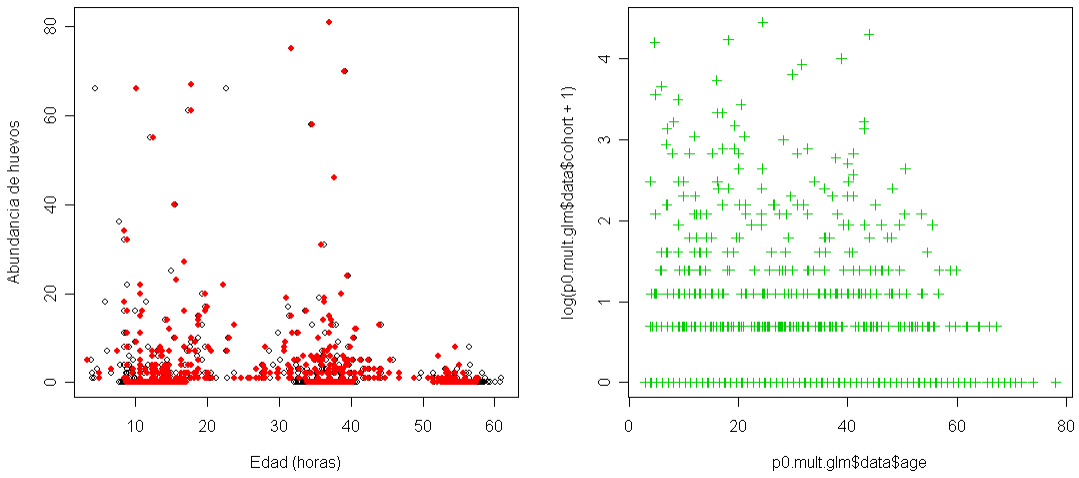


Figura 48. Abundancia de huevos de jurel clasificadas por cohortes a) Puntos negros: Modelo Lo+ GLM - Puntos Rojos: Generalización No paramétrica Modelo Lo + GLM. b) GLM + Modelo multinomial

Para la estimación del modelado espacial de Po, se utilizó el modelo de asignación de edad multinomial, ya que sería la forma más adecuada de asignar la edad a los huevos de jurel, además que genera un buen ajuste de la información. En la **Figura 49**, se presenta el modelado espacial, el cual coincide de buena forma con la distribución de las mayores abundancias de huevos, verificándose las mayores producciones en el sector noroeste de la zona de estudio.

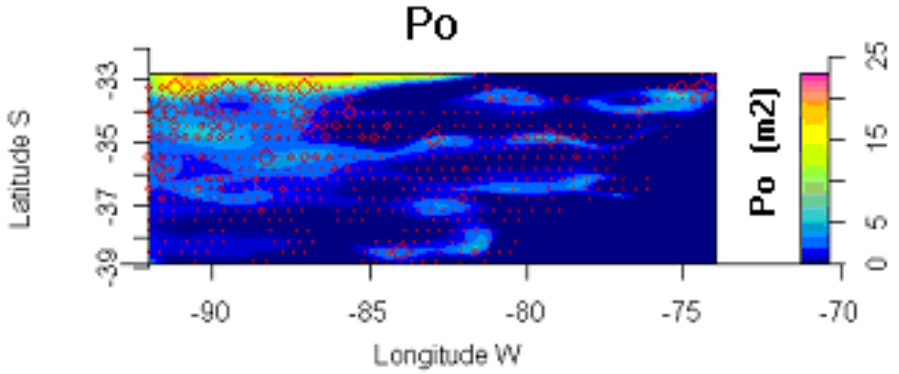


Figura 49. Modelado espacial de Po en el área de estudio. Nota: La escala de Po está en m^2, para estandarizar el valor hay que multiplicar por 10.

En la **Tabla 21**, se presentan las estimaciones de Po mediante 3 metodologías y los tres modelos de asignación de edad reportados en el punto 7.3.1. En general, se puede observar que todos los modelos son similares entre si en términos de magnitud de las estimaciones, sin embargo las estimaciones de GLM con los modelos de datación de Lo y el generalizado de Lo, tienden a sobreestimar la producción. El método tradicional es bien similar a lo reportado empleando GLM y GAM (ambos empleando el modelo multinomial para asignar edad), sin embargo la aplicación de GAM mejora considerablemente el ajuste tanto de Po como de Z, siendo la dispersión de los datos explicada en un 61.5% por el modelado espacial.

Cabe señalar que estas metodologías están siendo evaluadas con la finalidad de ser aplicadas en proyectos futuros, por lo tanto los resultados son preeliminares. Mientras no se validen, se continuará considerando la estimación por mínimos cuadrados para la estimación posterior de Biomasa desovante. Es de esperar que en proyectos futuros se logre validar estas metodologías, para de esta forma reaanalizar la serie histórica disponible.

Tabla 21. Estimación de Po y Z, mediante metodologías alternativas.

Esquema de modelamiento	Po	C.V.	Z	C.V.
Mínimos cuadrados + Lo	147.9	16.80	0.42	35.7
GLM +Lo	231.8	14.67	0.98	9.27
GLM + Generalizado	251.0	15.43	1.03	9.76
GLM + Multinomial	134.4	16.02	0.63	11.28
GAM	127.2	9.08	0.38	4.02

7.4 CRUCERO DE ADULTOS

Según lo acordado en el protocolo de muestreo, las embarcaciones debían realizar un lance de pesca diario, existiendo o no la visualización de algún tipo de agregación de jurel en los equipos acústicos. Esta actividad fue cumplida en un 71%, producto principalmente de malas condiciones de tiempo en algunos días y zonas del área a prospectar y de fallas en algunas embarcaciones de los equipos necesarios para la realización de los lances.

Se realizaron un total de 57 lances de pesca, siendo en su mayoría realizados de manera protocolar, esto es, sin ningún tipo de avistamiento. Del total de estos lances, 32 fueron positivos (56 %), sin embargo en 5 de éstos se obtuvieron capturas menores a 10 ejemplares. En resumen, se cuenta con 27 lances positivos para caracterizar la condición reproductiva del jurel.

Cerca del 72 % de los lances se realizaron después de las 16:00 hrs, existiendo escasos registros en las primeras horas de la mañana (**Figura 50**). La distribución espacial de estos lances se presenta en la **Figura 51**, en donde se observa una amplia cobertura del área de estudio. Con respecto a los lances positivos, cerca del 62 % de éstos reportaron capturas inferiores a 100 kg, observándose escasas capturas superiores a los 1.000 Kg, las cuales fueron observadas sólo al este de los 80º W (sector más costero). (**Tabla 22**).

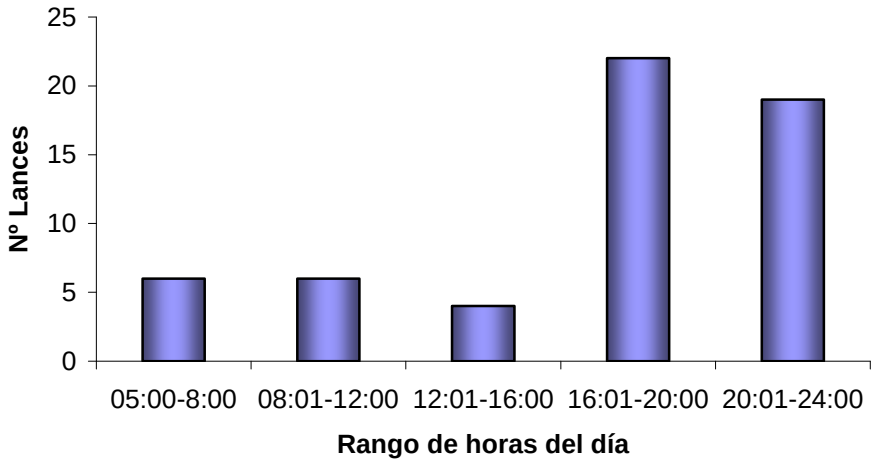


Figura 50. Distribución Horaria de los lances de pesca

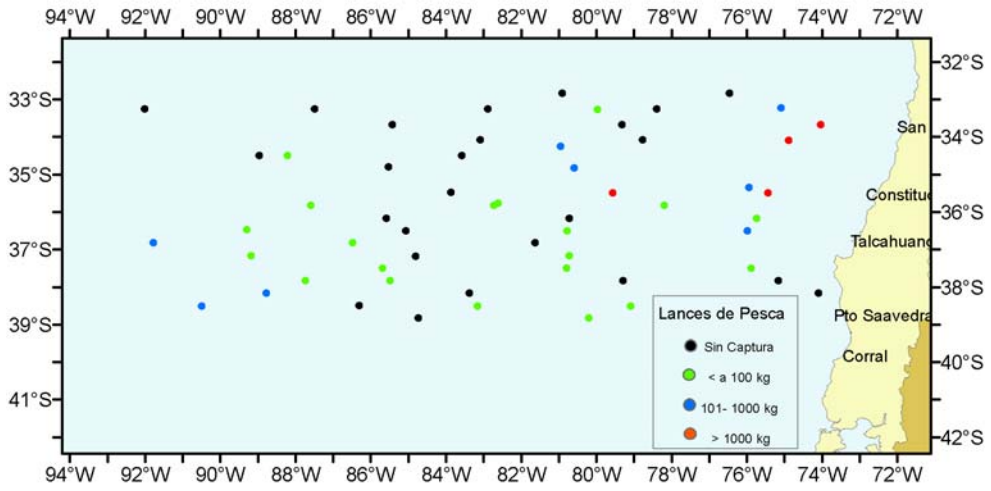


Figura 51. Distribución espacial de los lances de pesca. Noviembre de 2006.

Tabla 22. Resumen de los lances de pesca realizados durante el crucero de Noviembre de 2006.

Nº Correlativo	Barco	NºLance	DD	MM	AA	Hora	Latitud	Longitud	Captura (Kg)
1	Matías	1	16	11	2006	7:12	3250	7627	0
2	Matías	2	17	11	2006	7:52	3250	8054	0
3	Matías	3	18	11	2006	20:02	3315	8729	0
4	Matías	4	19	11	2006	19:30	3315	9200	0
5	Matías	5	20	11	2006	21:44	3430	8812	34,3
6	Matías	6	21	11	2006	21:18	3430	8334	0
7	Matías	7	22	11	2006	21:00	3430	8857	0
8	Ranquilhue	1	15	11	2006	18:10	3314	7504	300
9	Ranquilhue	2	16	11	2006	19:00	3315	7823	0
10	Ranquilhue	3	17	11	2006	20:58	3315	8252	0
11	Ranquilhue	4	18	11	2006	13:50	3340	8525	0
12	Ranquilhue	5	21	11	2006	16:54	3448	8531	0
13	Ranquilhue	6	22	11	2006	20:54	3450	8035	105
14	Don Boris	1	15	11	2006	16:32	3340	7401	5000
15	Don Boris	2	16	11	2006	18:00	3340	7918	0
16	Don Telesforo	1	15	11	2006	20:40	3406	7452	2000
17	Don Telesforo	2	16	11	2006	19:45	3405	7845	0
18	Don Telesforo	3	17	11	2006	20:49	3405	8304	0
19	Don Telesforo	4	21	11	2006	21:54	3529	8351	0
20	Don Telesforo	5	22	11	2006	21:31	3530	7933	1
21	Don Telesforo	6	23	11	2006	19:51	3530	7525	20000
22	Allipén	1	16	11	2006	12:15	3550	7811	45
23	Allipén	2	17	11	2006	11:40	3550	8243	23
24	Allipén	3	18	11	2006	12:15	3550	8735	25,2
25	Allipén	4	20	11	2006	20:00	3610	8534	0
26	Allipén	5	21	11	2006	20:30	3610	8042	0
27	Allipén	6	22	11	2006	20:30	3610	7543	11,8
28	Gualpén	1	15	11	2006	19:10	3750	7509	0
29	Gualpén	2	16	11	2006	19:35	3750	7917	0
30	Gualpén	3	17	11	2006	19:30	3750	8528	20
31	Gualpén	4	18	11	2006	19:49	3750	8743	10
32	Gualpén	5	20	11	2006	20:30	3629	8917	37,2
33	Gualpén	6	21	11	2006	19:25	3630	8503	0
34	Gualpén	7	22	11	2006	18:31	3630	8046	1
35	Gualpén	8	23	11	2006	17:40	3630	7558	160
36	Toyita	1	15	11	2006	12:02	3810	7404	0
37	Toyita	2	17	11	2006	7:20	3810	8322	0
38	Toyita	3	18	11	2006	8:49	3810	8846	200
39	Toyita	4	19	11	2006	9:45	3650	9146	300
40	Toyita	5	20	11	2006	10:06	3650	8628	99,1
41	Toyita	6	21	11	2006	8:36	3650	8137	0
42	Gardar	1	16	11	2006	21:09	3831	7905	1,4
43	Gardar	2	17	11	2006	22:03	3831	8309	16,8
44	Gardar	3	18	11	2006	17:55	3830	8618	0
45	Gardar	4	19	11	2006	22:05	3831	9029	114,4
46	Gardar	5	21	11	2006	7:10	3710	8910	24,1
47	Gardar	6	22	11	2006	6:58	3711	8448	0
48	Gardar	7	23	11	2006	7:00	3710	8042	5,2
49	Mack	1	16	11	2006	18:35	3850	8011	7,8
50	Mack	2	17	11	2006	17:17	3850	8443	0
51	Mack	3	20	11	2006	19:32	3730	8540	26,2
52	Mack	4	21	11	2006	19:39	3730	8047	30
53	Mack	5	22	11	2006	20:00	3730	7552	28,4
54	Malleco	1	17	11	2006	10:53	3521	7555	119,3
55	Malleco	2	18	11	2006	18:23	3316	7957	51,4
56	Malleco	3	23	11	2006	18:09	3546	8236	42,5
57	Malleco	4	24	11	2006	20:35	3415	8056	109

7.4.1 Estructura de tallas

La estructura de tallas de jurel, fue analizada para 3.217 ejemplares (1.708 machos y 1.509 hembras), los cuales fueron ponderados por la captura de cada lance, en número (miles de individuos) y en peso (Kg) (**Figura 52**). La composición por tallas de este crucero, reveló un rango de tallas que va desde los 26 hasta los 61 cm de LH y una moda principal, tanto para machos como para hembras centrada en los 35 cm de LH (**Tabla 23**). Se observa además, un importante aporte de la fracción mayor a 40 cm de LH (30 %) y la nula presencia de ejemplares bajo talla mínima legal (> 26 cm de LH).

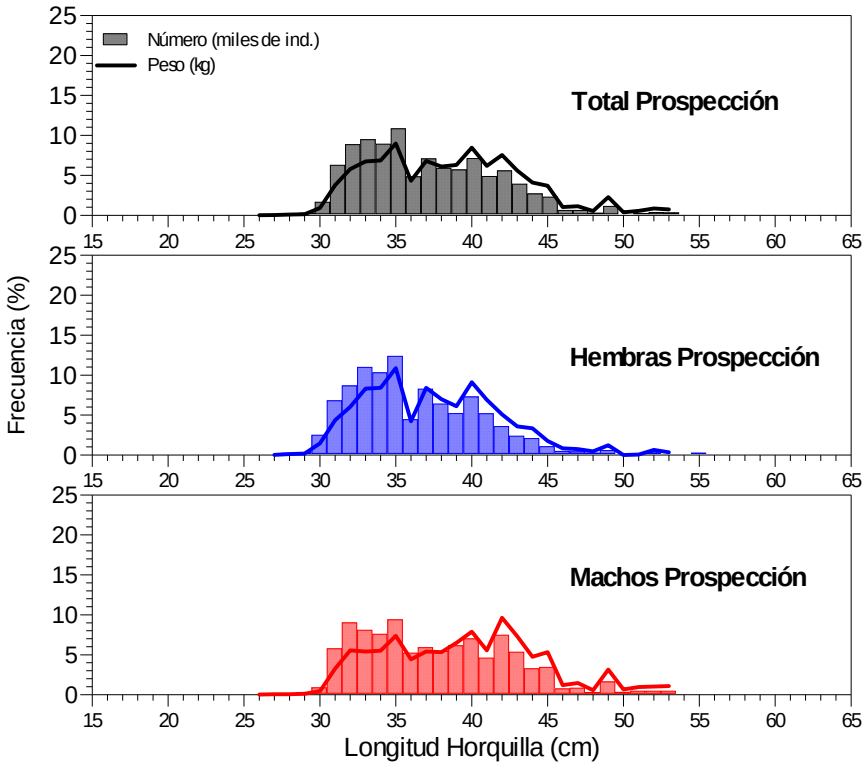


Figura 52. Distribución de frecuencia de tallas de jurel durante el crucero de Noviembre de 2006.

Tabla 23. Parámetros de la estructura de tallas de jurel, crucero noviembre 2006.

Parámetro	Machos	Hembras	Total
Moda	35	35	35
rango	26-61	27-55	26-61
LH Promedio	37,7	36,3	37,0
% < 26 cm Número	0,0%	0,0%	0,0%
% < 26 cm Peso	0,0%	0,0%	0,0%

La distribución espacial del tamaño modal (**Figura 53),** identifica en general que los rangos de tamaño están distribuidos homogéneamente en el área de estudio. Cabe señalar que sólo los ejemplares de mayor tamaño (>41 cm de LH), se encontrarían levemente distribuidos al oeste de los 83º W.

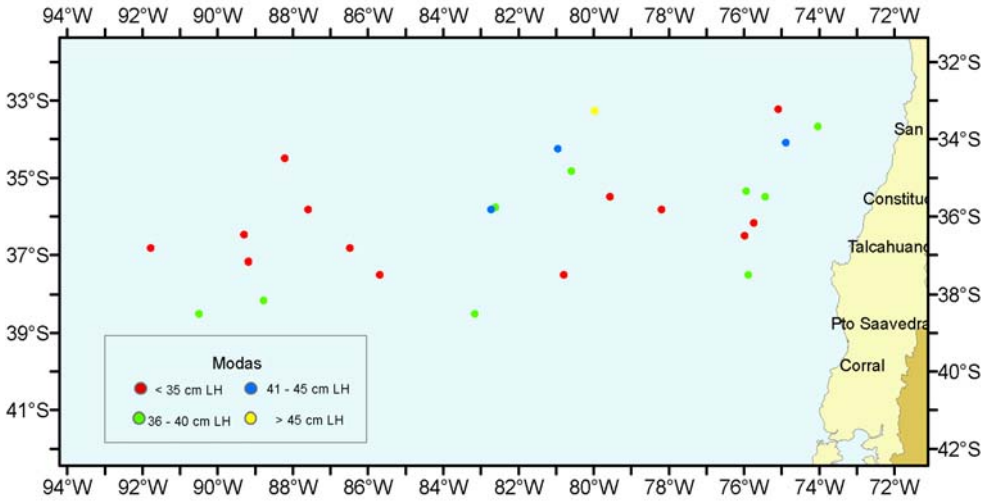


Figura 53. Distribución espacial de las modas, noviembre 2006.

7.4.2 Relación longitud-peso

La relación longitud-peso fue establecida a partir de un total de 2.295 ejemplares, los parámetros de la relación fueron a = 0,034 y b = 2,681 (r^2 = 0,925) **(Figura 54)**. La relación en machos (n= 1.162) fue = 0,030 y b = 2,721 (r^2 = 0,925) **(Figura 55)** y en hembras (n =1.133) los parámetros fueron a = 0,042 y b = 2,627 (r^2 =0.926) **(Figura 56)**.

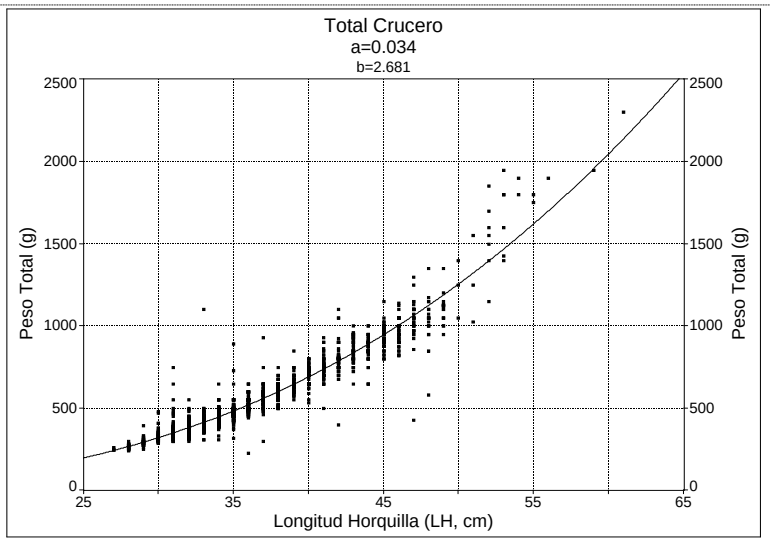


Figura 54. Relación longitud peso de *T. murphyi* para el total de individuos obtenidos en el crucero 2006.

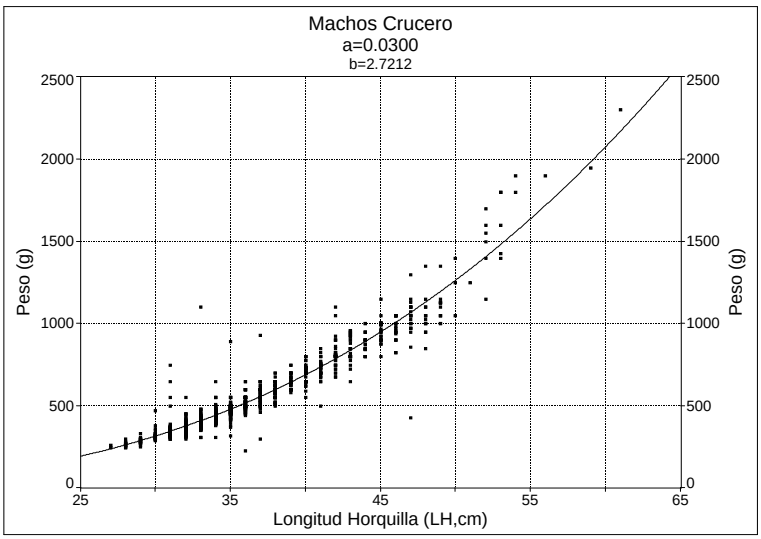


Figura 55. Relación longitud peso de *T. murphyi* para el total de machos obtenidos en el crucero 2006.

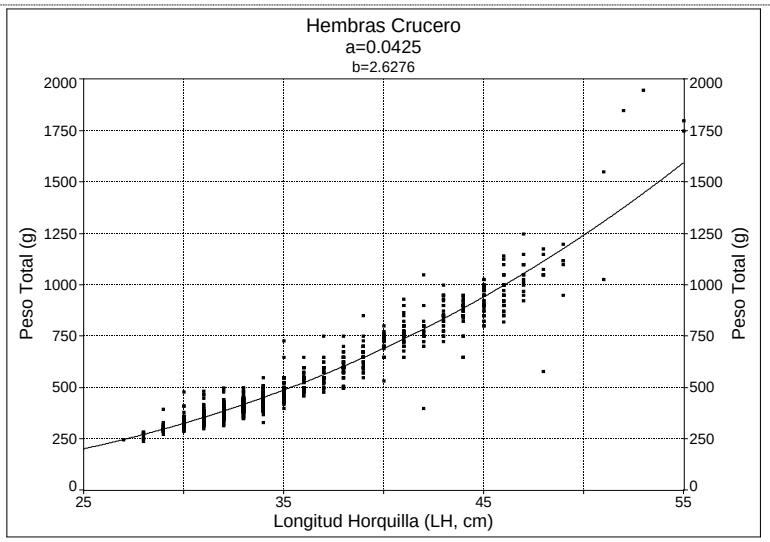


Figura 56. Relación longitud peso de *T. murphyi* para el total de hembras obtenidos en el crucero

OBJETIVO 2: Caracterizar la condición reproductiva del jurel en la zona de estudio y determinar el área de desove

7.5 CONDICIÓN REPRODUCTIVA

7.5.1 Número de muestras y estructura de tallas del jurel

El número total de ejemplares de jurel obtenidos en los muestreos aleatorios se elevó a 2.318, correspondiendo 1.179 machos y 1.139 hembras a las cuales hay que agregar 13 logradas por muestreo dirigido. En el crucero de prospección, participaron 10 embarcaciones en las cuales los lances fluctuaron entre 1 y 7, observándose también que el número de muestras varió fuertemente entre las embarcaciones con un mínimo de 3 hasta un máximo de 227 ejemplares, lo que refleja la escasez o baja disponibilidad de jurel en el área de muestreo (**Tabla 24**).

Las muestras obtenidas permiten señalar para el jurel una estructura de talla unimodal con longitudes extremas de 25 a 61 cm LH, con una moda en los 33 a 34 cm LH, para las hembras y entre 34 y 35 cm LH en los machos con valores de 10 y 12 % (**Figura 57**).

Tabla 24. Número de lances y número de ejemplares de jurel muestreados según sexo y tipo de muestreo por embarcación.

		HEMBRAS	HEMBRAS	MACHOS	TOTALES
Embarcaciones	**Nº Lances**	**M. biológico**	**M. dirigido**	**M. biológico**	
Ranquilhue	2	107		130	237
Gualpen	7	124		131	255
Mack	4	73		88	161
Gardar	5	101		127	228
Allipen I	4	101		132	233
Matias	1	3		84	87
Toyita	3	223	13	173	409
Don Boris	1	65		78	143
Don Telesforo	3	115		117	232
Malleco	3	227		119	346
Total	**33**	**1139**	**13**	**1179**	**2331**

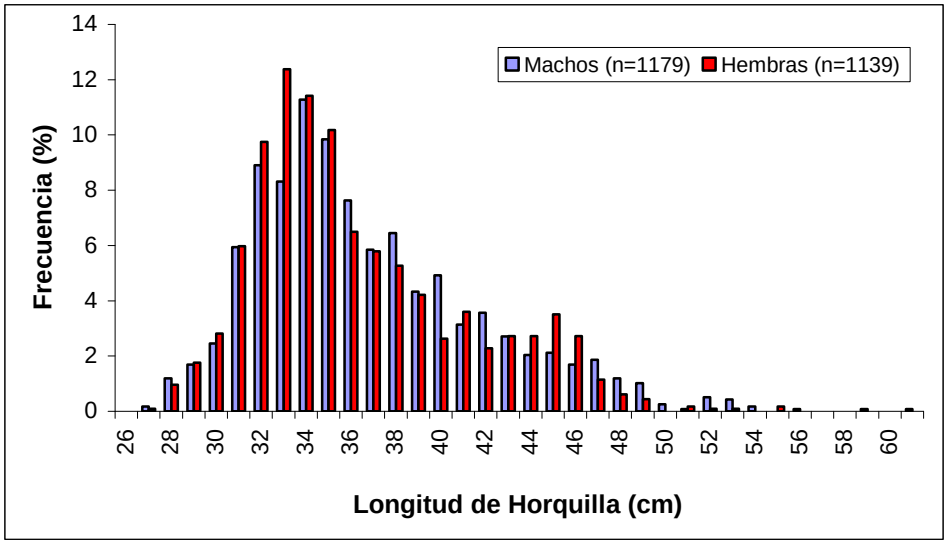


Figura 57. Histograma de frecuencia de talla de jurel por sexo, noviembre 2006.

7.5.2 Exámen macroscópico de la condición reproductiva

La proporción sexual del jurel en las muestras obtenidas a través de los muestreos aleatorios presenta una relación de 1:1,04 con una leve superioridad a favor de los machos (**Tabla 24**).

7.5.3 a) Indice gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) calculado para cada hembra y luego estimados los promedios por cada 1 cm de LH, muestra un aumento creciente a partir de las tallas menores hasta alcanzar un valor estable (IGS = 3,0) a los 31 cm, el cual se mantiene sin mayores variaciones hasta los 49 cm, para luego experimentar un fuerte aumento hasta alcanzar el máximo a los 53 cm con valor de 9 (**Figura 58**).

La relación del IGS con los estados de madurez sexual muestra un aumento desde el estado de madurez madurando (E2) con un valor promedio de 2,1 hasta el estado de madurez hidratado (E4) con un valor de 4,6, para posteriormente disminuir abruptamente en el estado de madurez en regresión (E5) con un valor de 1,7, lo que es esperable al estar asociado con el ciclo de maduración gonádica (**Figura 59**).

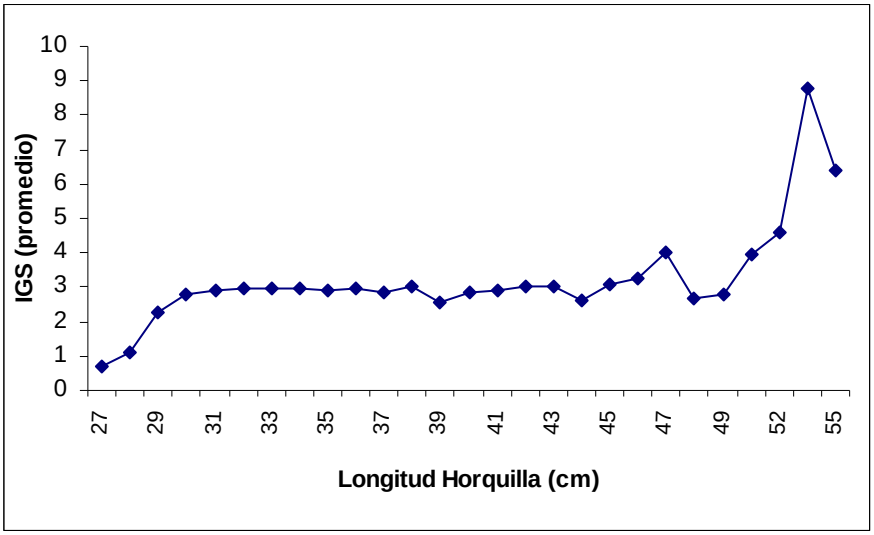


Figura 58. Variación del IGS promedio con la longitud horquilla correspondiente a la muestra aleatoria total de hembras de jurel, noviembre de 2006.

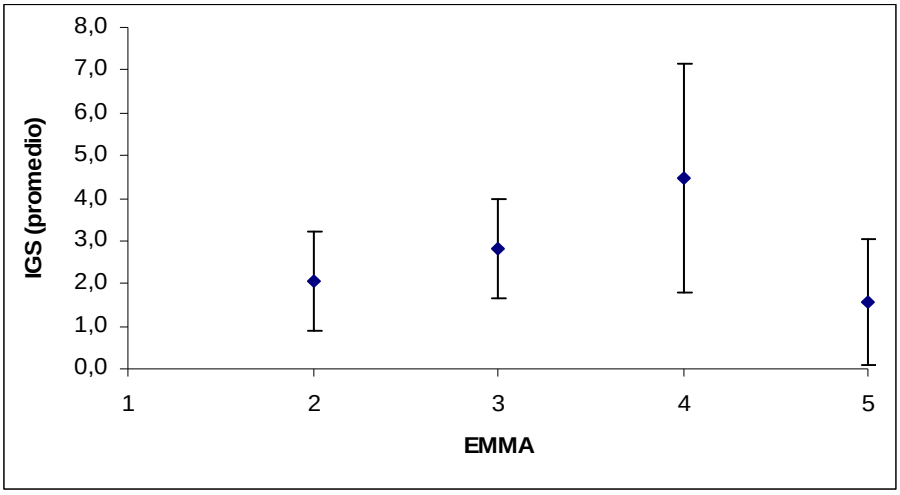


Figura 59. Valores de IGS promedios correspondientes a los estados de madurez sexual macroscópicos en hembras de jurel, noviembre 2006.

En la **Figura 60** se presenta los valores de IGS promedios de los estados de madurez macroscópicos por día de muestreos, donde se puede observar que los estados E2 y E5 presentan valores muy inferiores (< 2,5) en la totalidad de los días. En cambio, el estado E4, hidratado muestra las mayores fluctuaciones, así como los mayores valores en los días 18, 20 y 23, que podrían estar asociados a periodos previos a una tanda de desove.

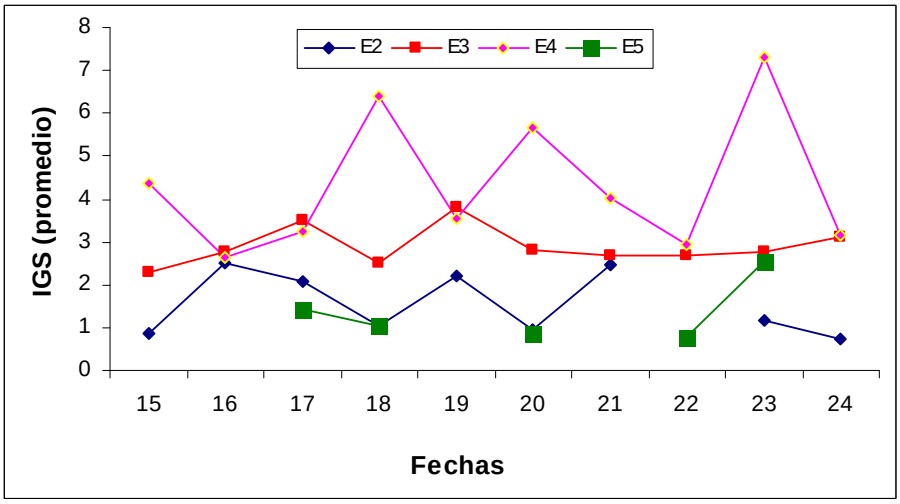


Figura 60. Valores promedios de IGS, para los estados de madurez macroscópica correspondientes a los días de muestreo de jurel, noviembre de 2006.

7.5.4 b) Estados de madurez macroscópicos

En relación con la proporción de los diferentes estados de madurez sexual macroscópica (EMMa) se observa, para el total de la muestra aleatoria, una preponderancia del estado de madurez maduro (E3) con el 79,8 %, seguido del estado de madurez hidratado (E4) con un 10,3 %, le sigue el estado de madurez madurando (E2) con el 9,2 % y una muy baja presencia el estado de madurez en regresión (E5) (**Figura 61**).

El examen por embarcación muestra la preponderancia del estado de madurez maduro (E3) en todas las embarcaciones con valores que fluctúan entre 63,4 % en el PAM Allipén I y 97,3 % en el PAM Mack y con un 79,8 % sobre el total. Por su parte, el estado de madurez hidratado (E4), presentó variaciones entre un 1,4 % en los PAM Toyita y Mack y el 31,7 % en el PAM Allipen I con un 10,3 % a nivel general. El estado de madurez madurando (E2) constituyó un 9,2 % del total con porcentajes del 0 % en los PAM Mack y Matías al 93,9 % en el PAM Gardar, mientras que el estado de madurez en regresión (E5) sólo se presentó en los PAM Malleco, Mack, Allipén I y Gualpén con valores de 1 a 4 ejemplares, (**Tabla 25, Figura 62**).

