



INFORME FINAL CORREGIDO

Estudio de Migración de Jurel en Chile
(Fase I), 2007

SUBPESCA / Septiembre 2010



INFORME FINAL CORREGIDO

Estudio de Migración de Jurel en Chile
(Fase I), 2007

FIP 2007-27 / Septiembre 2010

Requirente

Fondo de Investigación Pesquera, FIP

Presidente del Consejo:

Pablo Galilea Carrillo

Ejecutor

Instituto de Fomento Pesquero

Jefe División Investigación Pesquera

Mauricio Braun Alegría

Director Ejecutivo

Jorge Antonio Toro Da'Ponte

Jefe de Proyecto

Rodolfo Serra Behrens



INFORME FINAL CORREGIDO

Estudio de Migración de Jurel en Chile
(Fase I), 2007

FIP 2007-27 / Septiembre 2010

AUTORES

INVESTIGACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL STOCK DE JUREL

Marcadores genéticos

Ricardo Galleguillos
Cristian B. Canales-Aguirre
Sandra Ferrada

Marcadores parásitos

Marcelo Oliva
María Teresa González

Morfometría (cuerpo)

Aquiles Sepúlveda
Ciro Oyarzún

Morfometría (otolito)

Francisco Cerna
Juan Carlos Quiroz
Lizandro Muñoz
Victor Bocic
Angélica Villalón

Marcadores microquímica otolitos

Julian Ashford
Rodolfo Serra
Juan Carlos Saavedra

Patrones historia natural

Luis Cubillos
Rodolfo Serra

Marco Oceanográfico

Jaime Letelier
Samuel Hormazábal
Sergio Núñez
Oscar Pizarro

IDENTIFICAR TIPOS DE MARCAS Y SU DESEMPEÑO EN EL JUREL A TRAVÉS DE EXPERIMENTOS CONTROLADOS

Carlos González
Pablo González
Roberto San Martín
Héctor Medina
Carlos Pincheira



RESUMEN EJECUTIVO

Los objetivos del estudio fueron investigar la estructura poblacional del jurel en toda su distribución y proponer un diseño para un estudio de marcaje para investigar sus migraciones.

- **Investigación de la estructura poblacional del jurel**

Para este objetivo general se adoptó un enfoque multidisciplinario, considerando un conjunto de métodos. Los métodos aplicados fueron: genética (ADN), parásitos, morfometría (cuerpo y otolitos), química de otolitos y patrones de historia natural.

Se obtuvieron muestras en toda la distribución del recurso y para ello se contó con la colaboración del Instituto Nacional de Pesca (INP) de Ecuador, Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y del Ministerio de Pesquerías de Nueva Zelandia. Los resultados del muestreo fueron 892 ejemplares. Se obtuvieron también muestras de otolitos para el estudio de patrones de historia de vida. Del plan de muestreo original sólo no se obtuvo muestras en Ecuador por la desaparición del jurel en esa región.

El método genético utiliza una aproximación con marcadores genético-moleculares, específicamente marcadores microsatélites. El estudio genético poblacional se realizó sobre un total de 1020 individuos, que incluye una muestra adicional pre-existente de Paita (Perú). Los resultados utilizando seis loci microsatélites no encuentran diferenciación poblacional entre las localidades analizadas, con valores de diferenciación poblacional cercanos a cero y no significativos ($p > 0.05$). Se discute que la homogeneidad genética puede ser resultado de mezclas entre las diferentes regiones del Pacífico sur oriental y de la colonización reciente del jurel en Nueva Zelandia. Otro resultado de la genética es



la generación de una librería genómica específica de *T. murphyi*; se identificaron y aislaron 24 loci microsatélites, de los cuales 17 fueron polimórficos y 5 fueron monomórficos. De los 17 loci polimórficos sólo 16 pudieron ser optimizados y estandarizados. Esta librería específica es una nueva herramienta para realizar estudios de consideraciones taxonómicas, diferenciación de stock y análisis genéticos poblacionales.

En relación con el uso de marcadores parásitos, se obtuvo un total de 10026 especímenes de parásitos metazoos, pertenecientes a 18 especies. La fauna de parásitos metazoos obtenida se corresponde bien con la conocida por estudios previos para peces de las costas de Chile y Perú. Resultados del análisis univariado y multivariado sugieren que muestras provenientes de Chiloé, así como aquellas de Nueva Zelandia y el centro norte de Perú, pueden ser asignadas a unidades poblacionales discretas, en cambio las muestras de Chile corresponderían a una población única con un movimiento migratorio de norte a sur.

Para el análisis morfométrico del cuerpo se consideraron 14 mediciones de distancias morfométricas. Los resultados no muestran diferenciación entre las localidades.

En el estudio de la morfometría de otolitos se aplicaron varias técnicas desde el tradicional análisis de medidas lineales entre puntos del otolito hasta análisis de forma de Fourier, pasando por la estimación de índices de forma que representan el patrón de crecimiento del otolito en un plano bidimensional. El resultado obtenido más confiable fue con las medidas lineales entre puntos del otolito. Los resultados sugieren la existencia de un gran grupo, que incluye a todas las localidades de Chile (costeras y oceánicas) junto con Nueva Zelandia, separando de manera débil un grupo relativo a la localidad de isla Lobos de Afuera del centro-norte de Perú.



El método de la química de los otolitos se basa en que los peces absorben la composición química del agua, la que se fija en los otolitos y por tanto permite establecer el lugar de su nacimiento y examinar sus movimientos migratorios durante su ciclo de vida. Los resultados de la química fijada a lo largo del borde del otolito, que sucede antes de la captura, muestra heterogeneidad espacial correspondiente a la estructura hidrográfica a través de límites poblacionales putativos entre el Pacífico occidental y oriental y entre Chile y Perú. Sin embargo, la química del otolito fijada durante los estadios tempranos de vida en el núcleo, no muestra evidencia que sustente la existencia de estos límites. El jurel de Nueva Zelandia tiene una química del núcleo similar a la mayoría de las áreas muestreadas frente a América del sur y encontramos fuertes diferencias entre Parácas e islas de Lobos de Afuera del norte del Perú. El análisis de conglomerados muestra un grupo de peces diferentes en Islas de Lobos de Afuera; asimismo que la mayoría de los peces se clasificaron en dos conglomerados, uno referido a una zona de desove oceánica frente a Chile central y el otro con desove en aguas costeras frente al norte de Chile y sur del Perú. Los resultados sugieren considerable movimiento y mezcla entre las diferentes áreas y particularmente desde Parácas hacia el sur.

Para el análisis de patrones de historia de vida se reunió información de los cruceros de evaluación hidroacústica realizados en Perú, Zona Norte de Chile (Arica-Coquimbo), y centro-sur de Chile (Valparaíso-Corral) y se resumen los patrones característicos de las concentraciones de jurel. Asimismo, sobre los cruceros ictioplanctónicos realizados en aguas oceánicas frente a Chile central. Se compara la estructura de tallas de jurel en Perú, zonas norte (Arica-Antofagasta), centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Chiloé) y la composición por tallas en las capturas de la flota de altura rusa que operó en aguas internacionales frente a Chile entre 1978 y 1991. Se obtuvo muestras de otolitos para diferentes localidades frente a Chile, una muestra de Perú (Paracas)



y otra de Nueva Zelandia con el objeto de evaluar diferencias en la tasa de crecimiento en peso del otolito de jurel entre localidades. Finalmente, se analiza cambios estacionales en el índice gonadosomático y factor de condición sobre la base de información biológica recolectada esencialmente frente a Chile.

Sobre la base de los indicadores analizados y considerando la estructura de una población autosustentada en la que se verifica un área de desove con persistencia temporal y espacial, un nivel de abundancia característico, con una estructura demográfica completa y, un patrón de reclutamiento similar, se concluye que no existe evidencia en contra de la hipótesis nula, según lo planteado por Serra (1991). Por lo tanto, se identifica una subpoblación de jurel autosustentada con un núcleo de mayor abundancia localizado frente a Chile central. El límite septentrional de esta unidad de stock es difícil de precisar debido a la condición expandida de su distribución hacia el océano y hacia el norte se incluye el sur de Perú como parte de esta subpoblación. Se encontró escasa evidencia sobre los aspectos estructurales de la otra subpoblación de jurel, cuyo centro de mayor abundancia se postula localizado al norte de los 14°S; se sabe que produjo un nivel de abundancia alto (de 2 a 8 millones de toneladas) y que está sustentado por una estructura de tallas completa (12 a 66 cm LT).

La información recopilada sobre la oceanografía del Pacífico Sur Oriental (PSO) muestra una zona altamente dinámica dominada por el ciclo anual, influenciada por eventos que ocurren en el océano Ecuatorial. Datos satelitales, de modelos, boyas y de crucero mostraron la interacción de procesos de diferentes escalas espaciales y temporales que caracterizan al PSO. El análisis permitió identificar, diferenciar y encontrar similitudes entre zonas asociadas a las diferentes etapas de vida del jurel. La zona central de Perú y Chile presenta fuertes y extensas surgencias, mientras que el sur de Perú y norte de Chile, la surgencia está limitada a una zona cercana a la plataforma continental. Estas zonas están conectadas mediante las corrientes



superficiales y subsuperficiales hacia el Ecuador y el polo, pero dentro de una banda con concentraciones de clorofila mayores que a las registradas dentro del Pacífico sur central. La zona oceánica frente a Chile central, que ha sido identificada históricamente como un área de desove, comparte durante la primavera características oceanográficas y meteorológicas comunes con la zona oceánica frente al Perú central y una banda cercana a la costa del norte de Chile. Durante la primavera estas tres zonas presentan mínimos valores anuales de energía cinética, corrientes y transporte, aunque se diferencian en que la dirección preferente del transporte es hacia el este-noreste en Chile central, norte-noreste en norte de Chile y hacia el oeste en Perú.

El análisis integrado de todos los resultados permite identificar dos subpoblaciones en el Pacífico suroriental: una localizada en el norte de Perú; y la segunda entre el sur del Perú y sur de Chile, dentro y fuera de la ZEE. También se encontró que los jureles de Nueva Zelandia son de inmigración reciente en esa zona y que emigraron de la región frente a Chile, siendo incierto si esta población se autosustenta. Este resultado también sugiere que es muy improbable que exista una subpoblación puramente oceánica entre aproximadamente los 120° O y Nueva Zelandia. Finalmente, se recomienda hacer un nuevo estudio con enfoque también multi-metodológico, que considere muestreos estacionales, a fin de complementar los resultados aquí obtenidos y reducir la incertidumbre todavía existente.

- **Identificación de marcas y experimentos controlados de marcación**

Para establecer patrones de desplazamiento, junto al seguimiento de parámetros biológicos y ecológicos en jurel, las marcas electrónicas de archivo son las más adecuadas, por ello se eligieron y adquirieron dos tipos, interna (LAT2510) y externa (X-Tag). Junto con estas marcas, se utilizó igualmente una marca del tipo convencional (TBA) y del tipo PIT tag montada en esta última.



Se realizaron experimentos abordo de las embarcaciones industriales, para establecer las mortalidades generadas a partir del marcaje de jurel mantenidos en cautiverio en los bins y el desprendimiento posterior de éstas. Para ello se consideró su cautiverio en bins ($0,6 \text{ m}^3$), bajo el diseño de un experimento de “mesocosmos”.

Los resultados de los experimentos indican que no existe un efecto significativo sobre la mortalidad de los ejemplares analizados con los dos tipos de marcas, logrando determinarse tasas de mortalidad cercanas al 20% y al 8% para las marcas T-bar y LAT2510, respectivamente. La metodología de marcaje desarrollada demostró su eficacia y no se observaron desprendimientos, ni deterioro en la región de inserción. Por ello, se recomienda la utilización de las marcas identificadas en este trabajo en forma combinada, por un período de tres años, con un costo anual aproximado de \$343.604 USD, considerando la utilización de barcos pesqueros de oportunidad.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	i
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE FIGURAS	xix
ÍNDICE ANEXOS	xxxiv
A. OBJETIVO GENERAL	1
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
D. DETERMINACI3N DE LA ESTRUCTURA POBLACIONAL DEL JUREL EN EL PACÍFICO SUR.	6
D1. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	6
D1.1 Obtenci3n de muestras.....	6
D.1.1.1 Resultados de la gesti3n del muestreo	10
D.1.1.2 Resultado de la obtenci3n de muestras	13
D.1.1.3 Procesamiento de las muestras.....	15
D.1.1.4 Discusi3n resultados del muestreo	16
D.1.2 Análisis genético poblacional de <i>T. murphyi</i>	17
D.1.2.1 Análisis con marcadores microsatélites de <i>T. trachurus</i>	17
D.1.2.2 Construcci3n de una librería gen3mica enriquecida para obtener marcadores moleculares tipo microsatélites específcos de <i>T. murphyi</i>	21
D.1.3 Análisis de los parásitos	22
D.1.4. Análisis morfométrico del cuerpo.....	25
D.1.4.1. Muestras disponibles.	26
D.1.4.2. Proceso de obtenci3n de datos y marcas de identificaci3n.....	27
D.1.4.3. Procesamiento y análisis de las muestras obtenidas	30
D.1.4.4. Transformaci3n de los datos	32



D.1.4.5. Análisis estadístico	34
D.1.5. Análisis morfométrico de otolitos	35
D.1.5.1 Muestreo y selecci3n de otolitos	35
D.1.5.2 Procedimiento de laboratorio	36
D.1.5.3 Índices de forma del otolito.....	38
D.1.5.4. Análisis estadístico de variables morfométricas.....	38
D.1.5.5. Análisis de forma utilizando Elíptico de Fourier.....	40
D.1.6. Análisis químico de los otolitos.....	41
D.1.6.1. Preparaci3n de ensayos y medici3n de otolitos	42
D.1.6.2. Diseño experimental inicial.....	43
D.1.6.3. Preparaci3n y análisis de muestras mediante Láser-ICPMS	48
D.1.6.4. Procedimientos de análisis de otolitos	48
D.1.6.5. Métodos estadísticos – Química establecida antes de la captura a lo largo del borde de los otolitos.	51
D.1.6.6. Métodos estadísticos – Química fijada durante la vida temprana en el núcleo del otolito.....	54
D.1.7. Análisis de patrones de historia de vida	56
D.1.7.1. Patrones de distribuci3n de la abundancia y estructura de tallas 57	
D.1.7.2. Tasa de crecimiento en peso del otolito	59
D.1.7.3. Índices reproductivos y de condici3n	60
D.1.8. Análisis oceanográfico.....	61
D.1.8.1. Datos para análisis de oceanografía del Pacífico Sur Oriental.....	61
D.1.8.2. Procesamiento y análisis de la informaci3n	64
D.2. RESULTADOS.....	64
D. 2.1. Marcadores genéticos	65
D.2.1.1. Marcadores moleculares nucleares para identificaci3n de stock	65



D.2.1.2. Estudios genéticos previos en <i>T. murphyi</i>	67
D.2.1.3. Objetivo técnica genética	68
D.2.1.4. Resultados del análisis genético poblacional de <i>T. murphyi</i> con marcadores microsatélites de <i>T. trachurus</i>	69
D.2.1.5. Discusi3n de los resultados con marcadores genéticos.....	84
D.2.2. Parásitos como herramienta para la identificaci3n de stocks.	88
D.2.2.1. Resultados del análisis de los parásitos.	92
D.2.2.2. Discusi3n de los resultados del análisis de parásitos	117
D.2.2.3. Conclusiones de la parasitofauna	122
D.2.3. Morfometría corporal	123
D.2.3.1. Verificaci3n de la técnica utilizada en morfometría corporal.	123
D.2.3.2. Resultados análisis morfométrico	123
D.2.3.3. Conclusiones del análisis morfométrico.....	128
D.2.4. Morfometría de otolitos.....	129
D.2.4.1. Resultados del análisis de morfometría de otolitos.....	129
D.2.4.2. Discusi3n del análisis de morfometría de otolitos	143
D.2.4.3. Conclusiones del análisis de morfometría de otolitos	149
D.2.5. Microquímica de los otolitos	150
D.2.5.1. Objetivo del proyecto	153
D.2.5.2. Resultados del análisis de química de los otolitos	153
D.2.5.3. Discusi3n de los resultados de la química de otolitos.	167
D.2.6. Patrones de historia de vida	172
D.2.6.1. Resultados del análisis de patrones de historia de vida.....	175
D.2.6.2. Discusi3n de los resultados del análisis de patrones de historia de vida.....	208
D.2.6.4. Conclusiones de los patrones de historia de vida	216
D.2.7. Marco oceanográfico.....	217
D.2.7.1. Resultados del análisis oceanográfico	222
D.2.7.2. Discusi3n.....	236



D.3.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS SOBRE LA ESTRUCTURA POBLACIONAL DEL JUREL.....	266
D.4.	RECOMENDACIONES	276
E.	IDENTIFICAR TIPOS DE MARCAS Y SU DESEMPEÑO EN EL JUREL A TRAVÉS DE EXPERIMENTOS CONTROLADOS	277
E.1.	TIPOS DE MARCAS	277
E.1.1.	Fundamentación.....	277
E.1.2.	Antecedentes detallados de las marcas a utilizar en los experimentos de marcaje.	280
E.2.	ESTUDIOS PRELIMINARES DE INSERCIÓN DE MARCAS EN EJEMPLARES DE JUREL.....	286
E.2.1.	Determinación de los puntos de inserción.....	289
E.2.2.	Resultados y análisis estudios de inserción de marcas.	296
E.2.3.	Determinación y prueba de regiones apropiadas para la inserción de la marca de archivo electrónica interna LAT2510.	302
E.2.4.	Conclusión estudios de inserción.	304
E.3.	DESEMPEÑO DE LAS MARCAS SELECCIONADAS EN AMBIENTE CONTROLADO.....	305
E.3.1.	Estrategia 1: Cautiverio en balsa jaula.	305
E.3.2.	Estrategia 2: Cautiverio en bins.....	344
E.3.3.	Estudios de la química de la sangre de jurel.....	378
E.3.4.	Principales conclusiones obtenidas desde los experimentos de marcaje.....	390
E.4.	EVALUAR EN TÉRMINOS ESTADÍSTICOS EL NÚMERO DE MARCAS REQUERIDAS PARA ESTUDIAR DESPLAZAMIENTOS EN EL JUREL Y ELABORAR UN DISEÑO TÉCNICO-OPERACIONAL DEL PROGRAMA DE MARCAJE.....	393
E.4.1.	Marco conceptual	394
E.4.2.	Planteamiento de hipótesis Programa Marcaje.....	395



E.4.3. Aspectos metodológicos de la estadística aplicada a diseños de programa de marcaje y recaptura utilizando marcas convencionales en jurel.....	396
E.4.4. Resultados de las estimaciones.....	405
E.5. DISEÑO TÉCNICO-OPERACIONAL DEL PROGRAMA DE MARCAJE DE JUREL.....	408
E.5.1. Diseño del programa de marcaje.....	410
E.5.2. Resultados del ensayo presupuestario preliminar de un programa de marcaje de jurel.....	415
E.5.3. Principales conclusiones del ensayo presupuestario.....	416
F. REFERENCIAS	417

ANEXOS:

- Anexo 1.** Isolation and characterization of microsatellite loci for the jack Mackerel (*Trachurus murphyi* Nichols, 1920).
- Anexo 2.** Personal participante por actividad Proyecto FIP N° 2007-27.
- Anexo 3.** Fotografías de jurel morfometría y marcaje (en CD).
- Anexo 4.** Base de datos Proyecto FIP N° 2007-27 (en CD).



ÍNDICE DE TABLAS

Numeración correlativa por numeral.

ÍNDICE DE FIGURAS

Numeración correlativa por numeral.

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Isolation and characterization of microsatellite loci for the jack Mackerel (*Trachurus murphyi* Nichols, 1920).
- Anexo 2.** Personal participante por actividad Proyecto FIP N° 2007-27.
- Anexo 3.** Fotografías de jurel morfometría y marcaje (en CD).
- Anexo 4.** Base de datos Proyecto FIP N° 2007-27 (en CD).



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla D1.1.	Resumen del resultado de la toma de muestras.
Tabla D1.2.	Resumen de las muestras de otolitos para patrones de historia natural (PHN).
Tabla D1.3.	Muestra de otolitos para PHN en N. Zelandia.
Tabla D1.4.	Criterios utilizados para excluir de los análisis al locus Tt48.
Tabla D.1.5.	Muestras procesadas para morfometría por localidad y fecha del análisis.
Tabla D.1.6.	Número de fotografías obtenidas y características del equipamiento utilizado.
Tabla D.1.7.	Número de muestras analizadas para morfometría de cuerpo, código, tallas medias y rango de tallas de cada localidad.
Tabla D.1.8.	Número de otolitos analizados por cada zona de estudio.
Tabla D.1.9.	Índices de formas del otolito
Tabla D.1.10.	Ancho promedio y desviación estándar de anillos (μm) de otolitos experimentales que varían en edad de 1+ (otolito 5) a 6+ (otolitos 1 y 9).
Tabla D2.1.1.	Parámetros de variabilidad genética para los seis loci analizados.
Tabla D2.1.2.	Valores F_{st} por pares de localidades para los seis loci microsatélites.
Tabla D2.1.3.	Test exacto de diferenciación genética para los seis loci microsatélites, los valores mostrados en la matriz corresponden a probabilidad (10100 permutaciones).
Tabla D2.1.4.	Análisis de la variación molecular (AMOVA), para testear diferentes hipótesis (agrupaciones propuestas por diferentes autores).
Tabla D2.1.5.	Locus, motivo de repetición y parámetros básicos de variabilidad genética para cuatro localidades de <i>T. murphyi</i> .
Tabla D2.2.1.	Localidades de muestreo, código asignado para análisis parasitológico, longitud promedio a la horquilla (LH) en centímetros, desviación estándar (DS) y tamaño muestral (N) por localidad.



- Tabla D2.2.2.** Prevalencia de parásitos metazoos, código para las localidades indicadas en tabla D2.2.1. Código para parásitos. CEM = *Cemocotyle aff. trachuri*; AXI = Axinidae; CAL = *Caligus bonito*; LER = *Lernanthropinus trachuri*; CER = *Ceratothoa gaudichaudii*; ROC = *Rocinela* sp.; SYN = *Syncoelium filiferum*; TET = Larva Tetraphyllidea; NYB = *Nybelinia* sp.; EUT = *Eutetrarhynchus* sp.; HEP = *Hepatoxylon trichuri*; COR = *Corynosoma australe*; RAD = *Rhadinorhynchus trachuri*; ANI = *Anisakis* sp.; CON = *Contracaecum* sp.; PSE = *Pseudoterranova* sp.; HYS = *Hysterothylacium* sp.; LAN = larva Anisakidae.
- Tabla D2.2.3.** Intensidad media de infección. Código para localidades como en Tabla D2.2.1, código para parásitos como en Tabla D2.2.2.
- Tabla D2.2.4.** Abundancia. Código para localidades como en Tabla D2.2.1, código para parásitos como en Tabla D2.2.2.
- Tabla D2.2.5.** Valores del estadístico X², Grados de libertad (gl) y probabilidad para evaluar significancia de las diferencias en prevalencia de infección. Código de especies como en Tabla D.2.2.2.
- Tabla D2.2.6.** Resultados de un análisis de varianza sobre valores transformados de intensidad de infección. F = valor del estadístico, gl = grados de libertad, P = valor de probabilidad.
- Tabla D2.2.7.** Estadísticos de Análisis de Correspondencia para 4 situaciones. Se indica valor Chi cuadrado, grados de libertad, probabilidad, Inercia explicada por los tres primeros factores y Quality e Inertia para localidades y parásitos. (Tres mayores valores en cada caso). Códigos para localidad y parásitos como en Tabla D.2.2.2.
- Tabla D2.2.8.** Estadísticos globales del Análisis de Discriminación para el total de especies y prevalencias mayores al 5%. (1) = proporción de la dispersión total explicada por los dos primeros factores.
- Tabla D2.2.9.** Matriz de asignación para la totalidad de la muestra % AC 0 Porcentaje de asignación correcta.
- Tabla D2.2.10.** Matriz de asignación para aquellas especies con prevalencia igual o mayor al 5% en al menos una de las localidades en que estaban presentes.
- Tabla D2.2.11.** Taxa de parásitos metazoos registrados en jureles en las costas del Pacífico de sud América. * = Considerados como accidentales, ** = considerado previamente como *Lernanthropus trachuri*, *** = Incluye el complejo *Scolex pleuronectis*, **** = Incluye *Anisakis simplex*, *Anisakis physeteris*, *Anisakis* larva I y *Anisakis* larva II. GN 2000 = George-Nascimento 2000.