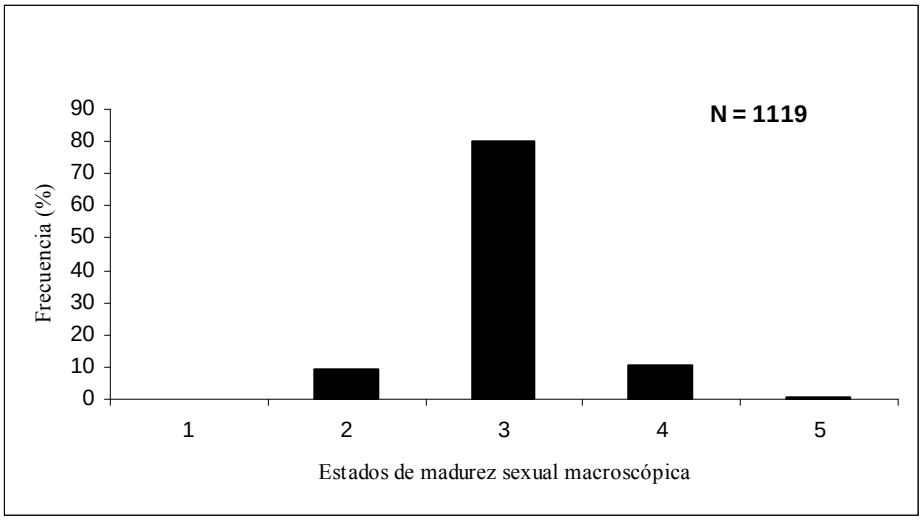


Figura 61. Frecuencia porcentual de los estados de madurez sexual macroscópica, para el total de la muestra aleatoria, noviembre 2006.

Tabla 25. Número y porcentajes de los estado de madurez sexual macroscópica por embarcación, noviembre 2006.

	EMMa					
BARCO	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**TOTAL**
Ranquilhue	0	1 (0,93)	78 (72,90)	28 (26,17)	0	107
Gualpen	0	10 (8,06)	90 (72,58)	20 (16,13)	4 (3,23)	124
Mack	0	0	71 (97,26)	1 (1,37)	1 (1,37)	73
Gardar	0	77 (93,90)	3 (3,66)	2 (2,44)	0	82
Allipen I	0	3 (2,97)	64 (63,37)	32 (31,68)	2 (1,98)	101
Matías	0	0	3 (100)	0	0	3
Toyita	0	4 (1,80)	215 (96,85)	3 (1,35)	0	222
Don Boris	0	2 (3,08)	54 (83,08)	9 (13,85)	0	65
D Telesforo	0	1 (0,87)	103 (89,57)	11 (9,57)	0	115
Malleco	0	5 (2,20)	212 (93,39)	9 (3,96)	1 (0,44)	227
TOTAL	0	103 (9,20)	893 (79,80)	115 (10,28)	8 (0,71)	**1119**

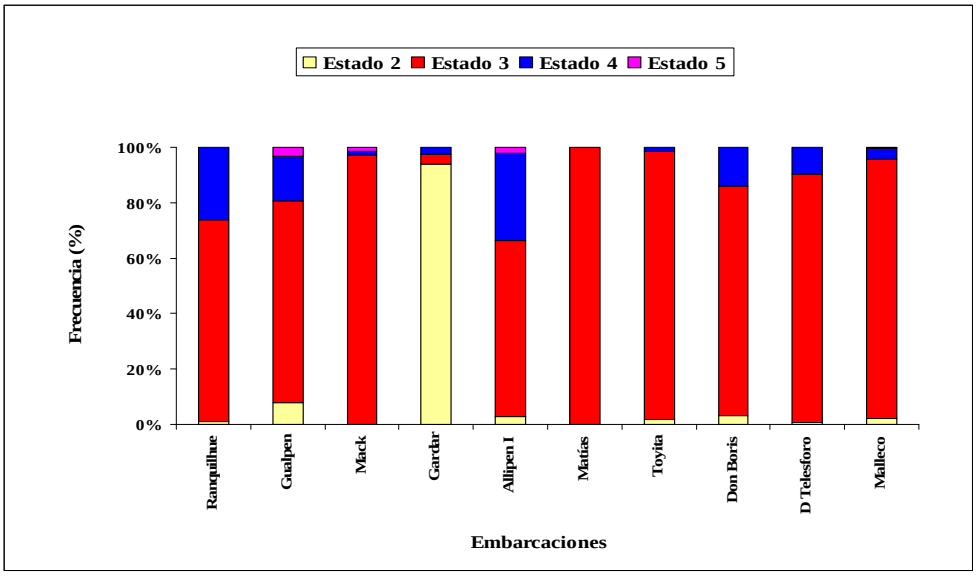


Figura 62. Frecuencia porcentual de estados de madurez sexual macroscópica por embarcación, noviembre 2006.

Un examen por días consecutivos de muestreos (15 al 24 de noviembre) señala un posible evento de desove durante los días 15 y 16, respaldado por los altos valores del estado de madurez hidratado (E4) con porcentajes de 20,5 y 27,3 %, respectivamente (**Tabla 26**). Un segundo evento de desove de menor intensidad podría haber sucedido en los días 22 y 23, días en que el estado hidratado presenta valores de 8,9 y 11,2 %,

respectivamente. Sin embargo, el estado predominante en todos los días fue el estado de madurez madurando (E3) con porcentajes que fluctuaron entre 50,9 y 94 % (**Tabla 26, Figura. 63**).

Tabla 26. Número y frecuencia porcentual de los estados de madurez sexual macroscópica por fecha de captura en hembras de jurel, noviembre 2006.

	EMMa				
FECHA	**2**	**3**	**4**	**5**	**TOTAL**
15/11/2006	3 (1,92)	121 (77,56)	32 (20,51)	0	156
16/11/2006	3 (6,82)	29 (65,91)	12 (27,27)	0	44
17/11/2006	7 (7,45)	73 (77,66)	13 (13,83)	1 (1,06)	94
18/11/2006	2 (1,69)	102 (86,44)	13 (11,02)	1 (0,85)	118
19/11/2006	42 (33,60)	80 (64,00)	3 (2,40)	0	125
20/11/2006	4 (2,52)	146 (91,82)	8 (5,03)	1 (0,63)	159
21/11/2006	26 (45,61)	29 (50,88)	2 (3,51)	0	57
22/11/2006	1 (0,80)	108 (86,40)	14 (11,20)	2 (1,60)	125
23/11/2006	14 (8,86)	127 (80,38)	14 (8,86)	3 (1,90)	158
24/11/2006	1 (1,20)	78 (93,98)	4 (4,82)	0	83
TOTAL	103	893	115	8	**1119**

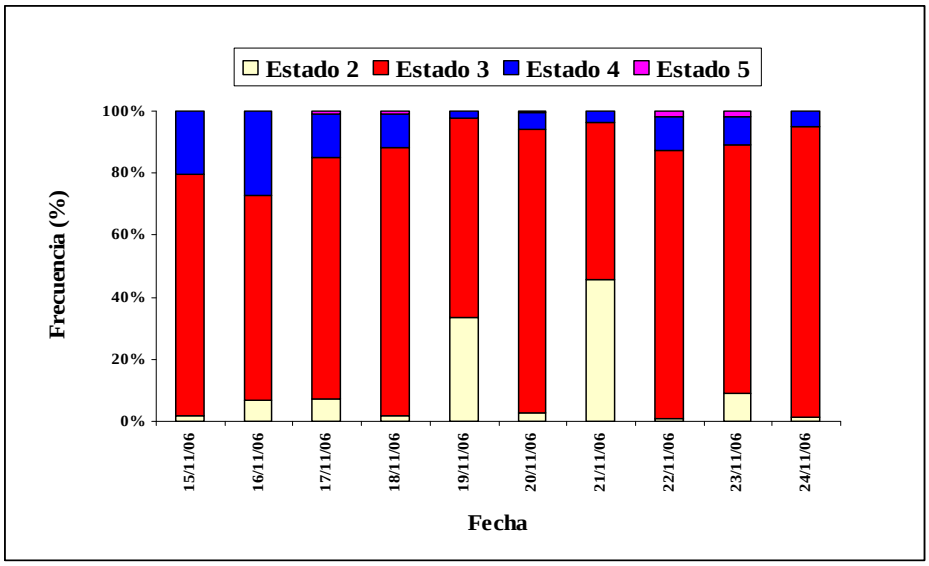


Figura 63. Frecuencia (%) de estados de madurez sexual macroscópica según día de captura.

7.5.5 Análisis microscópico de la condición reproductiva de jurel

Se obtuvieron 806 ejemplares hembras, para caracterizar la condición reproductiva del jurel mediante los estados de madurez sexual microscópicos (EMMi). En cada preparación histológica se determinó la presencia de las estructuras siguientes: a) ovocitos que no han iniciado la vitelogénesis; b) ovocitos que han iniciado el proceso vitelogénico; c) ovocitos en vitelogénesis avanzada; d) ovocitos maduros (vitelogenesis completa); e) ovocitos hidratados; f) folículos postovulatorios (FPO) y g) presencia de folículos atrésicos.

a) Estados de madurez microscópicos

El examen de las placas histológicas correspondiente a las hembras de jurel mediante observación microscópica muestra la presencia de los distintos estados de madurez sexual, pero con una proporción muy alta del estado 3 o vitelogénico con el 70 %. En orden

decreciente le siguen el estado 4 (maduro) con un 25,7 %, el estado 2 o previtelogénico con el 5,1 % y sólo presencia del estado 1 o inactivo con dos ejemplares (**Figura 64**).

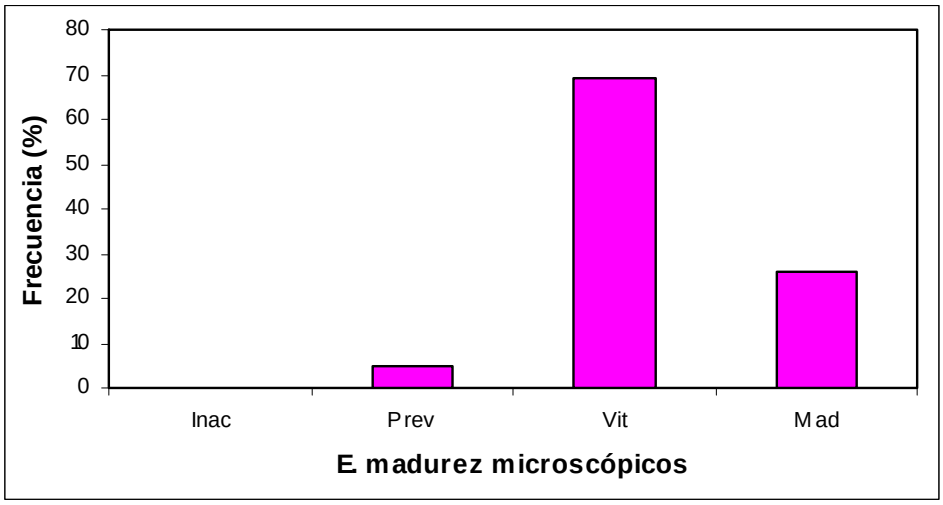


Figura 64. Frecuencia (%) de EMMi determinada en hembras de jurel capturadas en alta mar en noviembre de 2006.

La relación de los estados de madurez sexual microscópicos con los valores del IGS muestra una correlación positiva notoria, como era de esperar, pues representa el crecimiento en biomasa del ovario a medida que se alcanza la madurez total, alcanzando el máximo valor con la hidratación de los ovocitos (**Figura 65**). Así se inicia con valores que comienzan en 0,61 (inactivo) alcanzando el máximo de 5,99 (hidratado), para descender con el proceso de desove a 2,92.

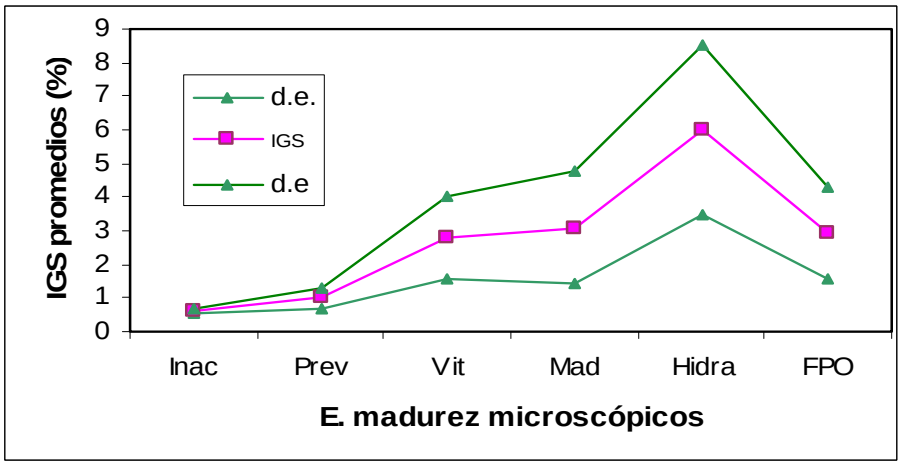


Figura 65. Valores promedios de IGS (± d.e.) para los diferentes estados de madurez microscópicos, noviembre 2006.

La distribución de los estados de madurez microscópicos durante el crucero por día de muestreo en el área de desove del jurel muestra en el primer día de muestreo (15) la presencia notoria del estado 3 (vitelogénico) con valor de 54 %, pero con un alto porcentaje de hidratados y FPO (35 %). Tendencia semejante se observa los días 18 y 22 de noviembre, indicando eventos de puesta (**Figura 66**). Sin embargo, el estado vitelogénico es preponderante en todos los días de muestreo, fluctuando desde el 54 % a 77 % (**Figura 66**). También cabe señalar la presencia de FPO durante todos los días con frecuencias entre 10 y 22 %.

La frecuencia porcentual de los EMMi por embarcación en el área de desove del jurel durante el crucero señala una alta variabilidad entre los barcos, seguramente asociado a la captura de cardúmenes en fase de pre y postpuesta reciente (horas) por la presencia de ovarios hidratados y con FPO (**Figura 67**). No obstante, cinco barcos fueron responsables de la captura del 82 % de las hembras portadoras de FPO.

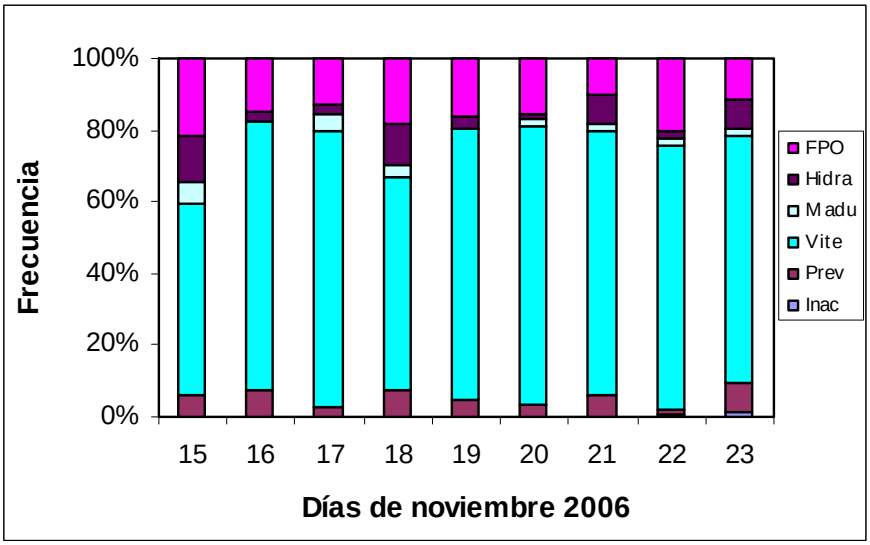


Figura 66. Frecuencia (%) de los EMMi por día de muestreos obtenidos en el crucero del jurel en alta mar, noviembre 2006.

El examen sobre la presencia de atresia, muestra que un 36,7 % de las hembras presentaron ovarios con folículos atrésicos (296 de 806), porcentaje que en 2005 fue 28,2 % (180 de 639), en el año 2004 fue 52,2 %, en el año 2003 fue de 41,6 % (415 de 1001) y el año 2001 fue de 49% (195 de 415). Además se observa que los días con una mayor frecuencia de atresia están asociados con un mayor porcentaje de FPO como sucede en los días 15, 18 y 22 de noviembre y en menor medida los días 20 y 21 del mes (**Figuras 66 y 67**).

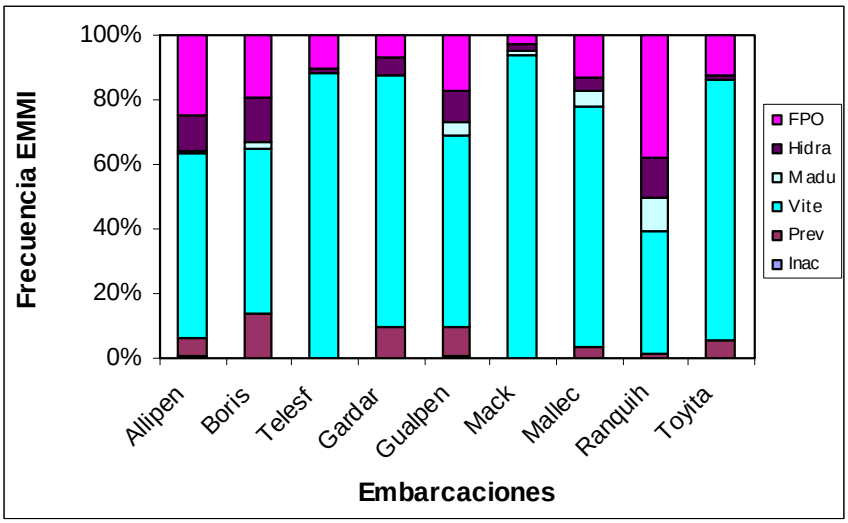


Figura 67. Frecuencia (%) de los EMMi por embarcaciones obtenidas en el crucero del jurel en alta mar, noviembre 2006.

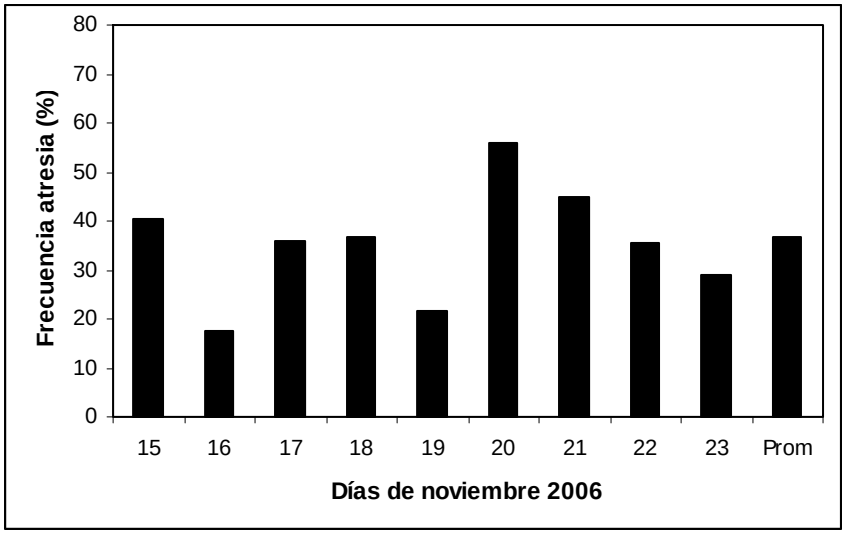


Figura 68. Frecuencia (%) de folículos atrésicos en ovarios de jurel durante los días del crucero en alta mar, noviembre 2006.

b) Fracción de hembras desovantes

En la determinación de la proporción de los estados foliculares se consideró la caracterización de éstos descrita por **Hunter y Goldberg (1980)** que establece folículos postovulatorios (FPO) de día 0, 1 y 2. La distinción entre los diferentes estados foliculares se estableció sobre la base de que el mecanismo de degeneración y reabsorción de los FPO es un proceso continuo (Macewicz y Hunter, 1993). Por esta razón las estructuras utilizadas como indicadoras de la "edad" de los FPO, son aquellas que reflejan algún cambio evidente, en este caso, el tamaño y la forma del folículo.

Las estimaciones de la proporción de folículos postovulatorios fluctuaron entre 0,000 y 0,2857 con una proporción media 0,0696 (**Tabla 27**). Sobre la base del resultado anterior y considerando que una gran proporción de folículos postovulatorios son de día 1 y 2, se puede postular que una fracción del 7 % de hembras desovó diariamente en noviembre 2006.

Tabla 27. Frecuencia de estados de madurez microscópicos y de FPO según edad, para la estimación de frecuencia de desove por lance (EMMI = estado de madurez microscopico; FPO 0, 1, 2 = foliculos postovulatorios de día 0, 1, 2; F. DES 1, 2, 1+2 = fracción desovante FPO 1, 2, 1+2).

Lance	EMMi 1	EMM 2	EMMi 3	EMMi 4	EMMi 5	FPO 0	FPO 1	FPO 2	Nº	F DESOV 1	F DESOV 2	F DESOV 1+2
1	0	1	30	18	14	12	3	1	63	0,0588	0,0196	0,0392
2	0	0	4	19	3	5	7	6	26	0,2373	0,2034	0,2203
3	0	3	24	11	5	7	3	3	43	0,0732	0,0732	0,0732
4	1	5	35	3	10	1	3	1	54	0,0667	0,0222	0,0444
5	0	0	16	3	0	0	0	1	19	0	0,0526	0,0263
6	0	0	24	0	1	0	0	0	25	0	0	0
7	0	0	21	0	0	0	0	0	21	0	0	0
8	0	3	35	1	1	0	0	0	40	0	0	0
9	0	3	13	5	3	0	4	1	24	0,1702	0,0426	0,1064
10	0	3	28	6	1	0	4	2	38	0,1000	0,0500	0,0750
11	0	0	6	8	0	0	4	3	14	0,2857	0,2143	0,2500
12	0	1	12	11	10	0	8	4	34	0,2667	0,1333	0,2000
13	0	6	35	1	0	0	0	1	42	0	0,0238	0,0119
14	0	1	31	14	2	0	5	9	48	0,0943	0,1698	0,1321
15	0	1	46	2	0	0	0	2	49	0	0,0408	0,0204
16	0	7	27	7	10	3	3	4	51	0,0674	0,0899	0,0787
17	0	0	17	3	0	0	3	0	20	0,1500	0	0,075
18	0	0	42	4	1	0	2	2	47	0,0417	0,0417	0,0417
19	0	1	43	2	2	0	0	2	48	0	0,0426	0,0213
20	0	1	18	9	3	0	1	7	31	0,03125	0,2188	0,1250
21	0	2	34	6	0	0	0	6	42	0	0,1429	0,0714

		Media	Varianza	C.V.
Fracción desovante	FPO 1	0,06627	0,00025	0,23828
Fracción desovante	FPO 2	0,07290	0,00022	0,20417
Fracción desovante	FPO1+2	0,06958	0,00017	0,18705

7.5.6 Fecundidad parcial del jurel durante el periodo de desove noviembre 2006

Se seleccionaron potencialmente para la determinación de fecundidad 128 hembras de jurel a partir de los individuos clasificados en los muestreos aleatorios como el estado macroscópico maduros y los denominados hidratados del muestreo dirigido. Los correspondientes exámenes microscópicos para determinar la presencia de FPO y la

existencia de atresia en los 128 ejemplares disponibles para determinar fecundidad tuvo como resultado una alta presencia de estas estructuras que indican desoves o pérdida reciente de ovocitos y por lo tanto su inclusión llevaría a una subestimación de la fecundidad. Resultado de lo anterior sólo se logró disponer de 41 ovarios para la determinación de la fecundidad en jurel.

a) Fecundidad parcial por hembra madura

Las hembras hidratadas presentaron un rango de tallas que fluctuó entre los 31 y 55 cm. de longitud horquilla y en el ajuste entre la fecundidad parcial observada (FP) versus los parámetros de longitud y peso se utilizaron los modelos lineal, potencial y exponencial, eligiéndose aquel que entregó el mayor grado de ajuste (índice de determinación).

En la relación longitud horquilla (LH) y fecundidad parcial observada (FP), el mejor ajuste lo entregó una regresión lineal, con un $r^2 = 0,59$ y una $P<0,0000$. El modelo ajustado fue FP = 4447,2 LH – 110762 (**Figura 69**).

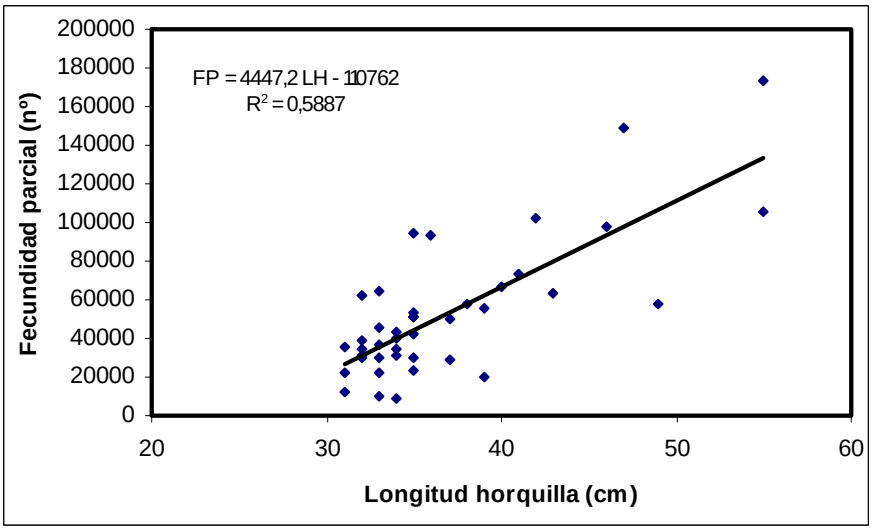


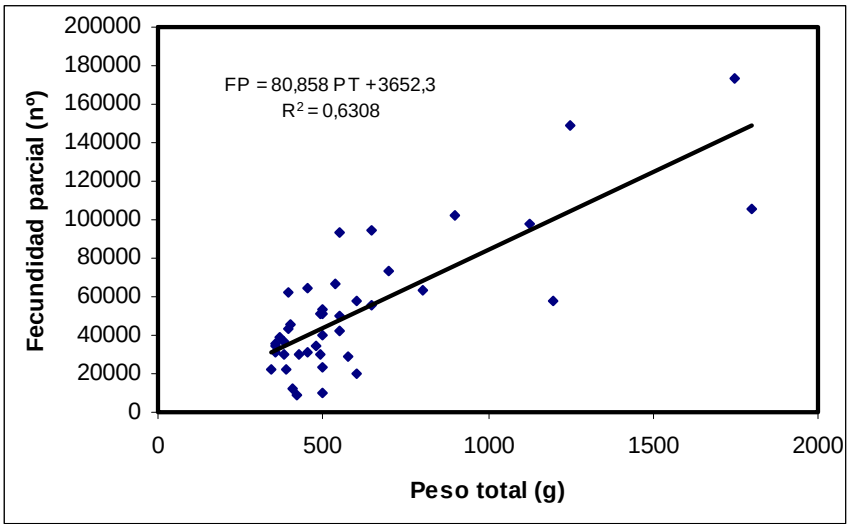
Figura 69. Relación entre longitud horquilla y fecundidad parcial para hembras de jurel, noviembre 2006.

El peso total de las hembras fluctuó entre 345 y 1800 g, el modelo que entregó el mejor ajuste para la relación entre el peso total y la fecundidad parcial de las hembras hidratadas fue el lineal (r^2 = 0,63, p<0,001), cuya función representativa es: FP = 80,858 PT – 3652,3 (**Figura 70a**).

Por otra parte, el peso eviscerado varió desde 310 a 1500 g, y el mejor ajuste para la relación entre el peso eviscerado (PE) y la fecundidad parcial de las hembras lo entregó el modelo lineal (r^2 = 0,627, p<0,001), cuya función representativa es: FP = 96,112 PE – 248,97 (**Figura 70b**).

La relación entre el peso gonádico y la fecundidad parcial (FP) muestra su mejor ajuste mediante un modelo lineal con un r2 = 0,898 y p< 0,000, cuya función de regresión representativa es: FP = 1260 PG + 7396,9 (**Figura 71**).

a)



b)

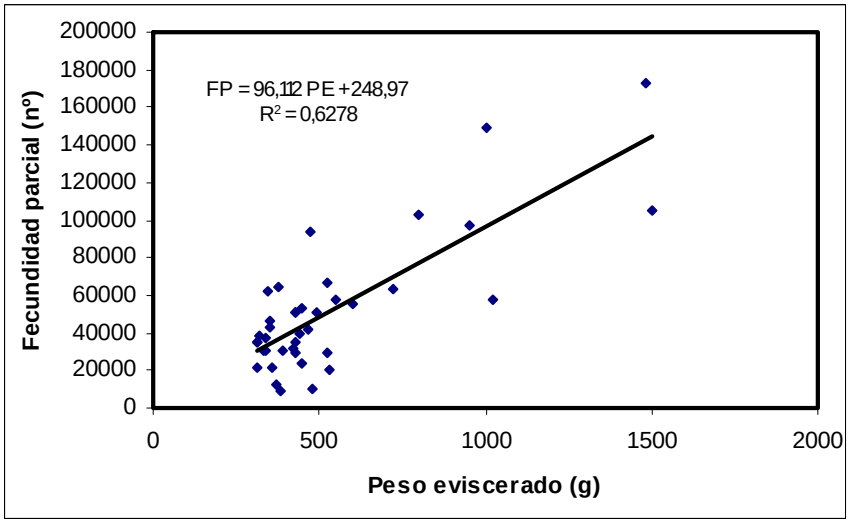


Figura 70. Relaciones entre a) peso total y b) peso eviscerado y la fecundidad parcial para hembras de jurel

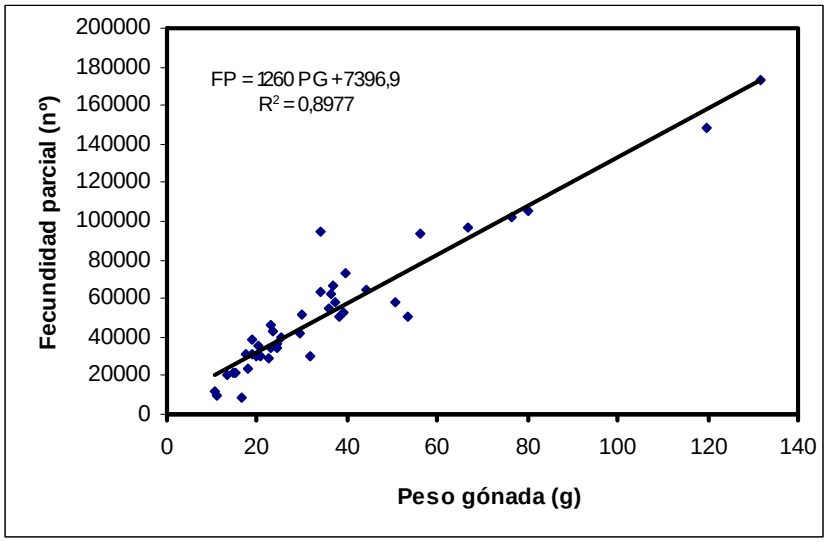


Figura 71. Relación entre el peso de la gónada y la fecundidad parcial para hembras de jurel

b) Fecundidad media poblacional

La fecundidad media poblacional estimada sobre la base de los modelos ajustados para las respectivas relaciones entre peso y longitud versus fecundidad parcial y tomando en consideración la longitud horquilla y peso total promedio estimado para cada lance, entregó el siguiente valor (**Tabla 28**): Fecundidad promedio = 48213; varianza fecundidad = 19613079,15; coeficiente variación = 0,092.

7.5.7 Talla de primera madurez sexual

La ojiva de madurez para las hembras de jurel considerando la determinación de los estados de madurez microscópicos no fue posible determinar debido a la ausencia de ejemplares pequeños, menor a 27 cm. LH (**Tabla 29**). Sólo en la talla de 28 cm. se observa cierta semejanza en los porcentajes de maduros e inmaduros, sin embargo, sobre dicha LH y hasta los 39 cm., sobre el 90% corresponde a maduros (**Tabla 29**). Este hecho pone de manifiesto la ausencia o baja accesibilidad a tallas pequeñas y por lo tanto, la necesidad de dedicar un mayor esfuerzo en la obtención de ejemplares de tallas inferiores en una futura

ocasión. Además, se observa que a partir de los 40 cm. LH la totalidad de las hembras están maduras.

Tabla 28. Estimación de fecundidad media poblacional para hembras de jurel, durante noviembre 2006.

VALORES PROMEDIOS POR LANCE				
Lance	L. Horquilla	P. Total	Fecundidad	m
1	36,32	584,67	52386	63
2	34,23	511,83	46683	26
3	32,56	382,16	35804	43
4	33,80	449,12	41074	54
5	37,32	593,16	53443	19
6	34,64	513,17	46822	25
7	37,76	617,86	55383	21
8	35,03	488,44	44919	40
9	33,88	440,76	40844	24
10	32,55	405,46	37975	38
11	43,07	817,86	71623	14
12	33,18	381,20	35613	34
13	37,19	598,81	54135	42
14	31,92	393,02	36663	48
15	35,96	561,43	50683	49
16	36,69	593,07	53028	51
17	41,05	751,25	66281	20
18	34,19	432,85	40172	47
19	36,52	531,98	47817	48
20	45,65	1012,41	86951	31
21	36,40	545,48	49482	42
FECUNDIDAD	**PROMEDIO:**	**48213**		
VARIANZA	**FECUNDIDAD:**	**19613079,15**		
COEFICIENTE	**VARIACIÓN:**	**0,092**		

Tabla 29. Número y frecuencia (%) de ejemplares maduros e inmaduros por cm. de longitud horquilla determinados mediante histología en hembras de jurel.

LH	Maduros		Inmaduros	
Cm	Nº	%	Nº	%
27	1	100	0	0
28	5	55,6	4	44,4
29	16	100	0	0
30	18	90	2	10
31	46	95,8	2	4,2
32	82	97,6	2	2,4
33	109	95,6	5	4,4
34	101	96,2	4	3,8
35	75	94,9	4	5,1
36	58	98,3	1	1,7
37	44	100	0	0
38	45	95,7	2	4,3
39	36	97,3	1	2,7
40	23	100	0	0
41	29	100	0	0
42	15	100	0	0
43	14	100	0	0
44	14	100	0	0
45	16	100	0	0
46	11	100	0	0
47	9	100	0	0
48	5	100	0	0
49	3	100	0	0
51	2	100	0	0
53	1	100	0	0
55	2	100	0	0

7.5.8 Condición reproductiva del jurel durante el mes de diciembre

Durante los días 14 y 16 de diciembre la Unidad Ejecutora del proyecto determinó realizar un crucero de prospección, para establecer la condición reproductiva del jurel post peak reproductivo. Este se realizó con una embarcación que realizó un lance de pesca en cada uno de los días citados. Los resultados presentados en la **Figura 72**, muestran que el 86 y 83% de los ejemplares se encuentra en estados de madurez inactivo y previtelogénico, indicando inactividad o reposo reproductivo Por otro lado, sólo un 14 a 17 % presenta estado vitelogénico, pero asociados todos a atresia indicando también el término de su actividad reproductiva.