Tabla D2.2.12.	Parásitos metazoos encontrados en estudios cuantitativos en otras especies de <i>Trachurus</i> . * = Mackenzie <i>et al.</i> 2008, ** = Gaevskaya & Kovaleva, 1980.
Tabla D.2.4.1.	Valores promedios y desviaci3n estándar de los índices de forma de los otolitos de <i>Trachurus murphyi</i> para cada una de las localidades.
Tabla D.2.4.2.	Test de Kruskal Wallis que compara los índices de forma de otolitos de <i>Trachurus murphy</i> entre las distintas localidades de muestreo.
Tabla D.2.4.3.	Resultado de los Test de comparaciones a posteriores no-parametrico para tres índices de forma cuya prueba de Kruskal Wallis mostr3 diferencias significativas. Se presenta la probabilidad de rechazar la hip3tesis de igualdad entre las localidades. Destacados en gris se presentan los valores menores 0,05 que indican rechazo de la hip3tesis.
Tabla D.2.4.4.	Resultado del análisis de componentes principales (ACP). Se presenta el porcentaje de la varianza explicado por los tres primeros componentes que agrupan la variables morfométricas correspondientes a las distancias entre puntos del otolito o hitos.
Tabla D2.5.1.	Química de bordes: Resultados del ANOVA y pruebas SNK que muestran diferencias en las concentraciones de a) Mg/Ca, b) Sr/Ca y c) Ba/Ca, entre áreas de muestreo frente a la costa occidental de América del Sur y Nueva Zelanda. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas en el test SNK; las líneas debajo muestran lo mismo para el test de Scheffé.
Tabla D2.5.2.	Química del núcleo: Resultados del ANOVA y pruebas SNK que muestran diferencias en las concentraciones de a) Mg/Ca, b) Sr/Ca y c) Ba/Ca, entre áreas de muestreo frente a la costa occidental de América del Sur y Nueva Zelanda. SNK mostarada encima y Scheffé debajo de las zonas muestreadas.
Tabla D2.5.3.	Química del núcleo: resumen de estadísticas que miden la calidad del conglomerado.
Tabla D2.5.4.	Química del núcleo: distribuci3n a cinco conglomerados basados en las similitudes de las primeras etapas de vida registradas en los núcleos. El análisis de conglomerados est3 basado en el enfoque de varianza mínima de Ward.
Tabla D2.6.1.	Resumen de las evaluaciones acústicas de jurel frente a las costas de Perú.



Tabla D2.6.2.	Resumen de las evaluaciones acústicas de jurel frente a las costas de la zona norte de Chile.
Tabla D2.6.3.	Resumen de las evaluaciones acústicas de jurel frente a las costas de la zona centro-sur de Chile.
Tabla D2.6.4.	Resumen de los cruceros ictioplanctónicos de jurel realizados en alta mar frente a Chile central.
Tabla D2.6.5.	Matriz de correlación entre las series de tiempo de la fracción de jurel menor a 25 cm LH (transformación logito). Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).
Tabla D2.6.6.	Matriz de correlación entre las series de tiempo de la longitud promedio de jurel en fracción menor a 25 cm LH. Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).
Tabla D2.6.7.	Matriz de correlación entre las series de tiempo de la longitud promedio de jurel en fracción mayor a 25 cm LH. Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).
Tabla D2.6.8.	Matriz de correlación entre las series de tiempo de la longitud promedio de jurel en las capturas. Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).
Tabla D2.6.9.	Número de localidades y de otolitos obtenidos para el análisis de la tasa de crecimiento en peso de jurel.
Tabla D2.6.10.	Análisis de covarianza entre el logaritmo del peso del otolito, efecto de la zona y como co-variable el logaritmo de la longitud del pez.
Tabla D2.6.11.	Análisis de covarianza entre el logaritmo del peso del otolito, efecto de la zona y como co-variable el logaritmo de la longitud del pez (LH).
Tabla D2.6.12.	Análisis de covarianza entre el logaritmo del peso del otolito, efecto de la zona y como co-variable el logaritmo de la longitud del pez (LH) sin incluir los datos de Nueva Zelanda.
Tabla D2.6.13.	Análisis de varianza para el factor de condición de jurel entre meses y zonas.
Tabla D2.6.14.	Análisis de varianza para el índice gonadosomático de jurel entre meses y zonas.
Tabla D2.6.15.	Análisis de varianza para el índice gonadosomático de jurel entre clases de tamaño, meses y zonas.



Tabla D2.7.1.	Valores de salinidad y temperatura en que esta caracterizado el FST y el FSA.
Tabla E1.	Tipos de marcas a ser usadas.
Tabla E2.	Fuerza (kg) de resistencia promedio registrada en distintos puntos de inserción ensayados para anclajes de marcas T-bar y X-Tag.
Tabla E3.	Cronología de trámites realizados en la implementación del centro de cautiverio de jurel al interior de la Segunda Zona Naval.
Tabla E4.	Resumen de los análisis realizados para la muestra de agua de fondo.
Tabla E5.	Valores de los principales parámetros abióticos en los cuales se distribuye el jurel en zona de pesca en otoño de 2009.
Tabla E6.	Registro de la supervivencia de los ejemplares de jurel, durante la marea 1.
Tabla E7.	Registro de los recambios de agua realizados durante la marea 2.
Tabla E8.	Experiencias de traslado realizadas desde febrero a julio de 2009.
Tabla E9.	Supervivencia de los ejemplares de jurel registrada durante su traslado desde zona de pesca hasta puerto Coronel.
Tabla E10.	Transporte efectivos con entrada de jureles a la balsa jaula.
Tabla E11.	Mareas realizadas en naves artesanales para efectuar recolección de ejemplares de jurel.
Tabla E12.	Monitoreo de ejemplares ingresados al centro de cautiverio.
Tabla E13.	Implementación de los experimentos de “mesocosmos” realizados en los distintos PAM de la flota de cerco industrial.
Tabla E14.	Concentraciones de aplicación del anestésico y tiempo efectivo de su efecto.
Tabla E15.	Síntomas y tiempos (min) de duración de cada uno.
Tabla E16.	Principales situaciones y sucesos ocurridos durante el monitoreo del experimento de la marea 2.
Tabla E17.	Análisis factorial de varianza de dos vías, realizado para la mortalidad de jureles en 48 h de experimentación. V001 (tratamiento control);



V002 (tratamiento con marcas de inserción); V001*V002 (interacción de ambos tratamientos). La significancia estadística se representa por P.

- Tabla E18.** Análisis factorial de varianza de dos vías, realizado para la mortalidad de jureles en 72 h de experimentación. V001 (tratamiento control); V002 (tratamiento con marcas de inserción); V001*V002 (interacción de ambos tratamientos). La significancia estadística se representa por P.
- Tabla E19.** Análisis factorial de varianza de dos vías, realizado para la mortalidad de jureles en 96 h de experimentación. V001 (tratamiento control); V002 (tratamiento con marcas de inserción); V001*V002 (interacción de ambos tratamientos). La significancia estadística se representa por P.
- Tabla E20.** Ejemplo de la matriz de recapturas para un modelo de marcaje en jurel.
- Tabla E21.** Estimaciones de λ y F anual con su respectivo error estándar (ES) y coeficiente de variación (CV). La mortalidad natural se dejó fija por año con un valor de $M=0.3$.
- Tabla E22.** Propuesta para un programa regional de marcado de Atúnes 2010-2012.
- Tabla E23.** Descripción de los costos involucrados en el programa de marcaje de jurel a implementar por 3 años.
- Tabla E24.** Descripción de los costos involucrados en el programa de marcaje de jurel a implementar por 3 años.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura C1.	Distribución de <i>Trachurus murphyi</i> en el Pacífico Sur.
Figura D1.1.	Lugares identificados para tomar muestras de jurel.
Figura D1.2.	Lugares con muestras efectivas de jurel.
Figura D.1.3.	Puntos de interés para las mediciones de morfometría.
Figura D.1.4.	Imagen representativa de un ejemplar de jurel con alfileres en las inserciones de las aletas.
Figura D1.5.	Medidas entre distintos puntos (hitos) del otolito sagitta izquierdo de jurel, registradas con el software Image-Pro Plus Otolito. Las medidas son descritas en el párrafo anterior.
Figura D1.6.	Frecuencias de longitud de jurel extraídas de áreas de muestreo.
Figura D1.7.	Frecuencias de longitud de jurel seleccionadas aleatoriamente para análisis de ICPMS.
Figura D2.1.1.	Perfiles (e.g.) de loci microsatélites aislados de la primera librería genómica <i>T. murphyi</i> .
Figura D2.1.2.	Frecuencia de los loci, TmurA101, TmurA104, TmurA115 y TmurB2, para cada población analizada.
Figura D2.1.3.	Frecuencia de los loci, TmurB6, TmurB104, TmurB116 y TmurC4, para cada población analizada.
Figura D2.1.4.	Frecuencia de los loci, TmurC12, TmurC102, TmurC104 y TmurC109a, para cada población analizada.
Figura D2.1.5.	Frecuencia de los loci, TmurC110, TmurD5, TmurD8 y TmurD112, para cada población analizada.
Figura D2.2.1.	Distribución por tallas de los ejemplares analizados en un gradiente latitudinal. Muestras de Chiloé y Nueva Zelanda, fuera del gradiente latitudinal.
Figura D2.2.2.	Tendencia latitudinal en prevalencia de infección, para 9 especies de parásitos metazoos del jurel.



- Figura D2.2.3.** Tendencia latitudinal en Intensidad media de infección, para 9 especies de parásitos metazoos del jurel.
- Figura D2.2.4.** Intensidad media de infección por localidad, para *L. trachuri*
- Figura D2.2.5.** Intensidad media de infección por localidad, para *Rocinela* sp.
- Figura D2.2.6.** Intensidad media de infección por localidad, para *S. filiferum*.
- Figura D2.2.7.** Intensidad media de infección por localidad para *N. surmenicola*.
- Figura D2.2.8.** Intensidad media de infección por localidad, para *R. trachuri*.
- Figura D2.2.9.** Intensidad media de infección por localidad, para *Anisakis* sp.
- Figura D2.2.10.** Intensidad media de infección por localidad para *Pseudoterranova* sp.
- Figura D2.2.11.** Intensidad media de infección por localidad, para larvas de Anisakido no identificada.
- Figura D2.2.12.** Análisis de correspondencia para intensidad media de infección considerando todas las especies de parásitos.
- Figura D2.2.13.** Análisis de correspondencia para intensidad media de infección considerando las especies de parásitos con prevalencia superior al 5% en al menos una localidad.
- Figura D2.2.14.** Análisis de correspondencia para prevalencia de infección considerando todas las especies de parásitos.
- Figura D2.2.15.** Análisis de correspondencia para prevalencia de infección considerando las especies de parásitos con prevalencia superior al 5% en al menos una localidad.
- Figura D.2.4.1.** Relaciones entre los índices de forma y la longitud horquilla del pez (LH). Hacia la izquierda se presentan la dispersión de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinación de los ajustes. Los índices de forma corresponden a: FF: factor de forma; Red: redondez; Circ.: circularidad; Rect.: rectangularidad; Elipt.: elipticidad.



- Figura D.2.4.2.** Relaciones entre las distintas variables morfométricas, medidas entre distintos hitos o puntos del otolito. Se incluye además la longitud horquilla del pez (LH), el diámetro máximo (Dmax) y el diámetro mínimo del otolito (Dmin). Hacia la izquierda se presentan la dispersión de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinación de los ajustes. El significado de cada variable se presenta en la metodología y figura D2.4.1.
- Figura D.2.4.3.** Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales (ACP). A) Relación entre la primera y la segunda componente, B) relación entre la primera y tercera componente.
- Figura D.2.4.4.** Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales. Se muestra la relación entre la tercera y la segunda componente.
- Figura D.2.4.5.** Reconstrucción de los contornos de otolitos para la zona de Coquimbo utilizando un conjunto de 30 DF.
- Figura D.2.4.6.** Reconstrucción de los contornos de otolitos para la zona de Nueva Zelanda utilizando un conjunto de 30 DF.
- Figura D.2.4.7.** Ordenamiento multidimensional de la matriz de distancia de los DF en cada zona de muestreo (stress=0.078) y clasificación discriminante (línea) para categorizar cluster de otolitos con similares armónicos coseno (largo otolito) y seno (ancho otolito)
- Figura D.2.4.8.** Ordenamiento multidimensional de la matriz de distancia de los DF en cada zona de muestreo (stress=0,078) y clasificación discriminante (línea) para categorizar cluster de otolitos con similares formas de contornos.
- Figura D2.5.1.** Química del borde del otolito: concentración media de Mg/Ca, Sr/Ca y Ba/Ca. La ds se muestra en barras.
- Figura D2.5.2.** Química del borde de otolitos: Relaciones entre jurel individual de diferentes áreas de muestreo usando escalamiento multidimensional no-métrico basado en distancias euclidianas. Estrés= 0,14.
- Figura D2.5.3.** Química del núcleo del otolito: concentración media de Mg/Ca, Sr/Ca y Ba/Ca. La ds se muestra en barras.
- Figura D2.5.4.** Química del núcleo del otolito: Relaciones entre jurel individual de diferentes áreas de muestreo usando escalamiento multidimensional no-métrico basado en distancias euclidianas. Estrés= 0,14.



- Figura D2.5.5.** Química del núcleo de los otolitos: Resultados del análisis de conglomerados de jurel.
- Figura D2.6.1.** Cambios estacionales en la posición de los barcos rusos que operaron en el Pacífico Sur entre 1984 y 1987, A: Octubre-Diciembre; y B: Abril-Junio (obtenida de Parrish, 1989).
- Figura D2.6.2.** Estacionalidad de la pesca de jurel por la flota de altura rusa que operó en el Pacífico Sur: a) otoño-invierno, y b) primavera-verano. 1: < 1 ton/hora de arrastre; 2: 1 a 5 ton/h; y 3) > 5 ton/h (obtenida de Nekrasov *et al.* 1994).
- Figura D2.6.3.** Estacionalidad de las capturas de jurel (miles de toneladas) en la costa peruana durante 1985 – 2003 (Fuente: IMARPE).
- Figura D2.6.4.** Desembarques de jurel en Perú (Fuente: IMARPE).
- Figura D2.6.5.** Distribución de los valores ecointegrados de jurel en verano-otoño frente a la costa del Perú (1996-2007, Fuente: IMARPE).
- Figura D2.6.6.** Biomasa acústica de jurel frente a Perú (Fuente: IMARPE).
- Figura D2.6.7.** Biomasa acústica de jurel frente a Perú, por sectores: Norte (3°-7°S), Centro (7°-14°S), y sur (14°-18°S) (Obtenido de Ñiquen & Peña 2008).
- Figura D2.6.8.** Biomasa acústica de jurel en invierno, zona comprendida entre Arica y Coquimbo.
- Figura D2.6.9.** Distribución de la biomasa de jurel evaluada acústicamente en la primavera de 2007 (obtenida de Castillo, 2008).
- Figura D2.6.10.** Distribución de huevos de jurel (huevos por 10 m²) durante el pico reproductivo frente a Chile central (obtenido de Núñez *et al.* 2008).
- Figura D2.6.11.** Composición por tallas (%) de jurel en las capturas de la flota de cerco de las zonas Norte (Arica-Antofagasta), Centro-Norte (Caldera-Coquimbo), Centro-Sur de Chile (azúles) y de la flota de altura rusa (rojo) que operó con red de media agua por fuera de la ZEE frente a Chile (20°S-40°S).
- Figura D2.6.12.** Estadístico de comparación de la composición por tallas de jurel en las pesquerías de cerco de la zona norte (ZNCh), zona centro-norte (ZCNCh) y zona centro-sur (ZCSCh) versus la pesquería de altura rusa que operó en la Subdivisión Sur, por fuera del límite de 200 millas náuticas frente a Chile.



- Figura D2.6.13.** Composición por tallas (%) de jurel en la zona norte (3° - 7° S), centro (7° - 14° S), y sur (14° - 18° S) de Perú (1995-1999).
- Figura D2.6.14.** Cambios anuales en la proporción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas norte (ZNCh: Arica-Antofagasta), centro-norte (ZCNCh: Caldera-Coquimbo), centro-sur (ZCSCh: San Antonio-Valdivia), de la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE (SDS), y en las capturas de Perú.
- Figura D2.6.15.** Cambios anuales en el logito de la proporción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas norte (ZNCh: Arica-Antofagasta), centro-norte (ZCNCh: Caldera-Coquimbo), centro-sur (ZCSCh: San Antonio-Valdivia), de la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE (SDS), y en las capturas de Perú.
- Figura D2.6.16.** Cambios anuales en la proporción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla (transformación logito) en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.
- Figura D2.6.17.** Cambios anuales en la longitud promedio de la fracción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.
- Figura D2.6.18.** Cambios anuales en la longitud promedio de la fracción de jurel mayor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.
- Figura D2.6.19.** Cambios anuales en la longitud promedio de jurel en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.
- Figura D2.6.20.** Relación entre el peso del otolito (mg) y la longitud (cm) de los especímenes de jurel por zonas de estudio.
- Figura D2.6.21.** Residuales de la relación potencial entre el peso del otolito y la longitud de jurel, según zona.



- Figura D2.6.22.** Peso del otolito (mg) y su relación con la edad, longitud del pez, y peso del pez por localidad.
- Figura D2.6.23.** Peso del otolito (mg) de jurel por localidad
- Figura D2.6.24.** Variación mensual y entre zonas del factor de condición (FC) de jurel.
- Figura D2.6.25.** Variación mensual y entre zonas del índice gonadosomático (IGS) de jurel.
- Figura D2.7.0.** Batimetría de la zona del Pacífico sur oriental basada en la topografía de 2' de resolución espacial de Sandwell and Smith (1996). http://topex.ucsd.edu/marine_topo/text/topo
- Figura D2.7.1.** Esfuerzo del viento sobre el Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de esfuerzo del viento generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del esfuerzo del viento, respectivamente.
- Figura D2.7.2.** Esfuerzo del viento sobre el Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de esfuerzo del viento generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del esfuerzo del viento, respectivamente.
- Figura D2.7.3.** Transporte (Sv) integrado en superficie (primeros 50 metros) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están calculados a partir de los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del transporte, respectivamente. $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.



- Figura D2.7.4.** Corrientes superficiales (primeros 50 metros) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial de la corriente, respectivamente.
- Figura D2.7.5.** Transporte (Sv) integrado en superficie (primeros 50 metros) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están calculados a partir de los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del transporte, respectivamente. $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- Figura D2.7.6.** Corrientes superficiales (primeros 50 metros) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial de la corriente, respectivamente.
- Figura D2.7.7.** Energía cinética del Pacífico Sur durante el periodo 1992-2007; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en datos semanales de anomalía del nivel del mar de los satélites ERS, Jason y TOPEX-Poseidon. Los datos del periodo diciembre de 1993 - marzo de 1995 no fueron considerados para el cálculo de EKE, debido al menor número de satélites operando en este periodo y a la baja confiabilidad de los datos.
- Figura D2.7.8.** Energía cinética del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1992-2007; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre,



correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en datos semanales de anomalía del nivel del mar de los satélites ERS, Jason y TOPEX-Poseidon. Los datos del periodo diciembre de 1993 - marzo de 1995 no fueron considerados para el cálculo de EKE, debido al menor número de satélites operando en este periodo y a la baja confiabilidad de los datos.

Figura D2.7.9. Temperatura superficial (primeros 50 metros) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de temperatura del mar generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La línea gruesa negra corresponde al contorno de 16°C, el cual se ha reportado como límite inferior de la distribución de huevos de jurel (Gretchina *et al.*, 1998).

Figura D2.7.10. Temperatura superficial (primeros 50 metros) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de temperatura del mar generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La línea gruesa negra corresponde al contorno de 16°C, el cual se ha reportado como límite inferior de la distribución de huevos de jurel (Gretchina *et al.*, 1998).

Figura D2.7.11. Salinidad superficial (promedio de los primeros 50 metros) en el Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de salinidad generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad.



- Figura D2.7.12.** Salinidad superficial (promedio de los primeros 50 metros) en el Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de salinidad generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad.
- Figura D2.7.13.** Concentración de clorofila-a satelital SeaWiFS en el Pacífico Sur durante el periodo 1997-2007; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los contornos negros representan las concentraciones de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 y 1 mg m⁻³. Las líneas de contorno gris representan el porcentaje de datos faltantes, asociados principalmente a la cobertura nubosa.
- Figura D2.7.14.** Concentración de clorofila-a satelital SeaWiFS en el Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1997-2007; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los contornos negros representan las concentraciones de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 y 1 mg m⁻³. Las líneas de contorno gris representan el porcentaje de datos faltantes, asociados principalmente a la cobertura nubosa.
- Figura D2.7.15.** Profundidad de la capa de mezcla (H_{mix}) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Este campo fue estimado con la metodología descrita por Lorbacher *et al.* (2005), empleando perfiles de temperatura generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3. Los contornos grises corresponden al promedio del índice de calidad de las estimaciones de H_{mix} : valores mayores que 0.8 indican que H_{mix} se encuentra bien definida; entre 0.5 y 0.8 H_{mix} posee un mayor grado de incertidumbre; valores menores a 0.5 indica que la variabilidad vertical en los perfiles considerados no hace posible una estimación apropiada de H_{mix} .



- Figura D2.7.16.** Profundidad de la capa de mezcla (H_{mix}) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Este campo fue estimado con la metodología descrita por Lorbacher *et al.* (2005), empleando perfiles de temperatura generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3.
- Figura D2.7.17.** Temperatura superficial del mar promedio entre 1958-2005 obtenida de datos SODA con contornos de salinidad y temperatura que muestran la ubicación estacional del FST (negro-salinidad y magenta-temperatura) y FSA (rojo-salinidad y azul-temperatura). Cada uno de estos frentes se identificó con un rango de salinidad: FST (34,65 y 34,85 psu) y FSA (34,1 y 34,2 psu), cuyos valores de temperatura asociados variaron estacionalmente.
- Figura D2.7.18.** Temperatura superficial del mar promedio entre 1958-2005 en el PSO, obtenida de datos SODA con contornos de salinidad y temperatura que muestran la ubicación estacional del FST (negro-salinidad y magenta-temperatura) y FSA (rojo-salinidad y azul-temperatura). Cada uno de estos frentes se identificó con un rango de salinidad: FST (34,65 y 34,85 psu) y FSA (34,1 y 34,2 psu), cuyos valores de temperatura asociados variaron estacionalmente.
- Figura D2.7.19.** Distribución espacial de la varianza total de la TSM del periodo 1985-2006, obtenida a partir de imágenes promedio semanales de 4 km del programa de reanálisis de información satelital PATHFINDER perteneciente a la PODAAC. Las figuras muestran la zona de Perú (a) y el norte de Chile (b).
- Figura D2.7.20.** Distribución espacial de la varianza total de la TSM del periodo 1985-2006, obtenida a partir de imágenes promedio semanales de 4 km del programa de reanálisis de información satelital PATHFINDER perteneciente a la PODAAC. Las figuras muestran la zona central (a) y zona sur de Chile (b).
- Figura D2.7.21.** Estaciones de muestreo de la zona de desove de jurel y su proyección hacia el océano interior.
- Figura D2.7.22.** Distribución espacial promedio de la temperatura superficial del mar en el área de desove de jurel frente a Chile central. Periodo 1985-2007 (Panel superior) y Noviembre de 1985-2007 (Panel inferior).
- Figura D2.7.23.** Variabilidad temporal de la temperatura superficial del mar en el área de desove de jurel frente a Chile central.



- Figura D2.7.24.** Variabilidad temporal de la desviación estándar de la temperatura superficial del mar en el área de desove de jurel frente a Chile central. Período 1985-2007.
- Figura D2.7.25.** Distribución espacial promedio de la clorofila en el área de desove de jurel frente a Chile central. Período 1985-2007(Panel superior) y Noviembre de 1985-2007(Panel inferior).
- Figura D2.7.26.** Variabilidad temporal de la clorofila en el área de desove de jurel frente a Chile central para el período 1997-2008.
- Figura D2.7.27.** Campo promedio de la energía cinética ($\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$) para la región comprendida entre 30-40°S y 75-100°W.
- Figura D2.7.28.** Serie promedio semanal de la anomalía de la energía cinética ($\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$) en la región comprendida entre 30-40°S y 75-100°W, para el periodo octubre de 1992 – febrero de 2008.
- Figura E1.** PIT tags implantable de plástico distribuido por Hallprint's.
- Figura E2.** PIT tags en combinación con T-Bar (TBA) con pistola de inserción de T-Bar.
- Figura E3.** Marca electrónica de archivo LAT2510.
- Figura E4.** Posición de la marca satelital y marca convencional (amarilla) dispuestas sobre un Marlin blanco marcado en la región central del Atlántico.
- Figura E5.** Marca de archivo del tipo Pop-up modelo X-Tag.
- Figura E6.** X-Tag con sistema de inserción tipo “umbrella” (*Gentileza Dra. Lutcavage, Larger Pelagics Research Center*).
- Figura E7.** Método de inserción de X-Tag probado en atunes con sistema de inserción tipo “umbrella” (TenBruggencate, 2008).
- Figura E8.** Umbrella Dart medium y small (blanco) elaborada por el Dr. Michael Domeier.
- Figura E9.** Ejemplar de jurel descongelado para disección y práctica de marcaje.
- Figura E10.** Aleta dorsal 1, pterigóforos y radios de aleta en jurel.
- Figura E11.** Corte longitudinal costado de la aleta dorsal 1, con presencia de una marca de prueba anclada entre pterigóforos y músculo (círculo rojo).



- Figura E12.** Etiqueta electrónica X-tag, aparatos de inserción y dardos “M” y “S”.
- Figura E13.** Revisión del lugar dorsal interno del ejemplar donde se ha anclado el dardo.
- Figura E14.** Dardo anclado donde se observa la exposición de la vaina que cubre el monofilamento.
- Figura E15.** Punto de referencia de inserción de la marca entre la línea accesoria y primeros radios de la aleta dorsal 1(círculo rojo).
- Figura E16.** Secuencia de inserción de la marca interna LAT2510.
- Figura E17** Posicionamiento de la inserción de las marcas en el cuerpo del jurel.
- Figura E18.** Esquema general área de emplazamiento del proyecto (delineado en color rojo). Rada El Manzano, Talcahuano. Extraído de Carta SHOA N° 6110 (Datum WGS 84).
- Figura E19.** Porcentajes del tipo de sedimento para la muestra de sedimento.
- Figura E20.** Perfiles realizados con CTDO-F el 1 de julio 2009 (arriba) y el 2 de julio de 2009 (abajo). a) Temperatura; b) Salinidad; c) Densidad; d) Oxígeno; e) Clorofila.
- Figura E21.** Diseño de tren de balsas jaulas y disposición de los fondeos.
- Figura E22.** Elementos que integran la estructura de una jaula. F: flotador. C: columna. P.E: panel intermedio. 609-1 a 4: vigas (4 tipos). 66: Soporte intermedio. 100: cumple dos funciones (R): rigidizador y (S): viga soportadora del panel entre columnas. 105: viga de soporte de panel entre vigas.
- Figura E23.** Foto balsa jaula a utilizar en los experimentos de marcaje de jurel.
- Figura E24.** Registro de la temperatura del agua de mar, registradas en el bins, durante las experiencias realizadas durante la primera marea.
- Figura E25.** Registro de la temperatura del agua de mar, registradas en el bins, durante las experiencias realizadas en la segunda marea.
- Figura E26.** Tacho recolector de jureles vivos desde el copo de la red de pesca, utilizados en el PAM Lonco (A) y PAM Ventisquero (B).
- Figura E27.** Variación del número de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 1 durante el regreso a puerto (PAM LONCO).



- Figura E28.** Variación del número de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 2 durante el regreso a puerto (PAM LONCO).
- Figura E29.** Variación del número de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 4 durante el regreso a puerto (PAM Ventisquero).
- Figura E30.** Variación del número de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 5 durante el regreso a puerto (PAM Ventisquero).
- Figura E31.** Curvas de mortalidad de los ejemplares de jurel, mantenidos en cautiverio en bins durante el traslado a puerto desde zona de pesca, registrado durante el invierno de 2009.
- Figura E32.** Desembarque de bins desde el pesquero a la embarcación auxiliar en puerto Coronel (a) y embarque bins en embarcación auxiliar con dirección al centro de cautiverio en bahía de Concepción (b).
- Figura E33.** Estado inicial de los jureles traídos desde zona de pesca antes del traslado por tierra hacia el centro de cautiverio (a) y estado resultante del traslado antes de su introducción en la balsa jaula (b).
- Figura E34.** Deterioro de la piel observado en mayor detalle de los jureles después de ser trasladados desde el puerto de Coronel por tierra al centro de cautiverio (a) y deterioro de la piel de la boca (b).
- Figura E35.** Estado del jurel, observado bajo la condición de sedación.
- Figura E36.** Registro fotográfico del único jurel marcado con X-Tag en el bins.
- Figura E37.** Etiqueta LAT2510 insertada en la cavidad peritoneal.
- Figura E38.** Estructura de tamaños de jurel obtenida en el lance de pesca N°1 de la marea N° 5.
- Figura E39.** Inserción de la marca T-bar moldeada con una PIT, sobre un ejemplar juvenil de jurel vivo anestesiado.
- Figura E40.** Nado circular de ejemplares juveniles de jurel marcados con T-bar moldeada con una PIT, en un bins.
- Figura E41.** Marcaje de jurel juvenil con marca LAT2510.
- Figura E42.** Nado circular de ejemplares juveniles de jurel marcados con LAT2510, en un bins.
- Figura E43.** Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N°5.



- Figura E44** Ejemplar de jurel juvenil marcado con T-bar moldeada con PIT, evidenciando p3rdida de escamas.
- Figura E45** Estructura de tama1os de jurel obtenida en el lance de pesca N1 de la marea N1 6.
- Figura E46** Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N16.
- Figura E47.** Estructura de tama1os de jurel obtenida en el lance de pesca N1 de la marea N1 7.
- Figura E48** Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N17.
- Figura E49.** Estructura de tama1os de jurel obtenida en el lance de pesca N1 de la marea N1 8.
- Figura E50** Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N18.
- Figura E51.** Estructura de tama1os de jurel obtenida en el lance de pesca N1 de la marea N1 9.
- Figura E52** Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N19.
- Figura E53** Mortalidad relativa promedio de ejemplares de jurel, observada en los tratamientos control y de marcas de inserci3n (marca Lotek y TBA), durante las 48 h de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 222 (jureles disponibles); n=5 (mareas); +/- desviaci3n est1andar.
- Figura E54** Mortalidad relativa promedio de ejemplares de jurel, observada en los tratamientos control y de marcas de inserci3n (marca Lotek y TBA), durante las 72 h de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 182 (jureles disponibles); n=4 (mareas); +/- desviaci3n est1andar.
- Figura E55** Mortalidad relativa promedio de ejemplares de jurel, observada en los tratamientos control y de marcas de inserci3n (marca Lotek y TBA), durante las 96 h de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 144 (jureles disponibles); n=3 (mareas); +/- desviaci3n est1andar.
- Figura E56** Comportamiento de la mortalidad relativa total (a) y acumulada (b) de ejemplares de jurel, que incluyeron todas las mareas (5), observada en los tratamientos control y de marcas de inserci3n (marca Lotek y TBA), durante las 120 horas de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 219 (jureles disponibles).



- Figura E57.** Concentración de glucosa y colesterol plasmático en Jurel.
- Figura E58.** Concentración de lactato y calcio plasmático en Jurel.
- Figura E59.** Concentración de fósforo y urea plasmática en Jurel.
- Figura E60.** Concentración de proteínas totales y albúmina plasmática en Jurel.
- Figura E61.** Actividad de LDH plasmática en Jurel para los distintos experimentos.
- Figura E62.** Variación en la concentración de glucosa plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E63.** Variación en la concentración de colesterol plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E64.** Variación en la concentración de lactato plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E65.** Variación en la concentración de calcio plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E66.** Variación en la concentración de fósforo plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E67.** Variación en la concentración de urea plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E68.** Variación en la concentración de proteínas totales plasmáticas durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E69.** Variación en la concentración de albúmina plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E70.** Variación en la actividad de LDH plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.
- Figura E71.** Actividad de MDH en músculo blanco, músculo rojo, hígado y gónada de Jurel para los distintos experimentos.
- Figura E72.** Actividad de LDH en músculo blanco, músculo rojo, hígado y gónada de Jurel para los distintos experimentos.
- Figura E73.** Actividad de ETS en músculo blanco, músculo rojo, hígado y gónada de Jurel para los distintos experimentos.



ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Isolation and characterization of microsatellite loci for the jack Mackerel (*Trachurus murphyi* Nichols, 1920).
- Anexo 2.** Personal participante por actividad Proyecto FIP N° 2007-27.
- Anexo 3.** Fotografías de jurel morfometría y marcaje (en CD).
- Anexo 4.** Base de datos Proyecto FIP N° 2007-27 (en CD).



A. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del proyecto es determinar unidades poblacionales de jurel existentes en el Pacífico Sur y estudiar procesos migratorios de este recurso.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar unidades poblacionales de jurel en la ZEE de Chile y otras regiones del Pacífico Sur mediante marcadores y técnicas de diferenciación genética.
2. Determinar unidades poblacionales de jurel en la ZEE de Chile y otras regiones del Pacífico Sur mediante marcadores ecológicos y de diferenciación de stocks.
3. Identificar tipos de marcas y evaluar su desempeño en el jurel a través de experimentos controlados.
4. Evaluar en términos estadísticos el número de marcas requeridas para estudiar desplazamientos en el jurel y elaborar un diseño técnico-operacional del programa de marcaje.

Debido a que bajo el título de este proyecto se acogen en realidad dos proyectos completamente diferentes, en la Propuesta Técnica se indicó que de acuerdo con la naturaleza de los objetivos específicos el proyecto puede ser dividido en dos sub-proyectos: determinación de las unidades de stock del jurel en toda su distribución e identificación del tipo de marcas adecuadas para estudiar el proceso



migratorio de jurel. Los primeros dos objetivos específicos corresponden con la determinación de unidades de stock y los restantes con la identificación de marcas. Si bien el marcaje es una técnica que también puede ser utilizada para diferenciar stocks, en esta etapa se solicita identificar y evaluar marcas para estudios de migración del jurel. Por tanto la propuesta fue ordenada de esta manera y la misma consideración se ha aplicado a los informes. No obstante, en este informe se buscó una organización que se ajuste mejor con la estructura identificada en las bases administrativas para cada proyecto y la mejor integración de los resultados y conclusiones de acuerdo con los objetivos específicos identificados para cada “sub-proyecto” y que apuntan a un objetivo general diferente. Consecuentemente en el párrafos D se responde a los objetivos específicos asociados con las unidades poblacionales del jurel y en el E a los asociados con las marcas para el jurel.

C. ANTECEDENTES

El jurel presenta una amplia distribuci3n en el Oci3ano Pac3fico Sur-Oriental. Por el norte llega hasta 1° 38'N (Ecuador) y alrededor de las Islas Gal3pagos y por el sur hasta el extremo de Chile (55°S) (Serra, 1991). Su distribuci3n sobrepasa el l3mite de las 200 mn de la ZEE frente a Per3, en tanto que frente a Chile sobrepasa las 1000 mn (**Figura C1**). Esta especie expandi3 su distribuci3n colonizando hacia el oeste a trav3s de la corriente de Deriva del Oeste. Fue detectado a mediados de la d3cada 1980 cerca de Nueva Zelandia (Evsenko, 1987, Bailey, 1989, Serra, 1991) y posteriormente hasta las aguas en torno de Tasmania. Su presencia es detectada en aguas de Nueva Zelandia por primera vez en 1987 (Kasahara *et al.*, 1988, **En:** Taylor, 2002). Tambi3n expandi3 su distribuci3n hacia el Ecuador, donde las capturas registradas son m3s bien bajas (Menz, 1986).

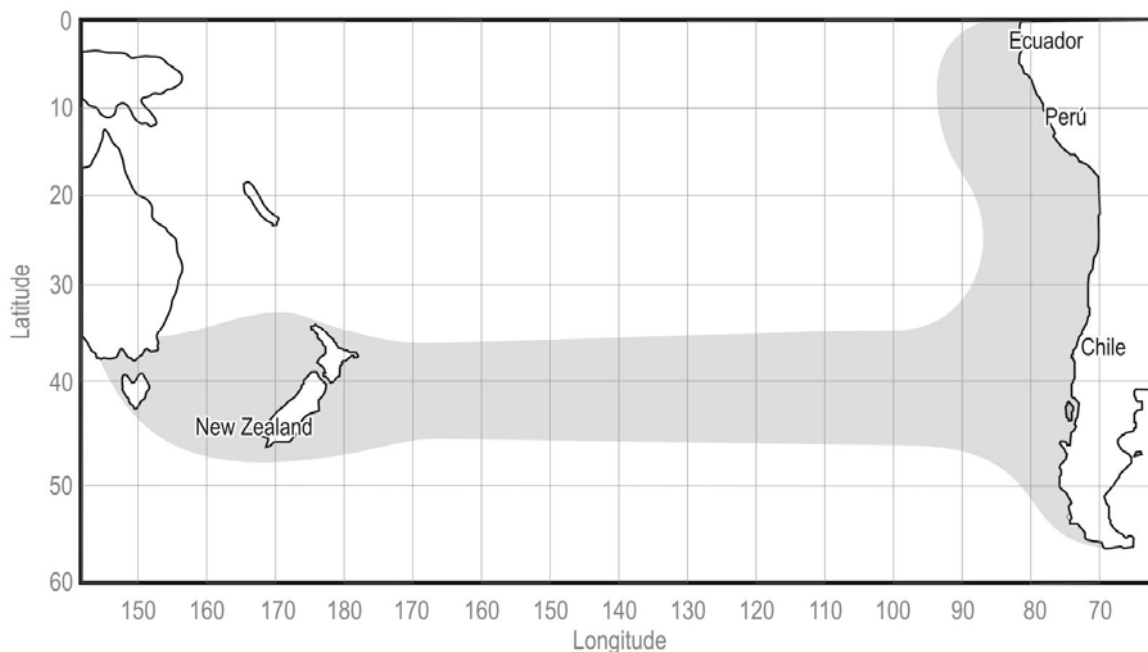


Figura C1. Distribuci3n de *Trachurus murphyi* en el Pac3fico Sur.



El jurel chileno pertenece al grupo “picturatus” junto con *T. symmetricus* del hemisferio norte y *T. picturatus* del Atl3ntico; es el grupo m3s evolucionado del g3nero *Trachurus* y que desarroll3 un comportamiento ner3tico-oce3nico, lo que explica la amplia distribuci3n del jurel chileno hacia la Alta Mar y el desarrollo de su ciclo de historia natural en ambos sistemas (Serra, 1991).

El jurel es explotado en toda su distribuci3n. Existen pesquer3as en Ecuador, Per3, Chile, en la Alta Mar por una flota internacional y en Nueva Zelandia. Por el gran volumen de sus capturas en el Pac3fico Suroriental es uno de los recursos pesqueros m3s importantes de la regi3n.

La problem3tica de la definici3n de la estructura gen3tica poblacional que presentaría esta especie en su distribuci3n en el Pac3fico Sur, ha sido abordada en variados estudios existiendo diversas posiciones en la literatura dependiendo tambi3n de la aproximaci3n metodol3gica utilizada para tal fin.

La problem3tica de la estructura poblacional del jurel es un tema que no obstante revisado en comités t3cnicos convocados por SUBPESCA, a3n contiene un grado de controversia que afecta el manejo de la pesquer3a nacional. Por otra parte y en relaci3n con la problem3tica de recurso transzonal y por el trabajo que se realiza desde hace algunos a3os para el establecimiento de la Organizaci3n Regional de Ordenamiento Pesquero del Pac3fico Sur (OROP-PS) y la operaci3n de pesca de barcos de pa3ses distantes que operan frente a Chile en la zona adyacente a la ZEE, el tema ha cobrado nueva relevancia. Cabe anotar que durante la Segunda Reuni3n Internacional de la OROP-PS realizada en Hobart, Tasmania, en noviembre de 2006, el Grupo de Trabajo Cient3fico recomend3 la realizaci3n de un proyecto de investigaci3n para abordar este problema. En la Tercera Reuni3n Internacional realizada a fines de abril en Re3aca, Chile, la delegaci3n cient3fica nacional entreg3 para discusi3n un documento donde destaca el enfoque



multidisciplinario para abordar el problema; asimismo resalta aspectos relevantes a ser considerados en la ejecución de un proyecto regional y la experiencia en Chile sobre la materia debido a los trabajos realizados utilizando técnicas genéticas, análisis morfométrico, parásitos y patrones de historia natural. Como resultado de esta presentación, nuestro país junto con Rusia, representados por Rodolfo Serra y Alexander Glubokov respectivamente, fueron designados para formular un estudio conjunto a ser realizado por los países que participan del proceso de negociación para la creación de la OROP-PS, propuesta entregada y aceptada en el Taller sobre el Jurel Chileno realizado en Santiago en julio del 2008.

Por tanto, la iniciativa de realizar este estudio por el FIP tiene relevancia tanto para la problemática nacional como también para la internacional en el marco de la OROP-PS.

Asimismo, se determinó necesario iniciar estudios de marcaje de jurel para investigar sus rutas migratorias, responder interrogantes sobre conectividad entre los jureles de diferentes lugares como entre el norte de Chile y el sur del Perú; entre la zona costera con la alta mar; y el norte de Chile con la zona centro sur. Para este propósito se identificó necesaria una primera etapa para identificar la marca más adecuada y diseñar un programa de marcación de jurel, aspectos que forman parte de este estudio.



D. DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA POBLACIONAL DEL JUREL EN EL PACÍFICO SUR.

Los objetivos específicos identifican de manera general el enfoque multidisciplinario de la investigación, la que integrando los resultados de las diferentes técnicas persigue alcanzar el objetivo general, que es la identificación de los stocks de jurel en el Pacífico sur. En esta parte del estudio se responden a los objetivos específicos de determinación de unidades poblacionales con marcadores genéticos, ecológicos y otros de diferenciación de stocks.

D1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

D1.1 Obtención de muestras

En la Propuesta Técnica se había definido realizar el muestreo de los ejemplares de jurel desde octubre a diciembre pero debido al retraso en el inicio del proyecto por la larga demora en el proceso de toma de razón en Contraloría se decidió extender el período a enero. Posteriormente y debido a la dificultad para completar las muestras por localidad en Chile, debido a la escasez que presentó el jurel durante este período, el muestreo se extendió hasta marzo. La dificultad para obtener muestras se presentó también en Ecuador y Perú. La escasez de jurel en Chile se demuestra por no haberse completado la cuota de captura en la pesquería de la zona centro-sur en el 2007 y el déficit de captura durante el primer trimestre del 2008, comparado con años anteriores.

En la **figura D1.1** se muestran los puntos de muestreo definidos en la Propuesta Técnica. Durante la reunión de noviembre del 2007 en Concepción se discutió la viabilidad de obtener muestras en lugares determinados. A esta reunión se invitó a



a participar al Sr. Teobaldo Dioses de IMARPE, institución que aceptó colaborar en la obtención de muestras en el Perú, quién indicó la existencia de escasez de jurel en la zona centro-norte y norte del Perú lo que en definitiva constituyó una gran dificultad para la obtención de muestras allí. Indicó que la biomasa de jurel en la actualidad está concentrada principalmente frente a la zona central y centro-sur del Perú. No obstante lo anterior y debido a su importancia para el estudio, se reafirmó la necesidad de hacer el máximo esfuerzo para obtener muestras al norte de Callao. Respecto de la obtención de muestras desde 120° W hacia el oeste, se estableció su inviabilidad por la falta de un barco que lo permitiera por un tema de autonomía. Esto fue advertido en la Propuesta Técnica y además de la dificultad para disponer de un barco también lo es de presupuesto debido al alto costo que significa navegar hasta esa distancia. Reconocida esta situación se decidió agregar Caldera como nuevo punto de muestreo.

En la Propuesta Técnica se identificó la obtención de muestras entre 100 y 110° O. Este fue un planteamiento sujeto a la obtención de una embarcación con la industria que así lo permitiera. A. Sepúlveda de INPESCA fue nominado para conseguir el barco lo que finalmente no fue posible debido al problema de escasez de jurel durante el último trimestre del 2007 y que como se indicó antes afectó incluso el cumplimiento de la cuota del 2007 y la pesca durante el primer trimestre del 2008. Por esta razón la industria no aceptó poner un barco a disposición para este propósito, amén que también hay un tema de autonomía. La escasez de recurso afectó igualmente la disponibilidad de barcos de la industria para apoyar el crucero de condiciones biológicas del jurel de alta mar (estudio FIP). Este estudio permite estimar la biomasa desovante del jurel y que en esta oportunidad se hizo sólo con 6 barcos pesqueros en vez de los 10 o 12 barcos empleados en años anteriores.



Tambi3n se realiz3 una gesti3n para obtener muestras en los barcos de bandera holandesa en zonas de pesca al oeste de 95° O, la que tampoco tuvo 3xito por no contar estos barcos con observadores cient3ficos a esa fecha.

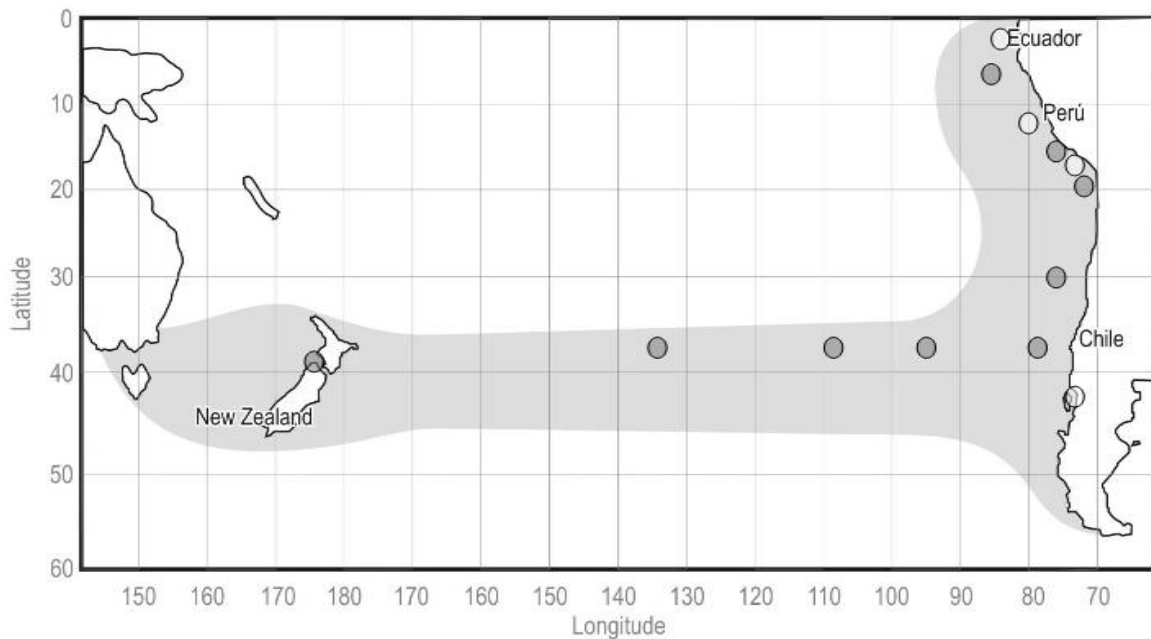


Figura D1.1. Lugares identificados para tomar muestras de jurel.

Las responsabilidades para la obtenci3n de las muestras en Chile fueron definidas de la siguiente manera:

INPESCA	ZCS; se aprovech3 el crucero de condiciones biol3gicas del jurel para este efecto. Se determin3 tomar dos muestras; una en la sub-zona costera en torno a los 80°O y la segunda en una sub-zona oceánica en torno a los 90° O
IFOP	Las muestras de las zonas de Iquique, Caldera, Coquimbo y Pto. Montt (Calbuco).



Las colaboraciones comprometidas por los pa3ses se describen a continuaci3n:

ECUADOR	INP comprometió colaboraci3n para la toma de muestra en puertos y apoyo logístico.
PERÚ	IMARPE comprometió colaboraci3n para la toma de muestra en puertos, cruceros y apoyo logístico.
NUEVA ZELANDIA	El Ministerio de Pesquerías comprometió colaboraci3n para la toma de muestra y su transporte a Chile.

Se elaboraron protocolos para la toma de muestras de jureles, para el almacenamiento congelado de los especímenes y para su procesamiento para obtener de manera simultánea las muestras para las diferentes técnicas y piezas de informaci3n. Se definió la obtenci3n de 150 ejemplares por localidad de muestreo a fin de asegurar una muestra de 100 ejemplares en buen estado.

La informaci3n o las partes (muestras) para nutrir los diferentes métodos (datos morfométricos, parásitos, tejidos y otolitos) debían ser obtenidas del mismo ejemplar lo que generó la necesidad de procesar de manera simultánea los diferentes especímenes. Para ello se identificaron dos lugares donde se centralizaron las muestras y realizar su procesamiento. Estos fueron INPESCA en Talcahuano y la U. de Antofagasta en Antofagasta. Las muestras de Pto. Montt y Talcahuano se procesaron en INPESCA; y las muestras obtenidas en Iquique, Caldera y Coquimbo en Antofagasta.

En relaci3n con la toma de muestras en Ecuador, R. Serra viajó a Guayaquil (3-6/12/2007) para explicar el proyecto y los protocolos de muestreo en el INP. No fue necesario hacerlo en Perú porque la participaci3n del Sr. Teobaldo Dioses en la reuni3n de noviembre 2007 en Concepci3n le permiti3 conocer estos procedimientos en detalle.



Finalmente, es importante destacar que fue cumplida a cabalidad la colaboración comprometida por el INP de Ecuador, IMARPE de Perú y el Ministerio de Pesquerías de Nueva Zelanda.

D.1.1.1 Resultados de la gestión del muestreo

La obtención de las muestras no fue un proceso fácil y expedito, debido a la escasez de jurel tanto en Chile como en Perú y Ecuador. En Ecuador las capturas de jurel disminuyeron fuertemente desde el 2003 a menos de mil toneladas al año, lo que hace muy difícil detectar los escasos desembarques que pudieran ocurrir. Más aún, incluso se piensa que una captura de 700 t obtenida en el 2007 pueda corresponder a otra especie. Por esta razón no se logró obtener una muestra en Ecuador, no obstante el esfuerzo desarrollado por el INP.

En el Perú, la concentración de la biomasa se encuentra localizada frente a la zona central y centro-sur desde el 2002. Durante el período de muestreo y que se extendió hasta mediados de abril del 2008, la zona de pesca se mantuvo en la zona de Paracas. Esto significa que no obstante que durante el período de muestreo se produjeron desembarques en puertos de Callao al norte y en Ilo, estas capturas provenían de la zona de Paracas, según lo informado por el Sr. T. Dioses, investigador del IMARPE. Finalmente, a principios de abril se logró obtener una muestra en el norte del Perú.

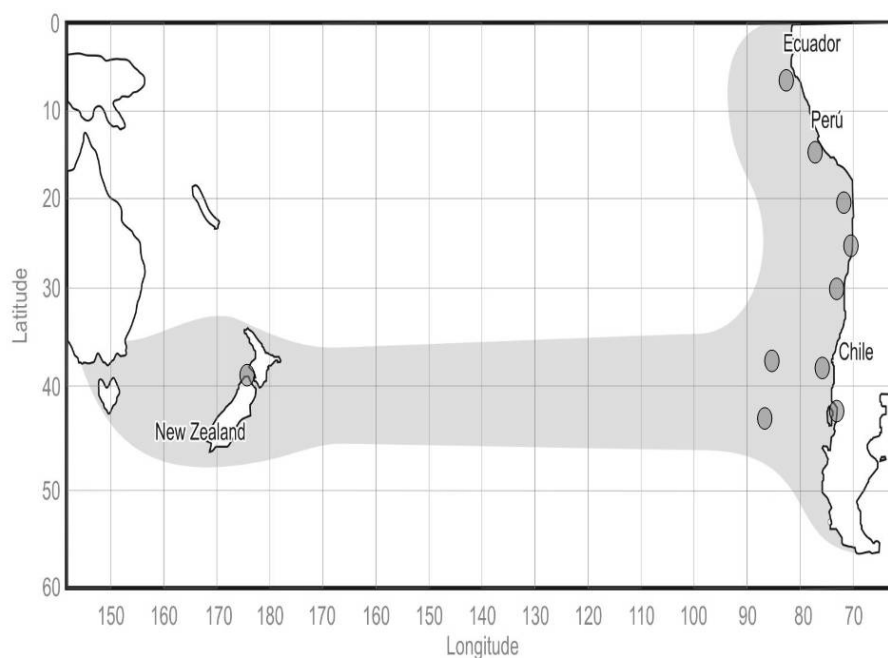


Figura D.1.2. Lugares con muestras efectivas del jurel.