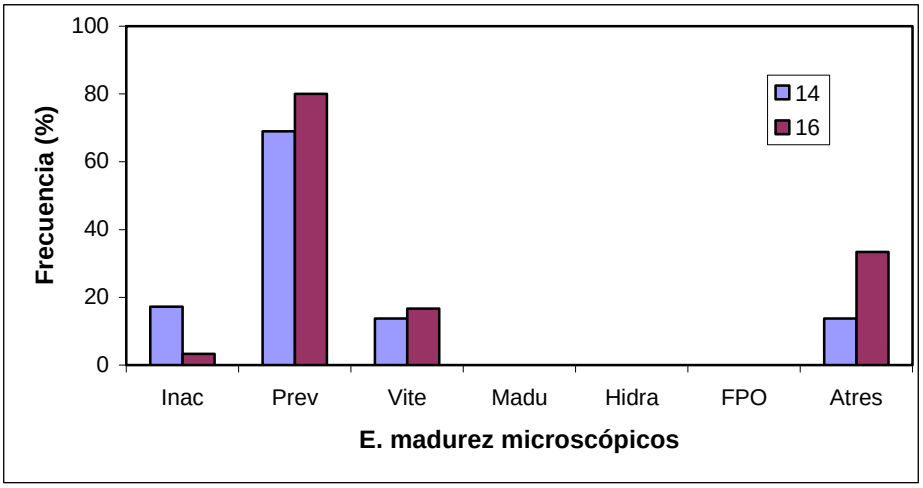


Figura 72. Frecuencia (%) de los EMMi obtenidos en hembras de jurel durante los días 14 y 16 del mes de diciembre 2006.

7.6 ALIMENTACIÓN

Se analizaron un total de 2021 estómagos, cuya distribución de frecuencia de tamaños de los ejemplares capturados para el análisis de contenido estomacal, revelo un rango desde los 27 a 61 cm. de longitud de horquilla, con una moda fuertemente marcada en los 34 cm. (**Figura 73**). Durante los últimos cinco años las distribuciones de tamaños han mostrado un leve incremento tanto en los principales grupos modales como en las longitud promedio. (**Tabla 30**)

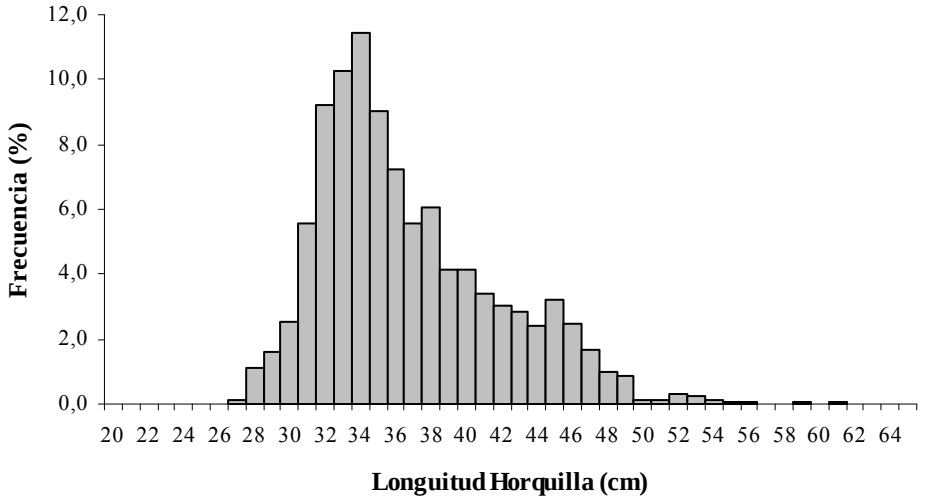


Figura 73.Distribución de frecuencia de tamaños expresada en porcentaje de los individuos utilizados para el análisis de contenido estomacal de Jurel.

Tabla 30.Resumen por año de la estructura de tamaños de jurel, para la caracterización de los ítems alimentarios.

Años	Moda cm.	LH Promedio	Muestra (número)	Estómagos (%) Con-contenido
1999	24	27,7	609	41
2000	27	28,9	1330	30
2001	26	28,3	1164	18
2003	27	31,6	2130	51
2004	29	32,4	3952	59
2005	32	32,3	1231	53
2006	34	36.7	2021	50

7.6.1 Importancia relativa de las presas. (IIR)

Del total de estómagos analizados (2.021) el 50,3% presento algún tipo de contenido. La dieta estuvo conformada principalmente de varias especies de crustáceos, peces, moluscos, y tunicados, habiéndose identificado un total de 16 taxa.

El principal ítem presa encontrado fueron los eufáusidos con un valor de (IIR = 3,95), dominando tanto en número (51,43%), peso (85,08%) como en frecuencia de aparición (65,04), seguido, por la fuerte presencia de, copépodos, salpas, heteropodos y mictófidos. Además en menor representatividad pero no importancia aparecen estadios larvales de crustáceos decapados y larvas de gastrópodos. **Tabla 31**.

Tabla 31.Índice de Importancia Relativa (IIR), número (N), peso (P) y frecuencia de aparición (F) total y porcentual de las principales presas de *T. s. murphyi.*

Item presa	Codigo	N	%N	P	%P	F	%F	IIR
Eufáusidos	Eup.	83106	51,43	3726,21	85,08	774	65,04	3,95
Stomatopodos	Stom.	5	0,00	3,71	0,08	7	0,59	0,02
Larvas de crustaceos	Lcrust .	7	0,00	0,18	0,00	2	0,17	0,00
Anfipodos	Amp.	1	0,00	0,00	0,00	1	0,08	0,00
Copepodos	Cop.	59663	36,92	200,42	4,58	51	4,29	2,25
Acanthephyra sp.	Acant.	1	0,00	0,24	0,01	1	0,08	0,00
Mictofidos	Mic.	295	0,18	116,16	2,65	54	4,54	1,14
Scopelosaurus sp.	Scop.	326	0,20	65,01	1,48	35	2,94	0,78
Vinciguerria sp.	Vinc.	24	0,01	20,40	0,47	18	1,51	0,24
Larvas de peces	Lpeces.	2	0,00	0,03	0,00	2	0,17	0,00
Cefalópodos	Cef.	1	0,00	2,00	0,05	2	0,17	0,00
Loligo sp.	Lga.	8	0,00	2,57	0,06	2	0,17	0,00
Heteropodos	Ptero.	14503	8,98	83,69	1,91	22	1,85	1,32
Salpas	Sal.	3643	2,25	136,43	3,11	205	17,23	1,97
Restos de crustáceos	Rcrus.		0,00	16,17	0,37	7	0,59	0,09
Restos de peces	Rtel.		0,00	6,56	0,15	7	0,59	0,04

De acuerdo al análisis (IIR) por grupos de tamaños los eufáusidos estuvieron presentes en la totalidad de los grupos a excepción del grupo VI (**Tabla 32**), con un incremento en su importancia en ejemplares de tallas medias. Los copépodos, moluscos pequeños y larvas de peces cobran importancia en los individuos que se encuentran en el rango medio. (Grupo II, III y IV)

Un aspecto importante a destacar es la gran presencia de salpas en los contenidos estomacales, con un alto porcentaje en la totalidad de estos grupos, presentes en mayor medida entre los 40 y 45 cm. de longitud de horquilla, rango de tallas cercana a la longitud promedio de los ejemplares analizados.

Tabla 32.Índice de importancia relativa (IIR) separado por grupos de tamaños.

Item Presa	GRUPOS DE TAMAÑOS						Total
	I	II	III	IV	V	VI	
Eup.	74,3	1576,5	1196,2	453,2	426,1		3726,2
Stom.				1,7	2,0		3,7
Lcrust .				0,0	0,2		0,2
Amp.				0,0			0,0
Cop.	6,1	125,8	50,2	14,5	3,9		200,4
Acant.					0,2		0,2
Rcrus.		0,7		3,6	11,9		16,2
Mic.		18,8	13,9	16,6	66,9		116,2
Scop.		0,2	1,3	28,8	34,6		65,0
Vinc.	0,1	9,3	0,3	4,9	5,8		20,4
Lpeces.			0,0	0,0			0,0
Rtel.	0,7	0,1	0,2	2,8	2,8		6,6
Cef.					0,8		0,8
Lga.			2,6				2,6
Ptero.		0,2	0,1	33,4	50,0		83,7
Sal.	1,1	27,3	26,0	47,9	28,8	1,5	132,6

Con respecto al Indice de Importancia Relativa por años(**Tabla 33**), podemos señalar la imporatancia de los eufáusidos, siendo la presa dominante dentro del espectro de alimenticio del jurel. Un aspecto relevante es el incremento de las salpas a lo largos de los años en la dieta .

Tabla 33.Índice de importancia relativa (IIR) por años.

Años	Eufáusidos	Mictófidos	Copepódos	Salpas
1999	4,02	0,00	0,23	1,84
2000	3,92	2,62	2,12	0,01
2001	3,91	0,01	1,80	1,42
2003	3,33	1,66	1,72	1,18
2004	3,70	2,19	1,00	2,06
2005	3,60	1,68	1,99	2,85
2006	3,95	1,14	2,25	2,97

7.6.1.1 Similitud trófica

Los resultados del análisis de similitud trófica para 6 grupos de tamaño revelan un porcentaje de similitud promedio de 78,2 %. El análisis de conglomerados (**Figura 74**) muestra una unión entre los grupos I, II y III y entre los grupos IV y V. Sin embargo, la similitud entre ambos conjuntos y entre éstos con el grupo VI es inferior al nivel promedio, lo que se debe a que los ejemplares de ambos conjuntos, mostraron un alto porcentaje en peso de eufáusidos, copépodos y salpas, en tanto que los ejemplares del grupo VI predaron exclusivamente sobre salpas. El grupo de tamaño VI se presenta como el más atípico y alejado de las demás agrupaciones debido a la presencia de salpas en el contenido estomacal; sin embargo, este grupo carece de representatividad numérica dentro de la muestra total (n=2 ejemplares).

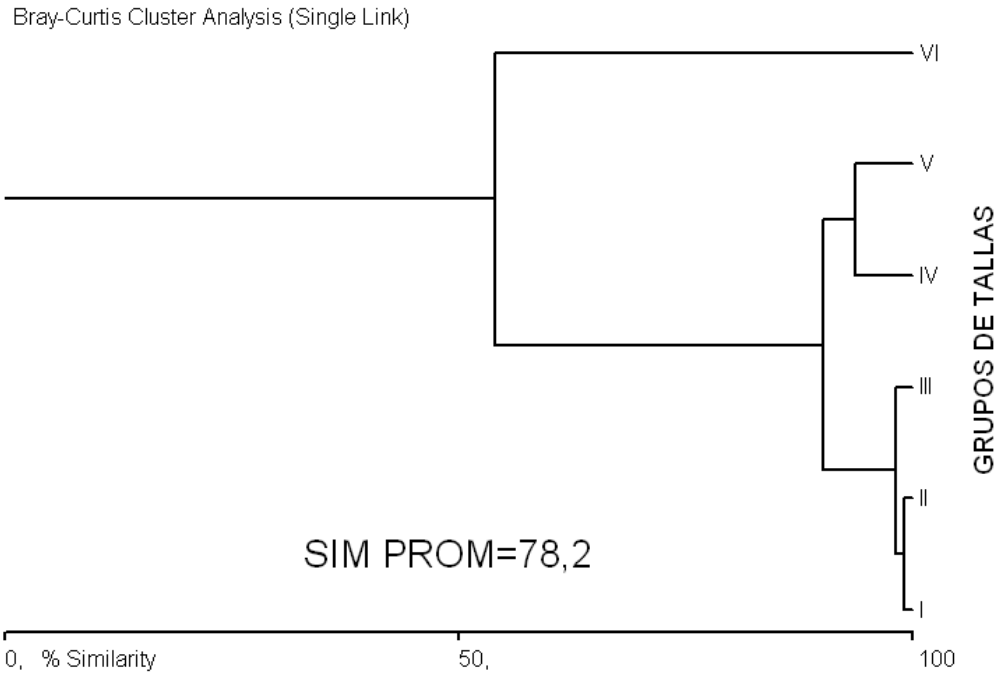


Figura 74.Dendrograma de similitud trófica en jurel, para 6 grupos de tamaños.

Al comparar la similitud trófica entre años, este revela un porcentaje de similitud de 75,9 %, lo que demuestra patrones alimenticios similares, destacando a los eufáusidos como la presa principal en toda la serie de tiempo, seguido por el consumo de crustáceos menores, copépodos y restos de crustáceos. Las diferencias se ven marcadas por el consumo de mictofidos y salpas, donde su mayor o menor consumo no tiene un ciclo bien definido o constante si no más bien es de un carácter oportunista, y de una estrecha relación con oferta ambiental de alimento. (**Figura 75**)

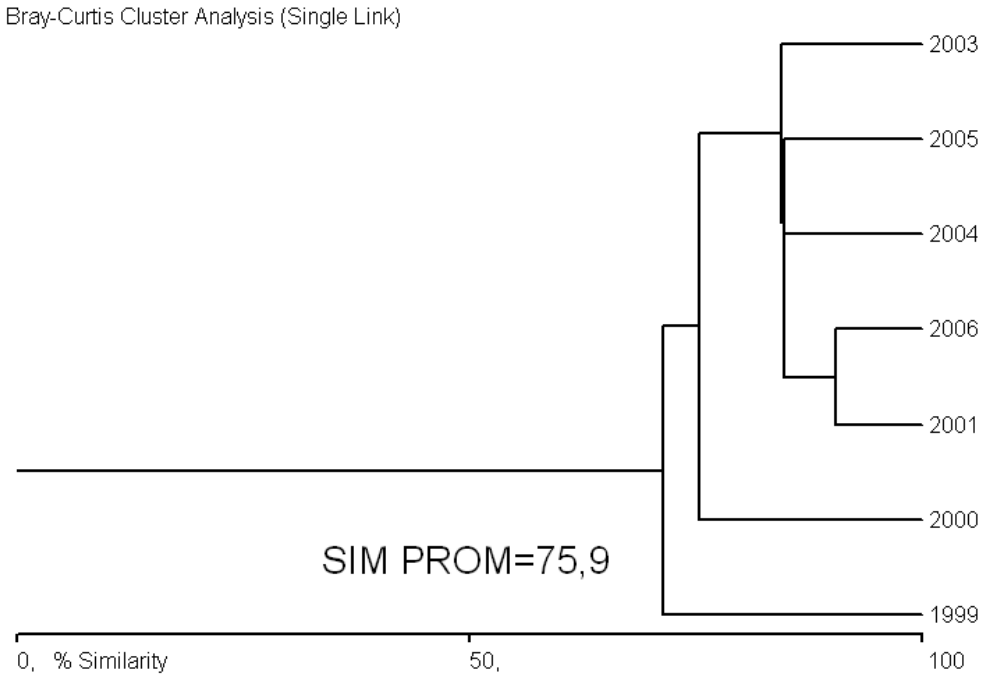


Figura 75.Dendrograma de similitud trófica en jurel, entre años.

OBJETIVO 3: Determinar y caracterizar la distribución espacial de las agregaciones de jurel

7.7 CARACTERIZACION DE LAS AGREGACIONES DE JUREL

7.7.1 Distribución espacial Batimétrica

La distribución espacial de los ecotrazos del jurel detectados por el ecosonda, muestra que el recurso se ubicó ampliamente en toda la zona de estudio, predominando los sectores donde se detectó ecotrazos con niveles de abundancia de clase "baja", en tanto las mayores densidades de jurel caracterizadas por abundancias tipo "media" y "alta", fueron bastante escasos, localizándose estas principalmente en el macrozona norte - oceánica (**Figura 76a**), situación similar a la observada en noviembre del 2004 y 2005 . Esta distribución espacial no mostró zonas importante de concentración del recurso (stock parental), más bien focos puntales de alta abundancia y un número importante de ocurrencia de niveles bajos de abundancia, coincidiendo con el patrón de distribución espacial observado en ecoprospecciones anteriores realizadas en el período reproductivo en la zona de estudio.

La distribución espacial de los ecotrazos detectados por el sonar, muestra una distribución más restringida que lo reportado por el ecosonda (**Figura 76b**), manteniendo el predominio de ecotrazos de clase baja los cuales se encuentran distribuidos ampliamente en toda el área prospectada, en cambio las categorías media y alta se observan más escasas y distribuidas principalmente en el sector norte de la zona de estudio.

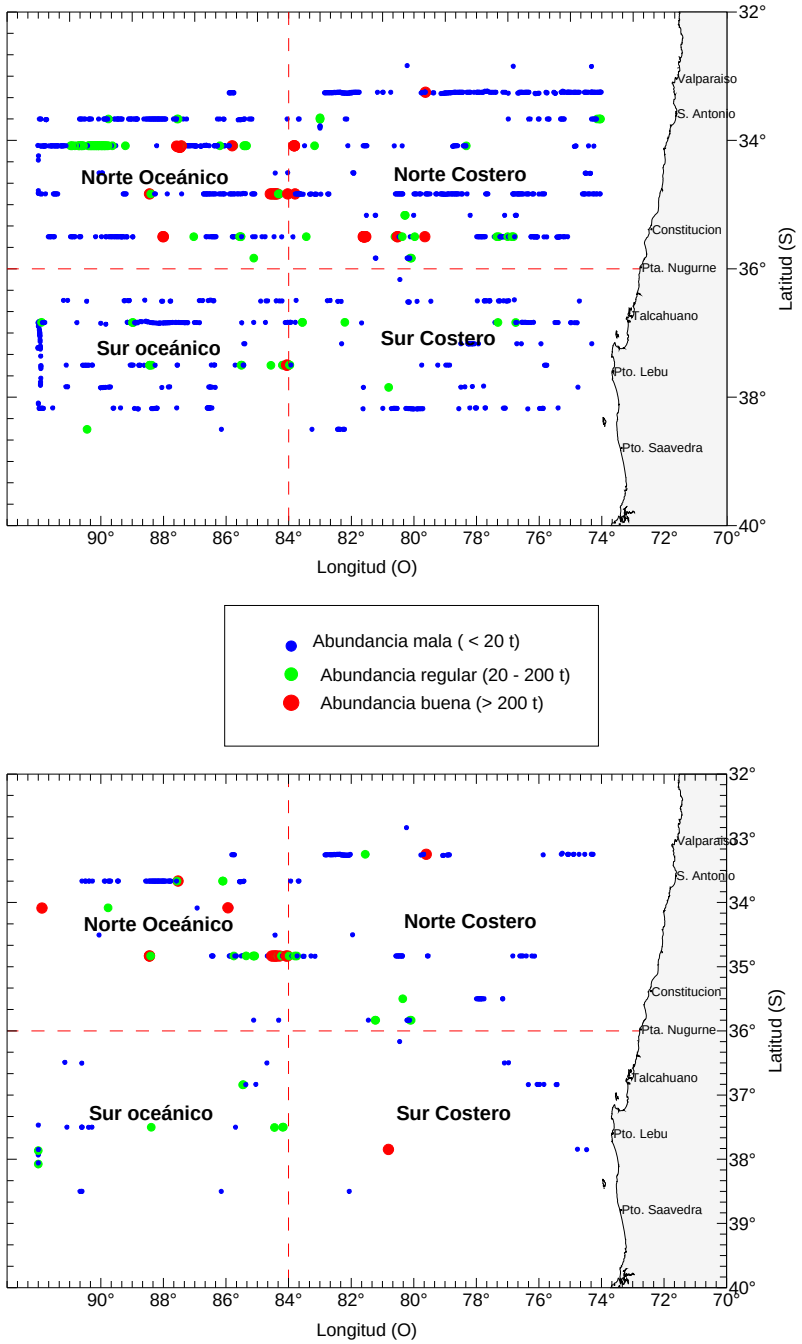


Figura 76. Distribución espacial de la abundancia de jurel registrada por: a) ecosonda y b) sonar en la zona de estudio, noviembre 2006.

7.7.2 Índice de cobertura

En los 18 transectos realizados en la ecoprospección, se registraron un total de 14.839 UBM de las cuales en 1.104 se detectaron registros de jurel, determinándose un índice de cobertura (IC) para la zona total de 7,44%, alcanzando valores de 3,91% en la macrozona costera (74° 00' W- 84° 00' W) y 3,53%, en la oceánica (84° 00´ W -92° 00' W) (**Figura 77a y Tabla 34)**.

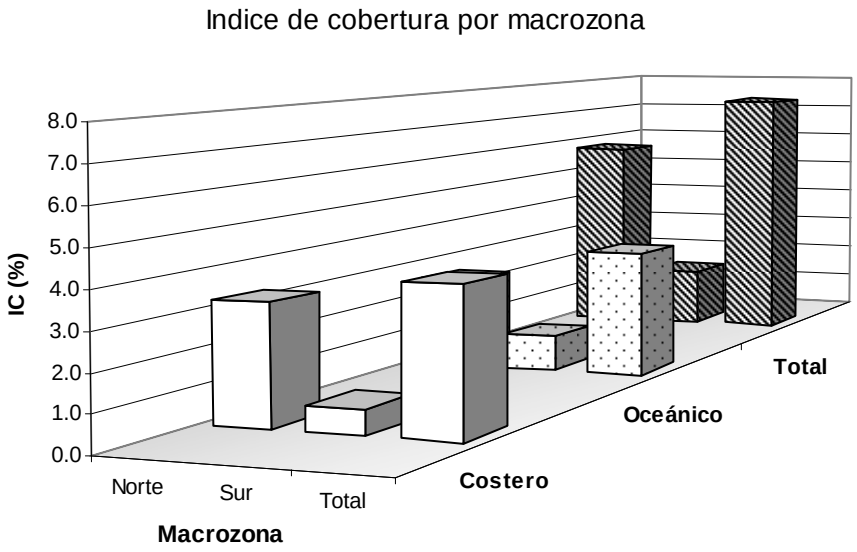
Al comparar por macrozona norte-sur se puede destacar que el mayor IC fue detectado en el sector norte con un valor del 5,77%, cifra que es aproximadamente 3,5 veces el valor estimado para el área sur (1,67%). En el sector norte (32°50' S - 36°00' S) el IC más alto se detectó en la macrozona costera, alcanzando al 3,24% mientras que en la oceánica este valor fue del 2,53%. Para el sector sur, los valores de IC son menores a los registrados en la zona norte alcanzando al 0,67% y 1,0% para el área costera y oceánica, respectivamente (**Figura 77a y Tabla 34)**.

Al comparar los valores de IC obtenidos en el presente estudio con los detectados en los años 2004 y 2005, se puede destacar que los valores más altos del índice de cobertura en el presente estudio se detectaron en la zona norte costera (IC=3,24%) y norte oceánica (IC=2,53%), situación similar a la registrada en 2004 donde los agregaciones se localizaron principalmente en la macrozona norte oceánica (IC=5,09%) y norte costera (IC=2,64%), presentándose una situación diferente en el año 2005 donde los máximos valores se localizaron en el área sur oceánica (IC=1,81%) y sur costera (IC=0,64%).

Tabla 34. Índice de cobertura (IC) de los ecotrazos reportados por el ecosonda en las macrozonas: norte-costero, norte-oceánico, sur-costero, sur-oceánico y total zona de estudio, noviembre 2006.

		Índice de cobertura (%)				
Sector	**Abundancia**	**Cardumen**	**Estrato**	**Disperso**	**Individual**	**Total**
Norte - costero	**Baja**	0,03	0,55	1,79	0,62	2,99
	Regular	0,02	0,05	0,01	0,06	0,14
	Alta	0,03	0,01	0,00	0,07	0,11
Total Norte - Costero		**0,08**	**0,62**	**1,79**	**0,75**	**3,24**
Norte - Oceánico	**Baja**	0,09	0,49	0,88	0,57	2,03
	Regular	0,03	0,14	0,01	0,22	0,41
	Alta	0,05	0,03	0,00	0,00	0,09
Total Norte - Oceánico		**0,18**	**0,67**	**0,89**	**0,79**	**2,53**
Sur - Costero	**Baja**	0,02	0,09	0,25	0,28	0,65
	Regular	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03
	Alta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Sur - Costero		**0,03**	**0,10**	**0,25**	**0,29**	**0,67**
Sur - Oceánico	**Baja**	0,01	0,09	0,30	0,53	0,92
	Regular	0,00	0,03	0,03	0,01	0,06
	Alta	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total Sur Oceánico		**0,02**	**0,11**	**0,32**	**0,54**	**1,00**
Total Zona	**Baja**	0,15	1,23	3,21	2,00	6,59
	Regular	0,07	0,23	0,05	0,30	0,64
	Alta	0,09	0,05	0,00	0,07	0,21
Total general		**0,32**	**1,50**	**3,25**	**2,37**	**7,44**

a



b

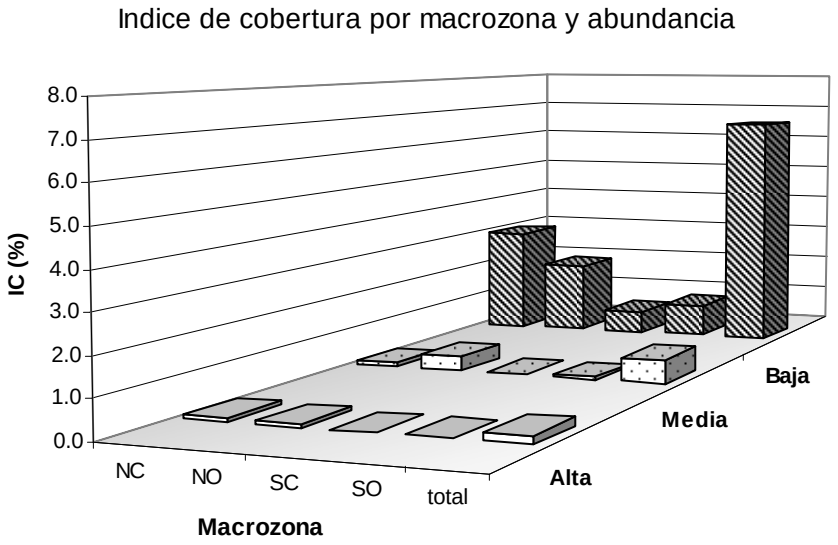
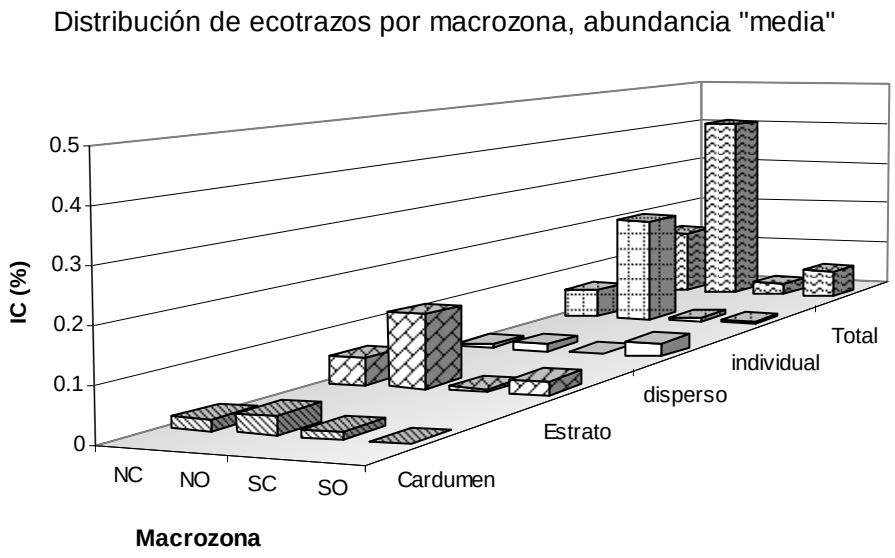


Figura 77. Índice de cobertura por macrozona y abundancia, noviembre 2006.

Respecto a la tipología de abundancias registradas en la zona de estudio, al igual que en años anteriores los niveles de abundancia baja alcanzaron valores de IC mayores (6,59%), seguido por la abundancia regular con un 0,64%, en cambio los IC de la abundancia alta alcanzan un valor incipiente de 0,21% (**Figura 77 b y Tabla 34).**

Para la abundancia baja el mayor IC se observa en el sector norte, sustentado tanto para la zona costera y oceánica, por los ecotrazos disperso y con menor aporte la categoria estrato **(Figura 78 y Tabla 34).** Para la abundancia media se destaca un alto IC en el sector norte oceánico sustentado por los ecotrazos individual y estrato **(Figura 78 y Tabla 34)**. Para la abundancia alta al igual que la baja, se observa un mayor IC en la zona norte sustentada por los ecotrazos tipo cardúmen e individual en el norte costero y cardúmen y estrato en el norte oceánico. **(Figura 79 y Tabla 34).**



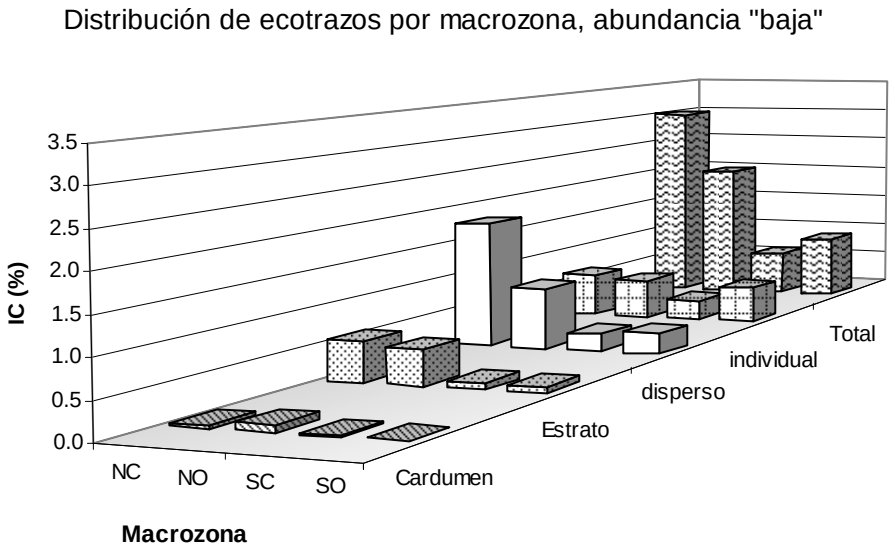
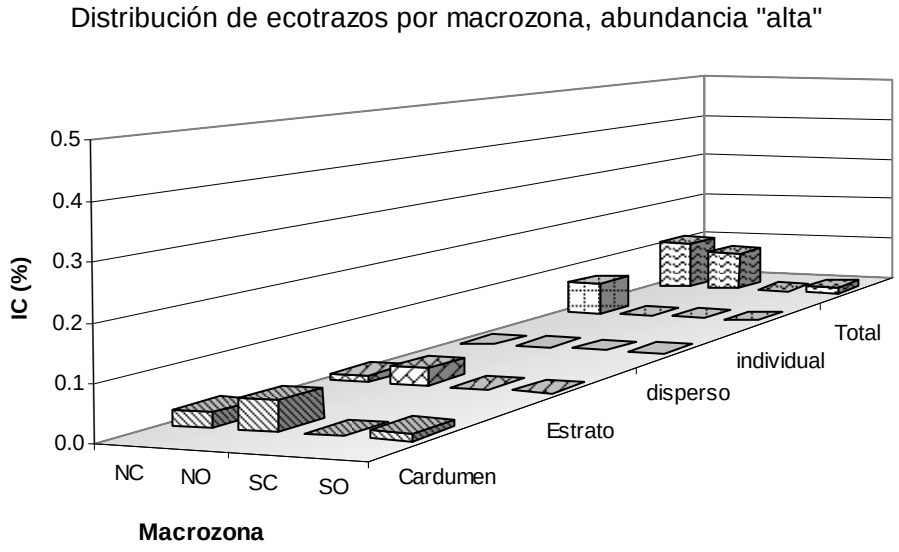


Figura 78. Índice de cobertura por macrozona y ecotrazo para la abundancia media y baja, noviembre 2006.



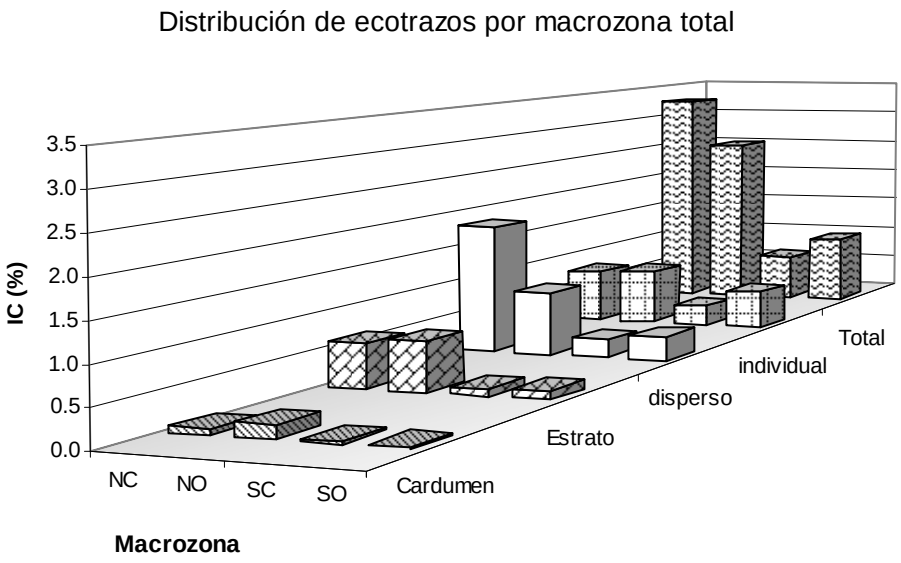


Figura 79. Índice de cobertura por macrozona y ecotrazo para la abundancia alta y zona de estudio total, noviembre 2006.

- **Índice de presencia de ecotrazos**

Durante el crucero se detectaron 1.322 agregaciones de jurel de las cuales el 72,84% (963) se localizaron en la macrozona norte, con valores del 53,38% para la zona costera y 46,62% para la oceánica, respectivamente (**Tabla 35**). Para el caso de la zona sur, donde se presento sólo el 27,16% (359) de las agregaciones detectadas, el mayor aporte fue de la zona oceánica con un 58,22% (209). Al considerar el total de agregaciones detectadas en la zona explorada, se puede señalar que en la zona norte costera se localizó el mayor número de agregaciones (514) que corresponde al 38,88% del total detectado, siguiendo en magnitud la zona norte oceánica (33,96%), sur oceánica (15,81%) y sur costera (11,35%).