En Chile se obtuvieron muestras en las zonas de Iquique, Caldera, Coquimbo, Talcahuano (zona costera), Talcahuano (zona oceánica durante proyecto de condiciones biológicas del jurel) y Pto. Montt (**Fig. D.1.2**). En Coquimbo se tomó una segunda muestra por haberse desechado parte de la primera por estar en malas condiciones. Finalmente, en abril se decidió tomar una muestra adicional, para aprovechar la oportunidad de la operación de la flota en una zona de pesca ubicada en una zona oceánica al sur de Chiloé, a $44^{\circ} 08'S - 83^{\circ} 51'O$. Cabe destacar que la flota cerquera nacional operó con éxito por primera vez en una zona de pesca tan austral y oceánica.

La escasez de jurel durante el crucero de condiciones biológicas representó un gran problema del muestreo en Chile y que afectó la toma de muestras en aguas oceánicas frente a la zona centro-sur, entre 80 y 90° O. Durante este crucero la cantidad de jureles capturados fue la más baja de la serie de este estudio desde



1999. Esto gener3 problema de suficiencia de muestras para satisfacer los objetivos de ambos proyectos, lo que oblig3 a compensarla con una muestra tomada de la zona costera. No obstante, es importante indicar que los otolitos recolectados en el crucero sealado fueron utilizados en el an3lisis morfom3trico y microqu3mico.

Adicionalmente y para an3lisis microqu3mico se obtuvieron dos muestras de juveniles (< 20 cm LH), una en Iquique y la segunda frente a Talcahuano. El valor de esta muestra es poder discriminar mejor probables migraciones de los jureles dentro de su ciclo vital. No se logr3 obtener una muestra similar en Perú.

En Nueva Zelanda se obtuvo una muestra de alrededor de 50 kg de jurel, seg3n se inform3 en el informe de avance y se esperaba disponer de ella en junio. Sin embargo, por error fue enviada al Museo de Historia Natural de este pa3s donde fue deshechada. Se obtuvo una segunda muestra la que fue recepcionada en julio y procesada. En agosto se enviaron los otolitos al Dr. J. Ashford de la Universidad de OldDominion, EEUU, donde fueron retenidos por la Aduana pero finalmente pudieron ser importados por las gestiones realizadas por la universidad.

De esta manera se completaron las muestras de todas las localidades y fueron distribuidas completamente a todos los subgrupos. Por cierto las muestras obtenidas en Perú y Chile fueron distribuidas a todos los subgrupos en la medida que fueron obtenidas y procesadas, excepto microqu3mica de otolitos. En el caso de los otolitos para microqu3mica hubo que esperar hasta tener la muestra completa para enviarla. Esto fue por razones pr3cticas debido a que su procesamiento microqu3mico exige como condici3n un procesamiento aleatorizado de los otolitos de cada lugar y de las diferentes localidades a fin de evitar el riesgo de saturaci3n del equipo, lo que introducir3a un sesgo en los resultados.



D.1.1.2 Resultado de la obtenci3n de muestras

La **tabla D1.1** resume el n3mero de muestras obtenidas en los diferentes lugares y se entrega a continuaci3n. En total se muestrearon 892 ejemplares.

Tabla D1.1

Resumen del resultado de la toma de muestras.

Localidad	Nº ejempl.	Otolitos (par)	Otolitos (solo 1)	Genétic a	Parásito s	Morform .
Perú norte (Isla Lobos de Afuera)	50	50		50	50	50
Perú centro sur (Parácas)	105	97	5	105	105	105
Iquique	100	100		100	100	100
Caldera	100	100		100	100	100
Coquimbo	60	60		60	60	60
Coquimbo (adicional)	41	40		41	41	41
Centro sur oceánica (cond biol)*	81	79	3	34		12
Centro sur (sur I. Mocha)	100	100		100	100	100
Puerto Montt	100	100		100	100	100
Chiloé (oceánica)	100	100		100	100	100
Nueva Zelandia	55	55		55	55	55

* Solo morfometría y microquímica otolitos

Cabe señalar que en el análisis genético se consideró también una muestra de tejidos pre-existente a este estudio, de la zona de Paita en el norte de Perú.

Para “**patrones de historia natural**” (PHN) se necesitan 10 ejemplares (otolitos) por cada cm de talla y para una muestra con amplia distribuci3n de tallas. Esta condici3n no se puede cumplir con el muestreo de los especimenes para los otros métodos por lo que se obtuvieron muestras específicas para este propósito. El resultado obtenido se detalla en la **tabla D1.2** a continuaci3n.



Tabla D1.2

Resumen de las muestras de otolitos para patrones de historia natural (PHN).

	IQUIQUE	CALDERA	COQUIMBO	TALCAHUANO	P. MONTT
LONG (cm)	FRECUENCIA				
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	3	0	0	0	0
23	6	2	4	0	0
24	10	0	10	0	0
25	7	0	8	0	0
26	10	2	5	0	0
27	10	0	10	1	0
28	10	0	10	10	0
29	10	1	10	10	0
30	10	2	10	10	0
31	9	12	10	10	0
32	7	22	10	11	0
33	3	14	11	22	0
34	4	11	12	28	2
35	4	5	11	14	9
36	10	1	9	5	9
37	10	1	9	2	10
38	10	3	8	1	10
39	8	4	3	1	10
40	6	1	2	3	8
41	3	1	0	0	10
42	0	1	1	1	9
43	0	0	0	10	10
44	0	0	2	10	10
45	0	0	1	10	10
46	0	1	0	12	7
47	0	0	2	11	3
48	0	0	0	8	10
49	0	0	0	10	10
50	0	0	0	11	7
51	0	0	0	10	0
52	0	0	0	7	0
53	0	0	0	4	0
54	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0
TOTAL	150	84	158	232	144

Existe además una muestra tomada en Perú y otra en Nueva Zelandia; la de Nueva Zelandia se incluye en la **tabla D1.3**.



Tabla D1.3

Muestra de otolitos para PHN en N. Zelandia

Longitud	Trip2542	Trip2543	Total
46	3		3
47	2	2	4
48	5	7	12
49	9	10	19
50	11	13	24
51	15	9	24
52	6	11	17
53	3	5	8
54	5	5	10
55	0	1	1
56	1	3	4

D.1.1.3 Procesamiento de las muestras

Las muestras debían ser procesadas con la participaci3n simultánea de todas las partes del proyecto debido a que era necesario que los datos de morfometría, genética, parásitos y microquímicas estén perfectamente asociados. Esta exigencia es necesaria para minimizar los efectos de las variaciones individuales y poder contrastar resultados de jureles individuales de ser necesario. Por tanto el procesamiento de las muestras fue hecho en conjunto por un grupo de trabajo en la Universidad de Antofagasta; en INPESCA, Talcahuano; y en el IMARPE en Perú. La coordinaci3n del traslado de las muestras en Chile estuvo a cargo del IFOP. En el procesamiento simultáneo de los especímenes muestreados se tom3 la informaci3n sobre morfometría del cuerpo; vísceras y branquias para análisis de los parásitos; tejido muscular para análisis de ADN; otolitos para morfometría y



microquímica. Se registró también la información biológica de cada ejemplar relativa a longitud, peso total, sexo y madurez sexual.

Para el procesamiento de las muestras en Perú se contó con pleno apoyo de IMARPE para los aspectos logísticos.

La muestra de los jureles de Nueva Zelandia fue enviada congelada por el Ministerio de Pesquerías de éste país.

D.1.1.4 Discusión resultados del muestreo

Con la excepción de Ecuador las muestras fueron obtenidas en toda la distribución del jurel. La inviabilidad de obtener muestras al oeste de 90° O ya había sido planteada en la propuesta técnica.

La prácticamente desaparición del jurel de aguas ecuatorianas no permitió en definitiva la obtención de muestras allí. Asimismo la baja abundancia del jurel en Perú de la zona centro-norte y norte afectó también la obtención de muestras de acuerdo a lo programado. En este país se obtuvieron finalmente dos muestras una de la zona de Islas de Lobos de Afuera (norte de Perú) y la otra frente a Parácas (centro-sur de Perú). En Chile se obtuvieron muestras a lo largo de la costa de acuerdo a lo programado e incluso se obtuvo en abril una muestra extraordinaria en el sector oceánico frente a Chiloé.

La demora en el proceso de toma de razón del proyecto en Contraloría, la dificultad para obtener los jureles y la problemática de su procesamiento simultáneo por todas las partes, obligó a extender el período de muestreo definido en el cronograma del proyecto, cumpliéndose finalmente el objetivo.



D.1.2 Análisis genético poblacional de *T. murphyi*.

De acuerdo a lo señalado antes, el muestreo se realizó en 11 sitios, abarcando casi la totalidad de la distribución del jurel en el océano Pacífico sur:

- a) Pacífico sur este: Paita, Isla Lobos de Afuera, Paracas, Iquique, Caldera, Coquimbo, Talcahuano (oceánica), Talcahuano (costa), Calbuco (Pto. Montt), Centro-Sur Oceánica (Chiloé oceánico) y
- b) Pacífico sur oeste: Nueva Zelandia.

La nomenclatura utilizada para las muestras de las diferentes localidades es: Pacífico sur este (PSE) (Incluyendo, Paita (PAI), Isla Lobos de Afuera (ILA), Paracas (PAR), Iquique (IQQ), Caldera (CAL), Coquimbo (CQB), Talcahuano oceánica (THNOoc), Talcahuano costeras (THNOc), Calbuco (CLB), Centro-Sur Oceánica (CSO) y Pacífico sur oeste (PSO) (Incluyendo, Nueva Zelandia (NZ)). Hay que destacar explícitamente que las muestras de la localidad de Paita, Perú, corresponden a muestras de tejido pre-existentes al proyecto FIP 2007-27 y fue utilizada con la finalidad de ampliar el muestreo en su rango de distribución norte del Pacífico. Para el caso de Talcahuano oceánica se unieron 30 muestras (35° S – 82° W) de la misma zona para así aumentar el número de muestras en esta localidad.

D.1.2.1 Análisis con marcadores microsatélites de *T. trachurus*.

D.1.2.1.1 Extracción de ADN, amplificación y secuenciación de locimicrosatélites heterólogos y específicos.

El aislamiento del ADN genómico se realizó basado en un protocolo CTAB estándar, digestión con proteinasa K, extracción con fenol-cloroformo y precipitación con etanol absoluto (Sambrook *et al.*, 1989). El ADN fue



resuspendido en agua ultrapura (GIBCO Technology™), cuantificado en un Biophotometer Eppendorf® diluido a 20 ng/μL.

Utilizamos cuatro loci aislados en la especie *T. trachurus* del Océano Atlántico Norte, Tt29 (EU200748), Tt48 (EU200749), Tt62 (EU200750) y Tt133 (EU200751), propuesto por Kasapidis & Magoulas, (2008) y tres loci microsatélites específicos para *T. murphyi* aislados en este estudio (TmurA101, TmurA104 y TmurA115), que fueran obtenidos como parte del segundo objetivo específico de genética.

Los cuatro loci propuestos por Kasapidis & Magoulas, (2008) fueron amplificados mediante PCR múltiplex (más de un loci por reacción) en un volumen final de 10 μL, el cual, contiene 20 ng de ADN templado, 1,5 mM de MgCl₂, 0,2 mM de dNTP's, 0,2 μM de cada partidor y 0,1 U/μL de Taq ADN polimerasa (Invitrogen®). Los tres loci específicos identificados en este estudio fueron amplificados en un volumen final de 10 μL, el cual, contiene 20 ng de ADN templado, 2 mM de MgCl₂, 0,2 mM de dNTP's, 0,2 μM de cada partidor y 0,03 U/μL de Taq ADN polimerasa (Invitrogen®). El primer (oligonucleótido de 18-30 pb) "forward" de cada pareja fue marcado en su extremo 3' con un colorante fluorescente. Las amplificaciones de los loci fueron realizadas en un termociclador PCT-200 (MJ-Research®) con las siguientes condiciones: Loci de Kasapidis & Magoulas, (2008): una temperatura de denaturación inicial a 94°C por 5 min; seguido de 35 ciclos, temperatura de denaturación 94°C por 30 seg, temperatura de hibridación 58°C por 45 seg, temperatura de extensión a 72°C por 45 seg y una extensión final a 72°C por 5 min; Loci microsatélites específicos para *T. murphyi* aislados en este estudio como parte del segundo objetivo específico de genética; una temperatura de denaturación inicial de 94°C por 3 min; seguido de 35 ciclos, denaturación 94°C por 40 seg, temperatura de hibridación a 57°C por 30 seg, temperatura de extensión a 72°C por 30 seg y una temperatura de extensión final a 72°C por 5 min. Los fragmentos fueron visualizados en un analizador genético ABI PRISM



3730 utilizando el método de electroforesis capilar. La asignación de los tamaños alélicos obtenidos para cada locus se realizó en el programa PeakScanner v1.0 (Applied Biosystem).

D.1.2.1.2 Análisis de Microsatélites

Previo a los análisis y con la finalidad de detectar errores de genotipado y posible presencia de alelos nulos (alelos que no amplifican) se utilizó el software MICRO-CHECKER v2.2.3 (Van Oosterhout *et al.* 2004). Se tomó como criterios: i) porcentaje de amplificación negativa (datos perdidos), ii) exceso de homocigotos y iii) posible presencia de alelos nulos. Se tomó la decisión de excluir de los análisis al locus Tt48. Los análisis previos mostraron un exceso de homocigotos (estimados mediante índice F), presencia de alelos nulos (17%), según algoritmo de Van Oosterhout; y por último pero importante, el porcentaje de “datos perdidos” fue alto, osciló desde un 7% a un 56%, con un promedio de 29% (**Tabla D1.4**). Con la finalidad de reemplazar la eliminación del locus Tt48 y aumentar la robustez de los análisis se incluyeron los tres loci microsatélites específicos de *T. murphyi* mencionados en el punto “Extracción de ADN, amplificación y secuenciación de loci microsatélites heterólogos y específicos” en D.1.2.1.1).

Determinamos las frecuencias alélicas, heterocigosidad observada (H_o) y esperada (H_e), número de alelos (N_a) y desviación del equilibrio de Hardy & Weinberg (H&W), como medidas de variabilidad genética en el programa GENALEX v6 (Peakall & Smouse, 2006). Para determinar la presencia de estructuración poblacional: 1) calculamos el índice F_{st} por pares de poblaciones y realizamos un análisis de la varianza de frecuencias alélicas (AMOVA: Analysis of molecular variance) implementado en el programa Arlequin 2.0 (Schneider *et al.*, 2000), con la finalidad de testear diferentes hipótesis:



- a) Panmixia (Homogeneidad genética entre sitios);
- b) Dos poblaciones, PSE y PSO (diferenciación por aislamiento por distancia);
- c) Estructura de stock identificada mediante diferentes aproximaciones (eg. Serra, 1991; George-Nascimento y Arancibia (1992), Hernández *et al.* 1998).

Se aplicó el Test de Bonferroni para comparaciones múltiples cuando fue necesario (Rice, 1989).

Tabla D1.4.

Criterios utilizados para excluir de los análisis al locus Tt48.

	Locus	Población											Promedio
		PAI	ILA	PAR	IQQ	CAL	CQB	THNOc	THNOc	CLB	CSO	NZ	
N analizado		73	42	86	70	68	89	64	94	94	68	50	
Missing Data	Tt 29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Tt 48	0,26	0,07	-	0,3	-	-	0,3	0,21	0,59	0,1	0,56	0,29
	Tt 62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Tt 133	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Exceso de Homocigotos	Tt 29	-0,048	-0,1	-0,01	0,012	-0,001	0,068	-0,065	0,001	0,104	0,033	0,11	0,05
	Tt 48	0,173	-0,023	0,037	0,266	0,006	0,085	-0,123	0,372	0,368	0,051	0,524	0,21
	Tt 62	-0,034	-0,081	-0,008	0,007	-0,01	-0,014	-0,152	0,027	0,068	-0,053	0,087	0,05
	Tt 133	0,037	0,186	0,16	0,061	0,174	0,097	-0,089	0,016	-0,017	0,309	0,284	0,14
Alelos Nulos	Tt 29	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0599	-	-	
	Tt 48	0,0842	-	-	0,1354	-	-	-	0,1834	0,1789	-	0,2525	0,17
	Tt 62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Tt 133	-	0,0965	0,0777	-	0,0912	0,0519	-	-	-	0,1566	0,1441	0,10



D.1.2.2 Construcci3n de una librería gen3mica enriquecida para obtener marcadores moleculares tipo microsat3lites específcos de *T. murphyi*.

D.1.2.2.1 Extracci3n de ADN Gen3mico

LA extracci3n del ADN gen3mico se realiz3 de acuerdo a la metodología ya descrita previamente en el punto **D.1.2.1.1**.

D.1.2.2.2 Obtenci3n de librería gen3mica para el jurel *T. murphyi*.

Para la construcci3n de la librería se utiliz3 el servicio de Genetic Identification Services (GIS, Chatsworth, CA, USA; <http://www.genetic-id-services.com>). El ADN gen3mico extraído se envi3 en una concentraci3n de 1µg/µL.

El ADN gen3mico fue parcialmente cortado con un cóctel de enzimas de restricci3n (*Hiu* CII, *Hae*III, *Bsr* BI, *Pvu*II, *Stu*I, *Sca*I, *Eco* RV) para obtener fragmentos entre 300-700 pb. Estos fragmentos fueron insertados por ligamiento de los fragmentos de restricci3n en el sitio HindIII (AAGCTT) del plásmido pUC19. Las librerías fueron enriquecidas con motivos microsat3lites di- (CA), tri- (ATG) y tetra- (CATC) y (TAGA). Las mol3culas recombinantes fueron insertadas a *E. coli* (cepa DH5α; Electromax™; Invitrogen) mediante electroporaci3n. Los clones recombinantes fueron seleccionados al azar, por detecci3n de colonias blancas/azules. Las colonias azules, por lo general, contienen un plásmido recombinante con un inserto de tamaño adecuado. Estas colonias se cultivaron toda la noche a 37°C en placas con bluogal/IPTG/ampicillin LB (BIA-LB).

Dado que el fragmento de ADN est3 clonado dentro del sitio de corte de la enzima HindIII (AAGCTT) del plásmido pUC19, cualquier primer en el sitio M-13 sirvi3 para amplificar el fragmento clonado. En este caso se utilizaron los siguientes primers: Primer A (forward): 5'-AGG AAA CAG CTA TGA CCA TG-3' y Primer B (reverse):



ACG ACG TTG TAA AAC GAC GG-3'. Las temperaturas de annealing utilizadas fueron 57-58°C. La secuenciación del ADN fue realizada usando Amersham's DYEnamic™ Terminador Cycle Sequencing Kit (Amersham Biosciences P/N US81050), seguido por una electroforesis capilar en un secuenciador ABI PRISM 377 (Applied BioSystem, Inc.). Se diseñaron 17 parejas de primers usando el software DesignerPCR versión 1.03 (Research Genetics, Inc).

D.1.2.2.3. Variabilidad de loci microsatélites

La variabilidad de los loci microsatélites aislados fue ensayada en 60 individuos provenientes de cuatro localidades: Isla de Lobos Afuera (ZEE, Perú), Talcahuano y Centro Sur Oceánicas (ZEE, Chile) y Nueva Zelandia (ZEE, Nueva Zelandia). Previo a los análisis y con la finalidad de detectar errores de genotipado y posible presencia de alelos nulos (alelos que no amplifican) se utilizó el software MICRO-CHECKER v2.2.3 (Van Oosterhout *et al.* 2004). Determinamos número de alelos (Na), heterocigosidad observada (Ho), heterocigosidad esperada (Ho) por locus en el programa GENALEX v6 (Peakall *et al.*, 2006) y un test exacto de desviación del equilibrio de Hardy & Weinberg (H&W) (Guo & Thompson, 1992) en Arlequín v2.0 (Schneider *et al.* 2000).

D.1.3 Análisis de los parásitos

La toma de muestras incluye la recolección en los puertos de desembarque, de 100 ejemplares de jurel por localidad. En cada localidad y haciendo uso de las facilidades logísticas (laboratorios de UANTOF, INPESCA, e IMARPE) se separaron las muestras según el siguiente protocolo:

- a.- Identificación (número correlativo para cada pez por cada localidad) medición (longitud a la horquilla, precisión no menor de 0,5 cm.) y sexado de cada pez por observación directa de gónadas.



- b.- Lavado prolijo del cuerpo y cavidad bucal en un recipiente, filtrado del agua de lavado (filtro de 450 micras o menos) y fijaci3n en alcohol (70°) del material filtrado el que fue almacenado en frascos individuales por cada pez y enviado al laboratorio de parasitología marina de la Facultad de Recursos del Mar - Universidad de Antofagasta.
- c.- Disecci3n de cada pez. Separaci3n de branquias y lavado de las mismas segú n el procedimiento indicado en "b" para recuperar parásitos branquiales. Fijaci3n y almacenamiento del material segú n indicado en "b". Retiro de 3rganos y tejidos: Coraz3n, tracto digestivo, g3nadas, tejido renal y mesenterios de la cavidad celomática. Este material fue adecuadamente fijado, preservado (alcohol 70°) y almacenado en frascos individuales, los que fueron enviados al laboratorio de parasitología marina de la Facultad de Recursos del Mar- Universidad de Antofagasta.
- d.- Identificaci3n y cuantificaci3n de parásitos metazoos recolectados.
- e.- Análisis univariado: Se determin3 en primer lugar si existe una tendencia latitudinal en la talla (longitud a la horquilla) para jureles capturados en las localidades de Chile y Perú. Se pretende determinar incrementos en talla asociados a las actuales hip3tesis sobre migraci3n de la especie (ver Serra 1991).
- f.- Intensidad media de infecci3n (promedio de parásitos de una especie dada en el conjunto de peces infectados por esa especie de parásito). Ya que los datos resultaron altamente dispersos, fueron transformados a Log (n+1) y la significancia en las diferencias evaluada a trav3s de un ANOVA.
- g.- Prevalencia de Infecci3n (Porcentaje o proporci3n de peces infectados con una especie dada de parásito en el total de la muestra). La hip3tesis de independencia en la prevalencia de infecci3n en funci3n de las localidades, para cada especie de parásito, se evalu3 a trav3s de tablas de contingencia utilizando la prueba de X^2 .



- h.- Evaluaci3n a trav3s de t3cnicas multivariadas de las caracter3sticas cuantitativas de la infecci3n parasitaria a nivel poblacional.
- i.- An3lisis exploratorio: Un an3lisis de correspondencia permiti3 evaluar las potenciales asociaciones (correspondencia) entre los par3metros de infecci3n considerados (prevalencia e intensidad media de infecci3n) y las localidades de muestreo consideradas.
- j.- An3lisis de Discriminaci3n M3ltiple. Este an3lisis permitir3 evaluar si la composici3n de las comunidades de par3sitos (evaluadas como intensidad de infecci3n) tiene la capacidad de discriminar correctamente las localidades de muestreo.

Los an3lisis estad3sticos indicados se realizaron con el utilitario SYSTAT 8.0.

Los par3metros de infecci3n utilizados en este informe corresponden a la *Prevalencia de Infecci3n* (PI), que se define como el n3mero de peces infectados con una especie particular de par3sito dividido por el n3mero total de peces examinados, expresado como porcentaje; *Intensidad Media de Infecci3n* (IM), que se define como el n3mero total de par3sitos de un tax3n en particular, dividido por el n3mero de peces infectados con ese tax3n en particular. Otro par3metro de uso com3n es la *Abundancia* (A), que es el n3mero de individuos par3sitos de un tax3n particular, dividido por el n3mero total de peces estudiados (Bush *et al.* 1997). En todo caso, estos tres par3metros est3n relacionados seg3n:

$$A = IM \cdot PI \quad (\text{expresada como proporci3n})$$

Entonces, conociendo PI y otro de los restantes par3metros, es posible estimar el tercero.

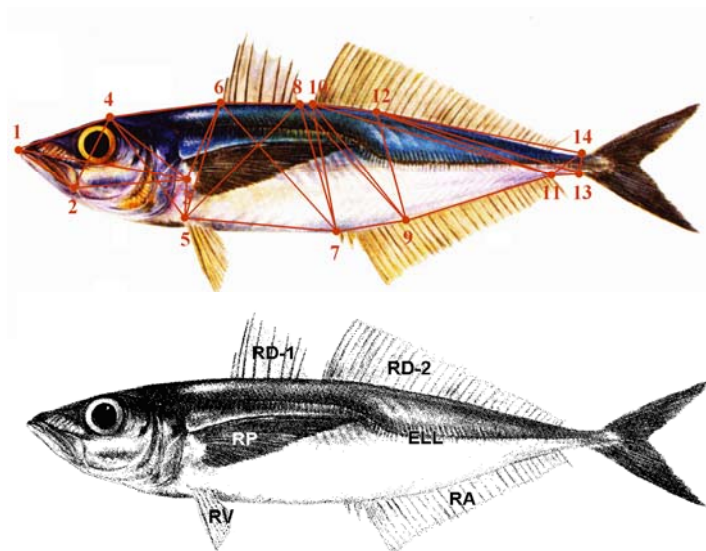


De acuerdo a lo indicado en la propuesta metodológica, el análisis de 60 ejemplares por localidad, asegura, con un 95% de confianza la detección de parásitos con prevalencias iguales o superiores al 5% (McDaniel 1975). Durante la planificación de las actividades de terreno se decidió aumentar las muestras para parásitos a un total de 100 ejemplares. Esto se cumplió para 6 de las nueve localidades definidas. Para dos localidades, en las cuales el muestreo dependió de factores no controlados por el equipo (Isla Lobos de Afuera y Nueva Zelandia), se pudo analizar sólo 50 y 55 ejemplares respectivamente. Para Caldera, dos de los ejemplares estaban en condiciones que no permitieron el análisis parasitológico.

D.1.4. Análisis morfométrico del cuerpo

Para la obtención de las variables morfométricas se siguió la metodología propuesta por Winans (1987), la cual utiliza una red de medidas entrelazadas a través de marcas corporales, tal como se presenta en la **Figura D.1.3**. No obstante, debido a que no todas las medidas se relacionan significativamente con la morfometría del jurel, se propone reducir las posibles combinaciones de medidas a las elegidas por Arancibia *et al.* (1996) y Hernández *et al.* (1998), en base al trabajo de George –Nascimento y Arancibia, (1992). Estas medidas corresponden a las líneas rectas entre los puntos: (1-2), (1-3), (1-4), (2-3), (2-4), (3-4), (3-6), (4-5), (5-6), (5-8), (6-7), (7-8), (7-10), (8-9), las cuales fueron medidas con una sensibilidad de 1 mm.

Las combinaciones de medidas entre los números 1 a 5 permitieron una caracterización de la zona de la cabeza del jurel, mientras que la combinación del resto de las medidas es asociable a la forma corporal (ver **Figura D.1.3**).



ELL=Escamas de la línea lateral (Number of lateral-line scales)

RD1=Radios primera aleta dorsal (Number of rays from first dorsal fin)

RD2=Radios segunda aleta dorsal (Number of rays from second dorsal fin)

RP=Radios aleta pectoral (Number of rays from pectoral fin)

RV=Radios aleta ventral (Number of rays from ventral fin)

RA=Radios aleta anal (Number of rays from anal fin)

Figura D.1.3. Puntos de interés para las mediciones de morfometría.

D.1.4.1. Muestras disponibles.

La información recolectada para la estimación de las variables morfométricas asociadas a la forma del cuerpo del jurel, proviene de muestras obtenidas de 10 localidades. A lo largo de la costa de Chile se dispone de muestras de 5 localidades diferentes (Iquique, Caldera, Coquimbo, Coronel y Puerto Montt). En estas localidades se procesaron más de 80 ejemplares por muestreo (**Tabla D.1.5**).

**Tabla D.1.5.**

Muestras procesadas para morfometr3a por localidad y fecha del an3lisis.

Localidad	Fecha del an3lisis	N3mero de peces
Caldera	Mayo 2008	100
Centro-Sur Oce3nico	Mayo 2008	100
Centro-Sur Oce3nico (C. Biol)	Noviembre 2007	12
Centro-Sur (I. Mocha)	Abril 2008	98
Coquimbo	Mayo 2008	60
Coquimbo (adicional)	Abril 2008	41
Iquique	Mayo 2008	98
Puerto Montt	Junio 2008	82
Per3 (centro-sur)	Abril 2008	105
Per3 (norte)	Abril 2008	50
Per3 (Paita)	Enero 2008	90 (*)
Nueva Zelandia	Abril 2008	54

(*) Muestra obtenida en el a3o 2006 desde una nave extranjera

D.1.4.2. Proceso de obtenci3n de datos y marcas de identificaci3n

A diferencia de estudios anteriores realizados por el grupo de investigaci3n en esta materia, en los cuales los peces fueron medidos uno a uno en el laboratorio, mediante comp3s y mediciones con 1 mm de sensibilidad, y adem3s teniendo en consideraci3n la necesidad de establecer un m3todo validado y estandarizado en las diferentes localidades y centros de obtenci3n de muestras, se opt3 por establecer un protocolo de trabajo com3n y realizar el proceso de recolecci3n de datos por medio de digitalizaci3n de registros fotogr3ficos de los peces analizados, previo establecimiento de marcas o hitos de referencia en una red de puntos a marcar.



En primer lugar, se adquirieron cámaras fotográficas marca Sony, modelo DSC-S700, de tal forma que el equipamiento a utilizar estuviese compuesto por el mismo tipo de sensor digital, sensibilidad y/o nivel de distorsión de píxeles. Del mismo modo, se privilegió el que las fotografías fuesen tomadas sin utilizar una fuente de aumento, zoom digital o efectos especiales.

Las fotografías contemplaron la toma de cada ejemplar completo (ver **Figura D.1.3**). Para esto, cada individuo fue montado en una superficie de Poliestireno (PE) blanca, la cual fue previamente socavada para garantizar que el ejemplar se posicionara adecuadamente y recostado sobre esta superficie de forma horizontal.

Para efectos de estandarizar el proceso de medición, cada ejemplar fue dispuesto en la plantilla de PE descansando sobre su costado derecho y con orientación de su cabeza hacia la izquierda (ver fotografía **Figura D.1.4**). Antes de cada fotografía, se utilizó un pié de metro como reglilla de referencia para calibrar la fotografía y para la obtención de posteriores mediciones en ella.

Teniendo en consideración la retracción de las aletas, y con el interés de poder identificar de manera exacta la localización de sus inserciones, se utilizaron alfileres de cabeza coloreada para demarcar adecuadamente las inserciones, previamente a cada registro digital (ver fotografía **Figura D.1.4**). De cada ejemplar fueron tomadas al menos 2 fotografías, las cuales permitieron seleccionar siempre la de mejor calidad y foco existente de cada individuo.



Figura D.1.4. Imagen representativa de un ejemplar de jurel con alfileres en las inserciones de las aletas.

Una consideraci3n adicional fue garantizar la mayor nitidez en la fotografía y que la cámara siempre se ubicara en un plano vertical hacia el objeto, raz3n por la cual se desestimaron o evitaron fotografías en planos inclinados o poco nítidas.

En la **Tabla D.1.6**, se resume el número de fotografías que fueron obtenidas durante el proceso de muestreo en diferentes laboratorios y a bordo de naves pesqueras para las diferentes localidades de muestreo. En general, se opt3 por la utilizaci3n del mismo equipamiento o cámara digital mencionado anteriormente (Sony DSC-S700); sin embargo, y s3lo debido a una falla en el equipamiento llevado a los laboratorios de Imarpe en Perú, se utiliz3 una cámara alternativa pero de idénticas características técnicas (Sony SDC-P200).



Tabla D.1.6.

Número de fotografías obtenidas y características del equipamiento utilizado.

Localidad	Número de fotografías	Cámara utilizada	Tamaño imagen jpeg (píxeles)
Caldera	198	Sony DSC-S700	3072 x 2304
Centro-Sur Oceánico	200	Sony DSC-S700	2048 x 1536
Centro-Sur Oceánico (C. Biol)	12	Sony DSC-S700	3072 x 2304
Centro-Sur (I. Mocha)	202	Sony DSC-S700	3072 x 2304
Coquimbo	122	Sony DSC-S700	3072 x 2304
Coquimbo (adicional)	85	Sony DSC-S700	2048 x 1536
Iquique	200	Sony DSC-S700	3072 x 2304
Puerto Montt	210	Sony DSC-S700	3072 x 2304
Perú (centro-sur)	111	Sony DSC-P200	1280 x 960
Perú (norte)	50	Sony DSC-P200	2048 x 1536
Perú (Paíta)	50	Sony DSC-S700	3072 x 2304

(*) Muestra obtenida en el año 2006 desde una nave extranjera

D.1.4.3 Procesamiento y análisis de las muestras obtenidas

Luego de ser catalogadas y revisadas las fotografías, se procedió a verificar su procedencia y desarrollar una base de datos del material existente. Del total de fotografías, se detectó un bajo porcentaje de imágenes sin etiquetas o imágenes con rotulación inadecuada. En sólo una de las muestras, la proveniente de la zona oceánica frente a Chiloé, las imágenes de 64 individuos de esta muestra, no poseían pié de metro o reglilla de calibración; sin embargo, se encontraban todos los puntos de inserciones demarcados y sus rótulos adecuadamente señalados. Debido a esto, se cuenta con una muestra menor de peces considerados en este análisis (36 individuos) para esta muestra.

Las fotografías obtenidas en formato JPEG fueron analizadas por 2 especialistas, con un software de post-procesamiento de imágenes utilizando la modalidad de medición manual. Para esto, cada fotografía contó con la informaci3n de número



de muestra y la existencia de una referencia de la escala de medici3n, la cual para efectos de calibraci3n de dimensiones, permiti3 que las mediciones se efectuaran con una precisi3n inferior a 1 mm. El software (de libre uso) utilizado para esta actividad se denomina Image Tool para Windows versi3n 3.00, software desarrollado por el Centro de Salud de la Universidad de Texas en San Antonio.

Cada imagen JPEG, fue calibrada midiendo o estableciendo una l3nea de referencia de 10 marcas del pi3 de metro, las que fueron equivalentes a 10 mm de longitud. Luego, se procedi3 a realizar las mediciones acorde al plan de enlazamiento de hitos morfom3tricos en la secuencia formulada en la secci3n de metodolog3a.

En este software las diferentes medidas fueron efectuadas marcando los puntos de referencia (1-2), (1-3), (1-4), (2-3), (2-4), (3-4), (3-6), (4-5), (5-6), (5-8), (6-7), (7-8), (7-10), (8-9), y su medici3n fue autom3ticamente trasladada a una hoja de c3lculo, con la cual se logr3 almacenar las mediciones en archivo digital.

Las mediciones as3 obtenidas, representaron por cada individuo un total de 14 puntos, los que correspondieron a las coordenadas cartesianas (x,y) y en p3xeles de los puntos precitados. Estas mediciones fueron luego llevadas a distancias (en mm) utilizando la siguiente conversi3n para cada par de hitos morfom3tricos (1-2), (1-3), (1-4), (2-3), (2-4), (3-4), (3-6), (4-5), (5-6), (5-8), (6-7), (7-8), (7-10), (8-9):

$$Dist = \sqrt{\frac{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}{(x_{11} - x_{12})^2 + (y_{11} - y_{12})^2}}$$

Donde: (x_i, y_i) representa las coordenadas del primer punto, con $i=1, \dots, 8$.
 (x_j, y_j) representa las coordenadas del segundo punto, con $j= 2, \dots, 10$.
 (x_{11}, y_{11}) ; (x_{12}, y_{12}) coordenadas de dos puntos situados sobre la reglilla utilizada para la calibraci3n.



Finalmente, se cont3 con un total de 750 ejemplares con sus respectivos conjuntos de hitos morfom3tricos medidos por ejemplar (**Tabla D.1.7**).

Tabla D.1.7.

N3mero de muestras analizadas para morfometr3a de cuerpo, c3digo, tallas medias y rango de tallas de cada localidad.

Localidad	C3digo	N3mero de muestras	Talla media (LH)	Rango de tallas
Per3 Norte (Islas Lobos de Afuera)	ILA	50	32,1	21,0 – 40,0
Per3 Centro-Sur (Paracas)	PAR	104	31,8	27,0 – 39,0
Chile (Iquique)	IQU	102	32,6	26,7 – 41,0
Chile (Caldera)	CAL	100	28,5	20,4 – 38,5
Chile (Coquimbo)	COQ	100	29,7	25,0 – 34,0
Chile Centro-Sur (Isla Mocha)	CSM	100	45,2	39,0 – 54,5
Chile Centro-Sur Oce3nica	CSO	12	38,9	29,0 – 51,0
Chile (Puerto Montt)	PMO	92	39,6	35,0 – 46,0
Chile Sur Oce3nico (Chilo3 Oce3nico)	SOC	36	37,9	33,5 – 47,0
Nueva Zelandia	NZE	54	49,6	46,5 – 55,0
TOTAL		750	35,6	20,4 – 55,0

D.1.4.4 Transformaci3n de los datos

Con el objeto de obtener expresiones morfom3tricas independientes del tama3o del individuo y hacer constante la varianza de los datos se debe recurrir a una funci3n que transforme la informaci3n original, siendo esto posible mediante simples transformaciones en proporci3n de la talla (George –Nascimento y Arancibia, 1992; Arancibia *et al.*, 1996), a trav3s de transformaciones logar3tmicas (Schaefer, 1991) o del tipo multivariado (Winans, 1984; Cortes *et al.*, 1996).



Hernández *et al.* (1998) se~alan que luego de probar cual de estas transformaciones logra remover efectivamente el efecto del tama~o sobre la forma del individuo, mediante el uso de Análisis de Componentes Principales (ACP) para el total de mediciones realizadas en cada funci3n descrita y un Análisis de Covarianzas (ANACOVAS) para las tres primeras componentes principales resultantes de cada ACP, la transformaci3n aplicada inicialmente por Schaefer (1991), aplicada tambi3n para el caso del atún de aleta amarilla *Thunnus albacares*, es la que logra de forma m3s significativa la remoci3n del efecto de la talla sobre la forma del pez lo que indica que al relacionar linealmente el logaritmo de las mediciones morfom3tricas con el logaritmo de la talla en ejemplares de jurel se logra eliminar en gran medida el efecto alom3trico del crecimiento en longitud del jurel. De acuerdo a esto, con objeto de obtener componentes libres del efecto de la talla sobre la forma de los peces, se propone usar la funci3n de Schaefer, (1991), la que se expresa matem3ticamente como:

$$\hat{Y}_i = \log(Y_i) - \beta(\log(LH_i) - \log(LHp))$$

donde $\hat{Y}_i$ es la medida transformada del ejemplar i ; Y_i la medida original del ejemplar i , LH_i es la longitud de horquilla del ejemplar i , LHp es la longitud de horquilla promedio y β es la pendiente de la regresi3n del modelo de Schaefer (1991) entre Y_i y LH_i .

En el an3lisis de los procedimientos de transformaci3n, cabe considerar la metodologí a y el trabajo reciente publicado por Murta *et al.* (2008), donde para el jurel del Atl3ntico, *Trachurus trachurus*, proponen el mismo m3todo de transformaci3n para remover el efecto de la talla y la posible relaci3n alom3trica entre variables. Este m3todo corrige las variables de acuerdo a la longitud media



de todas las muestras individuales por la expresi3n (lhssen **et al.**, 1981b; Hurlbut and Clay, 1998):

$$D_c = D \times \left(\frac{\overline{LH}}{LH} \right)^b$$

donde, LH es la longitud horquilla medida para cada ejemplar, D es la distancia antes de la correcci3n, $\overline{LH}$ es la media de la longitud horquilla total y b la pendiente de la regresi3n media geom3trica (Ricker, 1973) calculada desde la log-transformaci3n de las variables D y LH.

Una fuente de “ruido” o elemento que puede interferir en el proceso de an3lisis, se basa en la obtenci3n simult3nea de las muestras, la madurez sexual de los individuos, de tal forma que idealmente representen grupos de agregaciones reproductivas de este recurso. Para esto se debiera privilegiar individuos pre-desovantes o desovantes obtenidos de cada 3rea o localidad de muestreo.

D.1.4.5 An3lisis estadístico

Los an3lisis morfom3tricos implican la incorporaci3n de t3cnicas multivariadas que permitan el entendimiento del proceso de diferenciaci3n multi-dimensional de la forma de un pez (Pimentel, 1978). De esta manera, para identificar los car3cteres morfom3tricos que explican mayores diferencias entre localidades se aplica un An3lisis Discriminante M3ltiple (ADM) exploratorio utilizando la localidad como fuente de variaci3n, sobre una matriz de covarianza (Winans, 1987).



D.1.5. Análisis morfométrico de otolitos

D.1.5.1 Muestreo y selecci3n de otolitos

Se analiz3 un total de 444 pares de otolitos *sagitta* de los cuales 285 correspondieron al muestreo oficial definido por el proyecto y 159 a un muestreo complementario (**Tabla D1.8**). Este muestreo complementario correspondi3 a una selecci3n de muestra adicional recolectada desde los muestreos rutinarios que realiza IFOP y tuvo como prop3sito fortalecer el tama3o de muestra debido a la inutilizaci3n de otolitos para el prop3sito de este proyecto por estar quebrados. La selecci3n de esta muestra complementaria se realiz3 bajo criterios que permitieran la consistencia con el muestreo oficial, es decir muestras consistentes en t3rminos espaciales (tomada en similar latitud y longitud), temporal (la misma fecha) y características ontogénicas de los peces (similar rango de longitudes).

El muestreo de otolitos consider3 al menos los siguientes datos biol3gicos: longitud horquilla, peso, sexo y estado de madurez. Los otolitos fueron almacenados en compartimentos debidamente rotulados con un n3mero de registro que permita asociarlos con los datos biol3gicos del pez. .

Tabla D1.8.
N3mero de otolitos analizados por cada zona de estudio.

Zona de Muestreo			N3mero de Otolitos <i>Sagitta</i>		
Latitud	Longitud	Nombre Zona	Muestra	Muestra Complementaria	Muestra Total
5° 20' S	80° 40' O	Per3	8		8
21° 00' S	70° 30' O	Iquique	6	44	50
27° 00' S	71° 0' O	Caldera	19	32	51
29°20' S	71°30' O	Coquimbo	35	24	59
38° 20' S	74° 06' O	Talcahuano (Costa)	37	15	52
30°/35° S	75°/81° O	Talcahuano (Oceánico)	6	44	50
41° 36' S	73° 06' O	Puerto Montt	59		59
44° 08' S	83° 51' O	Chiloe (Oceánico)	78		78
42° 05' S	170° 45' E	Nueva Zelandia	37		37
Total			285	159	444



D.1.5.2 Procedimiento de laboratorio

En el laboratorio los pares de otolitos sagitta de distintas áreas fueron seleccionados y lavados con agua destilada bajo microscopio estereoscópico, de tal forma de dejar para los análisis aquellas estructuras que no estén dañadas. Para el análisis morfométrico se empleó sólo el otolito izquierdo ya que el derecho fue empleado en el análisis microquímico por el Center for Quantitative Fisheries Ecology de la Universidad de Old Dominion.

Se obtuvo una imagen de cada uno de los otolitos seleccionados con un sistema de análisis equipado con el Software Image-Pro Plus (*MediaCybernetics*®). Para tomar la imagen el otolito fue dispuesto en una cápsula Petri con fondo negro y sumergido en glicerina como líquido aclarador, con aumento de 10X y luz transmitida. Para estandarizar la imagen del otolito éste fue dispuesto con la cara externa hacia arriba y el rostro hacia la derecha (Tracey *et al.*, 2006).

Las mediciones del otolito se realizaron sobre la imagen capturada utilizando como herramienta el software Image-Pro Plus (*MediaCybernetics*). Las medidas fueron tomadas en milímetros previa calibración del “software” de acuerdo al aumento del microscopio estereoscópico. Se realizaron mediciones básicas seleccionadas en el programa, a saber: Diámetro máximo (D_{max}), Diámetro mínimo (D_{min}), Perímetro (P_0) y área (A_0), Longitud de Feret (F_L) y Ancho de Feret (F_W) del otolito. Estas dos últimas mediciones corresponden al máximo diámetro calibrado (largo) y al mínimo diámetro (ancho) calibrado de Feret. Además de estas medidas tomadas automáticamente por el programa, se registró un conjunto de once medidas entre distintos puntos del otolito como se indica en la **figura D1.5**; estas correspondieron a las distancias entre los siguientes puntos o hitos, a saber: L1) distancia foco-cauda ; L2) distancia foco antirostro; L3) distancia foco- excisura rostro; L4) distancia foco-rostro; L5) distancia antirostro –

excisura rostro; L6) distancia antirostro – punto del borde ventral (corresponde al punto final de la línea que se proyecta hacia el borde ventral desde el antirostro pasando por la excisura del rostro); L7) distancia entre punto borde ventral – rostro; L8) distancia rostro – excisura rostro; L9) distancia del rostro al antirostro; L10) distancia antirostro – cauda y L11) distancia cauda – punto del borde ventral.

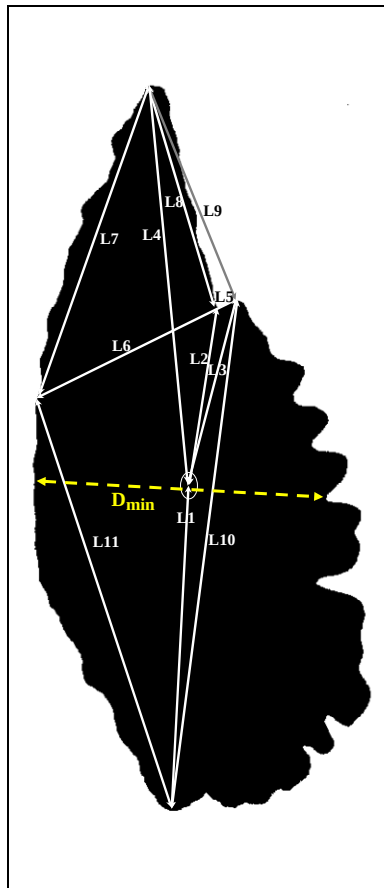


Figura D1.5 Medidas entre distintos puntos (hitos) del otolito sagitta izquierdo de jurel, registradas con el software Image-Pro Plus Otolito. Las medidas son descritas en el párrafo anterior.



D1.5.3 3ndices de forma del otolito

Se calcul3 el factor de forma, redondez, circularidad y rectangularidad para cada otolito. El factor de forma es una manera de estimar la irregularidad del 3rea, que toma valores de 1 cuando es un c3rculo perfecto y <1 cuando este es irregular. La redondez y circularidad entregan informaci3n sobre la similitud de varias caracter3sticas de un c3rculo perfecto, alcanzando un valor m3nimo de 1 y 4π , respectivamente (Pothin *et al.*, 2006); en tanto que la rectangularidad es la medida del 3rea del otolito dividida por el 3rea m3nima del rect3ngulo que lo encierra, o sea describe la variaci3n de la longitud y el ancho con respecto al 3rea (Bolles and Begg, 2000; Pothin *et al.*, 2006); la elipticidad indica si los cambios en los ejes de longitud son proporcionales (Pothin *et al.*, 2006) (**Tabla D1.9**).

Tabla D1.9.
3ndices de formas del otolito

Variables de tama3o	3ndices de formas
3rea (A_0)	Factor de forma = $(4\pi A_0)P_0^{-2}$
Per3metro (P_0)	Redondez = $(4A_0)(\pi F_L^2)^{-1}$
Longitud de Feret (F_L)	Circularidad = $P_0^2 A_0^{-1}$
Ancho de Feret (F_W)	Rectangularidad = $A_0(F_L \times F_W)^{-1}$
	Elipticidad = $(F_L - F_W)(F_L + F_W)^{-1}$

F_L = la longitud m3xima de Feret calibrada; F_W = es la longitud m3s peque3a de Feret Calibrado

D.1.5.4. An3lisis estad3stico de variables morfom3tricas.

Las diferencias del tama3o del pez entre las distintas localidades fueron examinadas por an3lisis de varianza (ANOVA). Para eliminar el efecto del tama3o del pez (longitud horquilla) sobre las variables morfom3tricas, se estim3 la relaci3n alom3trica entre las medidas morfom3tricas con una variable o medida est3ndar



de referencia. En el caso de las variables incluidas en el análisis de índices de forma (A , P , F_L y F_W) correspondió a una medida del área del otolito; en tanto que en el caso de las doce medidas lineales entre puntos del otolito (hitos) (ver **Figura D1.5**) el diámetro máximo del otolito (Torres *et al.*, 2000). En el ajuste se empleó una ecuación potencial con los datos transformados a logaritmo para homogenizar la varianza residual. Cada una de las medidas originales (Y) fue transformada en una medida estandarizada (Z) de acuerdo a la siguiente ecuación (Torres *et al.*, 2000):

$$Z = Y \left(\frac{X_0}{X} \right)^b$$

donde:

X = la variable o medida estándar de referencia para cada pez analizado.

X_0 = el promedio de la longitud del pez.

B = la pendiente de la relación alométrica de cada variable con la variable de referencia.

Se aplicó el test de Mahalanobis para determinar la existencia de normalidad multivariada basado en el análisis del sesgo y la Kurtosis, además de un test de homogeneidad multivariada basado en las distancias euclidianas para establecer si se aplica realizar test de comparación de varianza paramétricos o no paramétricos.

Los índices de forma estandarizados fueron comparados de manera descriptiva a través de los promedios con su desviación estándar (d.s.) estimados para las distintas localidades, además de evaluar la existencia de diferencias significativas con la aplicación del test no-paramétrico de Kruskal Wallis.

Para el análisis estadístico de las medidas entre puntos del otolito (hitos) se consideraron 12 variables. Se empleó el test noparamétrico de Kruskal Wallis para determinar la existencia de diferencias entre localidades. Posteriormente se aplicó



el an3lisis de componentes principales (ACP), sobre las medidas estandarizadas, para investigar el agrupamiento de las variables morfom3tricas en subgrupos similares e identificar las variables que contribuyen a la diferenciaci3n entre zonas. Se analiz3 la relaci3n de las tres primeras componentes identificando los individuos de cada localidad, con el prop3sito establecer la existencia de grupos.