Tabla 35. Número de agregaciones presentes por milla náutica lineal (IPE) y número de agregaciones totales presentes por macrozonas, noviembre 2006.

	I P E (N° agregaciones/milla náutica lineal)			N° de Agregaciones por zona		
	Costero	**Oceánico**	**Total**	**Costero**	**Oceánico**	**Total**
Norte	0,12	0,18	0,15	514	449	963
Sur	0,03	0,06	0,05	150	209	359
Total	0,08	0,12	0,10	664	658	1.322

El análisis de las agregaciones presentes por cada milla náutica lineal, medido a través de índice de presencia de ecotrazos (IPE), indica un incremento del índice hacia el sector oceánico en ambas macrozonas (norte y sur), registrándose los valores más altos en el sector norte costero y oceánico con valores de 0,12 y 0,18 agregaciones por milla náutica lineal, respectivamente (**Tabla 35**), resultado que es coincidente con lo detectado a través del índice de cobertura (**Figura 77, 78 y 79**).

El total de las agregaciones estuvo conformada en un 0,7% por Clusters complejo (CC) y en un 99,3% por Clusters simple (CS). El sector norte costero presentó el mayor

porcentaje de agrupaciones simples y complejas con un 38,4% y 0,5% respectivamente. En cuanto a los niveles de abundancia los porcentajes de Clusters simple fluctuaron entre 2,8% para clase "alta" y 88,3% para clase "baja" y para clusters complejos se observó un máximo de 0,6% para clase "baja", 0,1 % para la "alta", sin detectarse este tipo de agregación para el nivel de abundancia medio (**Tabla 36**).

Tabla 36.Clusters simples (CS) y Clusters complejos (CC) por: a) macrozona, b) nivel de abundancia y c) tipo de agregación, noviembre 2006.

a)

	Clusters				
Sector	**CC**	**CS**	**Total general**	**% CC**	**% CS**
Norte - Costero	6	508	514	0,5	38,4
Norte - Oceánico	1	448	449	0,1	33,9
Sur - Costero	2	148	150	0,2	11,2
Sur -Oceánico	-	209	209	0,0	15,8
Total	9	1.313	1.322	0,7	99,3

b)

	Clusters				
Abundancia	**CC**	**CS**	**Total general**	**% CC**	**% CS**
Baja	8	1.167	1.175	0,6	88,3
Media	-	109	109	0,0	8,2
Alta	1	37	38	0,1	2,8
Total	9	1.313	1.322	0,7	99.3

c)

	Clusters				
Agregación	**CC**	**CS**	**Total general**	**% CC**	**% CS**
Cardúmen	2	59	61	0,2	4,5
Estrato	-	277	277	0,0	21,0
Disperso	4	530	534	0,3	40,1
Individual	3	447	450	0,2	33,8
Total	9	1.313	1.322	0,7	99,3

7.7.3 Distribución batimétrica en el ciclo de las 24 horas

Distribución de profundidad media de los ecotrazos por hora, nivel de abundancia - tipo de agregación.

Los resultados de la información del ecosonda analizada para el período de un día, para la prospección realizada en la zona de estudio se presentan en las **Figuras 80 y 81**.

Las agregaciones o ecotrazos se distribuyeron desde la superficie hasta los 272 m de profundidad media, durante el ciclo de 24 horas. Esta distribución en profundidad es sustentada principalmente por el aporte de la abundancia "baja" y agregación tipo "estrato, disperso e individual" (**Figura 80**).

En relación al ciclo diario, las abundancias "baja" y "media" estuvieron presentes las 24 horas (**Figura 80**), en cambio la clase "alta" estuvo presente escasamente durante el periodo nocturno (**Figura 81**). En este sentido, es importante indicar que las agregaciones de jurel tipo individual se observaron durante todo el ciclo de 24 horas y fueron las más frecuentes durante el periodo de estudio (**Figura 80**).

La mayor profundidad de los ecotrazos de abundancia "media", se explica por la amplia distribución batimétrica de los distintos tipos de agregaciones (estrato, disperso e individual), los cuales alcanzan una profundidad máxima de 272 m. Es importante señalar que las agregaciones de tipo cardúmen, muestran tendencia a ubicarse en aguas más someras durante el período de máxima oscuridad, no sobrepasando los 50 m de profundidad (**Figura 81**).

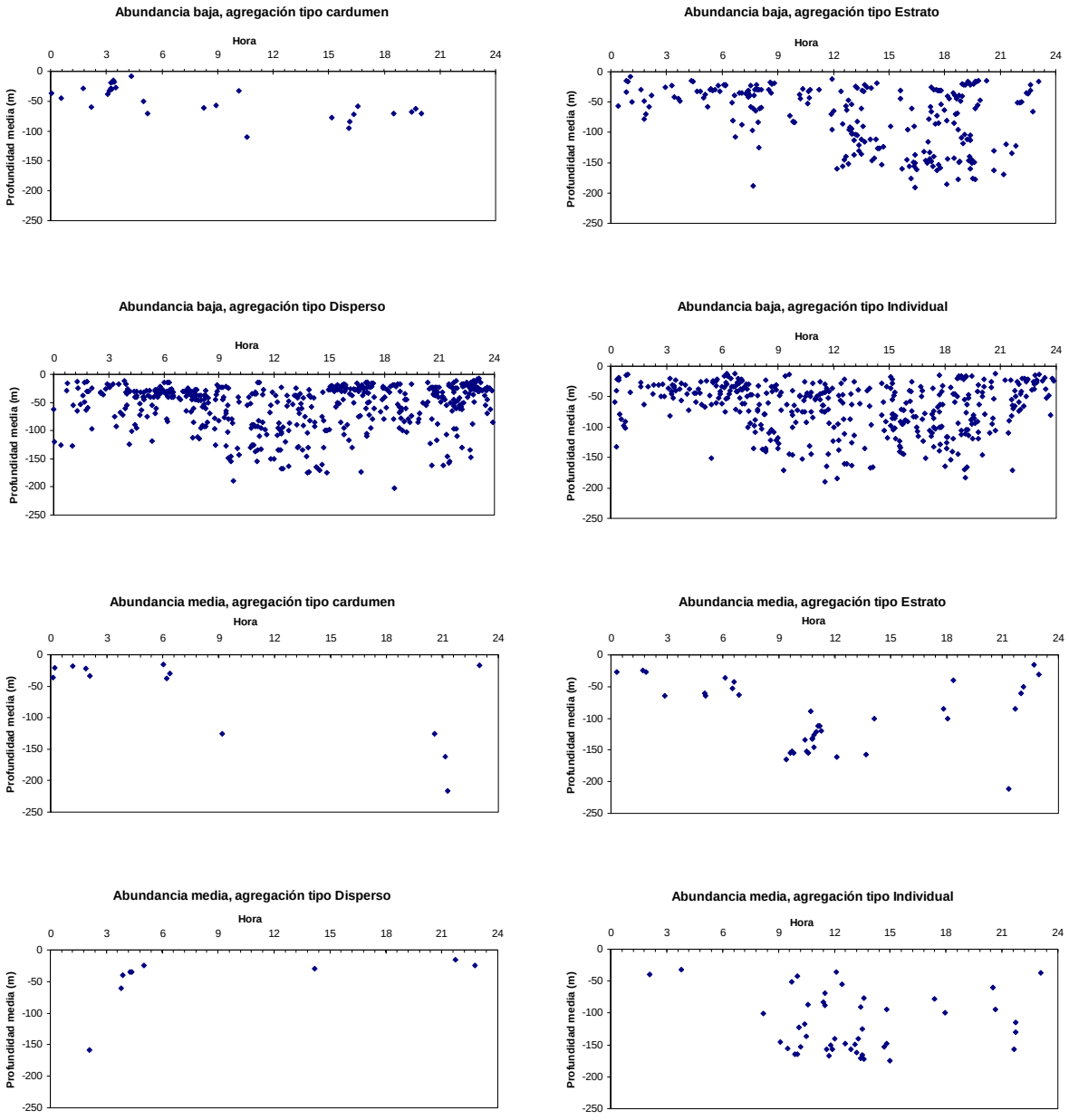


Figura 80. Distribución de profundidad media de los ecotrazos en el ciclo de 24 horas por nivel de abundancia (baja y media) y tipo de agregación, noviembre 2006.

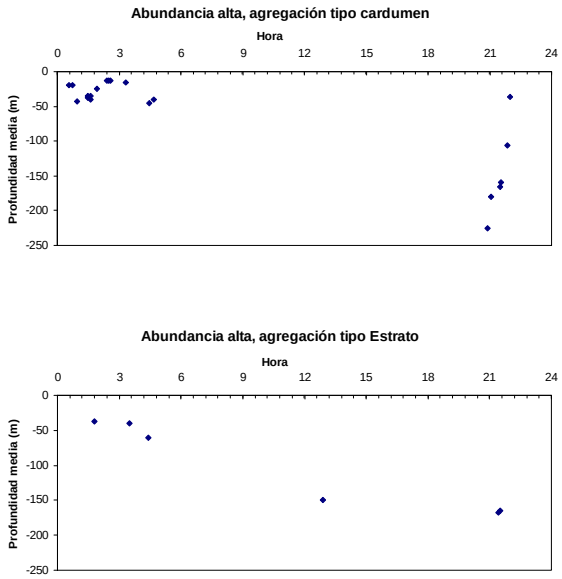


Figura 81. Distribución de profundidad media de los ecotrazos en el ciclo de 24 horas por nivel de abundancia (alta) y tipo de agregación, noviembre 2006.

7.7.4 Distribución de profundidad media promedio de los ecotrazos por periodo del día, tipo de ecotrazo y abundancia

Al analizar la distribución batimétrica de los diferentes tipos de ecotrazos de jurel durante los periodos del día (**Figura 82**), se observa para el caso de las agregaciones tipo cardúmen y estrato que a partir del orto el jurel comienza a profundizarse para alcanzar su profundidad máxima durante el crepúsculo con profundidades promedio de 150 y 125 m para las agregaciones tipo cardúmen y estrato, respectivamente para luego acercarse a la superficie en la noche. Para el caso de las agregaciones de tipo disperso e individual también se profundizan a partir del orto, pero su profundidad máxima la alcanzan durante el día, con valores promedio de 80 y 75 m, respectivamente.

Para el caso de la distribución batimétrica de los ecotrazos de jurel por nivel de abundancia y periodos del día (**Figura 83**), se puede destacar que para todos los niveles, los registros se detectan más cercanos a la superficie durante la noche y ocaso y a una mayor profundidad durante el día y el crepúsculo.

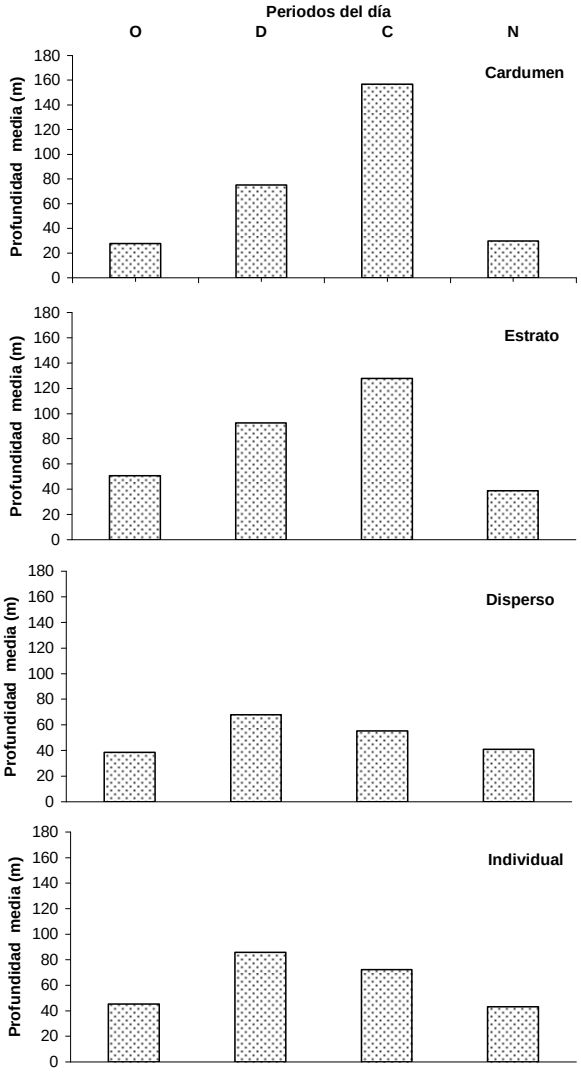


Figura 82. Profundidad promedio de los ecotrazos de jurel por periodos del día Orto (O), Día (D), Crepúsculo (C) y Noche (N), por tipo de ecotrazo, noviembre 2006.

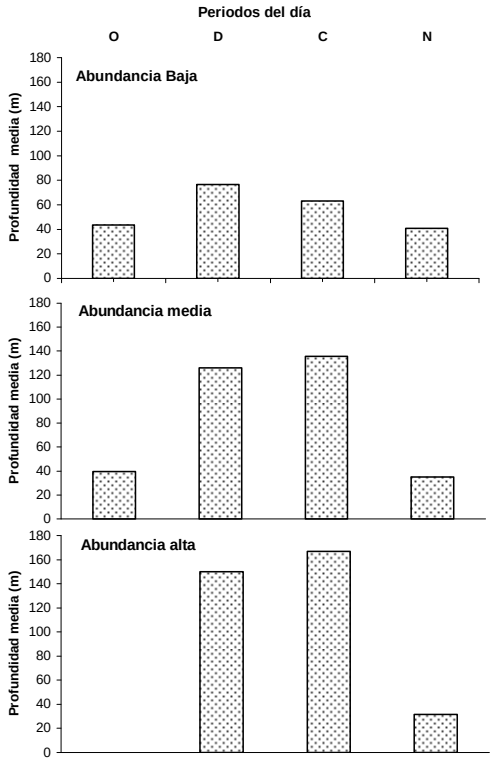


Figura 83. Profundidad promedio de los ecotrazos de jurel por periodos del día Orto (O), Día (D), Crepúsculo (C) y Noche (N), por nivel abundancia, noviembre 2006.

Finalmente se puede señalar que un comportamiento gregario característico de las especies pelágicas como jurel, es formar agregaciones tipo individual y disperso durante el día y del tipo cardúmen y estratos dispersos durante la noche, sin embargo los resultados obtenidos en el estudio reportan un incremento de los ecotrazos tipo cardúmen y disperso durante el crepúsculo y la noche, disminuyendo en el periodo del orto y día **(Figura 84),** detectándose los mayores registros para las agregaciones tipo estrato e individual durante el día y el orto.

Este predominio del ecotrazo disperso durante los periodos del día, se contrapone al comportamiento descrito anteriormente para la especie, sin embargo esto

puede explicarse ya que en periodos reproductivos el jurel se caracteriza por formar agregaciones de baja densidad.

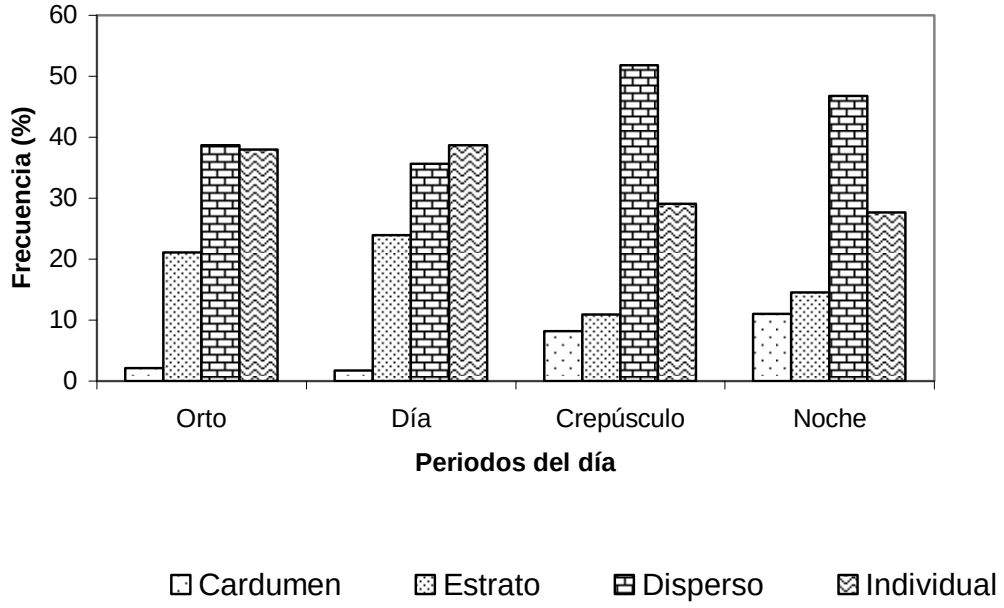


Figura 84. Frecuencia de ecotrazos por periodo del día Orto (O), Día (D), Crepúsculo (C) y Noche (N), noviembre 2006.

Para la comparación del IC durante los diferentes periodos del día se calculó el IC_{est} **Tabla 37 y 38,** este ponderador estandarizado se obtuvo de la distribución de ecotrazos en el ciclo de 24 horas (**Figura 85**). De estos resultados se puede destacar que durante el día se presentó el mayor ICest, con un valor de 0,9680 para disminuir fuertemente en los otros periodos del dia (ICest menores a 0.0600). Al analizar por tipo de ecotrazo, se puede destacar que en todos los periodos del día (orto, día, crepúsculo y noche) el valor más alto correspondió al registro del tipo disperso y en segundo lugar al individual, lo cual estaría de acuerdo al comportamiento que presenta la especie durante el periodo reproductivo.

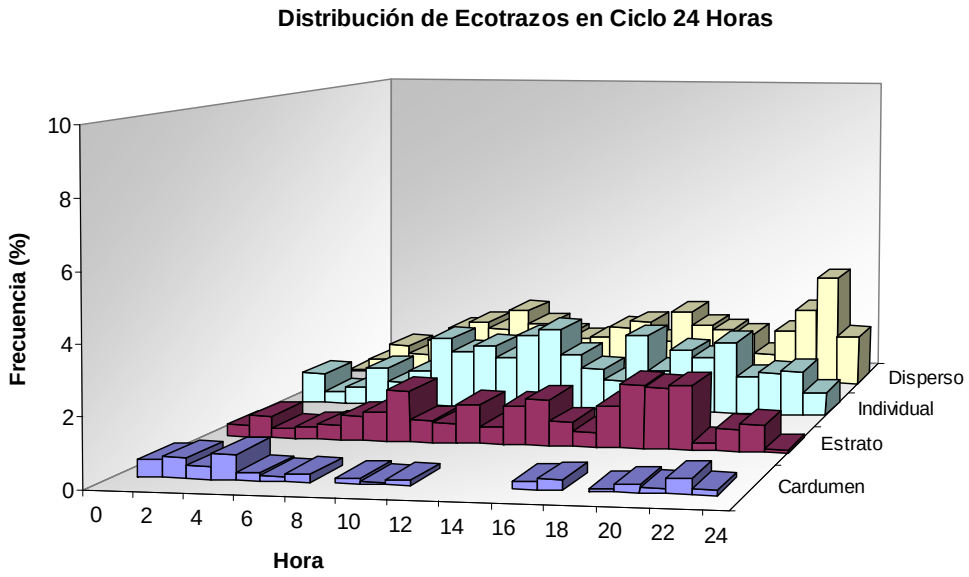


Figura 85. Frecuencia de distribución de los ecotrazos en el ciclo de 24 horas, noviembre 2006.

Tabla 37.Índice de cobertura (IC $_{est,}$) estandarizado a una hora

Periodo	**Tiempo (hr)**	**Ponderador**	**IC_{est}**
Orto	2	0.104	0.052
Día	12	0.562	0.046
Crepúsculo	2	0.081	0.040
Noche	8	0.251	0.031
Total	**24**	**1,000**	

Tabla 38. Índice de cobertura por ecotrazos y periodo del día (a) e Índice de cobertura estandarizado por ecotrazos y periodo del día (b).

a)

Agregación	Orto	Dia	Crepúsculo	Noche	Total general
Cardumen	0,013	0,087	0,020	0,195	0,316
Estrato	0,154	1,010	0,040	0,296	1,502
Disperso	0,343	1,657	0,323	0,929	3,254
Individual	0,283	1,442	0,148	0,491	2,365
Total general	0,795	4,198	0,532	1,913	7,439

b)

Agregación	Orto	Día	Crepúsculo	Noche
Cardumen	0,0007	0,0041	0,0008	0,0061
Estrato	0,0080	0,0473	0,0016	0,0093
Disperso	0,0178	0,0777	0,0131	0,0292
Individual	0,0147	0,0676	0,0060	0,0154
Total general	0,0413	0,9680	0,0216	0,0602

7.7.5 Altura y profundidad promedio de las agregaciones

Durante el período estudiado, la altura y profundidad media de los ecotrazos fue de 23,8 y 66,4 m, respectivamente. De acuerdo a la abundancia, la altura fluctuó entre los 22,6 m para la clase "baja", 38,7 m para la clase "alta", mientras que para los tipos de agregaciones, la altura media varió desde 18,6 m para el tipo "individual" a 31,3 m para el tipo "cardúmen" (**Tabla 39**)

La profundidad media de los ecotrazos alcanzó los 66,4 m, con un rango que fluctuó entre los 63,5 m para la categoría "baja" y de 98,3 m para la categoría "media" (**Tabla 39**). Los ecotrazos tipo cardúmen y disperso se detectaron menos profundos, entre 55 y 58 m profundidad promedio, los de tipo estrato y disperso bajo los 70 m de profundidad, siendo los de tipo estrato las agregaciones de mayor profundidad registrada durante el crucero (80,0 m). En cuanto al rango de profundidad los ecotrazos fueron entre los 3 a 272 m (**Tabla 39**).

Tabla 39. Profundidad mínima (Zmin), Profundidad máxima (Zmax), Profundidad media (Z media) y Altura media por: a) nivel de abundancia y b) tipo de agregación, noviembre 2006.

a)

Abundancia	Z min	Zmax	Z media	Altura media
Baja	3	253	63,5	22,6
Media	3	272	98,3	34,5
Alta	5	262	72,5	38,7
	3	**272**	**66,4**	**23,8**

b)

Agregación	Z min	Zmax	Z media	Altura media
Cardúmen	3	262	57,6	31,3
Estrato	3	272	80,0	25,8
Disperso	3	253	55,8	26,6
Individual	5	200	71,9	18,6
	3	**272**	**66,4**	**23,8**

El 77,72% de los ecotrazos se reportaron entre la superficie y los 100 m de profundidad, en relación a las categorías de abundancia, la clase "baja" presenta un 77,32% bajo los 100 m de profundidad y un 17,84% sobre los 100 m de profundidad, en cambio la

clase "alta" presenta un 1,33% bajo los 100 m de profundidad (**Tabla 40**). Con respecto a las agregaciones, la mayor concentración de ecotrazos se observó en el tipo disperso con un 34,49% hasta los 100 m de profundidad y la menor concentración se asocia a los ecotrazos tipo cardumen con un 3,85% bajo los 100 m de profundidad (**Tabla 40**).

Tabla 40. Presencia de ecotrazos (%) en la columna de agua a una profundidad superior e inferior a los 100 m, por nivel de abundancia y tipo de agregación.

Agregación	**<=100 m**	**> 100 m**	**Total**
Cardumen	3,85%	0,74%	4,59%
Estrato	13,10 %	7,18%	20,28 %
Disperso	34,49 %	5,55%	40,04 %
Individual	26,28 %	8,81%	35,09 %
Total general	77,72 %	22,28 %	100,0 0%

Agregación	**<=100 m**	**> 100 m**	**Total**
Baja	72,32 %	17,84 %	90,16 %
Regular	4,07%	3,85%	7,92%
Alta	1,33%	0,59%	1,92%
Total general	77,72 %	22,28 %	100,00 %

7.7.6 Índice de agregación, índice de cobertura e índice sintético de presencia de huevos de jurel

El grado de concentración tanto para el jurel como para los huevos se estimó mediante el índice de Gini el cual entregó valores de 0,76 para los huevos y de 0,92 para el jurel, cifras ligeramente menores a las detectadas en noviembre del 2005 (0,82 huevos y 0,97 jurel).

La carta de distribución de huevos correspondiente a noviembre de 2006 se presenta en la **Figura 86**, de esta se puede destacar que el área de alta presencia de huevos (> 500 ind/10m^2) se concentra en el sector norte preferentemente en el área oceánica donde se observa una densidad promedio de 397,7 ind/10m^2 y IC de 15,04 (**Tabla 41**), esta zona se encuentra asociada a sectores de baja abundancia de jurel con IC de 2,53 (**Figura 86**), se destaca en esta zona una clara tendencia a continuar su distribución fuera de la zona estudiada. En la macrozona norte costera también se detectan áreas de alta abundancia de huevos, pero estas presentan una baja superficie y un densidad considerablemente mas baja que en la zona norte oceánica (74,36 ind/10m^2). Esta situación se contrapone a la observada en noviembre del 2005 donde las áreas de abundancia de huevos se localizan preferentemente en la macrozona sur oceánica y norte costera.

El índice sintético de presencia de huevos estimado para este periodo fue de 9,46, valor que es muy superior al estimado para el año 2005 (1,2), pero que corresponde a un valor bajo en comparación a los detectados en periodos anteriores.

Tabla 41.Índice de cobertura de huevos IC (%) y Ind/10m^2 promedio presentes por macrozonas y total, noviembre 2006.

	Índice de cobertura de huevos (%)			**Ind/10m^2 promedio**		
Macrozona	**Costero**	**Oceánico**	**Total**	**Costero**	**Oceánico**	**Total**
Norte	10,24	15,04	25,28	74,36	397,70	197,0
Sur	4,68	8,72	13,40	23,17	32,31	27,25
Total	14,92	23,77	38,69	49,04	191,61	108,16

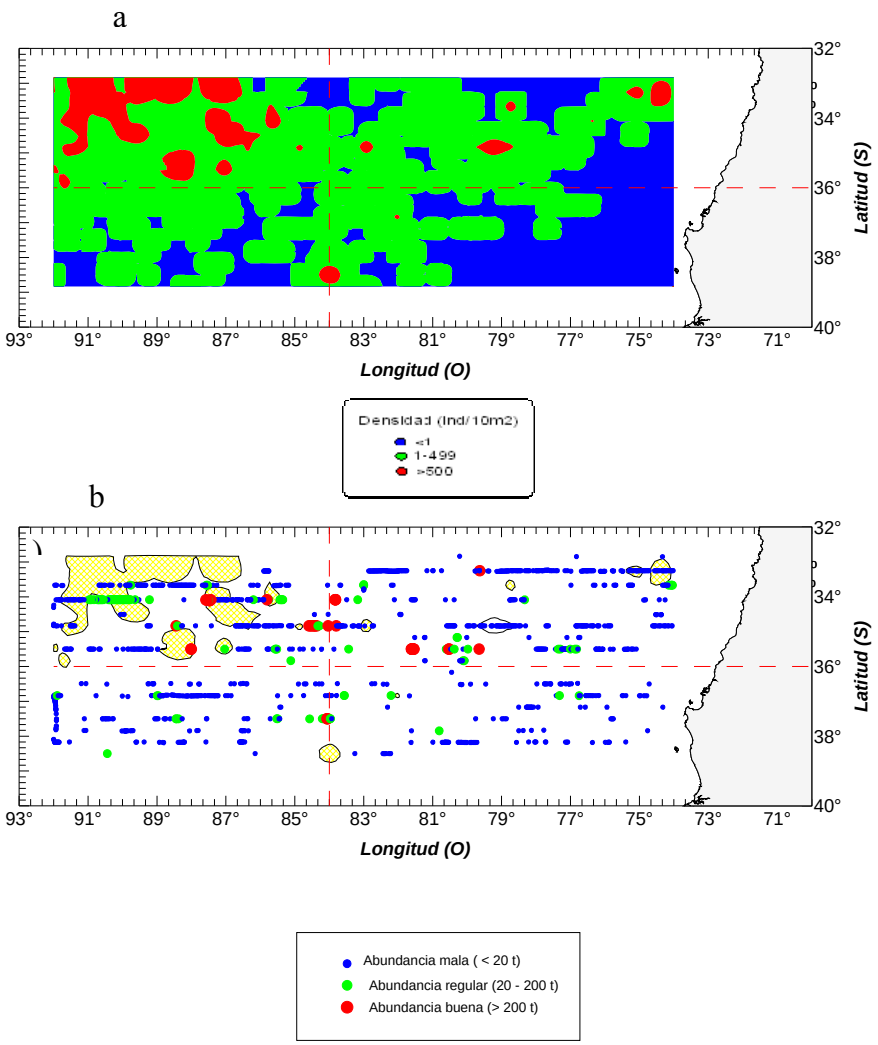


Figura 86. Distribución espacial de la densidad de huevos de jurel (a), distribución de la abundancia de jurel (ecosonda) y zonas de alta densidad de huevos (b), noviembre 2006.

7.7.7 Análisis multitemporal de la distribución de los ecotrazos de jurel de los cruceros realizados en el periodo 1997 - 2006

Desde 1997 se han efectuado 10 cruceros de ecoprospección dentro del marco de los proyectos de prospección de jurel, huevos y larvas de jurel de altamar **Barbieri *et al*, 1998, 1999: Sepúlveda *et al*, 2001, Cubillos *et al*, 2002, Cubillos *et al*, 2003, Sepúlveda *et al*, 2004, Arcos *et al*, 2005.**

7.7.8 Índice de cobertura (IC) por periodo del día, año y macrozona.

Con respecto al índice de cobertura obtenido para el periodo 1997 - 2006, este ha presentado tres valores máximos, 1997 (14,97%), 1999 (14,72%) y 2003 (12,74%), para luego en el caso de los primeros dos años disminuir drásticamente, registrándose el valor más bajo en el año 2005 con un IC de 3,29 (**Figura 87a y Tabla 42**), para luego en el 2006 insinuar una recuperación (IC= 7,44). Sin embargo de los valores de IC total registrados para el periodo, es posible señalar la existencia de una tendencia a disminuir el valor del IC a partir del año 1999.

En relación a esta tendencia se debe mencionar que en 1997 y 1999, años en que se detectan los mayores IC del periodo, 14,97 y 14,72, respectivamente, el área cubierta por los cruceros estuvo comprendida aproximadamente entre las latitudes 35° y 40° S es decir principalmente la macrozona sur, a diferencia del resto de los cruceros que cubrieron tanto la macrozona sur como norte (aproximadamente desde la latitud 33° a 39° S) sin embargo, si consideramos solamente los últimos 4 años (2003 a 2006) esta tendencia a la disminución en la ocupación del espacio, se manifiesta más claramente.

Previo al análisis de los resultados del IC por macrozona, es necesario hacer notar que para el año 1997 no se presenta este índice ya que la prospección fue realizada desde el 36° 00´- 40° 00´S, por lo que sólo se cuenta con información de la zona sur.

De los valores de IC estimados por macrozona (norte – sur) se puede destacar que en general en ambas, se aprecia una tendencia similar hasta el año 2004, apreciándose un comportamiento contrapuesto en loa años posteriores, con una disminución hasta el mínimo histórico el 2005 y un aumento relativo el 2006, para la zona norte y una reducción mas severa para la zona sur

Al analizar por macrozona, se observa para la oceánica norte un incremento sostenido del índice hasta el año 2003, para luego disminuir hasta el 2005 y aumentar en el 2006, una situación similar se detecta para la macro zona oceánica costera (**Figura 87b y Tabla 42**), este incremento en el valor de IC podría estar asociado a la detección de áreas de alta abundancia de huevos en ese sector.

Para el caso de la macrozona sur oceánica, se observa un valor de IC relativamente estable hasta el año 2003 (0,10 a 0,44), para luego incrementarse en el 2005 (1,81) y disminuir el 2006 llegando a un valor de 1,00 (**Figura 77b y Tabla 42**), este incremento registrado en el 2005 podría estar asociado a las zonas de alta abundancia de huevos detectada en esa macrozona en ese año. En la macrozona sur costera se observa un valor máximo del IC en 1999 (IC 9,24) para luego disminuir hasta el 2001 alcanzando un nuevo máximo en el 2003 (3,52) para luego iniciar una tendencia a la disminución hasta el presente estudio (2006) donde se registra un valor de 0,67.

Tabla 42. Índice de cobertura total y por macrozona para el período, 1997 - 2006.

Macrozona	1997	1998	1999	2000	2001	2003	2004	2005	2006
N.Costero	-	0,96	3,53	1,91	1,02	3,41	2,63	0,42	3,24
N.Oceánico	-	0,12	1,536	1,44	2,48	5,38	5,09	0,43	2,53
Total Norte	-	1,08	5,07	3 ,35	3,50	8,79	7,72	0,85	0,67
S. Costero	14,97	0,35	9,24	0,56	0,34	3,52	1,74	0,64	0,67
S. Oceánico	14,97	0,46	0,43	0,51	0,10	0,44	0,91	1,81	1,00
Total Sur	-	0,81	9,67	1,07	0,44	3,96	2,65	2,45	1,67
Total	14,97	1,88	14,72	4,41	3,94	12,74	10,38	3,29	7,44

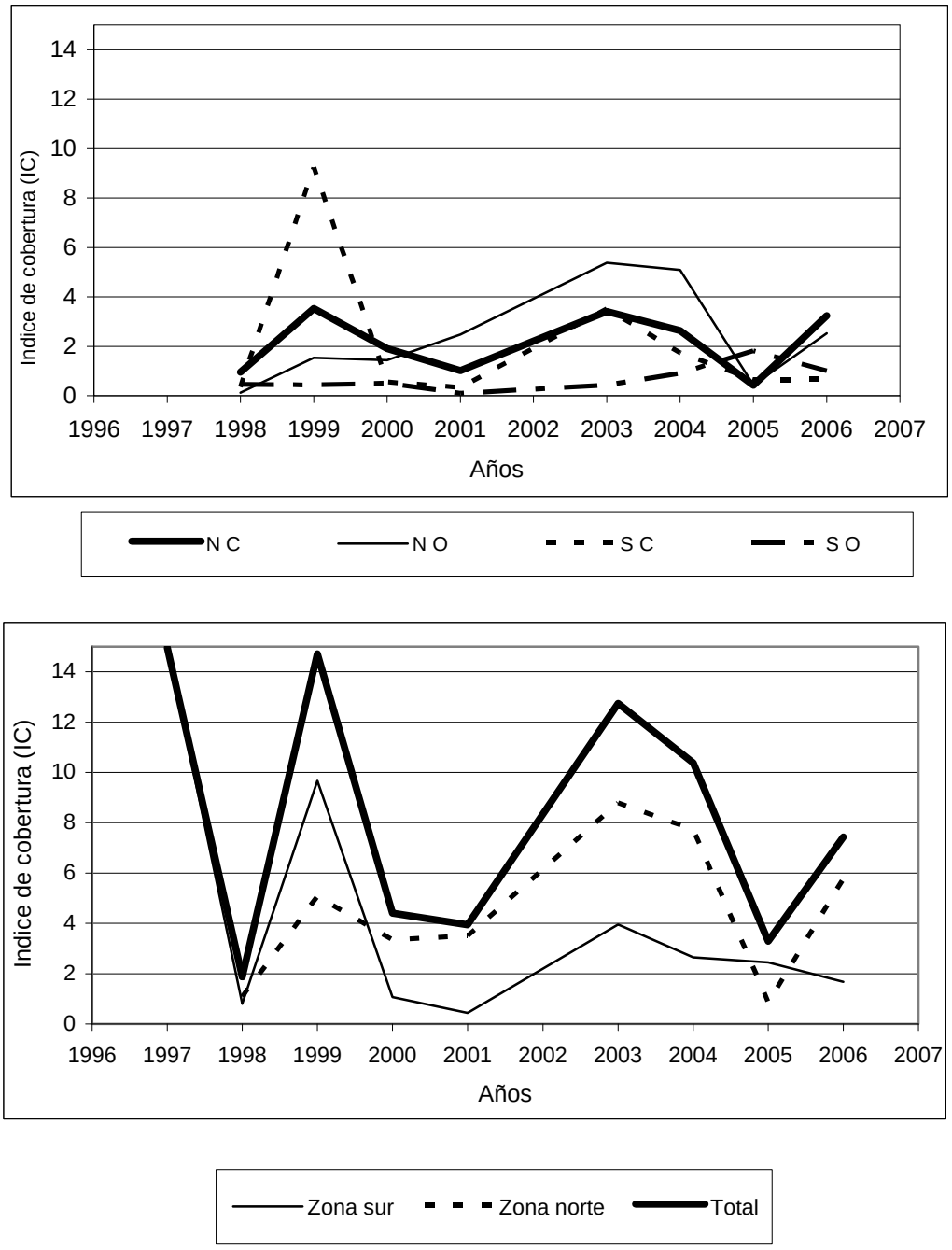


Figura 87. Índice de cobertura calculados para el periodo 1998 – 2006; a) para la macrozona norte, sur y área total. y b) para las macrozonas norte costero (NC), norte oceánico (NO), sur costero (SC) y sur oceánico (SO).

En general para el periodo 1997 – 2006 el índice de cobertura para la abundancia baja presenta altos valores para los ecotrazos tipo disperso, estratos e individual , lo cual es una característica que presenta el jurel durante el periodo reproductivo (**Barbieri et al., 2005**).

Sin embargo, es importante destacar que en los años 2000 y 2001 se presentan los valores más bajos de esta serie para esta agregaciones, una situación similar se puede apreciar en los registros tipo cardúmen **(Figura 88 y Tabla 43).** Para la abundancia baja en 1997, se observa un pick para el ecotrazo estrato, en tanto para el ecotrazo disperso, se observan fluctuaciones importantes con un pick en el año 2003.

Para la abundancia media se observa un comportamiento más bien homogéneo del IC para los diferentes tipos de ecotrazos en el periodo entre 1997-2006, destacando para el tipo estrato un punto más alto en 1997. Para la abundancia alta se presenta un comportamiento similar al de la abundancia media destacándose los mayores índices detectados para los esotrazos tipo estrato, disperso e individual durante el 2001, año en el cual se detectaron los menores IC para la abundancia baja.

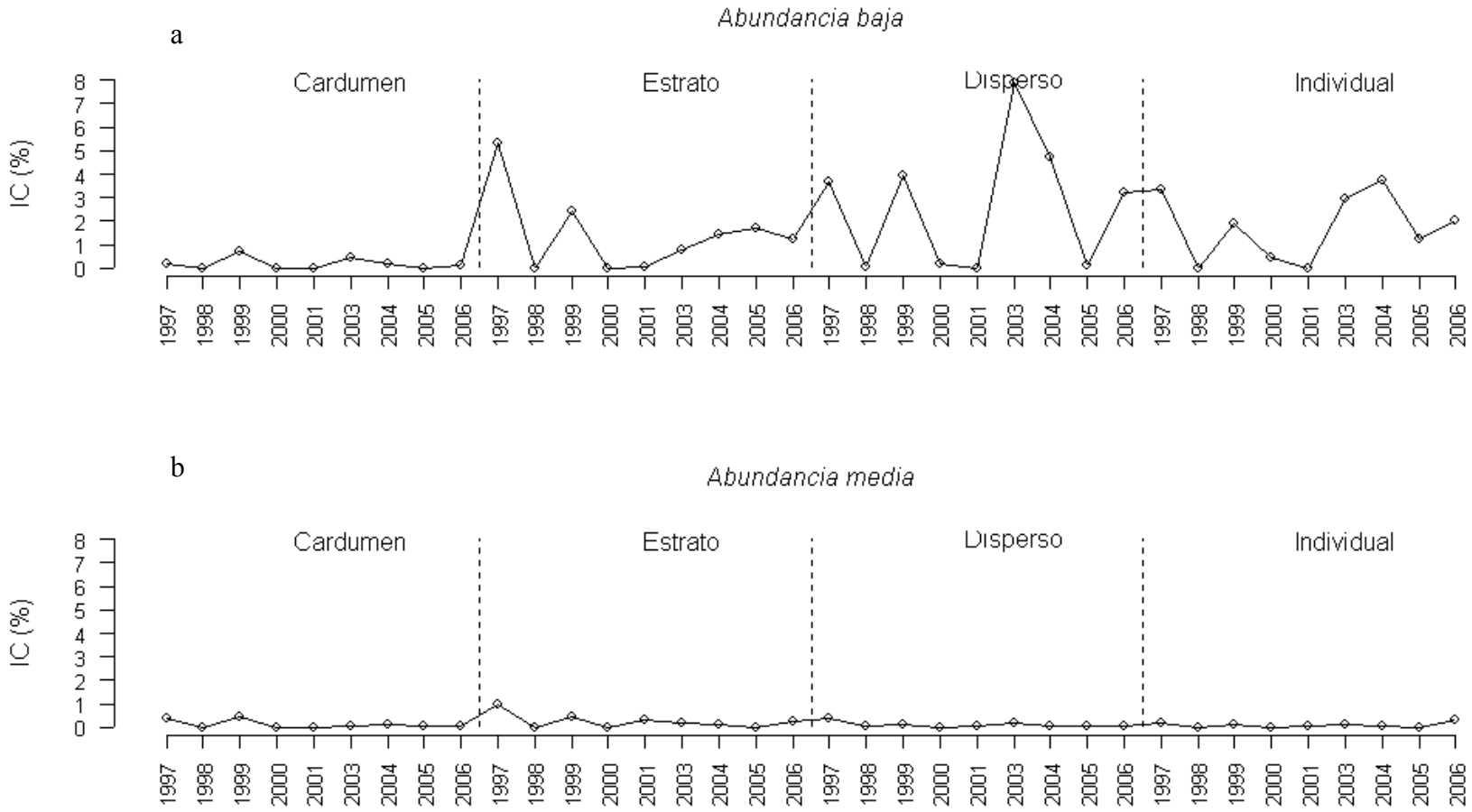


Figura 88. Índice de cobertura de las agregaciones para la abundancia baja y media entre 1997-2006.

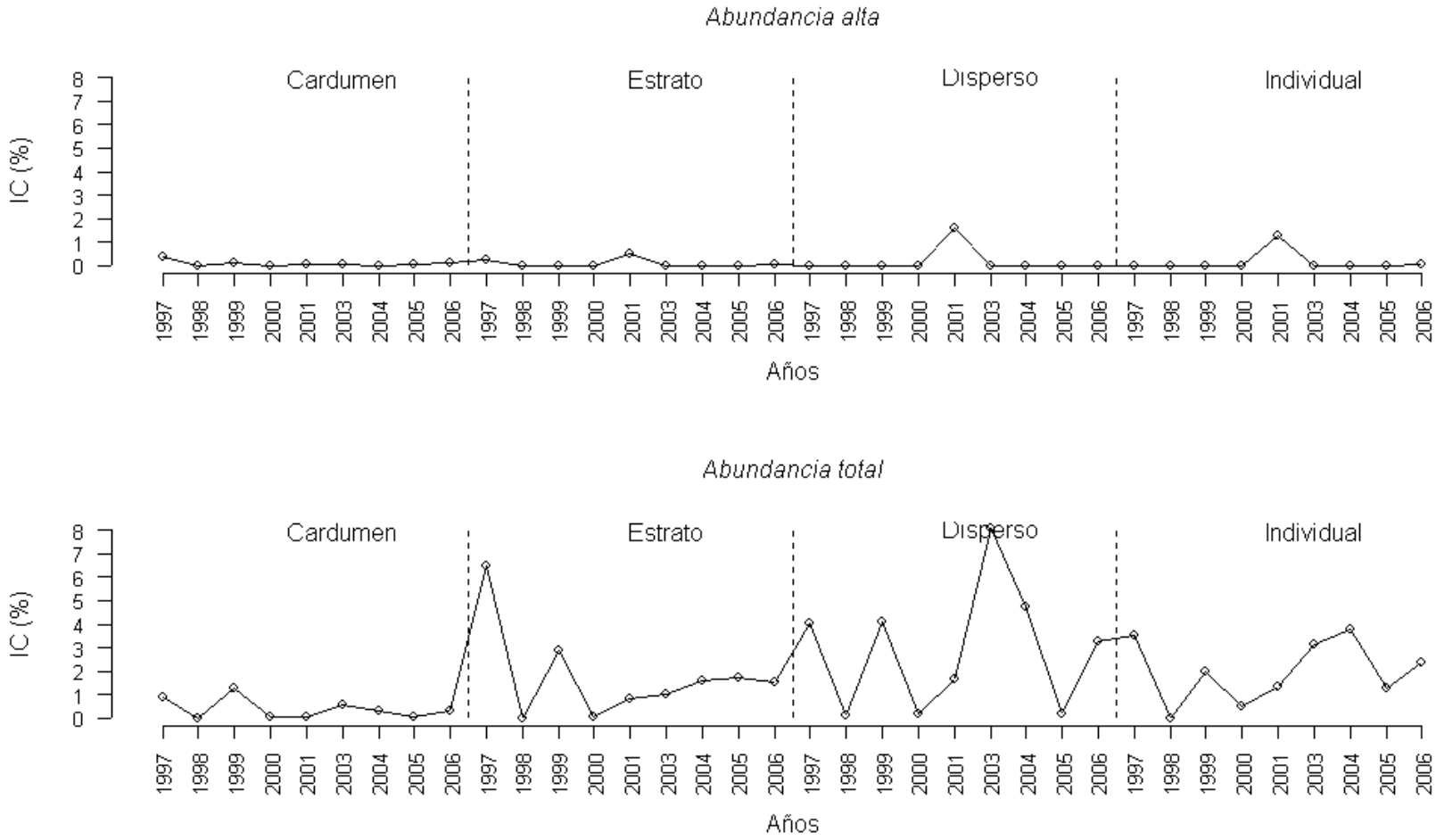


Figura 89. Índice de cobertura de las agregaciones para la abundancia alta e IC total entre 1997-2006.

Tabla 43. (A) Índice de cobertura (IC), profundidad media (Z) y altura media (Alt) de los ecotrazos reportados por el ecosonda, (B) Índice de cobertura estandarizado (IC_{est}) y altura media (Alt) de los ecotrazos reportados por periodo del día y (C) numero de cluster /10.000 mn^2 profundidad media de los registros (Z) y porcentaje de cardúmenes en profundidades menores o iguales a 100 m.

A	1997			1998			1999			2000			2001			2003			2004			2005			2006		
	C		Alt	C	Z	Alt	C	Z	Alt	C	Z	Alt	C	Z	Alt	IC	Z	Alt	IC	Z	Alt	IC	Z	Alt	IC	Z	Alt
Cardumen	0,90	78,5	41,0	0,01	118,3	25,0	1,79	113,1	20,0	0,20	43,8	27,6	0,07	72,9	36,2	0,60	111,6	16,3	0,30	62,4	24,8	0,11	21,3	17,5	0,32	57,6	32,3
Estrato	6,50	147,2	26,9	0,19	105,5	16,0	4,28	129,7	23,7	0,70	80,9	23,7	0,79	78,1	15,4	1,00	111,1	29,7	1,60	69,8	22,5	0,18	43,2	17,4	1,50	80,0	25,9
Disperso	4,10	153,9	35,1	0,80	44,2	13,0	5,13	45,0	27,7	1,20	46,2	28,1	1,70	46,0	21,4	8,10	75,0	37,4	4,80	36,6	24,0	1,73	48,0	19,3	3,25	55,8	26.6
Individual	3,50	145,9	17,1	0,81	73,3	18,1	3,53	65,1	25,3	2,40	42,8	24,1	1,37	44,3	13,1	3,10	68,8	18,0	3,80	37,8	13,7	1,27	72,5	15,1	2,37	71,9	18,6
Total	14,97	148,0	26,2	1,88	84,0	16,0	14,7	102,0	25,0	4,41	62,7	25,2	3,94	62,4	17,5	12,70	102,2	31,1	10,38	53,7	20,0	3,29	56,0	17,5	7,44	66,4	23,8

B	1998		1999		2000		2001		2003		2004		2005		2006	
	IC_{est}	Alt	IC_{est}	Alt	IC_{est}	Alt	IC_{est}	Alt	IC_{est}	Alt	IC_{est}	Alt	IC_{est}	Alt	IC_{est}	Alt
Orto	0,15	15,50	0,75	33,40	0,17	22,43	0,24	19,00	0,76	26,92	0,72	21,76	0,077	17,38	0,04	18,27
Día	0,12	12,63	1,43	23,95	0,36	25,59	0,31	19,15	1,37	30,22	0,77	21,35	0,051	17,28	0,19	23,62
Crepúsculo	0,35	24,45	1,40	24,32	0,45	28,65	0,22	18,99	1,51	36,53	0,92	19,64	0,007	18,33	0,02	32,14
Noche	0,16	15,38	0,99	26,06	0,41	24,16	0,41	15,33	0,56	32,34	1,03	18,39	0,056	17,60	0,06	23,99

C	1997	1998	1999	2000	2001	2003	2004	2005	2006
-N° clusters/10000 mn^2	[50]	3	55	17	18	49	53	23	23
Z media (m)	136,5	84	102	63	62	102	53,7	56	66
% <= 100 m	**19,8**	**65,3**	**44,5**	**77,7**	**74,1**	**49,8**	**87,4**	**85,5**	**77,7**
Densidad de huevos	**108,5**	**317,9**	**266,3**	**444**	**639**	**131,5**	**373,5**	**98,6**	**108,2**

7.7.9 Análisis del centro de gravedad

En relación al centro de gravedad del recurso jurel durante el periodo reproductivo (noviembre) se puede destacar que en sentido longitudinal, generalmente se localiza por sobre la longitud 83° W (**Figura 90a**), siendo la excepción los años 1998 y 2004 donde este índice no sobrepasa la longitud 81° W, en sentido latitudinal **(Figura 90b)**, este índice presenta un desplazamiento gradual a partir del año 2001 hacia el sector sur, alcanzando en noviembre del año 2005 su valor máximo (36° 30' S –Pta. Culin) para nuevamente en el año 2006 volver a valores similares a los obtenidos en los años 1998 y 2000 (35° 07'S – Pta. Roncura).

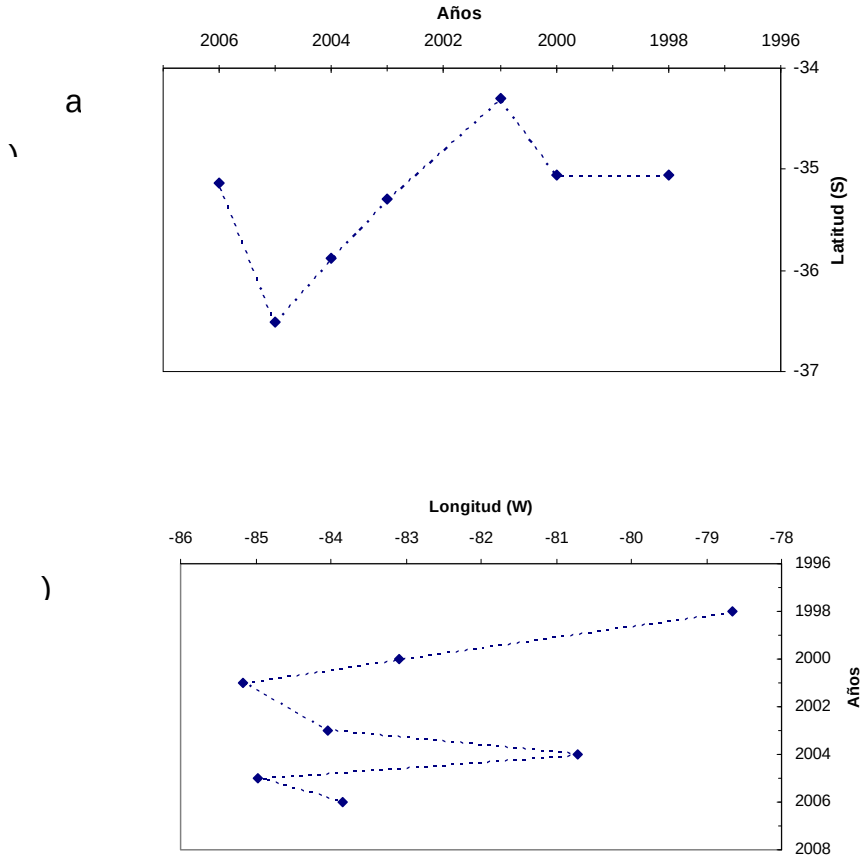


Figura 90. Centro de gravedad de jurel en primavera –verano, entre 1998-2006.

7.7.10 Morfología de los ecotrazos por periodo y macrozona.

- Distribución de la profundidad media de los ecotrazos de jurel

Del patrón de distribución vertical de jurel en el periodo de 24 horas, se puede señalar en general que durante el día el jurel se encuentra a mayor profundidad, mientras que durante la noche se distribuye cercano a la superficie **(Figura 80 y 81)**. Al analizar la profundidad promedio de los registros de jurel para los diferentes periodos del día (orto, día, crepúsculo y noche) para los años 1998 al 2006 (**Figura 91c**) se puede destacar que las mayores profundidades medias se detectan durante el día y el crepúsculo, siendo los años 1998, 1999 y 2003 donde el recurso se localizó en las mayores profundidades, alcanzando valores superiores a los 100 m. Cabe destacar que en los últimos años (2004 a 2006) se ha observado una tendencia a una menor profundización del recurso durante el día.

Al observar el comportamiento que ha presentado la profundidad media de las agregaciones para los años 1998 a 2006 en la macrozona norte oceánica (**Figura 91a**) se puede destacar que a partir del año 2001 se observa una tendencia a disminuir la profundidad media de las agregaciones, sin embargo esta tendencia se quiebra el 2006 donde se detectó un brusco incremento de este valor, alcanzando a los 99,8 m, cifra cercana al observado en el año 1999 que corresponde al valor máximo detectado en el periodo, una situación similar se presenta para la macrozona oceánica costera, pero sin detectarse durante el año 2006 un cambio en la profundidad media.

Para el caso de la macro zona sur (**Figura 91b**), en el área oceánica a partir del año 2001 se observa una tendencia a aumenta la profundidad media de las agregaciones, presentando en el año 2006 un valor de 46,8 m, una situación similar se presenta en la zona costera. Los cambios en la distribución vertical, podrían ser explicados por las constantes fluctuaciones a las que se encuentra sometido el sistema de corrientes de Humboldt, debido a la alternancia de eventos frios y calidos (**Escribano e Hidalgo, 2000a, en: Fernández *et al,* 2002)**. Como es sabido el sistema de corrientes de Humboldt a diferencia de otros

ecosistemas marinos del borde este, como el de Benguela, de las Canarias y de California, esta sometido a fluctuaciones interanuales ambientales más marcadas, dado que se encuentra bajo la influencia directa de las oscilaciones océano – climáticas del Pacífico de tipo evento "El Niño oscilación del sur", las cuales producen cambios importantes en el ambiente físico, químico y bioquímico afectando la distribución vertical y horizontal del jurel.

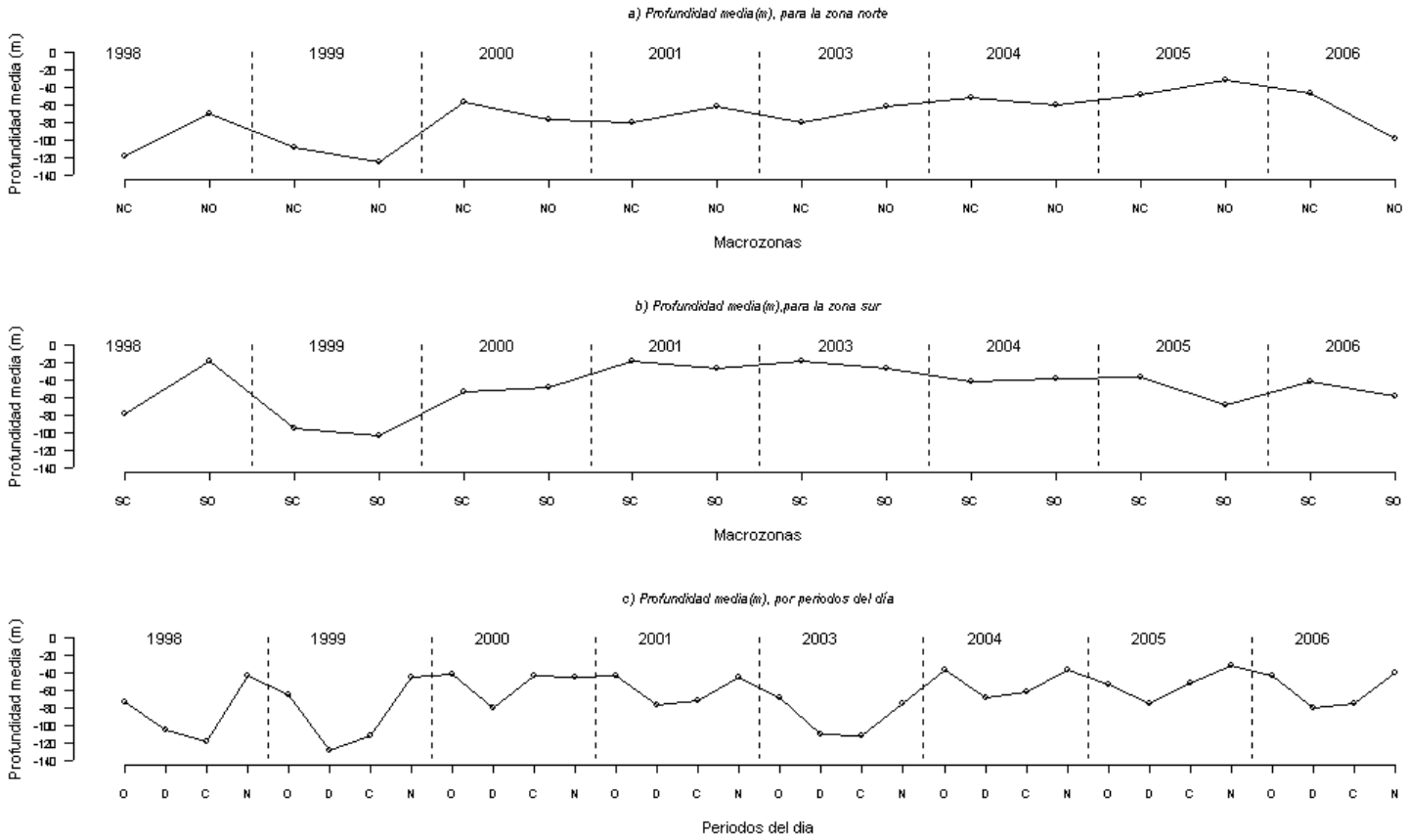


Figura 91.Profundidad media de jurel (m) por macrozona en la zona norte (a), sur (b) y por periodos del día (c).Donde norte costero (NC), norte oceánico (NO), sur costero (SC) y sur oceánico (SO). Para los periodos del día orto (O), día (D), crepúsculo (C) y noche (N).

En la **Figura 92** se entrega la profundidad media de las agregaciones de jurel por macrozona (norte y sur) y periodo del día, de esta se puede destacar que en la macrozona norte y sur se aprecia durante el periodo de luz solar una clara tendencia de las agregaciones de jurel a aumentar su profundidad media al incrementar la longitud (distancia de la costa), situación que no es observada durante el periodo de oscuridad.

La distribución vertical de los ecotrazos de jurel por macrozonas obtenida durante el crucero (**Figura 92**), permite destacar que la especie presenta una distribución batimétrica más profunda en zona norte oceánica, donde alcanza profundidades de hasta 190m. Además se observa una profundización del jurel en zonas de alta concentración de huevos, esto es claro durante el día en la zona norte oceánica donde observamos densidades de huevos mayores a 499 ind/10m^2 asociado a un gran número de ecotrazos distribuidos a mayor profundidad (hasta 190m).

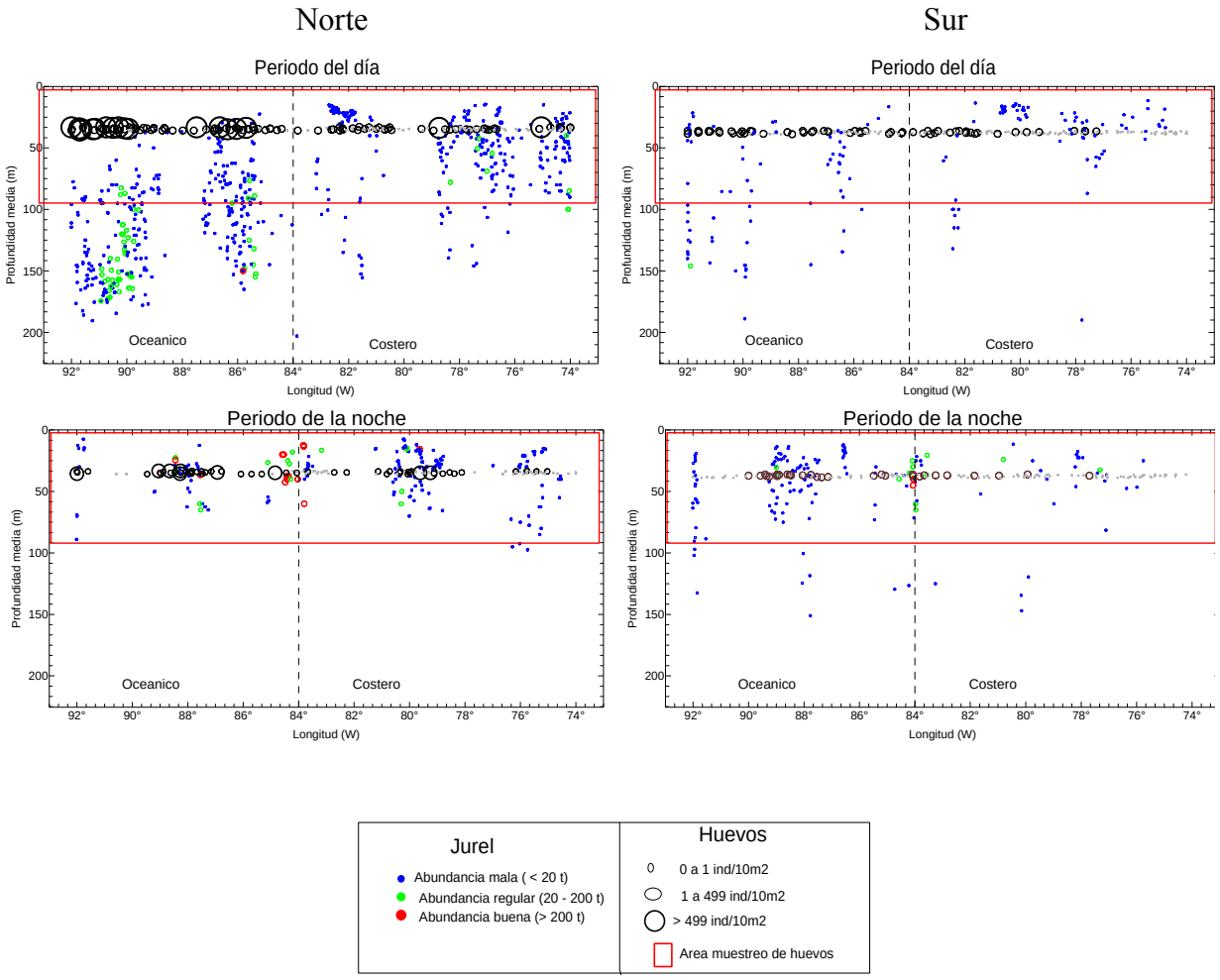


Figura 92. Distribución de zonas de altas densidad de huevos y profundidad media de las agregaciones de jurel. Durante el periodo de día y noche en la zona norte (a) y en la zona sur (b), noviembre 2006.

Para comparar estadísticamente las profundidades media de la distribución de los registros de jurel por macrozona, se realizó una ANDEVA para los años de estudio, obteniéndose los siguientes resultados:

- No se observan diferencias significativas entre la zona sur oceánica y sur costera con la excepción del año 1998.
- se presentan diferencias significativas entre las macrozonas norte y sur en los años 2001, 2003 y 2004.
- es posible observar para el año 2005 una diferencia significativa en la profundidad de distribución vertical entre la zona costera y oceánica ($p<0,05$). En la zona norte el jurel esta más profundo en la zona costera (48,61 m) que en la zona oceánica. En la zona sur se encuentra más profundo en la zona oceánica (69,21 m) (**Tabla 43**).
- Para el año 2006 se observa una diferencia significativa entre las macrozonas para la profundidad media ($p<0,05$), salvo entre la zona costera, donde para la zona norte y sur costera la profundidad media no mostró una diferencia significativa ($p>0,05$).

Finalmente se puede señalar que la distribución vertical de jurel en las macrozonas, estaría influenciada por las densidades de huevos, en zonas de alta densidad, las agregaciones de jurel se distribuyen a mayor profundidad que en zonas de baja densidad de huevos (**Tabla 44 y Figura 92)**. Este comportamiento se observa claramente en los años 2001, 2003, 2005 y 2006. En el año 2001 las mayores densidades de huevos se obtuvieron principalmente en la zona norte costera y sur oceánica, donde la distribución de profundidad es significativamente mayor en relación al norte oceánico y sur costero, respectivamente (**Tabla 43**). En el año 2003 la mayor densidad de huevos se observó en el norte costero y norte oceánico, donde las agregaciones mostraron una profundidad significativamente mayor en relación al sur costero y oceánico. En cuanto al año 2005 las mayores profundidades se detectaron en el sector sur oceánico coincidiendo con el patrón expuesto, lugar donde principalmente se concentran las altas densidades de huevo (**Tabla 44**). Para el año 2006 las mayores densidades de huevos se observaron en el norte oceánico, área donde el jurel presentó mayores profundidades de distribución (**Figura 92**).

Tabla 44. Inferencia de las macro zonas en la profundidad media por año y los- hoc. Inferencia significativa (*) P< 0,05 y no significativa (NS), P> 0,05.

Año	Macrozonas	Profundidad media	n	Norte costero	Norte Oceánica	Sur Costera	Sur Oceánica
1998	Norte costero	118,37	25		NS	NS	*
	Norte oceánico	70,3	3	NS		NS	NS
	Sur costero	79,44	12	NS			*
	Sur oceánico	19,12	9	*			
1999	Norte costero	108,98	199		*	*	NS
	Norte oceánico	126,11	86	*		*	NS
	Sur costero	95,30	521	*			NS
	Sur oceánico	103,27	24	NS			
2000	Norte costero	57,71	261		*	NS	NS
	Norte oceánico	77,44	196	*		*	*
	Sur costero	54,72	76	NS			NS
	Sur oceánico	48,69	69	NS			
2001	Norte costero	80,98	139		*	*	*
	Norte oceánico	62,12	340	*		*	*
	Sur costero	19,79	47	*			NS
	Sur oceánico	27,10	47	*			
2003	Norte costero	12,47	408		NS	*	*
	Norte oceánico	113,80	644	NS		*	*
	Sur costero	78,25	422	*			NS
	Sur oceánico	73,97	153	*			
2004	Norte costero	52,52	426		*	*	*
	Norte oceánico	60,67	824	*		*	*
	Sur costero	43,19	282	*			NS
	Sur oceánico	38,35	148	*			
2005	Norte costero	48,61	68		*	*	*
	Norte oceánico	32,94	75	*		NS	*
	Sur Costero	37,01	123	*	NS		*
	Sur oceánico	69,21	337	*	*	*	
2006	Norte costero	46.8	501		*	*	NS
	Norte oceánico	99,8	455	*		*	*
	Sur Costero	42,9	245	NS	*	*	
	Sur oceánico	59,2	15	*	*		*

- Altura media de los ecotrazos

El tipo de agregación y los periodos del día no presentan una diferencia significativa ($p< 0.05$) en la altura promedio de los ecotrazos. Sin embargo es posible observar variaciones en la altura promedio, tanto por agregación como por periodos del día.

Al analizar la altura media por tipo de agregación para los años 1998 a 2006 (**Figura 93**), se puede señalar que solamente en el ecotrazo de tipo individual se observa una tendencia a la disminución de este valor con el tiempo. Las alturas medias de las agregaciones en el período, presentan una variación entre 16,0 m y 31,2 m alcanzándose el mayor valor en el crucero de noviembre del año 2003 y para el tipo de agregación disperso correspondiendo el segundo valor en magnitud a la agregación tipo cardúmen y registrándose este en el año 2001.

En el ciclo de 24 horas se observó la mayor altura media de los registros (36,5 m) en el año 2003 (**Figura 93)** estando asociada al crepúsculo y la menor altura (12,6 m) durante el día, en el año 1998. Las mayores alturas medias de los ecotrazos de jurel para el día, crepúsculo y noche se detectaron en el año 2003, en cambio para el orto, este valor se detectó en el año 1998, siendo el segundo valor en magnitud el alcanzado el año 2003.