D.1.5.5 An3lisis de forma utilizando El3ptico de Fourier

Los contornos de un total de 285 otolitos, correspondiente al muestreo oficial de este proyecto, fueron digitalizados por medio de un sistema de an3lisis de im3genes descrito anteriormente, que permiti3 la reconstrucci3n de la imagen en un archivo de texto. Para obtener las coordenadas cartesianas que describen el contorno del otolito, se aplic3 a la imagen digitalizada un filtro que permiti3 detectar la discontinuidad en la tonalidad de p3xeles que componen el borde de la imagen del otolito. Posterior a esto, se convirti3 la imagen a escala de grises y se aplic3 una m3scara del programa con el prop3sito de binarizar los p3xeles de la imagen, es decir, transformar la imagen del otolito en color negro sobre el fondo blanco. Finalmente, los p3xeles que conforman el contorno del otolito son exportados a un archivo de texto (*.txt) bajo una escala de coordenadas cartesianas, para ser le3do finalmente por un programa de an3lisis num3rico.

Las coordenadas digitalizadas del contorno de cada otolito fueron reproducidas por medio de un An3lisis de Fourier El3ptico, utilizando el algoritmo de Ferson *et al.* (1985) en el programa Matlab©. En t3rminos generales, la transformada de Fourier es una descomposici3n ortogonal de una curva en varios arm3nicos (ondas sinusoidales) que explican una alta proporci3n de la variabilidad en la forma del otolito. Estos arm3nicos pueden ser combinados para reconstruir una curva cerrada que corresponde a una aproximaci3n arbitraria del contorno del otolito (Tracey *et al.*, 2006). La descomposici3n el3ptica de Fourier posee ventajas



sobre la transformada r1pida de Fourier, pues es un poderoso descriptor que no requiere de puntos igualmente espaciados y puede ajustar un arbitrario contorno cerrado (Crampton, 1995).

Las series de descriptores de Fourier fueron calculados de tal forma de determinar el n1mero de arm3nicos que permitan explicar el mayor porcentaje de la varianza y por tanto reconstruir la morfolog1a completa del otolito. En el caso de los contornos de otolitos de jurel, un total de 30 arm3nicos o Descriptores de Fourier (DF) son suficientes para explicar un 99% de la variabilidad en la forma de los otolitos; por tanto, este conjunto de DFs fue utilizado para reconstruir los otolitos, como tambi3n para realizar un an1lisis comparativo entre localidades de muestreo. Antes de obtener los DFs, cada otolito fue normalizado en t3rminos de tama1o y orientaci3n, reduciendo sesgos debido a la correlaci3n con variables morfom3tricas como la longitud.

Los DF seleccionados fueron comparados entre localidades de muestreo (ver **Tabla D.2.4.1.**) por medio de un an1lisis de escalamiento multidimensional y un an1lisis discriminante lineal, a objeto de probar la hip3tesis de “no diferencias” en la forma del otolito entre localidades. Posterior al c1lculo de la matriz de distancia euclidiana y la clasificaci3n por medio de funciones cuadr1ticas, el an1lisis discriminante ordena la agrupaci3n de acuerdo a un factor llamado “stress”, que califica el ordenamiento como “bueno” para valores menores a 0.1, “excelentes” para valores menores a 0.05 y “perfecto” con valores por debajo de 0.001.

D.1.6. An1lisis qu1mico de los otolitos

Se complet3 el programa de campo y se obtuvieron muestras desde el norte de Per1 hasta el sur de Chile y Nueva Zelandia (**Fig. D1.2**). Se envi3 un otolito de



cada par muestreado al “Center for Quantitative Fisheries Ecology (CQFE), Old Dominion University” para el an3lisis microqu3mico.

D.1.6.1. Preparaci3n de ensayos y medici3n de otolitos

Se prepar3 una serie de otolitos para ensayos enviados separadamente por el IFOP para adaptar las t3cnicas de preparaci3n del CQFE para el jurel. Como los otolitos eran delgados, el IFOP llev3 a cabo la estimaci3n de la edad utilizando otolitos enteros. Sin embargo, los procedimientos en esta propuesta consideraron secciones transversales y la preocupaci3n inicial era que las secciones pudieran ser demasiado fr3giles para trabajar con ellas y que requerir3an convertir las t3cnicas a un plano sagital. Adem3s, el tama1o de punto del l3ser que se us3 fue de 25 μm , de modo que si los anillos son peque1os, no se podr3a muestrear un 3rea de la secci3n correspondiente a un marco de tiempo estacional. Para los n3cleos, se consider3 un raster rectangular de 150 μm $\times$ 200 μm , que se coloc3 sobre el primordio y que puede no ser de tama1o adecuado para el jurel.

Como resultado de los ensayos, se descubri3 que secciones transversales de adultos eran lo suficientemente grandes y robustas para ser manejadas por la espectrometr3a de masa acoplada inductivamente (ICPMS). El ancho de los anillos vari3 entre 158,1 $\pm$ 53,9 μm (media $\pm$ ds) para el primer anillo y 51,4 μm $\pm$ 11,7 μm para el sexto anillo (**Tabla D1.10**): por lo tanto, al moverse a lo largo de un anillo, el l3ser integra un periodo que var3a, en promedio, de un mes y medio para el primer anillo a cinco meses para el sexto, lo que potencialmente permite una discriminaci3n estacional. El n3cleo, de forma ovoide, mide aproximadamente 200 μm latero medialmente y 300 μm de atr3s hacia adelante, por lo que se pudo utilizar la misma l3nea y barrido usados anteriormente en estudios similares a lo largo del borde pr3ximo dorsal, para medir el material establecido antes de la captura, y centralmente en el n3cleo para el material establecido durante los primeros meses de vida. Sin embargo, los otolitos de



peces j3venes fueron difciles de manejar al momento de prepararlos para el L3ser-ICPMS, por lo que ser3a mejor a futuro utilizar una cuadr3cula m3s peque1a a lo largo del borde.

Tabla D1.10.

Ancho promedio y desviaci3n est3ndar de anillos (μm) de otolitos experimentales que var3an en edad de 1+ (otolito 5) a 6+ (otolitos 1 y 9).

Pez #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	media	DE
Borde	59,7								43,2	51,4	11,7
	59,8	46,0						54,4	107,6	66,9	27,7
	65,4	68,2					172,9	128,3	152,9	117,5	48,9
	84,6	81,3	29,7	63,3		151,9	147,2	140,8	178,1	109,6	51,9
	104,6	63,9	169,9	79,9	86,8	156,1	188,8	115,2	127,3	121,4	42,8
Focus	112,4	83,2	173,5	99,9	182,6	227,9	236,8	144,0	163,2	158,1	53,9

D.1.6.2 Dise1o experimental inicial

Las mediciones de las proporciones de elementos traza Sr/Ca, Mg/Ca, Mn/Ca y Ba/Ca a lo largo del borde y del n3cleo de los otolitos., fueron abordadas sobre la base del trabajo con el bacalao de profundidad frente al extremo sur de Am3rica del Sur (Ashford *et al.* 2005, 2006, 2007a, 2008). No obstante, fue necesario tomar en cuenta las siguientes restricciones:

- 1) La qu3mica de los otolitos muestra profundos cambios con la ontogenia, lo que dificulta hacer comparaciones entre etapas de vida diferentes.
- 2) Es necesario controlar que los peces sean de edad y tama1o similares; el sexo, tambi3n, puede introducir variaciones que confunden para algunos marcadores qu3micos, especialmente a lo largo del borde del otolito.



- 3) Cada marcador qu3mico tiene su propio conjunto de propiedades caracter3sticas que determinan la escala de variabilidad temporal y espacial y la fuerza de los contrastes espaciales que pueden usarse para discriminar entre tratamientos seleccionados.
- 4) Existen distintas fuentes que introducen variaciones que confunden como la “deriva” de la m3quina, lo que significa que la presentaci3n de las muestras para ICPMS tiene que ser completamente al azar y debe estar dise~ada cuidadosamente para distribuir est3ndares de uso y varianza y testigos de manera eficiente.
- 5) Las distribuciones de los datos subyacentes frecuentemente presentan una cola 3nica y muy larga, de modo que muestras grandes son necesarias.

El financiamiento disponible permiti3 llevar a cabo an3lisis qu3micos de 520 peces usando L3ser-ICPMS. Esto signific3 un tama~o de muestra de 43 ejemplares por localidad, la que es una muestra representativa de la poblaci3n en cada zona muestreada. Debido a que hab3a diez conjuntos de muestras de adultos; que era necesario mantener muestras de gran tama~o; y evitar confusi3n de la ontogenia, se archivaron los otolitos de juveniles para hacer las pruebas en otra oportunidad. En lugar de ello, se compararon peces adultos de las diez 3reas muestreadas. Con el fin de analizar probables diferencias dentro de la temporada, se incluyeron los peces extra3dos frente a Coquimbo en enero y marzo como grupos de muestra separados. Para ensayo, se sub-muestrearon 43 peces de cada uno de los 10 conjuntos de muestras excepto Puerto Montt (**Figs. D1.6 y D1.7**). Para Puerto Montt, con el fin de comprobar la variaci3n a escalas espaciales peque~as, se incluyeron 43 muestras de las tomadas por el BP Don Eduardo como un tratamiento; los otolitos de los 17 peces



capturados por el BP Antares II y 26 capturados por el BP Don Ángel se incluyeron como segundo tratamiento. La química de los otolitos de 43 peces de cada uno de los 12 tratamientos resultantes dió 516 otolitos en total para análisis.

Las distribuciones de longitud variaron entre regiones: las del norte fueron más pequeñas que las del sur (los jureles fueron muestreados usando redes de cerco), mientras que los jureles de Nueva Zelandia fueron todos grandes (muestreadas usando arrastre pelágico) (**Fig. D1.6**). Además, las muestras de peces de Paracas, Iquique, Caldera, Coquimbo 1 y 2, Talcahuano Costa y Oceánico y las de frente a Puerto Montt fueron extraídas durante el verano (diciembre-marzo), mientras que las de Isla Lobos de Afuera y Chiloé Oceánico se extrajeron en otoño (abril-mayo) y el grupo de muestras de Nueva Zelanda se capturó en invierno (junio). Junto con esto, hubo predominancia de machos en Isla Lobos de Afuera y Talcahuano Costa, mientras que hubo más hembras en Caldera, Talcahuano Oceánico, Chile Sur y frente a Puerto Montt que fueron capturados por el BP Don Eduardo y BP Don Ángel. Como resultado, para la química de bordes se usó un diseño de ANCOVA con longitud como covariable y bloques por sexo que permitió comparar las diferencias en la química de bordes de las distintas áreas dentro de una temporada así como con todas. Las dos muestras de Coquimbo se usaron como contraste entre meses dentro de una misma estación, mientras que las muestras alrededor de Talcahuano se utilizaron para probar los efectos debidos al sistema de corrientes frente a Chile. Las muestras de Puerto Montt se usaron para testear la variación local a una escala más pequeña y diferencias potenciales debidas al efecto de cardúmen. Además, en lugar de submuestrear por longitud, se submuestreó al azar, confiando en la covariable para hacer la comparación entre los tratamientos y dejando sola la diferencia para caracterizar las escalas espaciales en las que la química de borde presenta variaciones.

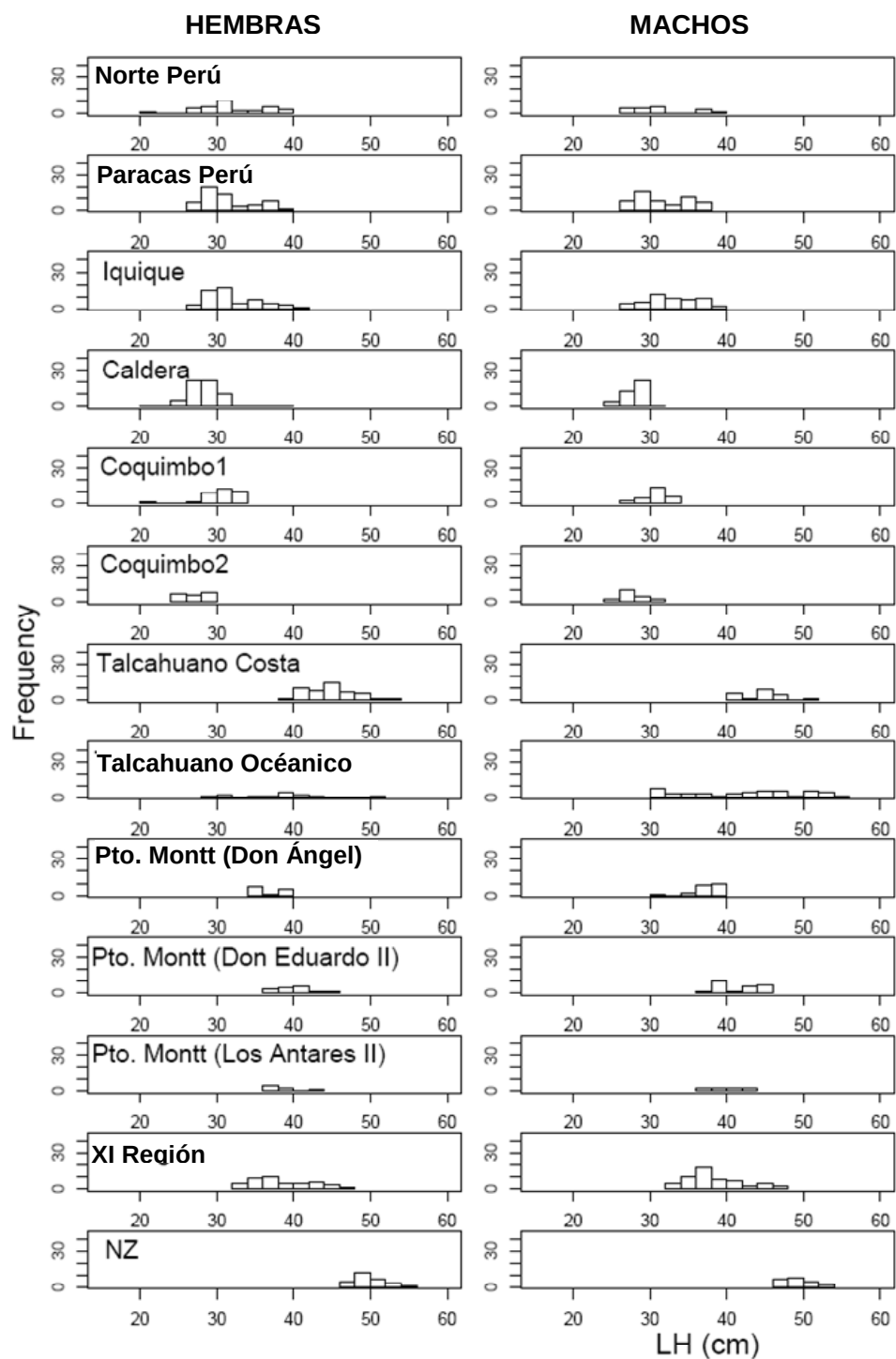


Figura D1.6. Frecuencias de longitud de jurel extraídas de áreas de muestreo.

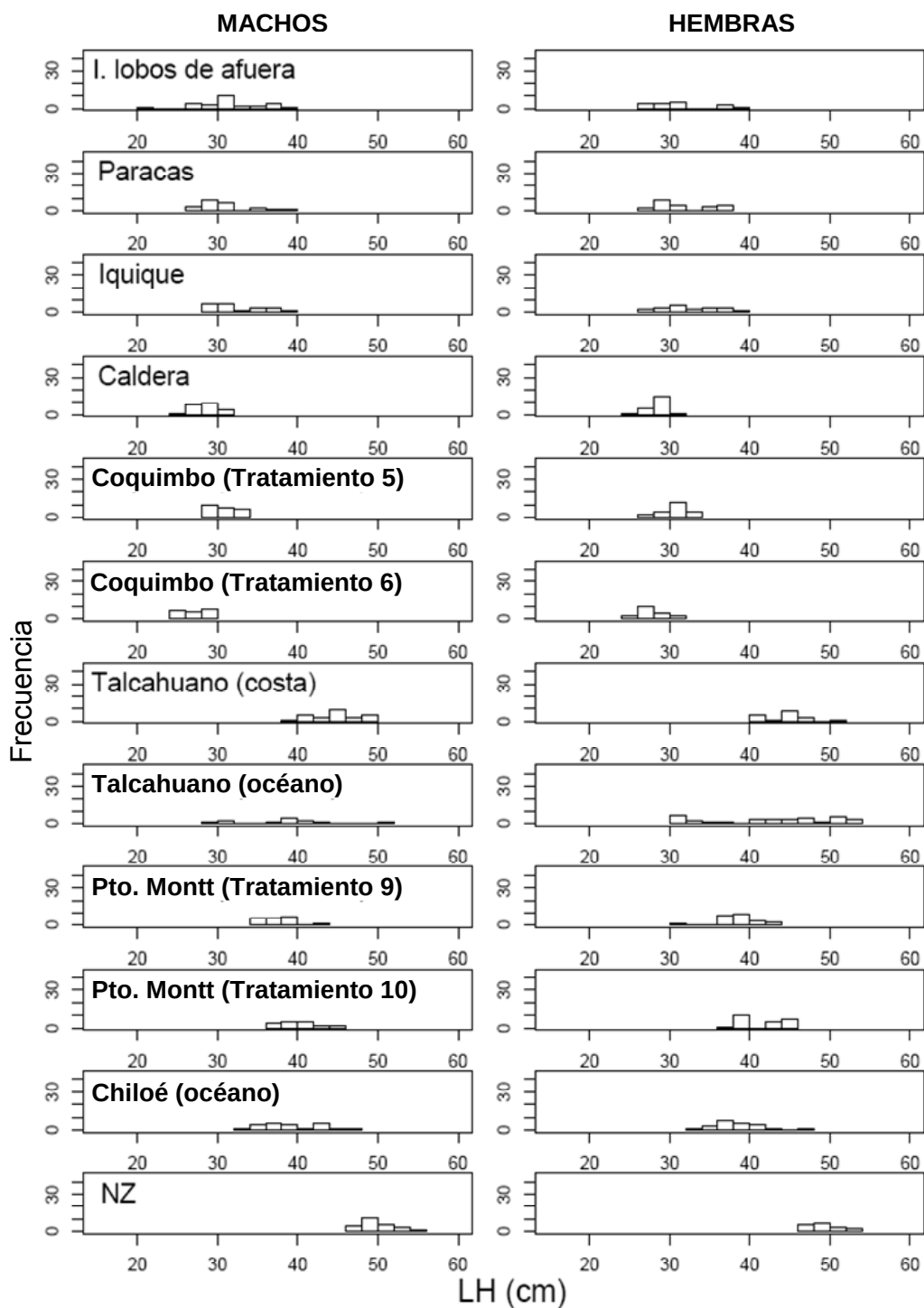


Figura D1.7. Frecuencias de longitud de jurel seleccionadas aleatoriamente para análisis de ICPMS.



Para controlar las fuentes de variaci3n que confunden, incluyendo la deriva de la m1quina, se seleccion3 al azar un pez de cada uno de los 12 tratamientos para montar en todos los portaobjetos a ser presentados para el ICPMS. A estos peces se les asign3 aleatoriamente posiciones en el portaobjetos, lo que di3 un dise1o de bloques totalmente al azar en el portaobjetos del ICPMS. Para la qu1mica del n1cleo, para examinar las diferencias entre los tratamientos se aplic3 un ANOVA pero sin la longitud como covariable. Se usaron an1lisis de conglomerados multivariados para explorar los datos de grupos dentro de y a trav3s de 1reas de muestreo que corresponden a diferentes poblaciones subyacentes y, por lo tanto, para examinar la mezcla y el movimiento entre las poblaciones y las 1reas.

D.1.6.3. Preparaci3n y an1lisis de muestras mediante L1ser-ICPMS

Los 516 otolitos fueron preparados para el an1lisis de ICPMS y montados en portaobjetos de cuarzo, como se se1al3 anteriormente. Cada portaobjeto conten1a un otolito de cada tratamiento, cada otolito fue seleccionado y puesto al azar sobre el portaobjetos.

D.1.6.4. Procedimientos de an1lisis de otolitos

La preparaci3n de los otolitos para el an1lisis elemental se indica en Ashford *et al.* (2005). Para quitar cualquier contaminaci3n superficial, los otolitos fueron lavados con agua Milli-Q, puestos en per3xido de hidr3geno ultra puro al 20% por cinco minutos y enjuagados de nuevo en agua Milli-Q. Luego, fueron cortados para producir secciones transversales gruesas. De cada par, se seleccion3 el otolito sagital derecho. Los otolitos seleccionados fueron cortados desde el extremo anterior usando una sierra de cortar de un equipo HillQuist Thin Section para dar una superficie transversal anterior al n1cleo. Los otolitos fueron montados sobre esta superficie en un portaobjetos usando *crystalbond*, que fue probado anteriormente



para asegurarse que no fuera una fuente de contaminación, y seccionados desde el lado posterior para revelar un plano transversal a través del núcleo del otolito. Cerca de los lóbulos del borde de los otolitos (crenellations), su microestructura es frecuentemente poco definida, por lo que estas zonas fueron evitadas. La superficie de la sección gruesa montada que se originó fue seccionada finamente y pulida con un equipo Crystalmaster 8. En una sala limpia Class 100, las secciones fueron lavadas con agua Milli-Q bajo una campana de flujo laminar y pulidas finamente a mano usando pinzas plásticas limpias y película de pulir de laboratorio Mark V. Cada otolito fue limpiado sucesivamente con tres piezas de película limpia 3M, acabado con película 0,3M, lavadas, y la superficie fue empapada con peróxido de hidrógeno Ultra-Pure al 20% por cinco minutos antes de ser lavada una vez más. Después del secado, las secciones de cada tratamiento fueron elegidas al azar, sacadas del portaobjetos y montadas en orden aleatorio sobre portaobjetos petrográficos limpios bajo una campana de flujo laminar usando *crystalbond*. Las secciones montadas se lavaron, fueron insonificadas por cinco minutos, se volvieron a lavar, todo con agua Milli-Q, y se pusieron a secar.

Se usó ICPMS de campo-sector de doble-enfoque Finnegan Mat Element 2 ubicado en el Laboratorio de Investigación de Isótopos y Elementos Traza (Laboratory for Isotope and Trace Element Research, LITER) del instituto oceanográfico Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) para examinar la química menor y de elementos traza de los otolitos. Las muestras fueron introducidas en secuencia automatizada (Chen *et al.* 2000) utilizando un sistema de ablación láser y un nebulizador de microflujo. El material otolítico ablacionado de la célula de la muestra fue mezclado en la cámara de “spray” con aerosol de HNO_3 introducido por el nebulizador y la mezcla fue después transportada a la antorcha del ICP. Para el control de calidad, se usó material de referencia de otolito disuelto obtenido del National Research Council de Canadá, que fue introducido de la misma forma a la cámara de spray por medio del nebulizador como aerosol antes de ser transportado a la antorcha del ICP. Los



testigos (blancos) de aerosol de HNO_3 fueron introducidos a la c3mara por medio del nebulizador.

Para controlar la variabilidad operacional en el L3ser-ICPMS, se us3 un dise1o de bloques al azar con cada portaobjeto petrogr3fico como factor de bloque, considerando que fue seleccionado aleatoriamente y con cada 3rea de muestreo considerada como tratamiento fijo. Las lecturas de la tasa de conteo (conteos/segundo) de los blancos y los est3ndares se obtuvieron antes y despu3 de la presentaci3n al azar de las secciones de otolitos en cada bloque y cada tres otolitos dentro de cada bloque. Los otolitos fueron analizados para ^{48}Ca , ^{25}Mg , ^{55}Mn , ^{88}Sr y ^{138}Ba , y fueron reportados en su raz3n con ^{48}Ca . Para calcular el porcentaje de Ca (Me/Ca) las ablaciones de referencia se restaron de las ablaciones de los otolitos por interpolaci3n entre las lecturas obtenidas antes y despu3 de cada conjunto de tres otolitos, y las ablaciones (conteos) de otolitos corregidos fueron convertidos a concentraciones $\text{Me} \cdot \text{Ca}^{-1}$ usando los est3ndares (Me es un s3mbolo general y representa cualquier elemento).

Para muestrear el material establecido justo antes de la captura, se ubic3 un raster a lo largo del borde pr3ximo-dorsal del otolito con un haz l3ser de 25 μm de di3metro, 10 Hz de frecuencia y 60 % de potencia, que se desplazaba aproximadamente 900 μm a lo largo del borde a 6 $\mu\text{m s}^{-1}$ y que produjo cr3ter de ancho promedio previsto de 17 μm y con una profundidad aproximada de 100 μm (Jones & Chen 2003, ecuaci3n 3). El material fue analizado para ^{48}Ca , ^{25}Mg , ^{55}Mn , ^{88}Sr y ^{138}Ba , con conteos que se promediaron sobre la longitud de la l3nea para cada marcador y se reportaron como raz3n de ^{48}Ca . Para muestrear el material establecido durante los primeros estadios del ciclo vital, se ubic3 un raster de 150 $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ sobre el n3cleo dentro de la primera zona transparente para incluir el primordio y el material que lo rodea y se us3 el mismo arreglo. Cada medici3n



consistió en la media de 85 barridos individuales tomados en sucesión a medida que el láser viajaba a lo largo del raster.

D.1.6.5. Métodos estadísticos – Química establecida antes de la captura a lo largo del borde de los otolitos.