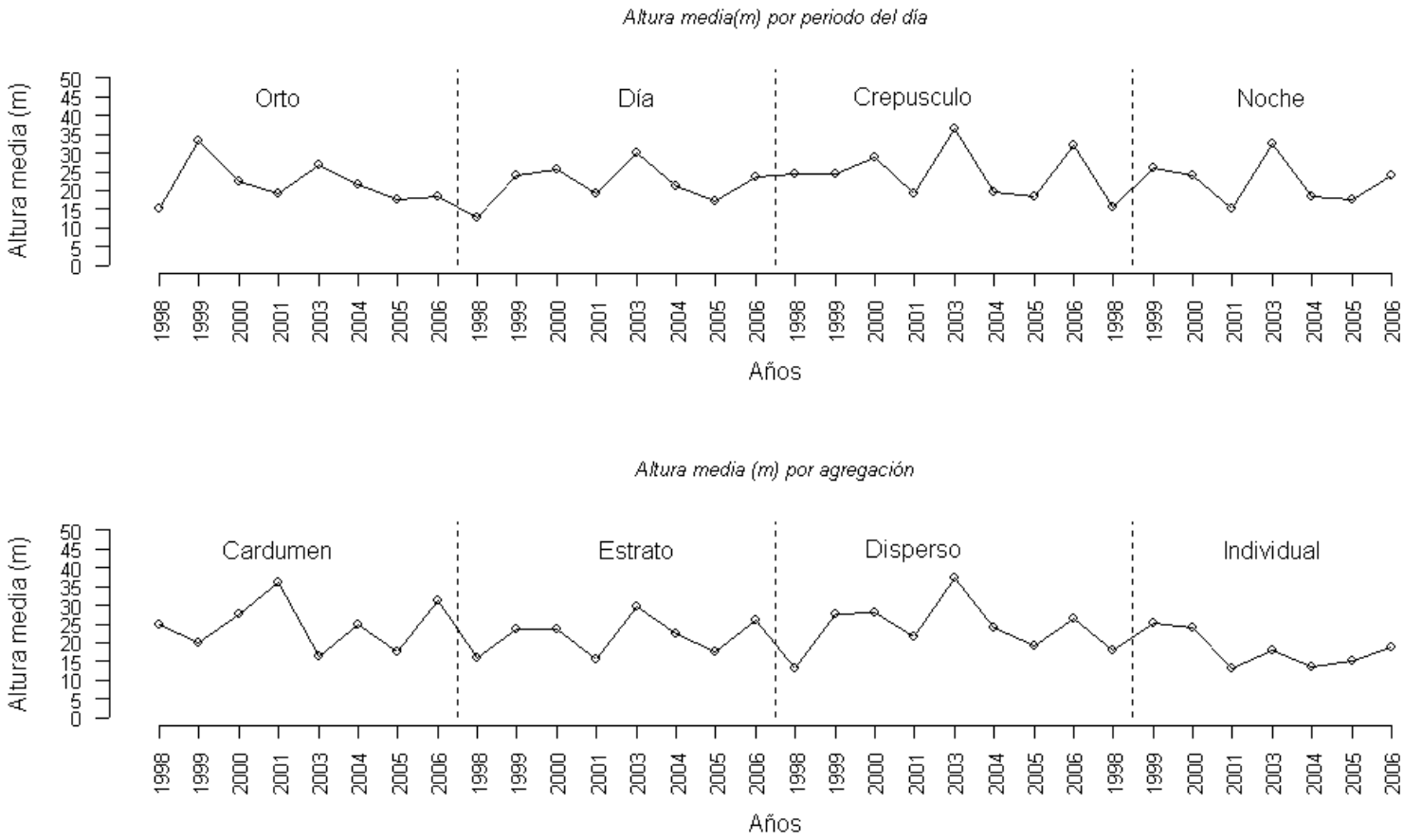


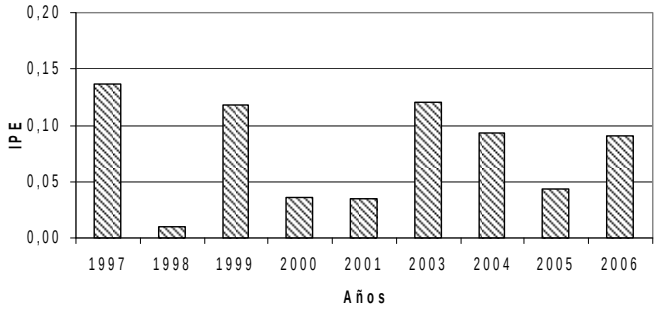
Figura 93. Altura media (m) de las agregaciones y periodo del día entre 1997-2006

7.7.11 Índice de presencia de ecotrazos (IPE) y clusters (1997-2006)

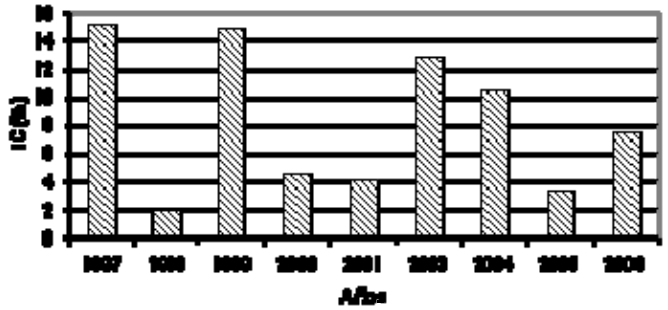
En el periodo comprendido entre los años 1997 y 2006 el número de cluster/10.000mn^2 ha variado entre 3 (1998) y 55 (1999) presentándose en los años 1997,1999, 2003, 2004 y 2006 los valores más altos (entre 49 y 54) correspondiendo también a los años donde se detectaron los índices de cobertura (IC) de mayor magnitud (**Tabla 43, Figura 94**), sin embargo es importante destacar que en año 2006 aún cuando se detectó un alto número de cluster (50), el IC observado no fue alto , lo cual estaría indicando que en este año, el recurso se encontraba más agregado. En relación al IPE este sigue la misma tendencia del IC:

Al considerar solo los valores máximos de IC se puede observar una tendencia a la disminución de este valor, a pesar de presentar una importante variación interanual de este índice, situación similar se presenta el IPE (**Figura, 92**).

a)



b)



c)

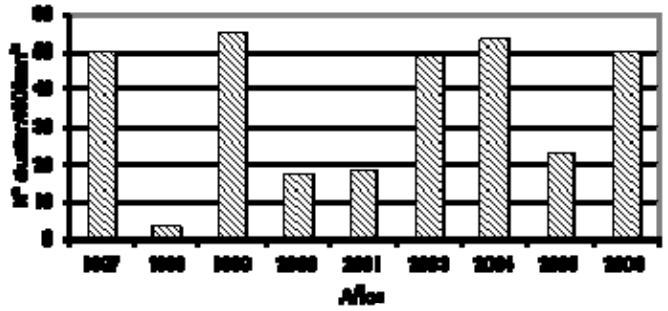


Figura 94. Índice de presencia de ecotrazos (a), índice de cobertura (b) y número de cluster por 10.000mn^2 entre 1997 y 2006.

7.7.12 Índice sintético de presencia de huevos (1997-2006)

Para el período de estudio se observa un índice sintético de presencia de huevos (IA) que fluctuó entre 1,2 (2005) y 46,3% (2001) (**Figura 95**). Mientras que el índice de cobertura varió entre 1,88 (1998) y 14,72% (1997 y 1999), observándose que en los años 1997, 1999 y 2003 se obtuvo un alto IC y un bajo IA, mientras que en los años 1998, 2000 y 2001 se alcanzó una situación inversa, bajo IC y alto IA. El año 2004 se reportó una situación intermedia, mientras que en el año 2005 se obtuvo el IC y el IA más bajos del periodo de estudio, en el año 2006 se observa un aumento de ambos índices indicando que el jurel respecto al año 2005 está más ampliamente distribuido en la zona de estudio y que los huevos se encuentran más ampliamente distribuidos (área de alta abundancia de huevos mayor).

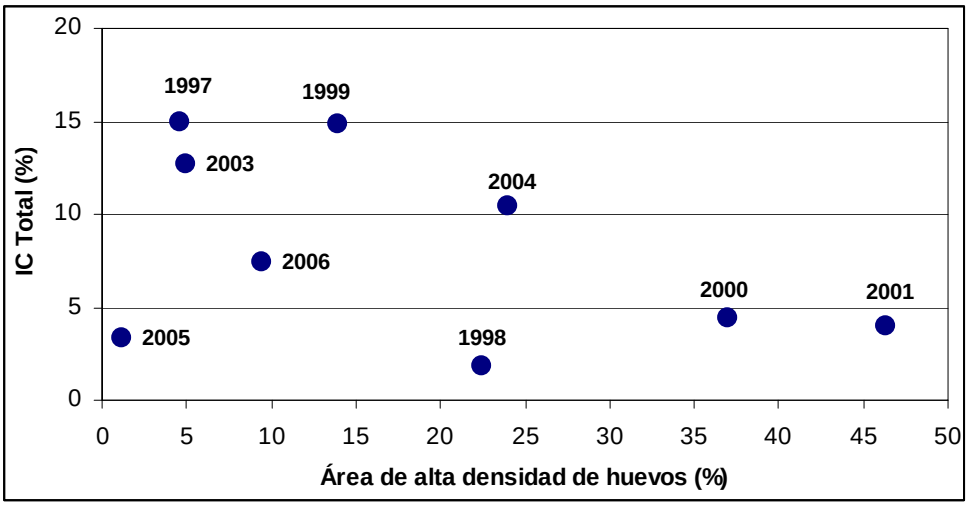


Figura 95. Índice de cobertura total (IC) e índice sintético de la presencia de huevos (IA).

7.7.13 Curva de Lorenz e Índice de Gini

Durante el periodo 1997 – 2006 el índice de concentración indicaba que el comportamiento del jurel y los huevos era diferente en cuanto al uso del espacio, las curvas de Lorenz mostraban que el jurel presentaba una distribución más gregaria que los huevos

en todos los cruceros realizados. En los años 1998, 2000, 2001, 2004 y 2006 el jurel tenía una distribución más gregaria que los años 1997, 1999 y 2003(**Figura 96 y 97**). Al analizar la curva de los huevos se puede señalar que en los último tres años (2004, 2005 y 2006) los huevos han presentado un comportamiento más gregario que en los años anteriores.

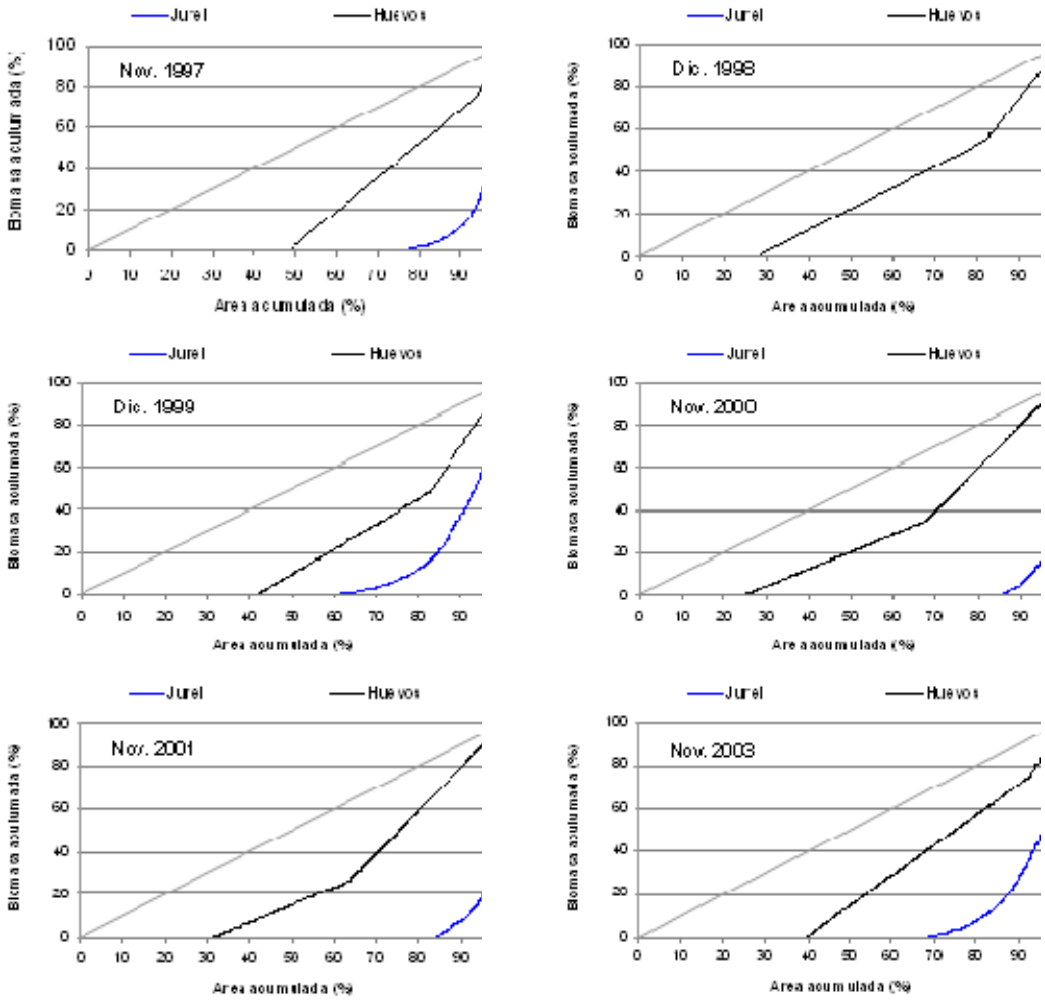


Figura 96. Curva de Lorenz para los cruceros 1997 a 2003.

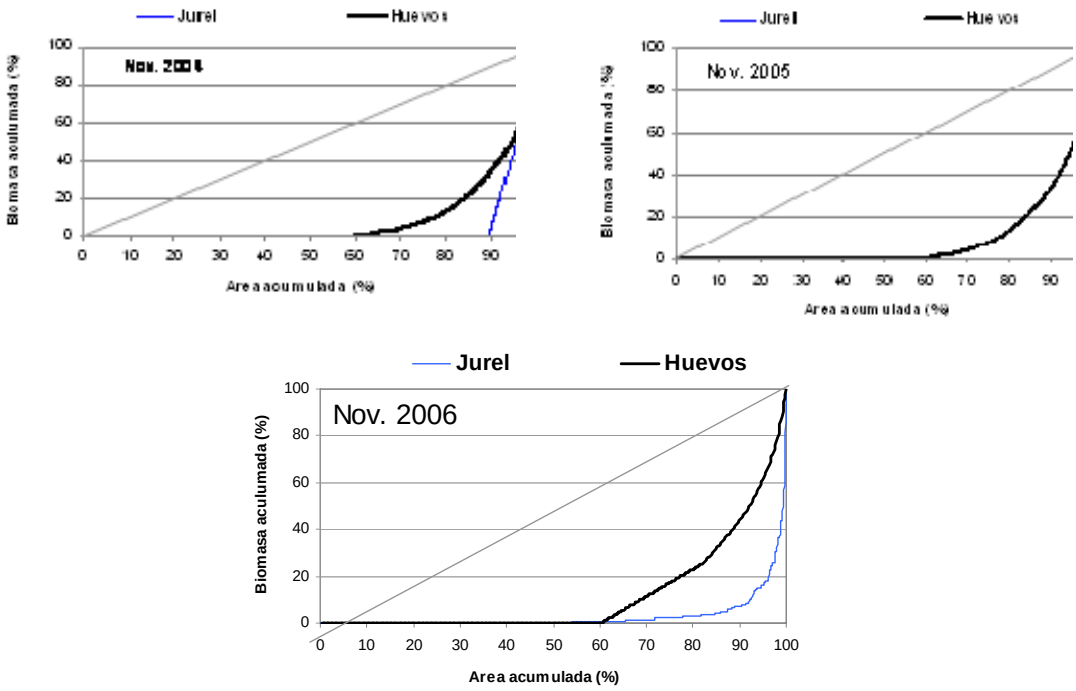


Figura 97. Curva de Lorenz para los cruceros 2004 a 2006.

El índice de Gini para el jurel en el período 1997 a 2006 (**Figura 98**), varió entre 0,81 (1999) y 0,98 (año 1998) estimándose para noviembre del 2005 el segundo valor en magnitud (0,96), lo cual estaría indicando que en ese periodo el jurel se encontraba altamente agregado, sin embargo en el año 2006 esta situación cambia encontrándose el jurel en una situación mas normal. Para el caso de los huevos de jurel el índice de Gini fluctuó entre 0,41 (2000) y 0,82 (2005), siendo importante destacar que este índice entre los años 1997 a 2004 se mantuvo entre 0.4 y 0.6 para subir a valores cercanos a 0,8 (**Figura 98**) en los dos últimos años lo que estaría indicando una alta agregación de los huevos.

En el periodo 1997-2004 el índice de Gini del jurel y los huevos tenían un comportamiento inverso, indicando que cuando los huevos se presentaban más uniformemente distribuidos el jurel se reportaba más agregado. Sin embargo este comportamiento presenta un cambio en los años 2005 y 2006,

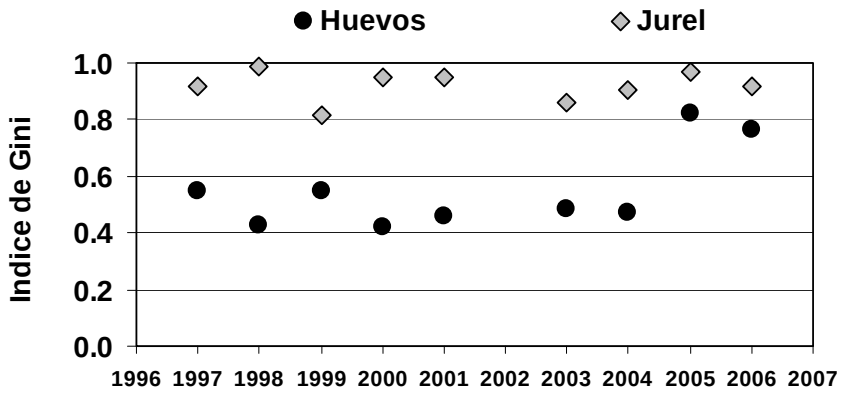


Figura 98. Índice de Gini para jurel y huevos de jurel para los cruceros 1997 a 2006.

7.7.14 Análisis de estructura espacial de jurel y huevos.

Para el análisis espacial se utilizaron dos bases de datos, la primera esta compuesta por la caracterización de las agregaciones de jurel, en cuanto al nivel de abundancia, como variable principal y profundidad de la agregación, en segundo lugar se tiene la densidad de huevos de jurel medida en n°/10m^2, también considerada como variable principal y la temperatura superficial del mar (TSM) en °C. Para la variable abundancia de jurel la unidad básica de muestreo se discretizó cada 1 mn, obteniéndose un total de 15141 registros, en cambio para la densidad de huevos la estación de muestreo se localizaron cada 18 mn, con un total de 791 muestras en el total de la zona (**Tabla 45**).

Tabla 45. Estadística descriptiva de las variables en estudio.

Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	Muestras positivas	Desviación Standard	Varianza muestral
Abundancia jurel	15141	0,103	0	3	1374	0,350	0,122
Prof. (m) agregación	15141	5,409	0	430	1374	24,594	604,886
Huevos ($n^o/10m^2$)	791	108,160	0	4663,17	306	363,439	132088,567
TSM (ºC)	791	15,197	12,10	19,90	791	1,359	1,847

a. Análisis Estructural.

En el análisis de estructura espacial, se calcularon los semivariogramas experimentales para cada una de las variables en estudio, abundancia de jurel, profundidad de la agregación, densidad de huevos y TSM (**Figura 99 y 100**). Los variogramas obtenidos con datos de abundancia de jurel y densidad de huevos mostraron gran fluctuación, por lo que se aplicó una transformación logarítmica a estas variables.

La amplitud de Lag utilizada en el cálculo del semivariograma corresponde a 1 mn para la abundancia de jurel y profundidad de la agregación, y 18 mn para la densidad de huevos y TSM.

El modelo teórico exponencial ajustado a las variables abundancia de jurel, profundidad agregación y densidad de huevos y el tipo gaussiano para TSM, describen adecuadamente la estructura espacial modelada. Los parámetros obtenidos en el modelamiento de cada variable se presentan en la **Tabla 46**. El rango, que indica la zona de influencia y la distancia máxima de correlación entre las muestras, alcanza un máximo de 18,6 mn para la variable abundancia de jurel y 354 mn para la densidad de huevos.

Tabla 46.Modelos teóricos ajustados a las variables en estudio (Estructura espacial)

Variable	**Modelo**	**Nugget**	**Meseta**	**Rango (mn)**	**RSS**	**WSS (Cressie, 1985)**	**Gof (Rivoirard *et al*, 2000)**
Abundancia jurel	Exponencial	0,00320	0,00466	18,6	1,33E-05	12376,50	0,01869
Profundidad agreg. (m)	Exponencial	230	316	13,8	1,06E05	17262,31	0,02522
Dens.Huevos ($n^o/10m^2$)	Exponencial	0,427	0,742	354	3,70E-02	303,26	0,00126
TSM ºC	Gaussiano	0,15	2,2	312	2,83E-01	3415,39	0,00496
Abund. Jurel-Prof. Agreg. (**cross-variog**)	Exponential	0,672	0,82	16,8	7,77E-01	19322,84	0,02830
Dens. Huevos-TSM(**cross variogram**)	Gaussiano	0,001	0,71	300	3,31E-01	8436,60	0,03683

La meseta, que cuantifica el nivel máximo de variabilidad entre las muestras, presenta diferencias con importantes fluctuaciones entre variables. No obstante, se puede señalar que si bien existen diferencias comparativas de mayor o menor nivel, estas responden al tipo de variable y al pre-tratamiento aplicado, por lo que es posible contrastar esta información con el aporte del parámetro nuggett al modelo, medido en porcentaje de contribución. A través de este último es posible observar que la proporción del nuggett sobre la variabilidad total fluctuó entre un 36 y 42% para la abundancia de jurel, profundidad agregación y densidad de huevos (**Tabla 47**), sin embargo el nuggett calculado para la TSM presentó un 6,28% de contribución sobre la variabilidad total (**Tabla 47),** de esta forma el complemento de la variabilidad representada por el nuggett es explicado por el parámetro meseta.

Se calculó el índice de dependencia espacial para comparar los modelos ajustados a cada variable y medir la fuerza de correlación entre las muestras, indicando que mientras más alto es el valor de *Spd*, mayor es la dependencia espacial que existe sobre el rango de separación de las distancias modeladas (Stelzenmüller *et al*; 2004). El valor de dependencia espacial decrece en el siguiente orden TSM, *Spd*=93,6; Densidad de huevos, *Spd*=63,4;

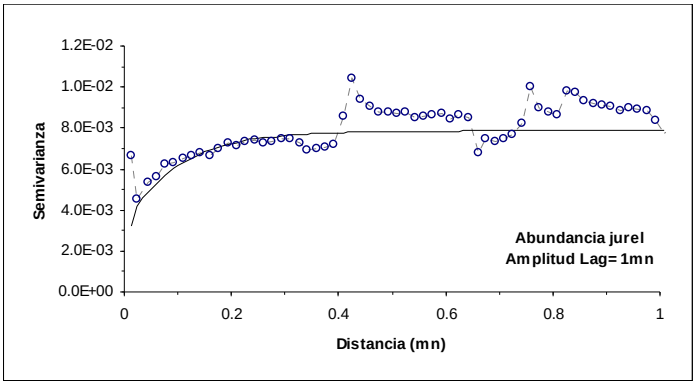
Abundancia de jurel, *Spd*=59,2; y Profundidad de la agregación, *Spd*=57,8 (**Tabla 47**).

El ajuste de modelos teóricos se realizó teniendo en consideración 3 criterios mediante la minimización de sus funciones, RSS proporcionado por el software GS$^+$ (Gamma design software, 2004), WSS propuesto por **Cressie (1985),** (**Ribeiro and Diggle, 2006**) y Gof (**Rivoirard *et al*; 2000**) (**Tabla 46)**. El criterio RSS, muestra un mínimo valor para el modelo obtenido en el ajuste de la variable abundancia de jurel, diferenciándose de los criterios WSS y Gof, que coinciden en ambos casos en la minimización de sus funciones, con el modelo ajustado a la densidad de huevos como mejor ajuste. En general, los variogramas teóricos ajustados mostraron un valor de Gof cercano a cero, lo que indica que las diferencias entre los estimados y los observados, son pequeñas. Sin embargo el valor de Gof más cercano a cero se obtuvo con la variable TSM, 0,00126.

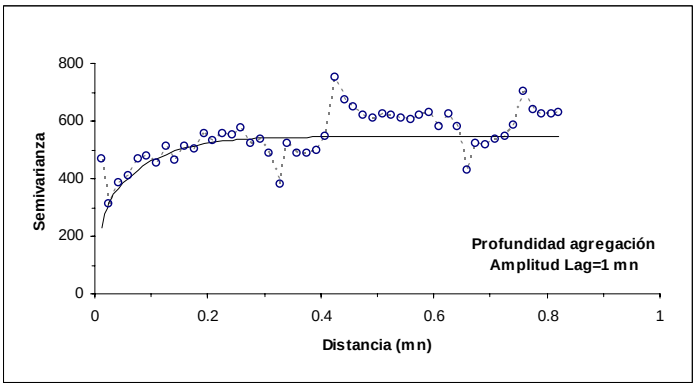
Tabla 47. Parámetros de correlación espacial.

Variable	**Modelo**	**C_0**	**C**	**C_0 /(C_0 + C) (%)**	***Spd***
Abundancia jurel	Exponencial	0,00320	0,00466	40,71	59,2
Profundidad agreg. (m)	Exponencial	230	316	42,12	57,8
Densidad Huevos (nº/10m^2)	Exponencial	0,427	0,742	36,52	63,4
TSM ºC	Gaussiano	0,15	2,2	6,28	93,6
Abund. Jurel-Prof. Agreg. (**cross-variogram**)	Exponential	0,672	0,82	45,04	55,0
Dens. Huevos-TSM (**cross variogram**)	Gaussiano	0,001	0,71	0,14	99,8

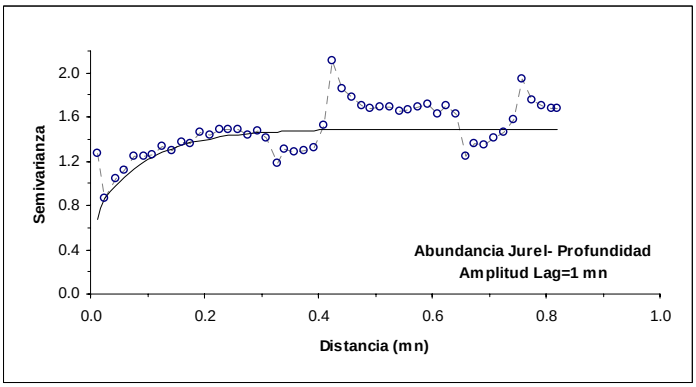
El estudio de estructura espacial tiene un comportamiento anisotropico, el cual no fue considerado en el modelamiento, porque se recomienda que cuando el factor de anisotropía, definido como el cuociente de los rangos de los semivariogramas para las direcciones de máxima y mínima continuidad, es menor que 2, se puede asumir la existencia de isotropía (Moral y Marques, 2002). Este es el caso de las variables en estudio para las cuales se obtuvo un factor de anisotropía de: 1,375 para la abundancia de jurel con dirección de máxima continuidad 123°, 1,071 para la variable profundidad de agregación con dirección de mayor continuidad 117°, 1,73 para la densidad de huevos y 1,285 para la TSM, siendo la dirección de máxima continuidad espacial de 14°.



a)

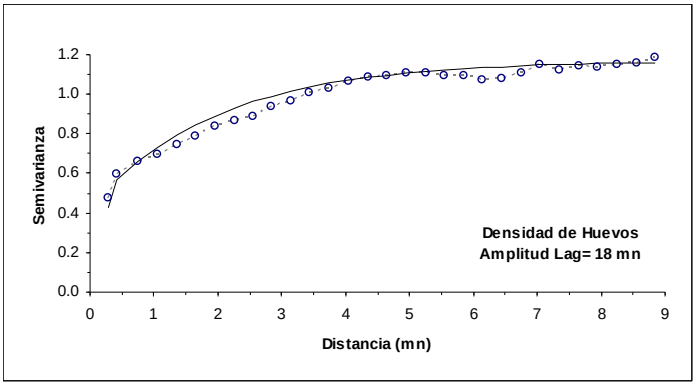


b)

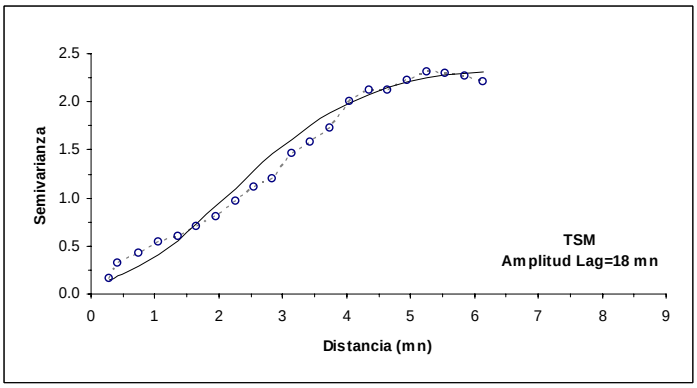


c)

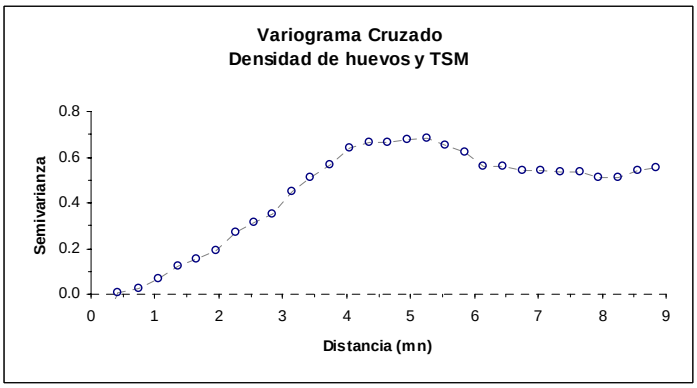
Figura 99**.** Variograma Omnidireccional experimental y teórico para: a) Abundancia jurel, b) Profundidad agregación y variograma cruzado abundancia jurel- profundidad agregación



a)



b)



c)

Figura 100. Variograma Omnidireccional experimental y teórico para: a) densidad de huevos, b) Temperatura superficial del mar y variograma cruzado densidad de huevos y TSM.

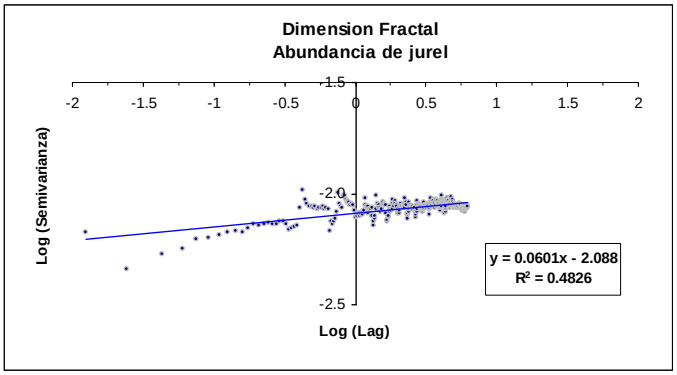
b. Análisis correlación espacial

Semivariogramas Cruzados.

Se utilizo la función semivariogramas cruzados combinando dos variables, abundancia de jurel y profundidad de la agregación y por otra parte la asociación entre densidad de huevos y temperatura superficial del mar (**Figura 99c y 100c**). Los modelos teóricos ajustados son el tipo exponencial para la abundancia de jurel y profundidad y gaussiano, para la densidad de huevos y TSM. Los parámetros obtenidos en el modelamiento de las asociaciones descritas, comparativamente muestran una mayor zona de influencia o rango para la relación densidad de huevos y TSM (**Tabla 46**). Los valores obtenidos para el parámetro meseta no presentaron mayor fluctuación, con un rango entre 0,71 y 0,82, sin embargo el nugget obtenido para la densidad de huevos y TSM es considerablemente menor (0,001) que la relación entre abundancia de jurel y profundidad de agregación (0,672) (**Tabla 46**). En consecuencia, el índice de contribución del parámetro nuggett es menor para la relación densidad de huevos y TSM. El índice *Spd* indica una mayor dependencia espacial para la relación densidad de huevos y TSM con un 99,8% y 55,0% para la abundancia de jurel y profundidad agregación. A través del criterio Gof es posible medir el mejor ajuste obtenido para la relación abundancia de jurel y profundidad. (**Tabla 47**).

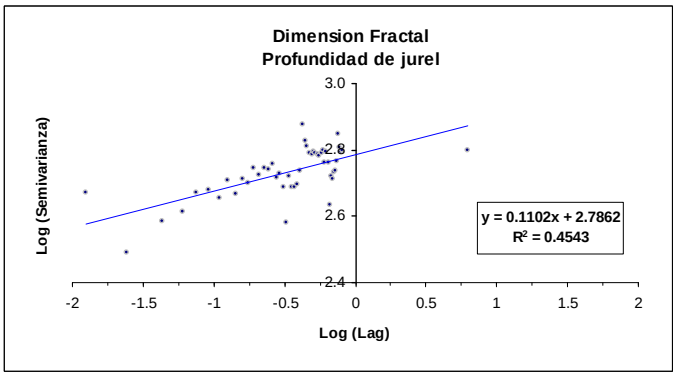
Dimensión Fractal.

Se aplicó la dimensión fractal D, utilizando los valores del semivariograma experimental para definir la relación log-log y posterior cálculo de D, a través de un análisis de regresión (Dubois *et al*; 2002). La dimensión fractal calculada para las variables abundancia de jurel, profundidad agregación y la relación de estas, fluctúa entre 1,970 y 1,974 (**Figura 101**), en cambio para la densidad de huevos, TSM y la asociación de ambas, se observa una dimensión fractal menor, con valores de 1,876, 1,568 y 1,365, respectivamente (**Figura 102**), esto indica que existe una mayor dependencia espacial para estas variables que aquellas relacionadas con abundancia de jurel, siendo de mayor intensidad la dependencia espacial para la relación densidad de huevos y TSM.



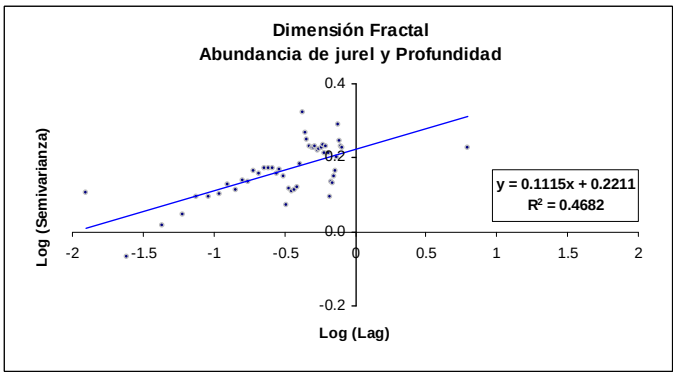
Dimension fractal (D)=1,970

a)



Dimension fractal (D)= 1,974

b)

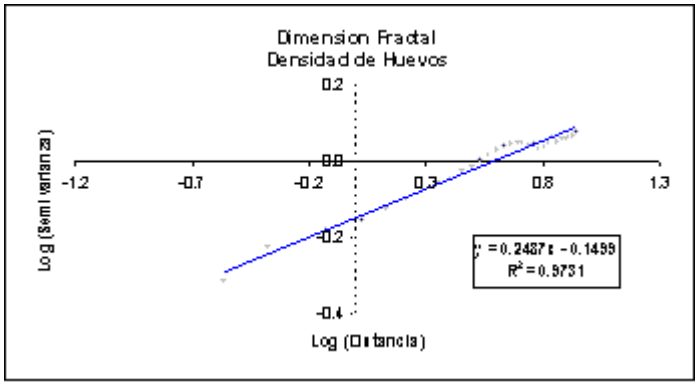


Dimension fractal (D)=1,973

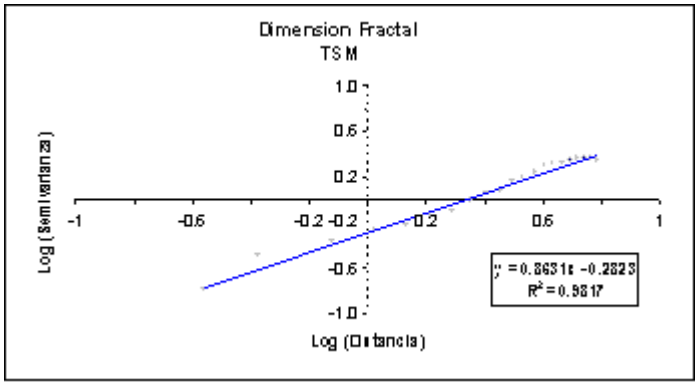
c)

Figura 101. Relación lineal log (semivarianza) y log (lag) para el cálculo de dimensión fractal en: a) abundancia jurel, b) profundidad agregación y c) asociación abundancia jurel-profundidad agregación.

a)



b)



c)

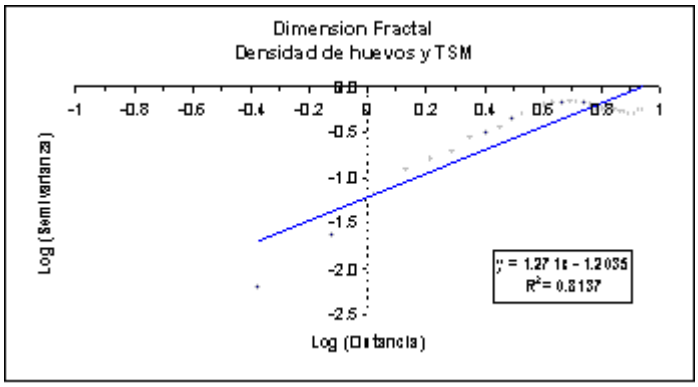


Figura 102. Relación lineal log(semivarianza) y log(distancia) para el calculo de dimensión fractal en: a)densidad de huevos jurel, b)temperatura superficial del mar y c)densidad de huevos-TSM.

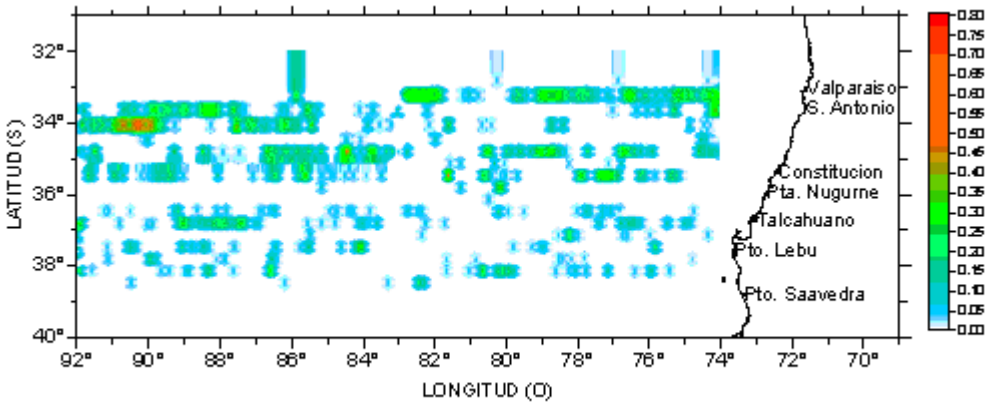
c. Interpolación.

Una vez analizada la estructura espacial, se generaron distintos mapas mediante la aplicación de dos métodos de interpolación: Kriging para semivariogramas y co-kriging para semivariogramas cruzados. Se gráfico la distribución de las variables abundancia de jurel, densidad de huevos y TSM con interpolacion Kriging y la relación densidad de huevos y TSM y abundancia de jurel y profundidad con el método co-kriging (**Figura 103, 104 y 105**).

Para la abundancia de jurel se observa un pequeño foco de alta abundancia en el sector norte oceánico (**Figura 103**), lo mismo ocurre con la densidad de huevos, se presenta un foco principal de alta densidad, que cubre una porción importante del área de distribución de los huevos (**Figura 104**). Para la variable temperatura se puede señalar que las mayores temperaturas se distribuyen hacia el norte de los 36°LS.

La superposición de los mapas de distribución de las tres variables indica que en el sector norte oceánico, se encuentran las altas densidades y abundancia de huevos y jurel, respectivamente asociados a TSM sobre la isoterma de 16°C.

a) Abundancia jurel, interpolación método kriging



b) Abundancia jurel, interpolación método co-kriging

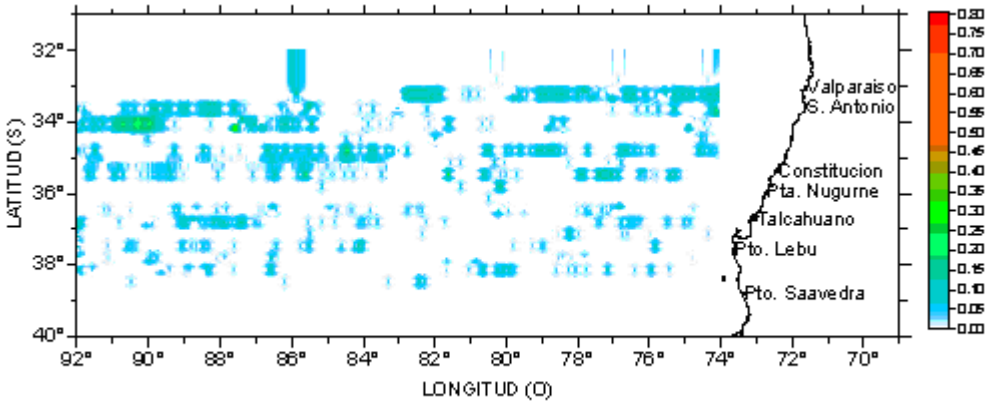
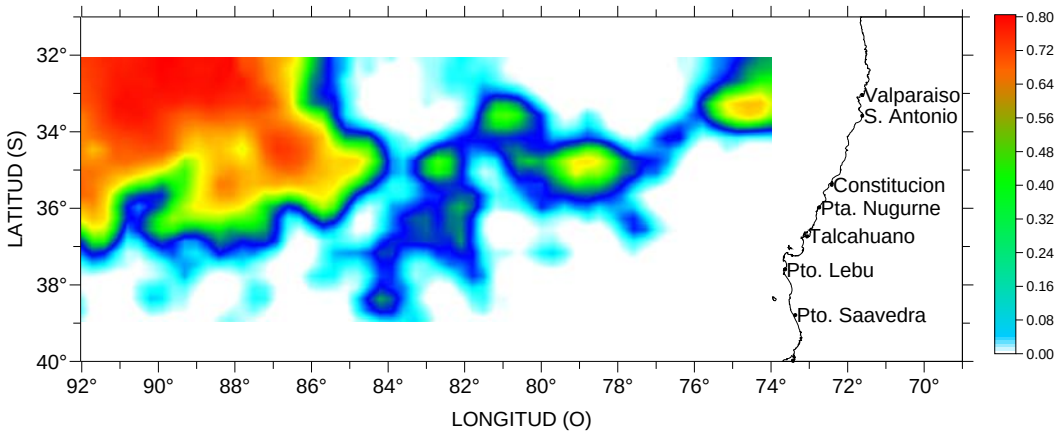


Figura 103. Distribución de la abundancia de jurel (log de abundancia de jurel) por método: a) interpolación por kriging y b) interpolación por co-kriging

a) Densidad de huevos, interpolación método kriging.



b) Densidad de Huevos, interpolación método co-kriging.

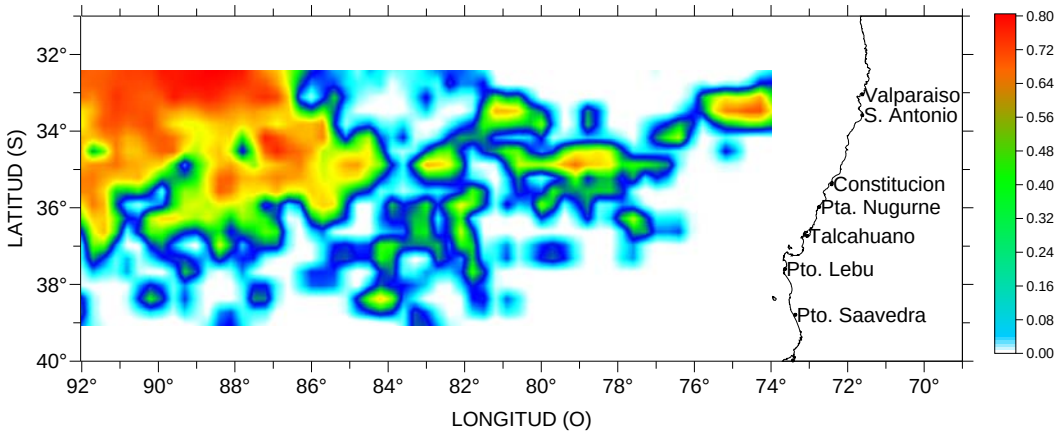


Figura 104. Distribución de la densidad de huevos (log de n°huevos/10m^2) por método: a) interpolación por kriging y b) interpolación por co-kriging

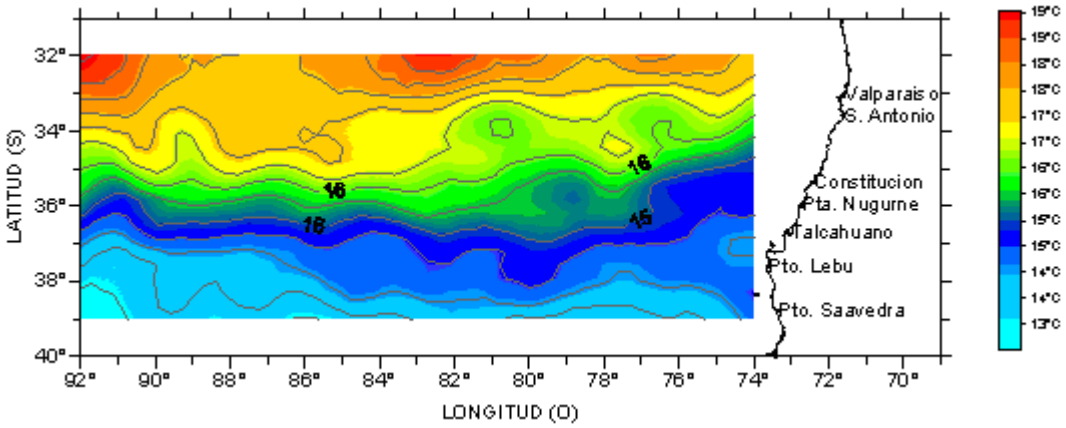


Figura 105**.** Distribución de la temperatura superficial del mar durante el periodo de estudio**.**

7.8 ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA DESOVANTE DE JUREL

La biomasa desovante de jurel para el área de estudio, obtenida a partir de los parámetros tanto reproductivos como de producción de huevos, fue de 3.282.628 toneladas (CV= 29%). Esta cifra es tres veces superior a la registrada el año 2005 y muy similar a la reportada el año 2004 (**Tabla 48**).

Con respecto a la proporción del área de desove con respecto al área de estudio se verifica que ésta se ha mantenido constante a lo largo de la serie (= 0.78 para el período 1999-2003). Sin embargo para los años 2005-2006, se ha observado una baja, con un valor promedio de 0.57.

Al observar los parámetros involucrados en la estimación, se tiene que los sujetos a mayor incertidumbre son la Producción diaria de huevos y la fracción de hembras desovantes. La magnitud de ambos indicadores muestran una tendencia fluctuante en la serie, por lo que su estimación requiere que sea lo más robusta posible y que a su vez, el período de muestreo concuerde con los peaks máximos de desove, ya que éste último factor podría ser el principal causante de estas fluctuaciones.

Tabla 48. Estimación de la Biomasa Desovante de Jurel y sus parámetros asociados. Período 199-2006

Años	Peso	Fecundidad	Frecuencia de Desove	Prop.	Producción de Huevos (huevosm2d-1)	Area Desove (Km 2)	Area Estudio (Km^2)	Prop. Area	Biomasa Desovante (t)
	(g)	Parcial		Sexual					
		(nº ovocitos)							
1999	191,8	26610a	0,126a	0,433a	65,275	663747	829607	0,8	5723933
2000	211	26069	0,148	0,472	49,163	823077	1011802	0,81	4688208
2001	223,7	27150	0,104	0,393	46,217	600320	762883	0,79	5626963
2003	394,7	39846	0,09	0,48	9,204	647968	871179	0,74	1387804
2004	412,1	39957	0,194	0,475	27,318	1054352	1385613	0,76	3287439
2005	364,7	40463	0,142	0,466	9,94	773602	1222143	0,63	1042706
2006	532,4	48213	0,07	0,49	14,79	682550	1343682	0,51	3282628

La covarianza de los parámetros reproductivos y su correlación (**Tabla 49**), muestran que la menor correlación entre los parámetros ocurre entre la proporción sexual en peso (R) y la frecuencia de desove (S). La fecundidad y el peso promedio de la hembra madura en cambio, son los parámetros que mejor se asocian. Este último punto se verifica para toda la serie, ya que se ha podido cuantificar un aumento significativo del peso promedio de la hembra madura a lo largo de los años, lo cual ha generado el consecuente aumento de la fecundidad de las hembras (**Tabla 48**).

Tabla 49 Covarianza (COVAR) y correlación (CORREL) entre los parámetros reproductivos de las hembras de jurel

	COVAR	CORREL
F - W	56435,98	0,94
F - R	2,88	0,17
F - S	-2,07	0,15
W - R	0,08	0,23
W - S	0,00	0,16
R - S	0,00	0,06

Sepúlveda (2006) realizó estimaciones de biomasa desovante de jurel a partir de la evaluación de stock sobre la base del siguiente modelo de estimación:

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

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

En la **Tabla 50**, se compran las estimaciones de biomasa desovante realizadas por el MPDH y las estimaciones de Sepúlveda (2006), las cuales son coincidentes en términos de magnitud. Sin embargo, el MPDH tiende a sobreestimar la biomasa para la serie 1999-2001. En los años 2003 y 2004 la situación se revierte, destacándose que para el año 2004 el 76,6% de la fracción desovante del MPDH está representada en el modelo de evaluación.

Tabla 50**.** Comparación entre la biomasa desovante del jurel estimada por el modelo de evaluación y el método de la producción diaria de huevos.

Años	Modelo SSB (t)	MPDH B. Desovante (t)	Razón MPDH /SSB
1999	2767900	5723932	2,06
2000	3423020	4688208	1,36
2001	3624150	5626963	1,55
2002	3667070	S/R	
2003	3915490	1387804	0,35
2004	4290460	3287439	0,76

S/R : sin registro, ese año no se realizó MPDH.

7.9 COMPOSICION POR EDADES DE LA BIOMASA DESOVANTE

7.9.1 Número de muestras a analizar

Una actividad a desarrollarse en el marco de la sobre-oferta destinada al conocimiento de la estructura longitud-edad de la población desovante de jurel, es la recolección de otolitos a partir de las muestras generadas en los lances de pesca. Esta actividad fue desarrollada con éxito obteniéndose un número total de 951 pares de otolitos. En la **Tabla 51** se entrega el número total de otolitos por embarcación y frecuencia correspondiente.

Tabla51. Frecuencia de otolitos de jurel correspondientes a hembras y macho, crucero 2006.

LH	Toyita		Gualpén		Mack		Don Boris		Matías		Gardar		Malleco		Telesforo		Ranquilhue		Allipén		Muestras adicionales*		Total por sexo		Total
(cm)	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H2	M	H	M	H2	M	H	M	H	M	H	T
20		0		0				0				0		0				0		0	2		2	0	2
21		0		0				0				0		0				0		0	10	3	10	3	13
22		0		0				0				0		0				0		0	11	3	11	3	14
23		0		0				0				0		0				0		0	5		5	0	5
24		0		0				0				0		0				0		0	4	8	4	8	12
25		0		0				0				0		0				0		0	10	10	10	10	20
26		0		0				0				0		0				0		0	10	9	10	9	19
27		0	1	0				0				0		1				0	1	0	10	8	12	9	21
28	1	0	3	3				2				0		0				0	4	3	9	6	17	14	31
29	2	4	4	5				0				0		0				0	5	4	3	5	14	18	32
30	1	0	1	1	1			1				2		0			1	0	2	3			6	7	13
31	4	2	1	4	1	3		1			1	0		2			2	0		12			9	24	33
32	4	8	7	11	1	2	1	2	16	1		2	2	2			1	2	5	15			37	45	82
33	1	11	7	5	1			4	9	1	1	1	2	1			1	1	5	17		1	27	42	69
34	5	7	7	9	2	4	1	1			7	4	3	3			3	1	4	5			32	34	66
35	3	2	8	0	3	1		10			6	12	1	0				0		2			21	27	48
36	2	11	6	1	6		2	4			2	7		4				0	1	1			19	28	47
37	8	13	1	1	1	2	1	0			5	5	1	2		1		1		1			17	26	43
38	6	8		0	1	1		1			1	1	3	8	2	2		0	1	1			14	22	36
39	7	6		1				2			3	1		6	2	2	2	0		3	1		15	21	36
40	10	6	2	0	1			0			2	0	3	3	6	5	2	2		1			26	17	43
41	2	5	1	0	2	1		1			4	1	1	7	2	4	4	5		1	2	1	18	26	44
42	2	3	1	1	1	1		1			1	1		2	5	2	4	0	1	0		2	15	13	28
43	1	0	1	1	2			0			1	2		4	5	2	3	0	3	2	2		18	11	29
44	2	0		1		1	1	0			2	0	5	13	1	1	3	0		3			14	19	33
45		0	1	1	1	1	1	0			3	1	4	11	4	1		0	2	2	1		17	17	34
46		0	1	0	1			0			3	0	5	19			1	0	1	2			12	21	33
47		0	1	0				0			1	0	8	11			1	0	1	1		1	12	13	25
48		0		0				0				1	9	4			1	0	1	1	1		12	6	18
49		0		0			1	0				0	2	3	2	1		0	3	0			8	4	12
50		0		0				0				0		0			1	0		0	1		2	0	2
51		0		0				0				0		0				0	1	0			1	0	1
52		0		0				0				0	1	0				0		1			1	1	2
53		0		0				0				0		0			2	0		0	1		3	0	3
54		0		0				0				0		0			2	0		0			2	0	2
	61	86	54	45	25	17	8	30	25	2	43	41	50	106	29	21	34	12	41	81	31	24	453	498	951

7.9.2 Elaboración de clave edad-talla (CET)

El análisis de otolitos de hembras desovantes permitió generar una clave edad-talla (CET) con 10 grupos de edad (II - XI) en hembras y 9 en machos (II - X) con rangos de longitud horquilla de 21 - 55 y de 20 – 55 cm, respectivamente. (**Tablas 52** y **53**). Los grupos de edad con mayor presencia en la muestra de otolitos de hembras fueron el V, VI, VII y VIII que representaron alrededor del 69,4%. En los machos, los grupos de edad de mayor relevancia fueron el V, VI, VII, VIII y IX con aproximadamente el 78,9%. Para efectos de estimación de la fracción desovante del stock no se incluyó el grupo de edad II (20-24 cm) que corresponden a individuos inmaduros (estado de madurez sexual 2) y solo en el caso de estimar el stock total presente en el área de desove se usaron las CET completas.

Tabla 52. Composición por edad-talla en la muestra de hembras maduras (EM 3- 5) de jurel (2006).

L.H.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Total
21		3										3
22		2	1									3
23												0
24			7	1								8
25			6	4								10
26			3	6								9
27			1	5	3							9
28			1	13	2							16
29				5	10	5						20
30				1	3	1						5
31				1	18	7	1					27
32				3	26	12	1	1				43
33				1	12	22	4					39
34					2	13	12	2				29
35					1	7	4	1				13
36						6	14	2				22
37						6	9	5	1			21
38						3	13	5	2			23
39						4	2	10	1			17
40						2	9	7				18
41						3	7	12	1			23
42							6	4	1			11
43								5	4			9
44							1	8	8	2		19
45							1	4	5	6		16
46								2	10	6	3	21
47								2	6	5	1	14
48									3	1	1	5
49										2	1	3
50											1	1
51											3	3
52											1	1
53											2	2
54												0
55											1	1
Total		5	19	40	77	91	84	70	42	22	14	464
%		1,1	4,1	8,6	16,6	19,6	18,1	15,1	9,1	4,7	3,0	

Tabla 53. Composición edad-talla en la muestra de machos de jurel (2006).

L.H.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Total
20		2										2
21		10										10
22		10	1									11
23		2	3									5
24			5									5
25			3	7								10
26				10								10
27			1	8	4							13
28			2	8	12	5						27
29				9	9	9	1					28
30				1	7	7	2					17
31					1	10	7	1				19
32					4	11	17	3				35
33					5	8	15	2				30
34					1	14	10	5				30
35					6	12	3					21
36					3	9	5	2				19
37					3	7	9	1				20
38						1	3	10	1			15
39							3	7	5	2		17
40								5	12	7		24
41							4	12	3			19
42							4	7	6	3		20
43							3	8	4	2		17
44							4	4	5	1		14
45							3	7	7	2		19
46							2	9	3	1		15
47							4	6	4	1		15
48							1	1	4	2		8
49							3	5		1		9
50									3	1		4
51								1				1
52									1	2		3
53									1	1		2
54									2	1		3
55												0
Total	0	24	15	43	55	93	103	96	61	27	0	517
%		4,6	2,9	8,3	10,6	18,0	19,9	18,6	11,8	5,2		

7.9.3 Proporción a la edad (Pa)

La proporción a la edad o frecuencia relativa de la fracción madura es de un 30,7% para el GE VI (CV=0,11) seguido por un 19,9% y 13,8% para los GE V (CV= 0,17) y VII (CV= 0,11), respectivamente (**Tabla 54**).

Tabla 54. Parámetros estimados para el stock desovante de jurel por grupo de edad en noviembre del año 2006.

	GRUPOS DE EDAD											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Total
Pa (%)			0,09	3,51	19,99	30,69	23,90	13,77	4,93	1,85	0,0127	
Var. Total			0,00000	0,00010	0,00112	0,00104	0,00074	0,00051	0,00086	0,00037	0,00000	
D.estándar			0,00033	0,00977	0,03353	0,03232	0,02729	0,02251	0,02926	0,01911	0,00000	
CV (%)			0,37	0,28	0,17	0,11	0,11	0,16	0,59	1,03	0,0000	
NSD_a ($x10^3$)			5.576	216.402	1.232.200	1.891.708	1.473.460	849.177	304.069	114.115	78.033	6.164.740
Var.			7,01E+12	7,81E+15	1,78E+17	3,59E+17	2,22E+17	8,37E+16	4,08E+16	1,50E+16	5,44E+14	
D. estándar			2,65E+06	2,65E+06	2,65E+06	2,65E+06	2,65E+06	2,65E+06	2,65E+06	2,65E+06	2,65E+06	
CV (%)			47,5	40,8	34,3	31,7	32,0	34,1	66,4	107,5	29,9	
W_a (g)			265,5	327,8	379,4	457,5	544,6	672,0	858,3	989,0	1299,2	
Var.			70381	69366	62215	59916	58305	65825	67774	68078	69033	
D.estándar			265,29	263,37	249,43	244,78	241,46	256,56	260,33	260,92	262,74	
CV (%)			99,9	80,4	65,7	53,5	44,3	38,2	30,3	26,4	20,2	
B_a (t)			1.480,3	70.928,0	467.486,8	865.364,5	802.430,7	570.614,3	260.991,8	112.859,8	101.384,2	3.253.540
%			0,05	2,18	14,37	26,60	24,66	17,54	8,02	3,47	3,12	

7.9.4 Abundancia por grupo de edad (Na)

La población desovante de jurel que fue estimada en 6.164.739 x10^3 millones, de los cuales 1.892 millones corresponden al GE VI (CV = 31,7%), 1.473 millones al GE VII (CV = 32%), 1232 millones al GE V (CV = 34,3% y 849 millones al GE VIII (34,1%) (**Tabla 54**, **Figura 106**).

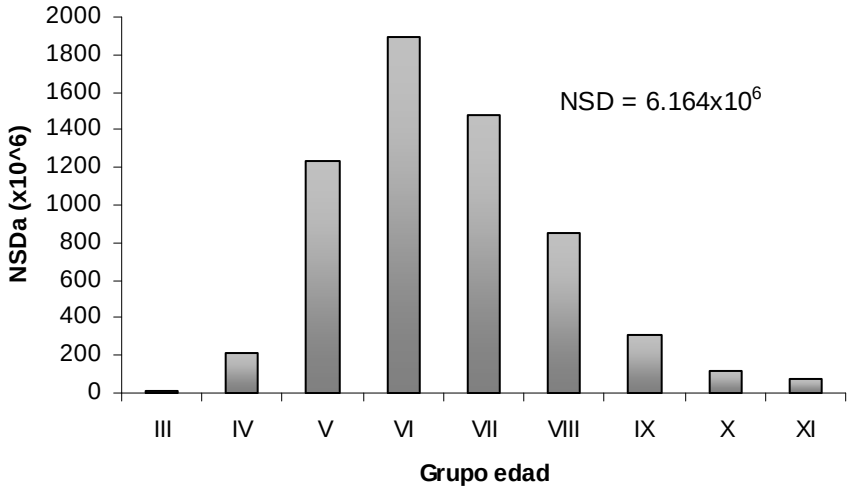


Figura 106. Estructura en número del stock desovante de jurel (NSD_a) en 2006.

Considerando la proporción sexual de machos (50,1%) la abundancia estimada en el área de desove fue de 3.121 millones, siendo los GE más importantes el VII (621,8 x10^6), el VIII (579,6 x10^6) y el GE VI (561,5 x10^6) (**Tabla 55**).

Tabla 55. Abundancia y biomasa de jurel macho en el área de desove

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Total
Machos	N_a (x10^3)		144.897	90.561	259.607	332.055	561.475	621.849	579.587	368.279	163.009		3.121.319
	%		4,64	2,90	8,32	10,64	17,99	19,92	18,57	11,80	5,22		
	B_a (t)		18.413	16.603	62.039	113.676	225.927	338.832	441.564	325.884	150.471		1.693.410
	%		1,09	0,98	3,66	6,71	13,34	20,01	26,08	19,24	8,89		

7.9.5 Peso medio por grupo de edad (W_a)

Los pesos promedios (W_a) para los GE III a X se presentan en la **Tabla 54** con las varianzas y coeficientes de variación correspondientes. Las mayores varianzas corresponden a los GE VII-IX, lo que también lo muestran los coeficientes de variación con valores de 19,9% (GE VII), 21,1% (GE VIII) y 18% (GE IX).

7.9.6 Biomasa del stock desovante por grupo de edad (B_a)

La biomasa desovante total estimada en base al NSD_a y W_a fue de 3.253.540 toneladas, siendo los más importante el GE VI con 865,34 mil ton (26,6%), el GE VII con 802,4 mil t (24,7%) y el VIII con 570,6 t (17,5%). Los CV respectivos son de 36,3%, 37,7% y 40% (**Tabla 54**, **Figura 107**).

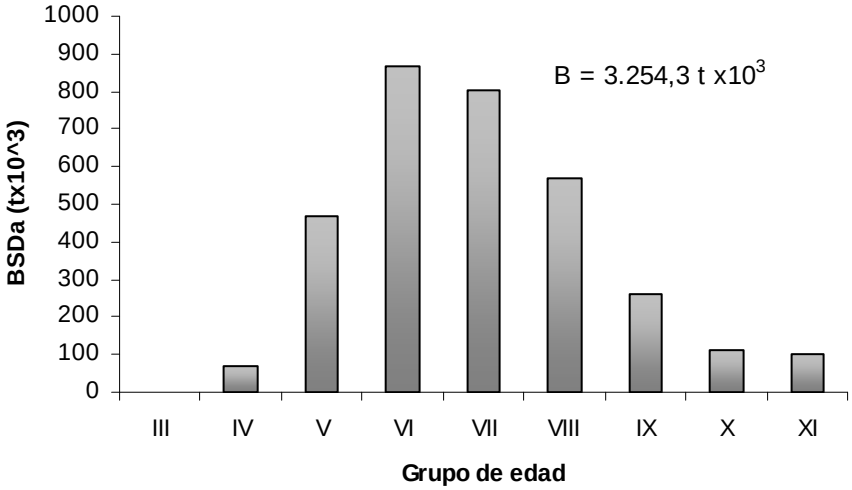


Figura 107. Estructura por grupo de edad de la biomasa desovante (BSD en toneladas) en 2006.

Considerando en forma independiente los machos que representan un 50,1%, su aporte en biomasa en el área de desove fue estimada en 1.693,4 mil t, correspondiendo los GE de mayor relevancia al VIII (26%), VII (20%) y IX (19,2% (**Tabla 55**). Este orden de importancia es inverso al que muestra la biomasa desovante total

8 DISCUSION

A mediados de noviembre, se presentaron al interior del área de estudio las condiciones ambientales adecuadas para desarrollar el crucero de evaluación. Uno de los factores ambientales que influye directamente en la distribución y abundancia de huevos y larvas de jurel como lo es la temperatura superficial del mar (TSM), reveló un rango térmico similar al reportado el año 2005, con valores reportados de 12,1 a 19.9ºC. Aguas más cálidas se observaron sólo en el vértice nororciental del área de estudio, caracterizándose la TSM, por presentar una mayor variabilidad meridional y escasa variación zonal.

Las densidades de huevos en las estaciones totales (111,3 huevos $10m^{-2}$) y positivas (285,8 huevos $10m^{-2}$) fueron levemente superiores a lo reportado para el crucero del año 2005 y, al menos para la densidad en estaciones positivas, para el crucero de noviembre del año 2003. La densidad de larvas en las estaciones totales (37,7 larvas $10m^{-2}$) fue la más baja de la serie histórica, y la densidad para las estaciones positivas (142,7 larvas $10m^{-2}$) fue el segundo valor más bajo de la serie analizada. Este año, la zona de mayor ocurrencia de huevos y de larvas se registró hacia el norte de los 35º hasta los 33 ºW. Basándose en los resultados del año 2005, en donde se registraron focos de ocurrencia cercanos a los 75 ºW, se optó por ampliar la zona de estudio hasta los 74 ºC. Sin embargo, no se observaron zonas de importancia en esas zonas, volviendo a destacar las zonas más oceánicas, verificándose que las mayores densidades de huevos se encontraron al oeste de los 86º hasta el 92º W.

Con respecto al muestreo de adultos para caracterizar la condición reproductiva del recurso, de los 57 realizados un 47,3 % fueron positivos, logrando obtener una buena cobertura del área de estudio. Se obtuvo un total de 2.295 ejemplares para el muestreo biológico y 3.217 para analizar la estructura de tallas. El rango de tamaños encontrado fue amplio con una estructura compuesta por una moda princpal centrada en los 35 c de LH y un importante aporte de la fracción > a 40 cm de LH. Similar al año 2005, destaca la nula presencia de ejemplares bajo talla mínima legal.

El análisis de contenido estomacal, reveló que la proporción de estómagos con contenidos alcanzó a los 50,3 %, siendo el principal ítem presa los eufáusidos con un valor de (IIR = 3,95), dominando tanto en número (51,4 %), peso (85,0 %) como en frecuencia de aparición (65,0), seguido por la fuerte presencia de copépodos, salpas, heteropodos y mictófidos. El IIR por año revela a los eufáusidos como la presa dominante dentro del espectro de presas que componen la alimenticio del jurel. Al comparar la similitud trófica entre años, este revela un porcentaje de similitud de 75,9 %, lo que demuestra patrones alimenticios similares, destacando a los eufáusidos como la presa principal en toda la serie de tiempo.

En relación a aspectos reproductivos, si bien se obtuvo un número superior de hembras para histología a las obtenidas el año 2005 (2006=1.119; 2005=835) de todas maneras es inferior a las examinadas en el 2003 y 2004, lo que indica una baja presencia y disponibilidad del recurso, hecho que estuvo también asociado a condiciones de tiempo desfavorables.

El análisis microscópico de la condición reproductiva en las hembras mediante exámen histológico de los ovarios muestra la preponderancia del estado 3 o vitelogénico, seguido por el estado 4 maduro con el 26%, el cual presenta una mayor frecuencia de ovocitos hidratados y FPO los días 15, 18, 22 y 23 indicando desoves parciales de las hembras. Esta situación es en cierta medida diferente a lo registrado el año 2005 donde el estado 4 maduro fue el dominante (57%), particularmente en los últimos tres días (28 a 30) con valores entre 67% a 89%, y con alta presencia de FPO (33% a 67%) y ovocitos hidratados (9% a 20%), lo que indicó un fuerte evento de desove al término del crucero de prospección, semejante a lo registrado durante el periodo de 2004, pero diferente a éste por la baja frecuencia de folículos atrésicos (13%).

La fracción de FPO de día 1 y 2 estimados fluctuó entre 0,00 y 0,25 con una media de 0,0696, lo que permite señalar que aproximadamente un 7 % de la población desovó diariamente durante el periodo de estudio, valor que corresponde a la mitad registrada en el 2005, a un 25 % del año 2004, e inferiores a la mitad determinada en los años anteriores (2003, 2001) (Tabla 10). Las diferencias registradas en la fracción de FPO durante los años de estudio en las hembras de jurel, particularmente los valores extremos en

el año 2004 y 2006, no serían de extrañar pues han sido informadas para otras especies de *Trachurus*, así como en Clupeidos y Engraulidos. **Karlou-Riga & Economidis (1997)** y **Abaunza *et al.* (2003)** han señalado que en *Trachurus trachurus* la frecuencia de desove no permanece constante a través de un período reproductivo, indicando valores muy altos durante el peak de desove, el cual decrece hacia el final de la estación. Estos autores también señalan que la frecuencia de desove puede cambiar de un año a otro correlacionándose inversamente con la atresia, lo que se ha interpretado como una respuesta a condiciones desfavorables durante la estación de desove. Además, **Macewicz & Hunter (1993)** indican para *T. symmetricus* de las costas del sur de California, que la mayor parte de las hembras maduras presentan una frecuencia de desove del 20 %, valor cercano al máximo registrado en 2004, durante los seis años de estudio en *Trachurus murphyi*.