Una estructura de población espacialmente discreta que concuerda con las áreas de muestreo implica que los peces de cada área fueron desovados separadamente de aquellos en otras áreas y, por lo tanto, estuvieron expuestos a diferentes ambientes en sus primeros meses de vida. Esto a su vez queda registrado en la química del otolito pero sólo si esto de verdad refleja la heterogeneidad espacial, de otra forma, las similitudes espaciales en el ambiente convertirían esta técnica en inefectiva. Por tanto, se usó la información de los bordes para testar la química en relación con la heterogeneidad espacial. Siguiendo los resultados de nuestro trabajo acerca del bacalao de profundidad, nuestra expectativa era que la química establecida por el jurel reflejara diferencias debido a la hidrografía. Consecuentemente, sobre la base de las descripciones de Orsi *et al.* (1995) acerca de la circulación en el Océano Antártico y de Strub *et al.* (1998) acerca de la circulación en la costa occidental de América del Sur, formulamos las siguientes hipótesis ambientales:

Hipótesis E1: El jurel capturado en aguas oceánicas al norte del Frente Subtropical muestra una química diferente de aquellos capturados al sur de éste, lo que refleja exposiciones respectivas al Agua Subtropical Superficial (ASTS) y al Agua Superficial Subantártica (ASSA).

Hipótesis E2: El jurel capturado a lo largo de las costas chilenas y peruanas muestra una química que varía de sur a norte, reflejando cambios en la influencia relativa de la Corriente Costera de Chile, que transporta agua fresca y fría de los fiordos hacia el norte y de surgencia desde aguas más profundas.



Hipótesis E3: El jurel capturado en áreas costeras caracterizadas por surgencia muestra una química que refleja la exposición al Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) de la contracorriente hacia el polo.

Con el fin de analizar estas diferencias, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), utilizando análisis univariados separados para examinar el comportamiento de la razón de cada elemento. Examinando el material depositado a lo largo del borde de los otolitos, el análisis se limitó a aquellos portaobjetos con el total de muestras de todos los tratamientos, que correspondía a un diseño de bloques aleatorio totalmente balanceado. La información de dos portaobjetos no se consolidó correctamente en un archivo de resultados durante los ensayos por lo que la información no se usó en este análisis. Los datos de un tercer portaobjetos no se utilizaron ya que eran claramente erróneos y correspondían a un periodo en que el flujo de argón estaba incorrecto y datos del borde de otro portaobjeto también estaban comprometidos. Por lo tanto, se usaron los datos de 34 portaobjetos para el análisis de los datos del borde y 35 para el análisis del núcleo del otolito. Como toda la selección de otolitos y la distribución a los portaobjetos fue completamente al azar, la reducción del tamaño de la muestras no tuvo mayores efectos.

Para los datos del borde se identificaron seis valores extremos (outliers) al trazar la distancia cuadrada robusta de Mahalanobis de los residuales contra los cuantiles de la distribución χ^2 correspondientes. Al evaluar las hipótesis de ANOVA multivariado, se comprobó analíticamente la normalidad multivariante usando pruebas ($\alpha = 0,05$) basadas en las medidas de asimetría y curtosis de Mardia (Khattree y Naik 1999), y gráficamente usando gráficos Q-Q de distancias cuadradas de Mahalanobis (d^2_i). Como las distribuciones de los datos no fueron normales y mostraron una sola cola larga en cambio, las matrices de varianza-covarianza no eran simétricas de acuerdo con la modificación de Bartlett; usamos a cambio ANOVA univariado para cada razón Me/Ca. Se usaron transformaciones estabilizadores de varianza de la escala de



potencia (ladder of power)) para satisfacer los supuestos (Kuehl, 1994). Las transformaciones de datos seleccionadas fueron $y^{-0.9}$ para Mg/Ca, $y^{-0.8}$ para Sr/Ca, $y^{-0.4}$ para Ba/Ca, que redujeron las colas de las distribuciones en forma similar a las transformaciones estándares lognormales. El Mn/Ca no sobrepasó los niveles de detección por lo que finalmente no fue incluido en los análisis.

La información transformada cumplió con la hipótesis de homogeneidad de varianzas ($F_{\max}$; $t = 12$, $v = 34$; $\alpha = 0,01$), excepto Ba/Ca, para el cual ambas muestras de Talcahuano presentaron una mayor varianza. Los residuos de cada tratamiento se distribuyeron normalmente (prueba de Kolmogorov-Smirnov; $\alpha = 0,05$), excepto en Talcahuano Costa para Sr/Ca (Kolmogorov-Smirnov = 0,026 pero Shapiro-Wilks = 0,059) y en varios tratamientos para Ba/Ca: Islas Lobos de Afuera (Kolmogorov-Smirnov < 0,01), Talcahuano Costa (Kolmogorov-Smirnov = 0,021), Puerto Montt 1 (Kolmogorov-Smirnov = 0,01), y Nueva Zelandia (Kolmogorov-Smirnov = 0,032). No obstante que el ANOVA es sensible a la heterocedasticidad es generalmente mucho más robusto a la desviación de la normalidad.

Para las ANOVAs, no se encontró ningún efecto debido al sexo para ninguna razón de elementos, pero sí se halló un efecto importante debido a la longitud para Sr/Ca y Ba/Ca. También se descubrió un efecto de bloque significativo debido al portaobjetos para Mg/Ca, pero no para los otros elementos. Para examinar las comparaciones iniciales indicadas anteriormente y aquellas señaladas en nuestras hipótesis, se utilizaron las pruebas de Scheffé y de rangos múltiples Student-Newman-Keuls (SNK) para aquellas comparaciones en pares en una serie ordenada de todas las medias de tratamiento basadas en tasas de error por experimento.

Por último, debido a que la falta de igualdad de matrices varianza-covarianza nos impidió usar análisis discriminante canónico, utilizamos escalamiento multidimensional no-métrico (nMDS) (Kruskal & Wish 1978; Schiffman *et al.* 1981)



en su lugar para ilustrar gráficamente las diferencias entre las áreas de muestreo. La información de bordes transformada se estandarizó a la misma escala tanto para los datos del núcleo como para los del borde. Mediante la construcción de una matriz de disimilitud basada en distancias euclidianas, se crearon proyecciones bidimensionales de distancia entre peces individuales usando criterios de convergencia de estrés $<0,01$.

D.1.6.6. Métodos estadísticos – Química fijada durante la vida temprana en el núcleo del otolito.

Dada la considerable heterogeneidad espacial mostrada en la química por los bordes de los otolitos, se continuó con el análisis de la estructura poblacional usando la química del núcleo. Examinamos las siguientes hipótesis de estructura de población señaladas durante el Taller de Jurel Chileno 2008 (OROP-PS, Santiago, Chile):

Hipótesis P1: El jurel capturado frente a las costas de Chile y Perú constituyen stocks transzonales separados.

versus

Hipótesis P2: El jurel capturado frente a las costas de Chile y Perú constituye un stock único común que se extiende hacia la alta mar.

Hipótesis P3: El jurel capturado frente al área chilena constituye un stock transzonal único que se extiende desde la costa hasta aproximadamente los 120° O.

versus

Hipótesis P4: El jurel capturado frente al área chilena constituyen stocks separados transzonal y de alta mar.



Utilizamos ANOVA basado en un diseño de bloques completamente al azar para analizar las diferencias, con un portaobjetos ICPMS como bloque, pero midiendo la química en el núcleo fijada durante la primera etapa de vida. Como Mn/Ca no mostró propiedades espaciales útiles en la química de bordes, los análisis se restringieron a Mg/Ca, Sr/Ca y Ba/Ca. Las transformaciones estabilizadoras de varianza correspondieron a $y^{-0,1}$ para Mg/Ca, $y^{-1,8}$ para Sr/Ca, $y^{-0,2}$ para Ba/Ca. Se identificaron dos valores extremos (outliers), los cuales fueron removidos. Al probar las hipótesis de ANOVA multivariado, los datos no cumplieron el supuesto de normalidad multivariante y las matrices varianza-covarianza fueron desiguales ($\chi^2 = 115$, $df = 66$, $p > \chi^2 = 0,0002$), de modo que el MANOVA de nuevo fue inapropiado y se usó ANOVA univariante para analizar las diferencias entre las áreas. La información transformada confirmó la hipótesis de homogeneidad de varianzas ($F_{\max}$; $\alpha = 0,01$) para todas las zonas muestreadas. Los datos estuvieron distribuidos normalmente (Kolmogorov-Smirnov; $\alpha = 0,05$) con la excepción de Chiloé Oceánico (Kolmogorov-Smirnov = 0,011) y Nueva Zelandia (Kolmogorov-Smirnov < 0,010; sin embargo Shapiro-Wilks = 0.44) para Mg/Ca; en Parácas (Kolmogorov-Smirnov < 0,010; sin embargo Shapiro-Wilks = 0.22) y Puerto Montt (Kolmogorov-Smirnov = 0,048; sin embargo Shapiro-Wilks = 0.060) para Sr/Ca; y en Isla Lobos de Afuera para Ba/Ca (Kolmogorov-Smirnov = 0,016). No obstante, las distribuciones no mostraron asimetría y por tanto se utilizó ANOVA pero sin la covariable longitud y el factor sexo, lo que restringe el modelo al efecto de tratamiento para el área de muestreo y a un efecto de bloque para el portaobjetos ICPMS. El efecto bloque fue importante para Mg/Ca pero no para Sr/Ca ni Ba/Ca.

La heterogeneidad espacial también puede producirse cuando los peces, aun cuando sean desovados separadamente, se dispersen y se mezclen en distintas proporciones entre las áreas de muestreo. Por tanto, para examinar si la heterogeneidad espacial se debió a poblaciones discretas o a la mezcla de más de una, se analizaron gráficamente las razones de concentraciones de los elementos en



el núcleo para peces individuales usando el escalamiento multidimensional no-métrico estandarizado a la misma escala. Mediante la construcción de una matriz de disimilitud basada en distancias euclidianas, se creó una proyección bidimensional de distancia entre peces individuales usando un criterio de convergencia de $\text{Stress} < 0,01$. También se empleó un análisis de conglomerados para detectar a los peces que cruzan entre las áreas de muestreo mediante el enfoque jerárquico de varianza mínima de Ward sobre los datos estandarizados. Para determinar la calidad del agrupamiento, se usó desviación estándar cuadrática media (DECM), R cuadrado semiparcial, R cuadrado y la suma de los cuadrados entre los conglomerados para medir la pérdida de homogeneidad a través de la convergencia sucesiva de conglomerados. El número apropiado de conglomerados fue tomado como aquel bajo el cual las medidas comenzaron a cambiar marcadamente (Khattree y Naik 2000).

D.1.7. Análisis de patrones de historia de vida

Con el objeto de identificar la estructuración de la población de jurel en el Pacífico Suroriental, se propone estudiar un conjunto de parámetros de historia de vida en un contexto espacio-temporal. La información biológica que se pretende analizar dice relación con la distribución de la abundancia y la estructura de tamaños, la tasa de crecimiento en peso del otolito, y también indicadores reproductivos que estén disponibles por localidades en el área de distribución del recurso.

La distribución espacial y temporal de la abundancia (biomasa total, biomasa desovante), abundancia de huevos y larvas, así como la estructura de tamaños, pueden proveer evidencia del nivel de abundancia, área de desove, y conectividad del ciclo de vida. La tasa de crecimiento en peso del otolito puede proveer evidencia de diferencias en las tasas de crecimiento; mientras que áreas de reproducción, indicadores reproductivos como el índice gonadosomático, el factor de condición, también pueden constituirse en evidencia de la presencia de subpoblaciones dentro



de aproximaciones holísticas utilizadas para la identificación de la estructura poblacional.

Actualmente, la mayor cantidad de información disponible de prospecciones acústicas, de ictioplancton, así como información pesquera, deberá ser considerada en el contexto de análisis de patrones de distribución espaciales que permitan ser confrontados con los resultados encontrados por Serra (1991).

D.1.7.1 Patrones de distribución de la abundancia y estructura de tallas

Se revisó la literatura existente a la forma de artículos publicados en revistas de corriente principal, informes finales de proyectos de investigación. En cuanto a la literatura publicada en revistas de corriente principal, se realizó una búsqueda a través del portal de la biblioteca de la Universidad de Concepción (<http://www.bib.udec.cl>), y de particular importancia la literatura rusa disponible a través del Journal of Ichthyology (<http://www.maik.rssi.ru/cgi-bin/>), actualmente disponible a través de SpringerLink.

En el caso de los informes finales de proyectos orientados a la evaluación y prospección se solicitó copia de los informes disponibles en el Fondo de Investigación Pesquera (<http://www.fip.cl>) y de los Informes Técnicos del Instituto del Mar del Perú (<http://www.imarpe.gov.pe>). Los Informes Técnicos de este instituto que no estuvieron disponibles electrónicamente, fueron solicitados a través de la Biblioteca de IMARPE.

La información de abundancia se resumió en términos de búsqueda de patrones, según los siguientes indicadores:



- i) Niveles de la abundancia, definidos como biomasa total, biomasa desovante.
- ii) Distribuci3n de la abundancia, definida en t3rminos de distribuci3n latitudinal y costa-oc3ano.
- iii) Resumen de patrones de cambios estacionales y espaciales.

En cuanto a la estructura de tama1os, se recopil3 datos de composici3n por tallas de las capturas comerciales de cada una de las unidades de pesquer3a de Chile, a saber: a) Zona Norte (Arica – Antofagasta), b) Zona Centro-Norte (Caldera, Coquimbo), c) Zona Centro-Sur (San Antonio-Valdivia-Chilo3). En el caso de la pesquer3a de altura rusa que oper3 entre 1979 y 1991, se cont3 con datos de composici3n por tallas en las capturas de la flota que oper3 en la Subdivisi3n Sur, y que corresponde b3sicamente a la zona oce3nica frente a Chile (Proyecto FIP 96-15, Migraci3n de jurel desde y hacia la ZEE de Chile central; Proyecto FIP 95-09, Evaluaci3n del stock de jurel a nivel subregional). Finalmente, se recopilaron datos de frecuencia de tallas de jurel en la pesquer3a de cerco frente a Per3 durante el periodo 1995-2006. Se destaca que en el IMARPE se utiliza la longitud total (LT) para medir el tama1o de los espec3menes de jurel. Por esta raz3n y para fines comparativos, se utiliz3 la relaci3n comunicada por Serra (1991) para convertir de longitud total a longitud horquilla, i.e. $LH=0,3873+0,8893*LT$.

Los datos de estructura de tama1os, se utilizaron para obtener una serie de indicadores a la forma de series de tiempo, tal que permitan ser comparados estad3sticamente; a saber:

- i) Proporci3n de jurel menor a 25 cm LH
- ii) Talla media en la fracci3n menor a 25 cm LH
- iii) Talla media en la fracci3n mayor a 25 cm LH
- iv) Talla promedio



La proporci3n de jurel menor a 25 cm LH se compar3 entre localidades o zonas geogr3ficas mediante correlaci3n logística, utilizando la transformaci3n “logito” ($\theta = \ln(P/(1 - P))$). Con el objeto de establecer el grado de asociaci3n entre zonas de estos indicadores se utiliz3 una matriz de correlaci3n.

Finalmente, la estructura de tallas anual de jurel en las capturas nacionales se compar3 con la composici3n de tallas de las capturas de la flota de altura rusa, utilizando el siguiente comparador basado en una distribuci3n multinomial:

$$A_t = \sum_l p_{l,z=1} \times \log(p_{l,z=1}) - \sum_l p_{l,z=2} \times \log(p_{l,z=2})$$

Donde l es la talla y z la zona. Cuando la composici3n por tallas es igual en dos zonas, entonces $A_t = 0$. De esta manera, mientras m3s cercano a cero resulta el valor de esta variable, m3s similares son las estructuras de tamaño. Este es an3logo a una raz3n de log-verosimilitud y si se cuenta con el tamaño de muestra se podría obtener un nivel que permita seńalar cuando dos composiciones por tallas son estadísticamente diferentes. Sin embargo, los datos con los que se cuenta corresponden a datos de captura en númer a la talla, cuya cantidad de ejemplares puede invalidar el nivel de significancia ya que la varianza depende del tamaño de muestra para una variable que se distribuye segùn el modelo multinomial.

D.1.7.2. Tasa de crecimiento en peso del otolito

El peso del otolito puede ser considerado un estimador de la edad (Francis y Campana, 2004) y tambi3n podría ser utilizado para identificar unidades poblacionales. Araya *et al.* (2001) proveen evidencia de una relaci3n entre la edad y el peso de los otolitos de jurel. Los autores demuestran que datos de frecuencia del peso del otolito pueden ser descompuestos en componentes normales de edad, identificar cohortes y analizar la progresi3n modal del peso del otolito.



En el contexto de la identificación de unidades poblacionales, la tasa de crecimiento en peso del otolito se puede utilizar para analizar diferencias entre localidades en el área de distribución. Para ello, muestras aleatorias de otolitos de jurel fueron recolectados por localidad, o sitio de muestreo, considerando un mínimo de 10 pares de otolitos enteros (limpios y no dañados) por clases de tamaños. Los otolitos fueron guardados secos en sobres de papel rotulados con los datos del individuo, a saber: longitud horquilla, peso y sexo. Una vez recibidos los otolitos, fueron limpiados de todo material orgánico, primero con agua destilada y posteriormente con ultrasonido. Se comprobó que no existen diferencias significativas entre el peso del otolito izquierdo y derecho, ni entre sexo, como también entre peso húmedo y seco (Araya *et al.* 2001). El peso de los otolitos se obtuvo mediante una balanza analítica de 0,0001 g de precisión, excluyéndose los otolitos quebrados y dañados producto de la manipulación y también los translúcidos. A su vez, se determinó la edad del pez a través de la lectura de *annulis* sobre la cara externa del otolito entero. La preparación del otolito para la lectura siguió la metodología de Gili *et al.* (1995).

La tasa de crecimiento en peso del otolito (mg por año) se obtiene al relacionar el peso del otolito en función de la edad, donde la pendiente es un estimador de la tasa de crecimiento. De esta manera, se pueden comparar localidades mediante análisis de varianza o análisis de covarianza en el caso de contar con otras variables continuas que puedan afectar el peso del otolito (*e.g.* longitud del pez).

D.1.7.3. Índices reproductivos y de condición

El énfasis de este análisis radica en un análisis histórico, con énfasis en la distribución de jurel a lo largo del margen oriental del Pacífico. Para ello, se compilaron los datos biológicos específicos disponibles entre localidades, tal como longitud horquilla, peso total, peso eviscerado, peso de gónadas, y estados de



madurez sexual macroscópicos. Los datos básicos se utilizaron para obtener índices de razón de órganos; a saber:

- i) Índice gonadosomático
- ii) Factor de condición de Fulton

Los datos fueron comparados entre localidad, meses y rangos de tamaños utilizando Modelos Lineales Generalizados, que tienen la flexibilidad para permitir trabajar con factores fijos como localidades, clases de tamaño y co-variables como la longitud, edad y peso. Se usó la biblioteca MASS de Venables y Ripley (2002) para el lenguaje y software R v. 2.0.2 (Ihaka and Gentleman, 1996; <http://www.r-project.org>).

D.1.8. Análisis oceanográfico

D.1.8.1. Datos para análisis de oceanografía del Pacífico Sur Oriental

La recopilación de información oceanográfica y meteorológica realizada mediante datos satelitales, modelos y datos *in situ*, se representó a nivel estacional para mostrar de manera adecuada el cambio espacial y temporal de las variables asociadas a los datos pesqueros.

D.1.8.1.1. Batimetría

Se utilizó una batimetría interpolada de 2' de resolución espacial para describir las principales características topográficas en el Pacífico sur oriental (PSO). Estas grillas están basadas en mediciones directas de sonda, modelos e información satelital entregadas por el gravímetro a bordo (Sandwell and Smith, 1996). Los datos provienen del sitio WEB http://topex.ucsd.edu/marine_topo/mar_topo.html de Scripps Institution of Oceanography.



D.1.8.1.2 Información satelital Semanal y Mensual (Temperatura Superficial del Mar (TSM), Clorofila satelital (Ctoa), Anomalía del nivel del mar (ANM) y corrientes geostróficas).

Imágenes de promedios semanales de TSM de 4km de resolución espacial del programa PATHFINDER (www.nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/), que abarcan el periodo 1985-2006, fueron utilizadas para determinar el área de influencia de la surgencia mediante el cálculo de la varianza y analizando su distribución espacial.

La información semanal de clorofila proviene de imágenes diarias de clorofila satelital SeaWiFS, con resolución espacial de 9x9 km, obtenidas del Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) para el periodo 1997-2007.

Además para estudiar la oceanografía del área de desove frente a Chile centro-sur, durante el mes de noviembre, se utilizó información de temperatura superficial del mar (TSM) que corresponde a los promedios mensuales de las imágenes Pathfinder v05 entre 1985-2007, obtenidas de la National Oceanographic Data Center NODC de la NOAA (<http://www.nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/userguide.html>). Con esta información se calculó los campos promedios y de varianza de la TSM, inicialmente utilizando todos los registros disponibles y posteriormente sólo utilizando los registros correspondientes a los meses de noviembre, con el fin de observar la distribución de la TSM del área y su cambio hacia las condiciones típicas durante el mes representativo del máximo desove (noviembre). Paralelamente se obtuvieron los promedios mensuales de clorofila satelital de noviembre usando el promedio ponderado calculado a partir de las imágenes diarias SeaWiFs entre 1997-2008, obtenidas del Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>).



La energí3a cin3tica satelital (EC) est3 basada en velocidades geostr3ficas, derivadas del producto combinado TOPEX-Poseidon/ERS, distribuido por AVISO (<http://www.aviso.oceanobs.com/>), con resoluci3n espacial y temporal de 0.25° y 1 semana, respectivamente, que comprenden el periodo 1992-2007. Los campos de altimetría dentro del periodo diciembre de 1993 - marzo de 1995 no fueron considerados para el c3lculo de EC, debido al menor n3mero de sat3lites operativos y la baja confiabilidad de los datos en este periodo. Se utiliz3 esta estimaci3n como promedio estacional y como promedio para el mes de noviembre para describir la 3poca del m3ximo desove

D.1.8.1.3. Informaci3n mensual proveniente de modelos de circulaci3n regional (Corrientes superficiales y subsuperficiales, campos verticales y horizontales de temperatura y salinidad).

Se utilizaron los promedios mensuales generados por el modelo de asimilaci3n oceanogr3fica SODA versi3n 2.0.2 y 2.0.3, entre 1958-2004, los cuales fueron obtenidos de <http://dsrs.atmos.umd.edu>. Este modelo posee una resoluci3n espacial de 0.5° con 40 niveles de profundidad. Este modelo que hace un diagn3stico estacionario de cada mes utiliza como entrada todos los datos de perfiles hidrogr3ficos disponibles, estaciones oceanogr3ficas y anclajes, datos de viento ECMWF y QuikSCAT y registros de temperatura satelital nocturna. Los campos de temperatura superficial (TSM), salinidad superficial (SS) y corriente superficial (CS) corresponden a un promedio de los primeros 50 metros de profundidad. El transporte en superficie (TS) es el integrado de las corrientes SODA en los primeros 50 metros, a trav3s de una distancia de 0.5 grados orientada este-oeste (transporte zonal) y norte-sur (transporte meridional). El esfuerzo del viento (τ) corresponde el promedio de los campos superficiales de esfuerzo generados por SODA. La capa de mezcla es calculada a partir de los perfiles de temperatura en cada punto de la cuadrícula SODA, siguiendo la metodología de Lorbacher *et al.* (2005).



D.1.8.2. Procesamiento y análisis de la información

El procesamiento y análisis de la información disponible se realizó considerando toda la región de estudio (*i.e.*, Pacífico Sur) y la zona del Pacífico Sur Oriental (120° - 100° a 70°W) a modo de acercamiento hacia la zona oceánica y costera frente a Sudamérica, de tal forma de caracterizar los patrones oceanográficos espaciales y temporales tanto a escala del Pacífico como a escala regional. En esta perspectiva, el procesamiento y análisis de la información consideró las características medias y el ciclo anual (cambios estacionales) de los patrones hidrográficos y la dinámica del ambiente asociada al recurso jurel en el Pacífico Sur. La primera aproximación se realizó mediante la interpretación de las cartas obtenidas las cuales no han sido revisadas en conjunto anteriormente en ningún otro trabajo de esta naturaleza. Posteriormente, se enfocó este análisis a la zona de desove descrita frente a Chile centro-sur

D.2. RESULTADOS

El objetivo de determinar las unidades poblacionales del jurel que pudieran existir en el Pacífico sur se cumple con la aplicación de un conjunto de métodos (Begg y Waldman, 1999) para resolver el problema, en el marco de un enfoque holístico. En este sentido los objetivos específicos del proyecto consideran la aplicación de marcadores genéticos y ecológicos para la identificación de stocks. Por tanto a continuación se entregan los resultados obtenidos con los diferentes métodos identificados en la propuesta para este efecto y que cumplen con estos objetivos específicos del estudio.



D. 2.1. Marcadores gen3ticos

Dentro de las metodologías disponibles para la identificaci3n de stock, los estudios gen3ticos en conjunto con el desarrollo de marcadores moleculares se presentan como de suma importancia; pues son herramientas de gran utilidad y aplicaci3n en la elaboraci3n de mapas gen3ticos y físcos, búsqueda de asociaciones con QTLs (quantitative traits loci), variabilidad gen3tica, estudios de ligamiento, identidad y discriminaci3n de genotipos, parentesco, programas de selecci3n asistida, estudios de filogenia, gen3tica de poblaciones, etc. El t3rmino “marcador molecular”, corresponde a cualquier fenotipo molecular que sea producto de la expresi3n de un gen o de segmentos específcos del ADN, que pueden ser regiones expresadas o no del genoma (Becerra y Paredes, 1999; Ferreira y Grattapaglia, 1989). Estos marcadores moleculares pueden ser de origen nuclear (ADNn) o mitocondrial (ADNmt).