Considerando la totalidad de los años de estudio en *T. murphyi,* la frecuencia *de* desove promedio para estos años es de 0,124, con valores extremos de 0,070 **y** 0,193. Al respecto **Dickerson et al. (1992)** han informado que la especie *Scomber japonicus* presenta un valor promedio de frecuencia de desove de 8,7%, valor que cambia con el mes de estudio fluctuando desde un mínimo de 1,0 a un máximo de 20,6 %.

En la especie *Sardinops sagax*, se han señalado variaciones interanuales en la frecuencia de desove, con valores en ovarios activos de 0,20 en 1988 y 0,12 en 1994; estos valores disminuyen si se utilizan los ovarios de todas las hembras maduras (0,149 y 0,068, respectivamente) (**Macewicz, *et al.*, 1996**). En su distribución latitudinal, esta especie también presenta variaciones en la frecuencia de desove, así en poblaciones del sur la frecuencia es de 0,233 en comparación a un 0,107 en poblaciones del norte.

El mejor ajuste para las relaciones entre la fecundidad parcial versus la longitud y los pesos de las hembras (PT y PE) lo entregó el modelo lineal con valores de R^2 significativos (entre 0,59 y 0,63), pero inferiores a lo registrado el 2005 (entre 0,67 y 0,69), y superiores al año 2004 (0,53 – 0,58). Además, la fecundidad media poblacional estimada en 48.213 ovocitos hidratados es superior a todos los años previos, y muestra un aumento constante durante los años de estudio, lo que en este caso está asociado con un aumento de la

talla o edad de los ejemplares de jurel, pero podría indicar probablemente también una respuesta de las hembras a una mayor explotación.

Fechas	Frecuencia desove	Nº lances	C.V.	Fecundidad promedio	Nº Muestra	C. V.
25/11-02/12-00	0,148	13	0,284	26.069	164	0,175
20/11-28/11-01	0,103	13	0,020	27.150	66	0,070
11/11-19/11-03	0,090	25	0,156	39.846	23	0,106
20/11-28/11-04	0,193	31	0,110	39.883	34	0,109
23/11-30/11-05	0,142	14	0,200	40.463	47	0,122
15/11-24/11-06	0,070	21	0,187	48.213	41	0,092
Promedios	0,124	19,5		36.937	62,5	

La biomasa desovante de jurel para el área de estudio, fue de 3.282.628 toneladas (CV= 29%). Esta cifra es tres veces superior a la registrada el año 2005 y muy similar a la reportada el año 2004. Al observar los parámetros involucrados en la estimación, se tiene que los sujetos a mayor incertidumbre son la Producción diaria de huevos y la fracción de hembras desovantes. La magnitud de ambos indicadores muestran una tendencia fluctuante en la serie, por lo que su estimación requiere que sea lo más robusta posible y que a su vez, el período de muetreo concuerde con los peaks máximos de desove, ya que éste último factor podría ser el principal causante de estas fluctuaciones.

Bajo ese contexto, toma una mayor relevancia las estimaciones alternativas de la Producción diaria de huevos, como lo son la exploración de nuevos modelos para la datación de la edad de los huevos de jurel, la estimación de Po mediante Modelos Lineales Generalizados, y mediante un modelado espacial (GAM). Si bien los resultados de esas estimaciones arrojan coeficientes de variación menores que los del método tradicional, son resultados preeliminares, los cuales serán estudiados con mayor profundidad, con la finalidad de validar esas metodologías para su aplicación futura a toda la serie histórica disponible.

La biomasa desovante en el año 2006 es soportada por los grupos de edad V, VI y VII quienes aportan casi un 66% del total, situación que refleja la fuerza de las clases anuales

1998, 1999 y 2000, situación que viene observándose de años anteriores. Se mantiene al igual que en el 2005 una escasa presencia de individuos de los GE II, III y IV, lo que puede reflejar una menor disponibilidad o bien a un bajo reclutamiento de las clases anuales 2002, 2003 y 2004. La recuperación de la estructura etaria del stock desovante se observa en los machos, los que presentan a diferencia del año 2005, un mayor aporte en biomasa de GE más adultos (VII, VIII y IX) que representan el 65% del total.

La distribución espacial del jurel muestra que el recurso se ubicó ampliamente en toda la zona de estudio, predominando los sectores donde se detectó ecotrazos con niveles de abundancia de clase "baja", en tanto las mayores densidades de jurel caracterizadas por abundancias tipo "media" y "alta", fueron bastante escasos, localizándose estas principalmente en el macrozona norte - oceánica, situación similar a la observada en noviembre del 2004 y 2005. Esta distribución espacial no mostró zonas importante de concentración del recurso (stock parental), más bien focos puntales de alta abundancia y un número importante de ocurrencia de niveles bajos de abundancia, coincidiendo con el patrón de distribución espacial observado en ecoprospecciones anteriores realizadas en la zona de estudio**.**

De acuerdo a los antecedentes presentados, se puede inferir que el crucero fue realizado en un área importante de distribución de huevos y larvas de jurel, y que no obstante se amplió la zona de estudio, producto de cambios en la distribución de huevos y larvas del año 2005, los límites del área de desove tanto latitudinales como longitudinales se han mantenido muy similares a lo observado en cruceros anteriores. Si bien se observó una mayor abundancia de huevos en comparación con el año 2005, se verificó una baja frecuencia de desove, lo cual podría estar asociado al período de término del período reproductivo.

9 CONCLUSIONES

La temperatura superficial del mar (TSM) TSM reveló un rango térmico entre los 12,1 y los 19,9 ºC, rango muy similar al reportado el año 2005. Aguas más cálidas (> 18ºC) fueron detectadas al norte de los 34ºS y al oeste de los 90 ºW.

El viento superficial mostró un patrón de distribución similar (noviembre) al descrito el año 2005, en general, intensidades altas hacia el sector costero (< 78ºW) en el que predominan vientos del sur y magnitudes menores hacia el cuadrante noroccidental (> 80ºW).

La densidad media de huevos de jurel,, fue de 111,3 huevos en 10 m^2 y la de larvas fue de 37,7 larvas en 10 m^2. Con respecto al año 2005, la densidad de huevos es mayor en un 40.2 % y la de larvas inferiror en un 60,1 %.

En el cuadrante inferior derecho del área de estudio (37º30'S-39º00'S y 74º00'- 80º00 W), se verificó la ausencia virtual de huevos de jurel. La zona de mayor ocurrencia de huevos estuvo principalmente asociada a la región situada entre los 33º00'S-36º30'S en la zona más oceánica (86º30'-90º00'W).

Durante este crucero se efectuaron 57 lances de pesca, siendo sólo 27 de ellos positivos muestreándose un total de 2.295 ejemplares para el muestreo biológico. El rango de tamaño fue amplio fue de 26 a 61 cm de LH, con una moda centrada en los 35 cm LH. No se observaron ejemplares bajo talla mínima legal (< 26 cm de LH).

El análisis de contenido estomacal, reveló que la proporción de estómagos con contenidos alcanzó a los 50,3 %, siendo el principal ítem presa los eufáusidos con un valor de (IIR = 3,95), dominando tanto en número (51,4 %), peso (85,0 %) como en frecuencia de aparición (65,0), seguido por la fuerte presencia de copépodos, salpas, heteropodos y mictófidos.

La fracción media de hembras desovantes fue de 0,0696, lo cual permite señalar que aproximadamente un 7 % de la población desovó diariamente durante el periodo de estudio, valor que corresponde a la mitad registrada en el 2005, a un 25 % del año 2004, e inferiores a la mitad determinada en los años anteriores (2003, 2001).

La fecundidad media poblacional fue de 48.213 ovocitos hidratados, la cual fue superior a todos los años previos, y muestra un aumento constante durante los años de estudio, lo que en este caso está asociado con un aumento de la talla o edad de los ejemplares de jurel.

La biomasa desovante de jurel para el área de estudio, fue de 3.282.628 toneladas (CV= 29%). Esta cifra es tres veces superior a la registrada el año 2005 y muy similar a la reportada el año 2004. La biomasa desovante en el año 2006 es soportada por los grupos de edad V, VI y VII quienes aportan casi un 66% del total, situación que refleja la fuerza de las clases anuales 1998, 1999 y 2000

La distribución espacial del jurel muestra que el recurso se ubicó ampliamente en toda la zona de estudio, predominando los sectores donde se detectó ecotrazos con niveles de abundancia de clase "baja", en tanto las mayores densidades de jurel caracterizadas por abundancias tipo "media" y "alta", fueron bastante escasos, localizándose estas principalmente en el macrozona norte - oceánica, situación similar a la observada en noviembre del 2004 y 2005 y a las ecoprospecciones anteriores realizadas en la zona de estudio**.**

10 REFERENCIAS

Abaunza P., L. Gordo, C. Karlou-Riga, A. Murta, A. T. Eltink, M.T. García, C. Zimmermann, C. Hammer, P. Lucio, S.A. Iversen, J. Molloy & E. Gallo 2003. Growth and reproduction of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Carangidae). Reviews in Fish Biology and Fisheries 13: 27-61.

Aguayo, M. 2005. Estructura de longitud-edad de la población desovante de jurel.En: Informe Final Proyecto FIP Nº 2004-33 "Condición biológica de jurel en alta mar, año 2004": 240-254.

Aguayo, M. 2006. Estructura de longitud-edad de la población desovante de jurel. En: Informe Final Proyecto FIP Nº 2005-11 "Condición biológica de jurel en alta mar, año 2005": 103-107; 223-231.

Alheit, J. 1985. Spawning frequency of Peruvian anchovies taken with a purse seine. 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: 59-61.

Arancibia, H. 1988. Cluster análisis: The use of a simple statistical method in the identification of groups. ICES. C.M./D:12 Statistics cttee., Ref. *Demersal Fish Cttee*., 19p.

Arcos, D.F., L. A. Cubillos y S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño effects off Chile. Progress in Oceanography, 49: 597-617.

Bahamonde, R., C Hernandez y C. Lang. 2006. Pesca de Investigación "Determinación de la distribución espacial de jurel entre la V y X Regiones, verano 2006. Informe final - Subpesca. Instituto de Fomento Pesquero. Chile.

Barbieri, M. A., J. Córdova., V. Correa., S. Lillo., M. Espejo y M. Rojas. 1998. Análisis de la estructura del jurel fuera de las aguas jurisdiccionales. Informe final FIP 97-05b. IFOP, Chile. 108 p + anexos y figs.

Barbieri, M.A., Córdova, J., Lillo, S., Peña, H., Grechina, A., Núñez, S., Sepúlveda, A., Miranda, L y Rebolledo, H. 1999. Análisis de la estructura del stock de jurel fuera

de las aguas juridisccionales. Informes Técnicos FIP-IT/97-05B, 121 pp.

Barbieri, M. A., J. Córdova y C. Lang. 2005. Pesca de Investigación "Determinación de la distribución espacial de jurel entre la V y X Regiones, invierno 2005. Informe final - Subpesca. Instituto de Fomento Pesquero. Chile.

Blanco, J., A. Thomas, M. Carr, & T. Strub, 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. Journal of Geophysical Research. Vol. 106, C6, 11.451-11.467, 2001.

Bernal, P. A., F.L. Robles, & O. Rojas. 1983. Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes de Chile-Perú. /Monogr. Biol./, 2, 75-102, 1982.

Bernal, M., Stratoudakis, Y., & Uriarte, A. 2004. The DEPM Estimation of Spawning-Stock Biomass for Sardine and Anchovy. ICES Cooperative Reseach Report. Nº 268.

Bez, N. & J. Rivoirard. 2001. Transitive geostatistics to characterize spatial aggregations with diffuse limits: an application on mackerel ichtyoplankton. Fish. Res. 50: 41–58.

Bez, N., 2002. Global fish abundance estimation from regular sampling: the geostatistical transitive method. Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science. 59: 1921-1931.

Bloom, S.A. 1981. Similarity indices in community studies: potential pitfalls. Mar. Ecol. Prog. Ser., 5: 125-128.

Castillo y Robotham. 2004. Spatial structure and geometry of schools of sardine (*Sardinops sagax*) in relation to abundance, fishing effort, and catch in northern Chile. ICES Journal of Marine Science, 61: 1113-1119.

Córdova, J., M. A. Barbieri, A. Paillamán, H. Robotham y M Rojas. 1998. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la zona centro-sur, V a IX Regiones, 1997. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. (219p).

Córdova, J., M. A. Barbieri y S. Lillo, 1999. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la zona centro-sur, V a IX Regiones, 1998. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. (161p)+ anexo figs.

Córdova, J., M. A. Barbieri, H. Miranda, M Espejo y M Rojas, 2000. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la ZEE de Chile, 1999. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. (200 p)+ anexo figs.

Córdova, J., M. A. Barbieri y M. Espejo, 2001. Evaluación Hidroacustica de jurel. En: Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la ZEE, 2000. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. (204 p)+ anexo figs.

Córdova, J., M. A. Barbieri y M. Espejo, 2002. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la ZEE de Chile, 2001. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. (207 p)+ anexo figs.

Córdova, J., M. A. Barbieri y M. Espejo, 2003. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE, año 2002. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. (198 p)+ anexo figs.

Córdova, J., M. A. Barbieri y M. Espejo, 2004. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE, año 2004. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile.

Cubillos, L., 2001. Situación del stock de jurel y perspectivas de su explotación en el 2002. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), 10(2):1-35.

Cubillos, L., M.A. Barbieri., C. Oyarzún., S. Gacitúa y G. Aedo. 2002(a). Condición biológica del jurel en alta mar, año 2001. Instituto de Investigación Pesquera, Instituto de Fomento Pesquero Universidad de Concepción, FIP 2001-12, 75pp +Anexos Tablas y Figuras.

Cubillos, L. 2002(b). Situación del stock de jurel y perspectivas de su explotación para el 2003. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), Talcahuano, 11(2):1-38.

Cubillos, L. (ed.) 2003. Condición biológica de jurel en alta mar, año 2001. Informe Técnico FIP-IT/2001-12. 193 p.

Cubillos, L., S. Núñez, J. Páramo & A. Sepúlveda. 2004. The oceanic spawning of Chilean Jack Mackerel (*Trachurus symmetricus*) and the feasibility to assess the spawning biomass through the daily egg production method. Small pelagic fish spawning habitat dynamics and the daily egg production method. SPACC Meeting. Concepción (Chile) 14-16 January 2004. Concepción, Chile.

Cressie, N.A.C. (1993). Statistics for spatial data. Wiley, New York.

Cressie, N.1985. Fitting variogram models by weighted least squares. Mathematical Geology 17:563-586.

Daskalov, G. 1999. Relating fish recruitmant to stock biomass an physical envirment in the Black Sea usin genaralizad additive models. Fisheries Research. 42: 1 – 23.

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.

Dickerson, T., B. J. Macewicz & J. R. Hunter. 1992. Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus* during 1985. CalCOFI Rep. Vol 33: 130-140.

Dubois G., M. Saisana, A. Chaloulakou and N. Spyrellis. 2002. Spatial Correlation Analysis of Nitrogen Dioxide Concentrations in the Area of Milan, Italy. Proc. of the First Biennial Meeting of the International Modelling and Software Society, Switzerland, June 2002, Andrea E. Rizzoli and Anthony J. Jakeman Eds, p.536-541.

Elizarov, A.A., A.S. Grechina., B.N. Kotenev., A.N. Kuzetsov. 1993. Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the South Pacific. Journal of Ichtyology 33, 86-104.

Evseenko, S. A. 1987. Reproduction of Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the southern Pacific. Journal of Ichthyology 27, 151-160.

Fernandez, Diego, Escribano, Rubén y Hidalgo, Pamela. 2002. Distribución de eufáusidos en el sistema de surgencia frente a la península de Mejillones (23°S) asociada a condiciones previas y durante El Niño 1997-98. *Investig. mar.*, 2002, vol.30, no.1, p.25-43. ISSN 0717-7178.

Gatica. C., C. Alarcón y L. Cubillos. 2003. Análisis de la precisión en los estimados de distribución de frecuencias de tamaños de jurel, crucero de desove 2000 y 2001, Revista Investigaciones Marinas; Volumen 31(2):101-106.

Grechina, A.S., S. Núñez y D. Arcos. 1998. Biología reproductiva del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el Pacífico sur. *In*: Arcos, D. (ed.) Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, p. 77-99.

Hosmer, D.W. & S. Lemeshows. 1989. Applied logistic regression. John Wiley and Sons, New York.

Hormazábal, S., G. Shaffer & O. Leth. 2004. The coastal transition zone of Chile. Journal of Geophysical Research, Volumen 109, C01021, doi:10.1029/2003JCC001956.

Hunter, J.R. and S.R. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Fish. Bull. 77:641-652.

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: 63-66.

Hunter, J., N.C-H. Lo. 1993. Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. Bulletin of Marine Science 53, 723-727.

Hunter, J., Lo., N.C.-H. 1997. The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. Ozeanografika 2, 41-69.

Hynes, H.B.N. 1950. The food of freshwater sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitus*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. *J. Anim. Ecol.* 19(1): 36-58.

Isaaks E.H., R.M. Srivastra.1989. An introduction to applied Geostatistics. New York: Oxford University Press. 561 p.

Isern-Fontanet, J., J. Font, E. García-Cardona, M. Emalianov, C. Millot & I. Taupier-Letage. 2004. Spatial structure of anticyclonic eddies in the Algerian basin (Mediterranean Sea) analyzed using Okubo-Weiss parameter. Deep Sea Research II. 51:3009-30028.

Isern-Fontanet, J., E. García-Cardona & J. Font. 2006. Vortices of the Mediterranean Sea: An Altimetric Perspective. J. Phys. Oceanogr. Volume 36. 87:103.

Journel, A.G. & C.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, London.

Lasker, R. (ed.) 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36.

Leth, O. & J.F. Middleton. 2004. A mechanism for enhanced upwelling off central Chile.

Eddy advection. J. Geophys. Res. Vol. 109, C12020, doi:10.1029/2003JC002129.

Lo, N. 1985. A model for temperature dependent northern anchovy egg developtment and an automated procedure for the assignment of eggs to staged eggs. In R.Lasker (ed.). An egg production method for stimating spawing biomass of pelagic fish: Aplication to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Thech. Rep. NMFS 36: 43-50.

Lo, N.C.H, J.R. Hunter y R. Carter. 2001. Use of a continuous egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California. Fish. Bull. 99: 554-571

Macewicz, B. y R. Hunter. 1993. Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. CalCOFI Rep., Vol. 34. 112-121.

Macewicz, B., J. Castro-Gonzalez, C. Cotero-Altamirano & J. Hunter, 1996. Adult reproductive parameters of Pacific Sardine (Sardinops sagax) during 1994. CalCOFI Rep., 37: 140-151.

MacLennan, D. y J. Simmonds. 1992. Fisheries acoustics. Chapman Hall, London: 325 pp.

Matheron, G. 1971. La théorie des variables regionalices et ses applications. Fasc. 5 Ecole Nat. Sup. des Mines. Paris

Maravelias, C.D., D.G. Reid, E.J. Simmonds y J. Haralabous. 1996. Spatial analysis and mapping of acoustic survey data in the presence of high local variability: geostatistical application to North Sea herring (*Clupea harengus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 1497-1505.

Moral, F. y J. Marques 2002. Ejemplo de una representación gráfica de una variable regionalizada., XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, España, 2002.

Moser, H. G. y E. H. Ahlstrom. 1985. Staging anchovy eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 37-41.

Myers,R.A., y N.G Cadigan.1995. Was an increase in natural mortality responsible for the collapse of northern cod? Can.J.Fish.Aquat. Sci. 52: 1274 – 1285.

Núñez, S., J. Letelier., D. Donoso., A. Sepúlveda y D. Arcos. 2004. Relating

spatial distribution of Chilean jack mackerel eggs and environmental factors in the oceanic waters off Chile. Proceedings (Tomo II) of the Pan Ocean Remote Sensing Conference, 2004. Remote Sensing of Oceans, Coasts and the Atmosphere: Developments and Applications. Gayana, Vol. 68. Nº 2: 444-449.

Núñez, S., S. Hormazábal, F. Gómez, J. Letelier & A. Sepúlveda. 2006. Some evidences of physical-biological coupling between jack mackerel larvae and mesoscale structures off central Chile. Book of Extended Abstracts, International Conference The Humboldt Current System: Climate, ocean dynamics, ecosystem processes and fisheries. Lima, Perú. Nov 27th – Dec. 1st, 2006.

Oliva, J. W., W. Carvajal y 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., Bañarados, J., Tirado, M., 1989. Determinación de la fecundidad y frecuencia del desove de la sardina (*Sardinops sagax*), 1986. Permanente del Pacífico Sur (CPPS).Rev. Pacífico Sur (Número Especial). 341:348.

Oyarzún, C., S. Gacitua. 2003. Aspectos reproductivos, fecundidad parcial y frecuencia del desove del jurel, año 2001. *In*: Cubillos, L. (ed.) Condición biológica de jurel en alta mar, año 2001. Informe Técnico FIP-IT/2001-12. 193 pp.

Pelletier, D. y 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.

Pinkas, L.; M. Oliphant & I. Iverson. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. Fish. Bull., U.S. 152, 1-105.

Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data. In: Megrey, A., and E. Moskness (Eds.) Computers in Fisheries Research. Chapman & Hall, London. pp. 113-142.

Petitgas, P. & T. Lafont (1997) EVA2: Estimation variance. Version 2. A geostatistical software on Windows 95 for the precision of fish stock assessment surveys. ICES

CM 97/Y:22. 22 pp.

Picquelle, S.J. y G. Stauffer. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assesment. 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: 7-15.

Ribeiro, P. J.and P.J.Diggle. 2006. Analysis of geostatistical data. Manual of geoR Package.153 p.

Rivoirard, J, J. Simmonds,J. Foote, K G, Fernandez,y P. Bezi. 2000 Geostatistics for estimating fish abundante. Blackwell Science.

Roa R. & F. Tapia. 1998. Spatial differences in growth and sexual maturity between branches of a large population of the squat lobster *Pleuroncodes monodon*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 167: 185-196.

Rojas, O., Oliva, J., 1993. Evaluación del stock desovante de anchoveta de la zona norte por el método de la producción de huevos. Programa evaluación directa de recursos pelágicos de la zona norte. IFOP, 50 p.

Rojas, R & N. Silva. 1996. Atlas oceanográfico de Chile. Vol. 1. 1º Edición. Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile, 130 p.

Santander, H., O.S. Castillo. 1971. Desarrollo y distribución de huevos y larvas de "jurel" *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en la costa peruana. Inf. Inst. Mar Perú - Callao N° 36, 23 pp.

Santander, H., J. Alheit y P.E. Smith. 1984. Estimación de la biomasa desovante de anchoveta peruana, *Engraulis ringens*, en 1981 por aplicación del Método de Producción de Huevos. Bol. Inst. Mar Perú, Callao, 8: 209-250

Seber, G. H. F. 1973. The estimation of animal abundance and related parameters. HafnerPress, N.Y., 506 p.

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.

Sepúlveda, A., R. Alarcón. 2004. Evaluación Hidroacústica de agregaciones de jurel, año 2004. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), Talcahuano, 13 (6): 1- 65.

Sepúlveda, A., P. Ruiz., S. Nuñez, S. Gacitua, R. Quiñones, R., Montes, M.A. Barbieri., M.A., J. Cordova., M. Espejo. 2004. Condición Biológica de jurel en Alta Mar, año 2003. Informe Final FIP 2002-12, Instituto de Investigación Pesquera – Instituto de Fomento Pesquero, 176 pp.

Sepúlveda, A. 2006. Situación del stock de jurel y perspectivas de su explotación para el 2007. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), Talcahuano, 15(1):1-33.

Serra, J.R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, Trachurus symmetricus murphyi. Investigación Pesquera (Chile) 36, 67-83.

Serra, R., C. Canales., P. Barría., J. Cordova., A. Aranis., G. Böhm. 2001. Diagnóstico actualizado del jurel al 2001 y análisis de escenario de captura. Informe Proyecto investigación y captura total permisible jurel 2002, 45 pp.

Silva, N. & H. Konow. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Suroriental. Expedición Krill. Crucero 3-4. Julio-agosto 1974. Rev. Com. Perm. Pacifico Sur. Ciencia y Derecho del Mar, 3:63-75.

Simmonds E. John, N. Williamson, F. Gerlotto y A. Aglen. 1991. Survey design and analysis procedures: a comprehensive review of good practice. ICES C.M. 1991, 113 pp.

Simard, Y., P. Legendre, G. Lavoie y 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.

Soria, M. P. Petitgas y T. Bahri. 1998. On the size of the fish schools and clusters of schools: a spatial análisis of multibeam sonar images of schools in the mediterranean sea. ICES, CM 1998/J:8 Fish aggregation, 15 pp.

Satuffer, G. y S.J. Picquelle, 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Southw.Fish.Cent.admin.. Rep. LJ-80-09.41 p.

Sneath, P. & R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman and Company, USA, 573 p.

Stelzenmüller, V., S.Eric, G.P. Zauke. 2004. Meso-scaled investigation on spatial

distribution of the flatfish limanda limanada (Linnaeus, 1758) (dab) within the german Bight: A geostatistical approach. In 2nd International Symposium on GIS/Spatial Analyses in Fisheries and Aquatic Sciences. In: Nishida, T. Kailola, P.J. & Hollingworth, C.E. (ed.), Brighton:Fishery/Aquatic GIS research group.

Uriarte, A. 2001. Anchovy Population at age estimates and variances fron the application of the Daily Egg Production Method. ICES CM 2001/P:25.

Vásquez, S; E. Navarro, A. Sepúlveda & S, Núñez. 2007. Efecto de estructuras de mesoescala en la distribución espacial de estadios larvales de jurel frente a Chile centro sur. XII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. Florianópolis, Brasil.

11 ANEXOS

11.1 PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

En relación al cumplimiento del Cronograma de actividades comprometido en la Oferta Técnica, se incluye la distribución de horas dedicadas del personal del proyecto en asociación a las actividades desarrolladas desde el inicio del proyecto hasta la finalización del presente informe Final

11.1.1 Asignación Horas Hombre del equipo de trabajo utilizadas hasta este Informe

a) Instituto de Investigación Pesquera

PERSONAL	ACTIVIDADES					Total
	Preparación	Crucero	Procesamiento	Análisis	Informe	
Aquiles Sepúlveda O.	20	0	0	29	13	61
Sergio Núñez E.	20	0	16	12	8	56
Claudio Gatica	0	202	18	14	9	243
Eduardo Navarro	5	0	8	6	4	23
Patricia Ruiz	0	202	14	11	7	234
Rubén Alarcón	0	202	21	16	11	249
Mario Aguayo	5	0	13	10	7	34
Marcos Arteaga	5	0	5	4	3	16
Sebastián Vásquez	0	202	5	4	3	213
Hernán Rebolledo	0	202	10	6	3	221
Carlos Gonzalez	0	202	8	5	0	215
Marcia Neira	5	0	8	8	3	25
Luis Bustos E.	0	202	8	5	0	215
Evelyn Sanhueza	0	202	5	3	0	210
Ivonne Calisto	0	202	5	3	0	210
Roberto Torres	0	202	5	3	0	210
Carlos Pincheira	0	202	0	0	0	202
Rubén Mena	0	202	0	0	0	202
NN1	0	202	0	0	0	202
NN2	0	202	0	0	0	202
NN3	0	202	0	0	0	202
NN4	0	202	0	0	0	202
NN5	0	202	0	0	0	202
NN6	0	0	39	26	0	65
Total	60	3434	186	163	68	3911

b) Instituto de Fomento Pesquero

PERSONAL	ACTIVIDADES					
	Preparación	Crucero	Procesamiento	Análisis	Informe	TOTAL
M. A. Barbieri	14		24	8	12	58
J. Córdova	5			5		10
R. Bahamonde	5		16			21
C. Lang	45		60	8	12	125
B. Leiva			24			24
R. Serra						0
G. Pino	16	96				112
Técnicos		768				768
TOTAL	85	864	124	21	24	1118

c) Universidad Católica de la Ssma Concepción

PERSONAL	ACTIVIDADES					
	Preparación	Crucero	Procesamiento	Análisis	Informe	Total
Javier Chong L	20	-	20	20	10	70
Paola Gonzales K	-	-	57	20	7	83
María C. Pardo G	10	-	53	20	7	90
Christian Ibañez	10	-	113	-	-	123
Ricardo Chong F		-	117	-	-	117
NN 1	-	-	50	-	-	50
TOTAL	40	0	410	60	23	533

11.1.2 Detalle de muestreos realizados y personal participante

a) Zarpe Crucero FIP 2006-05: Primera Etapa

PAM	Personal	Fecha /Hora Zarpe	Fecha /Hora Recalada
1. Chivilingo	Luis Bereniel Bustos Espinoza Nataly Edith Terrada Fuentes Larry Eduardo Lawrence Navarrete (IFOP)	22/11/05 03:30	02/12/05 14:30
2. Javier	Paulina del Rosario Barraza Barraza Alejandro Andrés Santibáñez Jones Alex Gabriel López Marileo (IFOP)	22/11/05 01:50	02/12/05 04:40
3. Yagan	Carlos Eduardo González Ayamante Marcos Antonio Arteaga Vásquez Carlos Concha Palza (IFOP)	22/11/05 20:20	01/12/05 00:15
4. Francisco	Francisco Alejandro Gómez Ramos Julio Enrique Reyes Aguillón David Isidoro Mena Valdivia (IFOP)	22/11/05 02:00	01/12/05 00:15
5. Santa María II	Robinson Adrián Carrasco Morales María Andrea Pinilla Norambuena Lino Alberto Muñoz Aguayo (IFOP)	22/11/05 12:30	01/12/05 05:30
6. Libas	Eduardo Campos Marcelo Eduardo Peralta Espinoza Carlos Mendoza (IFOP)	22/11/05 13:30	02/12/05 07:30
7. Marpro l	Hernán Patricio Rebolledo Fernández Arturo Navarrete Cristóbal Marcelo Quintana Alvear (IFOP)	22/11/05 15:30	30/11/05 12:30
8. Don Mauro	Marcia Elizabeth Neira Silva Germán Alonso Hernández Sáez Aurelio Pino (IFOP)	22/11/05 03:30	01/12/05 07:30
9. Matías	Alejandra Antonieta Vera Concha Claudio Ignacio Carocca Sepúlveda Patricio Yañez Vidal (IFOP)	22/11/05 10:00	29/11/05 18:50
10. Malleco	Patricia Del Carmen Ruiz Opazo Ximena Andrea Rodríguez Henríquez Patricio Daza	22/11/05 19:15	01/12/05 22:30

- Personal adscrito al Instituto de Fomento Pesquero se indica como: (IFOP)

11.2 Taller de Discusión de Resultados

El taller de discusión de resultados, se efectuó el día 06 de junio de 2006. Contó con la presencia de la Dra Paula Alvarez (AZTI, España), con la cual se trabajó en los días previos a la ejecución al taller. La agenda de trabajo fue la siguiente:

AGENDA DE TRABAJO CON DRA. PAULA ALVAREZ

LUNES 04	MARTES 05	MIERCOLES 06	JUEVES 07	VIERNES 08
Mañana 9.30 h -Distribución de huevos y larvas de jurel. - Oceanografía y hábitat de desove.	Mañana 9.30 h - Revisión de metodologías de estimación de la Producción de huevos en jurel.	Mañana 9.30 h Taller acorde a programa	Mañana 9.30 h - Discusión acerca del potencial uso del método de la producción diaria de huevos en merluza común.	Mañana 9.30 h - Propuesta de líneas de colaboración y trabajo conjunto.
Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo
Tarde 15.00 h -Colecta de adultos de jurel. -Indicadores reproductivos.	Tarde 15.00 h - Estimación de biomasa desovante.	Tarde 15.00 h Charla Dra. Alvarez Taller acorde a programa	Tarde Libre	Tarde Libre

Taller de Discusión de Resultados FIP 2006-05

"Condición Biológica de Jurel en Alta Mar,
año 2007"

Proyecto financiado por el Fondo de Investigación Pesquera
FIP

LUGAR:
Auditorio Instituto de Investigación Pesquera
Talcahuano, 06 de junio de 2007

Instituciones Participantes:

Instituto de Investigación Pesquera

Instituto de Fomento Pesquero

Universidad Católica de la Santísima Concepción

Programa de Trabajo

Miercoles 06 de Junio de 2006

1.- 09:00-09:30 Inscripciones

2.- 09:30-09:40 Presentación FIP 2007-06 Condición biológica del jurel en alta mar, año 2006.
Expositor *Sr. Aquiles Sepúlveda O. (INPESCA)*

3.- 09:40-10:10 Condiciones ambientales del hábitat de desove de jurel.
Expositor *Sr. Sergio Nuñez E. (INPESCA)*

4.- 10:10-10:40 Caracterización biológica y estructura de la fracción de jurel existente en el area de desove.
Expositor *Sr. Ruben Alarcón M. (INPESCA)*

PAUSA-CAFÉ 10:40 - 10:55

5.- 11:00-11:30 Distribución espacial y estructura de las agregaciones de jurel en el área de desove.
Expositor *Sr. Roberto Bahamonde. (IFOP).*

6.- 11:30-12:00 Indicadores reproductivos de jurel en el área de desove frente a Chile central.
Expositor *Sr. Javier Chong L. (UCSC)*

7.- 12:00-12:30 Discusión y Conclusiones sesión mañana

8.- 14:00-15:00 Charla Experto Internacional.
Expositor *Dra. Paula Alvarez (AZTI, España).*

9.- 15:00-15:30 Estimación de la producción diaria de huevos y de la biomasa desovante de jurel en el área de desove.
Expositor *Srta. Patricia Ruiz O. (INPESCA).*

PAUSA-CAFÉ 15:30-15:45

10.- 15:45-16:15 Estructura de edad del stock desovante de jurel año 2006.
Expositor *Sr. Mario Aguayo. (INPESCA).*

11.- 16:15-16:45 Implicancia de los estimados de biomasa para la evaluación del stock de jurel.
Expositor *Sr. Aquiles Sepúlveda. (INPESCA).*

12.- 16:45-17:45 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES FINALES DEL TALLER

13.- COCKTAIL