D.2.1.1. Marcadores moleculares nucleares para identificaci3n de stock

En el ADN nuclear podemos encontrar secuencias moderadas y altamente repetitivas; entre las moderadamente repetitivas se encuentran los genes ribosomales, estructurados por unidades con un patr3n de ADN de dos o m3s nucle3tidos que se repiten, y estas repeticiones son contiguas entre si (Tandem). Estos tandem son repetidos cientos de veces. Entre las secuencias altamente repetitivas del ADN nuclear se encuentran los microsat3lites (Litt y Luty, 1989).

Uno de los marcadores m3s utilizados y populares en el último tiempo para la evaluaci3n de unidades poblacionales discretas y determinaci3n de variabilidad gen3tica son los marcadores del tipo microsat3lite (SSRs: Simple Sequence Repeats; STRs: Short Tandem Repeats). Los marcadores microsat3lites corresponden principalmente a regiones del ADN nuclear que no codifican, de origen y funci3n desconocida aú, presentan motivos b3sicos de repetic3n (en tandem) de 1 a 6



nucleótidos de largo (Hancock, 1999). Se encuentran distribuidos ampliamente en el genoma (O' Connell & Wright, 1997; Tautz, 1989; Zane *et al.* 2002), encontrándose una región microsatélite cada 10 Kilobases.

Las principales ventajas de los microsatelites son: a) pueden ser amplificados mediante la reaccion en cadena de la polimerasa (PCR, replicación *in vitro*); b) se comportan de acuerdo a las leyes de herencia mendeliana (presentan segregación independiente); c) son codominantes (pudiéndose diferenciar los individuos homocigotos de los heterocigotos) (De Woody & Avise, 2000), d) al encontrarse, principalmente en regiones no codificantes (genes que no sintetizan proteínas) se les cataloga como marcadores selectivamente neutros (genes mutados no tienen ventajas selectivas en comparación con genes no mutados), salvo algunas excepciones y por último, e) presentan una elevada tasa de mutación, lo que conlleva a un elevado polimorfismo (la variación en el número de repeticiones es lo que constituyen los múltiples alelos) (Tautz, 1989). Estas características son las principales que permite usarlos como marcadores moleculares en una gran variedad de aplicaciones en el campo de la genética, tales como parentescos, estudios de conservación y estudios de poblaciones. Dentro de los estudios poblacionales los microsatélites se han utilizado en diversos estudios de variabilidad genética, estructuración poblacional o evaluación de stock, para diferentes recursos marinos: peces (Ward *et al.* 2001; Oke *et al.* 1999), moluscos (McGoldrick *et al.* 2000; Pressa *et al.* 2002) y crustáceos (Cruz *et al.* 2002).

Para obtener este tipo de marcador molecular se necesita realizar una biblioteca genómica, buscarlos y aislarlos (Ver Zane *et al.* 2002). El aislamiento no es fácil, ya que se necesita un ADN de buena calidad, se utilizan enzimas de restricción para fragmentar el ADN, es necesario clonar, ligar, cultivar bacterias, encontrar el fragmento microsatélite, secuenciar y posteriormente diseñar partidores específicos de las regiones flanqueantes para el microsatélite aislado de la especie objetivo. Este



trabajo demanda demasiado tiempo, costos y se necesita personas especializadas y vasta experiencia en el tema. Esta es una de las principales desventajas de estos marcadores, pero no tanto, pese a que los marcadores microsat3lites, en teor3a, son especie espec3ficos (son desarrollados de un s3lo individuo de una especie en particular), 3stos tienen una caracter3stica exclusiva, pueden ser utilizados en especies cercanamente emparentadas, son heter3logos. Esta caracter3stica genera potencialmente gran utilidad para el uso en especies donde no hay conocimientos de dichos marcadores. Ejemplos al respecto son: Rico *et al.*, 1996; D'amato *et al.*, 1999; Bessert & Ort3, 2003; Williamson *et al.*, 2002 y Oke *et al.*, 1999.

D.2.1.2. Estudios gen3ticos previos en *T. murphyi*

Mediante aproximaciones gen3ticas del tipo prote3nas polim3rficas Galleguillos y Torres (1988) analizan muestras de jurel provenientes desde Chilo3, Talcahuano, Juan Fern3ndez, Iquique, Per3 y muestras oce3nicas (39°24'S; 76°45'W). Se comparan las frecuencias g3nicas de tres sistemas enzim3ticos polim3rficos. Al establecer las similitudes gen3ticas entre todas las localidades analizadas, se observa que no se detectaron diferencias significativas entre ellas, destacando las similitudes entre las muestras oce3nicas y costeras, discutiendo la relevancia que tiene un recurso transzonal, que se distribuye m3s all3 de las 200 millas n3uticas.

En 1994 mediante un proyecto FIP (Arancibia *et al.*, 1996) se estudia la presencia de unidades de stocks de jurel en muestras provenientes de cinco puertos chilenos: Iquique, Coquimbo, San Antonio, Talcahuano y Puerto Montt. A trav3s de electroforesis de prote3nas se obtuvieron 23 loci a partir de 15 sistemas enzim3ticos. Con los datos de frecuencias g3nicas y genot3picas se procedi3 a la comprobaci3n de homogeneidad gen3tica entre las muestras, no encontr3ndose diferencias significativas, postulando que las poblaciones analizadas de *T.*



murphyi se ajustan al modelo de población no subdividida, encontrándose un único stock genético de la especie frente a las costas chilenas.

Posteriormente, mediante técnicas genéticas a nivel de ADN se analiza mediante PCR-RFLP segmentos de genes nucleares de la especie correspondiente al ITS2 (Internal Transcribed Spacer) digerido con la enzima Msp I, en muestras provenientes de zonas costeras: Isla Mocha e Iquique; así como muestras oceánicas de Juan Fernández y de Nueva Zelandia y Australia. Se observan en total 3 genotipos, cuyas frecuencias no muestran diferencias significativas, existiendo homogeneidad entre las muestras analizadas para este marcador genético (Sepúlveda *et al.*, 1996).

Recientemente, Elie Poulin, Universidad de Chile, analizó la estructura genética del jurel en la costa chilena, utilizando marcadores moleculares a nivel de ADN mitocondrial y nuclear microsatélites. Obtiene resultados similares a estudios anteriores mediante otras técnicas genéticas. Cabe destacar que los marcadores microsatélites ocupados por Elie Poulin no corresponden a la especie *T. murphyi*, estos fueron aislados de la especie *Trachurus trachurus*, para el proyecto HOMSIIR (QLK5- Ct1999-01438) con muestras del océano Atlántico-noreste al mar Mediterráneo (Ojeda y Poulin, 2002). Se aislaron 11 loci microsatélites de los cuales se ocuparon 5 de ellos. Estos loci revelaron altos niveles de polimorfismo mostrando una heterozigosidad entre 0,7 y 0,88. Las conclusiones de este trabajo no fueron concluyentes para detectar estructura de la población de *T. murphyi*.

D.2.1.3. Objetivo técnica genética

Determinar unidades poblacionales de jurel en la ZEE de Chile y otras regiones del Pacífico Sur mediante marcadores y técnicas de diferenciación genética.



D.2.1.3.1 Objetivos específicos de genética

- Análisis genético poblacional de *T. murphyi* utilizando marcadores microsatélites de *T. trachurus*.
- Construcción de una librería genómica enriquecida para la obtención de marcadores moleculares tipo microsatélites específicos de *T. murphyi*.

D.2.1.4 Resultados del análisis genético poblacional de *T. murphyi* con marcadores microsatélites de *T. trachurus*.

D.2.1.4.1 Resultados con marcadores microsatélites

Variabilidad y estructura genética en microsatélites.

Los seis loci analizados presentaron alta variabilidad (**Tabla D2.1.1**). La heterocigocidad observada promedio por locus fue de 0,737 (Tt29), 0,874 (Tt62), 0,773 (Tt133), 0,845 (TmurA101), 0,910 (TmurA104) y 0,884 (TmurA115). Por otro lado, el número promedio de alelos por locus fue 12,2 (Tt29), 14,7 (Tt62), 33,9 (Tt133), 26,5 (TmurA101), 25,2 (TmurA104) y 30,1 (TmurA115). El número total de alelos por locus fluctuó entre 23–70 (Tt29 y Tt133, respectivamente) para los loci utilizados de *T. trachurus* y 34–45 (TmurA115 y TmurA101, respectivamente) para los loci especie-específicos de *T. murphyi*. Parámetros de variabilidad genética para los seis loci analizados N_a , H_e y H_o por locus y población analizada se observa en la **tabla D2.1.1**. Al evaluar el equilibrio de H&W (**Tabla D2.1.1**) encontramos que algunas poblaciones presentaron loci con valores significativos ($p \leq 0,05$), Paita (Tmur A104 y Tmur A115), Isla de Lobos afuera (Tt133, Tmur A101 y Tmur A115), Paracas (Tt133, Tmur A101 y Tmur A104), Iquique (Tmur A101), Caldera (Tt133, Tmur A101 y Tmur A115), Coquimbo (Tt133), THNOc (Tmur A101,



Tmur A104 y Tmur A115), Centro Sur Oceánicas (Tt133, Tmur A101 y Tmur A104) y Nueva Zelandia (Tt29 y Tt133). Los valores de F_{st} por pares de poblaciones arrojaron valores cercanos a cero con valores $p \leq 0,05$, excepto en el par IQQ-CSO (**Tabla D2.1.2**). Los valores del test de diferenciación el cual se basa en la hipótesis de no diferenciación genética entre las diferentes localidades muestra valores no significativos (**Tabla D2.1.3**) Los resultados del AMOVA muestran que las hipótesis puestas a prueba, presentaron valores F_{ST} (panmixia) y F_{CT} (dos y tres grupos; ver metodología) bajos y con valores de probabilidad no significativos ($p \leq 0,05$) (**Tabla D2.1.4**). Los resultados de seis loci (tres específicos para *T. trachurus* y tres específicos para *T. murphyi*), no muestran diferencias genéticas poblacionales significativas en todo el rango de distribución de la especie.



Tabla D2.1.1.
Parámetros de variabilidad genética para los seis loci analizados.

Locus	Parámetros	Población											Promedio
		PAI	ILA	PAR	IQQ	CAL	CQB	THNOc	THNOc	CLB	CSO	NZ	
Tt 29	N	71	42	86	70	68	89	63	94	93	68	49	12,5 0,734
	Na	15	11	13	11	12	12	14	13	14	11	12	
	Ho	0,761	0,833	0,744	0,757	0,765	0,697	0,746	0,734	0,688	0,691	0,653	
	He	0,726	0,758	0,737	0,767	0,764	0,748	0,769	0,735	0,768	0,715	0,733	
	F	-0,048	-0,100	-0,010	0,012	-0,001	0,068	0,030	0,001	0,104	0,033	0,110	
	H&W	0,237	0,570	0,621	0,652	0,936	0,358	0,1	0,430	0,105	0,409	0,018	
Tt 62	N	73	41	85	69	64	87	64	94	93	68	50	15,3 0,866
	Na	17	12	16	15	16	17	18	12	18	12	15	
	Ho	0,904	0,902	0,859	0,855	0,859	0,862	0,969	0,830	0,806	0,897	0,780	
	He	0,874	0,835	0,852	0,861	0,851	0,850	0,854	0,853	0,865	0,852	0,855	
	F	-0,034	-0,081	-0,008	0,007	-0,010	-0,014	-0,135	0,027	0,068	-0,053	0,087	
	H&W	0,583	0,667	0,324	0,225	0,946	0,925	0,36	0,231	0,275	0,386	0,099	
Tt 133	N	73	39	85	69	66	86	63	94	93	68	49	35,7 0,761
	Na	44	22	40	42	35	37	32	44	44	31	22	
	Ho	0,890	0,667	0,729	0,841	0,697	0,802	0,873	0,840	0,882	0,574	0,571	
	He	0,925	0,819	0,869	0,895	0,844	0,889	0,883	0,854	0,867	0,830	0,798	
	F	0,037	0,186	0,160	0,061	0,174	0,097	0,012	0,016	-0,017	0,309	0,284	
	H&W	0,749	0,025	0,000	0,135	0,018	0,029	0,83	0,495	0,241	0,010	0,000	



Tabla D2.1.1. (Continuaci3n)
Parámetros de variabilidad genética para los seis loci analizados.

Locus	Parámetros	Poblaci3n											Promedio
		PAI	ILA	PAR	IQQ	CAL	CQB	THNOc	THNOc	CLB	CSO	NZ	
Tmur A101	N	34	33	54	46	51	56	43	51	53	49	53	26,5 0,845
	Na	19	27	31	26	25	25	26	25	28	28	31	
	Ho	0,853	0,818	0,870	0,761	0,824	0,893	0,791	0,824	0,943	0,837	0,887	
	He	0,914	0,943	0,941	0,927	0,935	0,912	0,913	0,932	0,918	0,928	0,933	
	F	0,067	0,132	0,075	0,179	0,119	0,021	0,134	0,117	-0,027	0,098	0,050	
	H&W	0,259	0,044	0,001	0,001	0,034	0,052	0,322	0,011	0,447	0,013	0,086	
Tmur A104	N	33	31	53	46	50	56	39	50	54	49	53	25,6 0,905
	Na	27	23	26	25	24	26	26	27	26	26	26	
	Ho	0,818	0,871	0,887	0,913	0,980	0,946	0,897	0,820	0,944	0,918	0,962	
	He	0,943	0,938	0,945	0,942	0,939	0,949	0,949	0,945	0,941	0,945	0,937	
	F	0,132	0,071	0,061	0,031	-0,043	0,003	0,054	0,132	-0,004	0,029	-0,027	
	H&W	0,049	0,484	0,001	0,181	0,716	0,452	0,576	0,001	0,283	0,012	0,284	
Tmur A115	N	54	27	52	46	48	56	38	48	52	47	51	30,5 0,896
	Na	31	24	32	29	30	31	31	30	31	32	34	
	Ho	0,870	0,815	0,923	0,891	0,917	0,946	0,895	0,854	0,962	0,915	0,863	
	He	0,941	0,939	0,955	0,942	0,951	0,954	0,954	0,950	0,951	0,953	0,960	
	F	0,075	0,132	0,034	0,053	0,036	0,008	0,062	0,101	-0,011	0,040	0,102	
	H&W	0,032	0,001	0,119	0,240	0,009	0,166	0,134	0,001	0,719	0,272	0,053	



Tabla D2.1.2.
Valores Fst por pares de localidades para los seis loci microsatélites.

	PAI	ILA	PAR	IQQ	CAL	CQB	THNOoc	THNOc	CLB	CSO	NZ
PAI	*										
PLA	-0,032	*									
PAR	-0,013	-0,008	*								
IQQ	-0,020	-0,002	0,002	*							
CAL	-0,033	-0,002	-0,005	-0,002	*						
CQB	-0,015	-0,003	0,001	0,002	-0,002	*					
THNOoc	-0,012	-0,001	0,001	0,003	-0,003	0,000	*				
THNOc	0,000	-0,016	-0,002	-0,006	-0,016	-0,003	0,001	*			
CLB	-0,004	-0,011	0,001	0,000	-0,011	-0,001	0,000	0,002	*		
CSO	-0,027	0,003	0,000	0,006	0,001	0,000	0,000	-0,010	-0,007	*	
NZ	-0,117	-0,022	-0,046	-0,033	-0,022	-0,044	-0,042	-0,080	-0,068	-0,026	*

Valores en negrita no significativos una vez aplicado el test de comparaciones múltiples (Bonferroni)



Tabla D2.1.3.

Test exacto de diferenciación genética para los seis loci microsatélites, los valores mostrados en la matriz corresponden a probabilidad (10100 permutaciones)

	PAI	ILA	PAR	IQQ	CAL	CQB	THNOoc	THNOc	CLB	CSO	NZ
PAI	*										
PLA	0,466	*									
PAR	1,000	0,838	*								
IQQ	1,000	0,473	1,000	*							
CAL	0,463	0,296	0,597	0,514	*						
CQB	0,441	0,321	0,387	0,550	0,241	*					
THNOoc	1,000	0,534	1,000	1,000	0,497	0,571	*				
THNOc	1,000	0,592	1,000	1,000	0,548	0,505	1,000	*			
CLB	1,000	0,644	1,000	1,000	0,489	0,473	1,000	1,000	*		
CSO	1,000	0,579	1,000	1,000	0,474	0,614	1,000	1,000	1,000	*	
NZ	1,000	0,463	1,000	1,000	0,507	0,539	1,000	1,000	1,000	1,000	*



Tabla D2.1.4.

Análisis de la variación molecular (AMOVA), para testear diferentes hipótesis (agrupaciones propuestas por diferentes autores)

Grupos	Agrupación	Fst	p-value	Fsc	p-value	Fct	p-value
Tres grupos	Perú v/s Chile v/s NZ	-0,01725	1,000±0,000	-0,00517	0,990±0,0025	-0,01202	0,957±0,004
Dos grupos	Perú+IQQ v/s Chile	-0,00383	0,987±0,003	-0,00569	0,992±0,0028	0,00185	0,051±0,006
	Perú v/s Chile	-0,00424	0,992±0,002	-0,00512	0,994±0,0029	0,00088	0,497±0,012
Un grupo	Panmixis	-0,01131	1,000±0,000	-	-	-	-

Valores de probabilidad computados mediante 10100 permutaciones



D.2.1.4.2 Construcción de una librería genómica enriquecida para obtener marcadores moleculares tipo microsatélites específicos de *T. murphyi*.

Resultados genética específicos *T. murphyi*

Los dieciséis loci presentados en la **tabla D2.1.5** fueron polimórficos en *T. murphyi*. Errores de genotipación (alelos stutter o drop out) no fueron encontrados en los datos utilizados. Los análisis en MICRO-CHECKER, indicaron exceso de homocigotos en diferentes loci (**Tabla D2.1.5**), sugiriendo que la presencia de alelos nulos podría afectar a estos loci. El ensayo poblacional nos entregó valores promedio de variabilidad genética, medido como heterocigocidad observada, entre 0,289 (TmurC110) y 0,983 (TmurD8). Por otro lado, el número promedio de alelos por locus fluctuó entre 4,3 (TmurB116) y 19,8 (TmurA115). La frecuencia de cada alelo por locus y población analizada se observa en las **figuras D2.1.1 – D2.1.5**. Al evaluar el equilibrio de H&W encontramos poblaciones que presentaron loci con valores significativos ($p < 0,05$), Isla de Lobos Afuera (TmurB6, TmurB104, TmurC12 y TmurC110), Talcahuano (TmurB104 y TmurC110), Centro Sur Oceánicas (TmurB2, TmurC102 y TmurC110) y Nueva Zelandia (TmurB116 y TmurC110) (**Tabla D2.1.5**).

La utilización de microsatélites especie-específicos es una herramienta de gran utilidad en estudios genéticos de recursos marinos. La utilidad de estos loci es amplia: i) evaluación de estructura poblacional (*e.g.* Ward *et al.* 2001), ii) detección de cambios en tamaños poblacionales (Luikart *et al.* 1998), iii) relaciones de parentesco y filogenias (*e.g.* Pépin *et al.* 1995), entre otros. En el género *Trachurus* solamente Kasapidis & Magoulas (2008) realizaron una librería genómica de *T. trachurus*, encontrando cuatro loci dinucleótidos los cuales fueron aplicados para estudios poblacionales en el Atlántico norte. A diferencia del trabajo realizado en *T. trachurus*, en nuestro estudio se



obtuvieron cinco loci dinucle3tidos, dos loci trinucle3tidos y nueve loci tetranucle3tidos. Cabe destacar que los loci polinucle3tidos tienen mayor potencia para identificar poblaciones.

Estos resultados fueron publicados en *Conserv. Genetics* y una copia de la publicaci3n se adjunta como **Anexo 1**.



Tabla D2.1.5.

Locus, motivo de repetici3n y par3metros b3sicos de variabilidad gen3tica para cuatro localidades de *T. murphyi*.

Locus	Motivo	Rango (pb)	Isla de Lobos Afuera				Talcahuano				Centro Sur Oce3nicas				Nueva Zelandia			
			Na	Ho	He	H&W	Na	Ho	He	H&W	Na	Ho	He	H&W	Na	Ho	He	H&W
TmurA101	CA ₍₄₅₎	146-232	18	0,929	0,926	0,671	14	0,733	0,891	0,152	17	0,933	0,922	0,746	18	0,867	0,918	0,368
TmurA104	TG ₍₂₃₎	157-209	16	0,923	0,920	0,545	17	1,000	0,929	1,000	14	1,000	0,906	0,693	15	0,923	0,917	0,199
TmurA115	TG ₍₂₈₎	139-233	23	1,000	0,947	1,000	22	0,857	0,946	0,050	14	0,846	0,917	0,166	20	1,000	0,938	1,000
TmurB2	TG ₍₅₎ AG ₍₂₎ TG ₍₅₎	130-178	7	0,867	0,709	0,589	5	0,429	0,696	0,083	6	0,333	0,618	0,012	7	0,533	0,782	0,063
TmurB6	CA ₍₁₃₎	163-226	10	0,800	0,869	0,019	10	0,786	0,865	0,354	11	0,933	0,851	0,981	11	0,867	0,869	0,689
TmurB104	ATC ₍₁₄₎	147-171	6	0,133	0,602	0,000	7	0,467	0,724	0,044	8	0,667	0,791	0,428	6	0,429	0,469	0,319
TmurB116	ATC ₍₇₎	100-145	6	0,467	0,484	0,095	4	0,533	0,429	1,000	3	0,467	0,491	1,000	4	0,357	0,411	0,035
TmurC4	CATC ₍₉₎	223-293	9	0,786	0,847	0,555	9	0,867	0,811	0,985	10	0,714	0,834	0,050	10	0,929	0,834	0,438
TmurC12	CATC ₍₂₆₎	128-284	17	0,867	0,907	0,027	19	0,933	0,931	0,690	18	0,733	0,931	0,003	17	0,857	0,913	0,310
TmurC102	CATC ₍₉₎	219-477	15	0,867	0,911	0,155	15	0,857	0,908	0,379	16	0,867	0,916	0,000	11	0,857	0,837	0,166
TmurC104	TGGA ₍₁₀₎	157-277	10	0,786	0,714	0,906	12	0,857	0,842	0,490	11	0,733	0,818	0,146	12	1,000	0,842	0,340
TmurC109a	GATG ₍₁₀₎	262-350	10	0,857	0,804	0,795	9	0,846	0,834	0,471	6	0,800	0,653	0,660	7	0,714	0,694	0,190
TmurC110	GATG ₍₁₄₎	174-286	10	0,364	0,839	0,000	9	0,286	0,867	0,000	11	0,143	0,857	0,000	10	0,364	0,818	0,000
TmurD5	TAGA ₍₂₃₎	262-458	15	1,000	0,921	1,000	19	1,000	0,933	1,000	17	1,000	0,920	0,762	16	0,800	0,918	0,101
TmurD8	CTAT ₍₁₈₎	237-369	15	1,000	0,923	1,000	17	0,933	0,927	0,727	16	1,000	0,931	1,000	15	1,000	0,904	1,000
TmurD112	CTAT ₍₈₎	213-297	13	1,000	0,890	1,000	13	0,800	0,902	0,235	17	0,867	0,922	0,062	15	0,867	0,913	0,390

Na: Numero de alelos; Ho: Heterocigosidad observada; He: Heterocigosidad esperada; H&W: valor de probabilidad del test exacto para el equilibrio de Hardy & Weinberg. Valores en negrita, presencia de exceso de homocigotos (posibles alelos nulos).

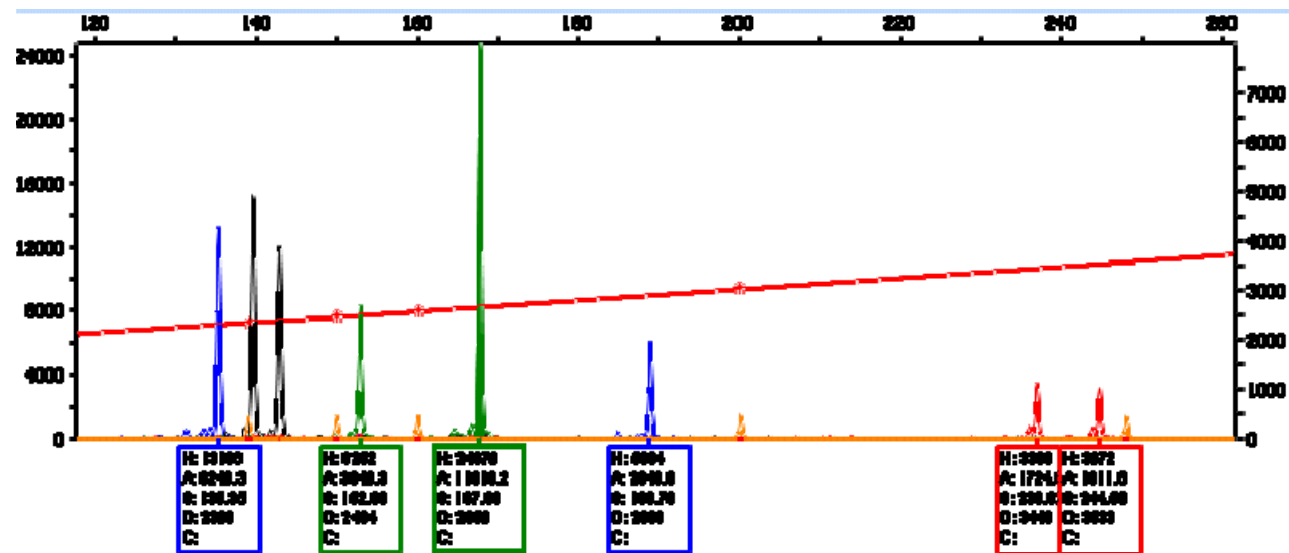


Figura D2.1.1. Perfiles (e.g.) de loci microsatélites aislados de la primera librería genómica *T. murphyi*.

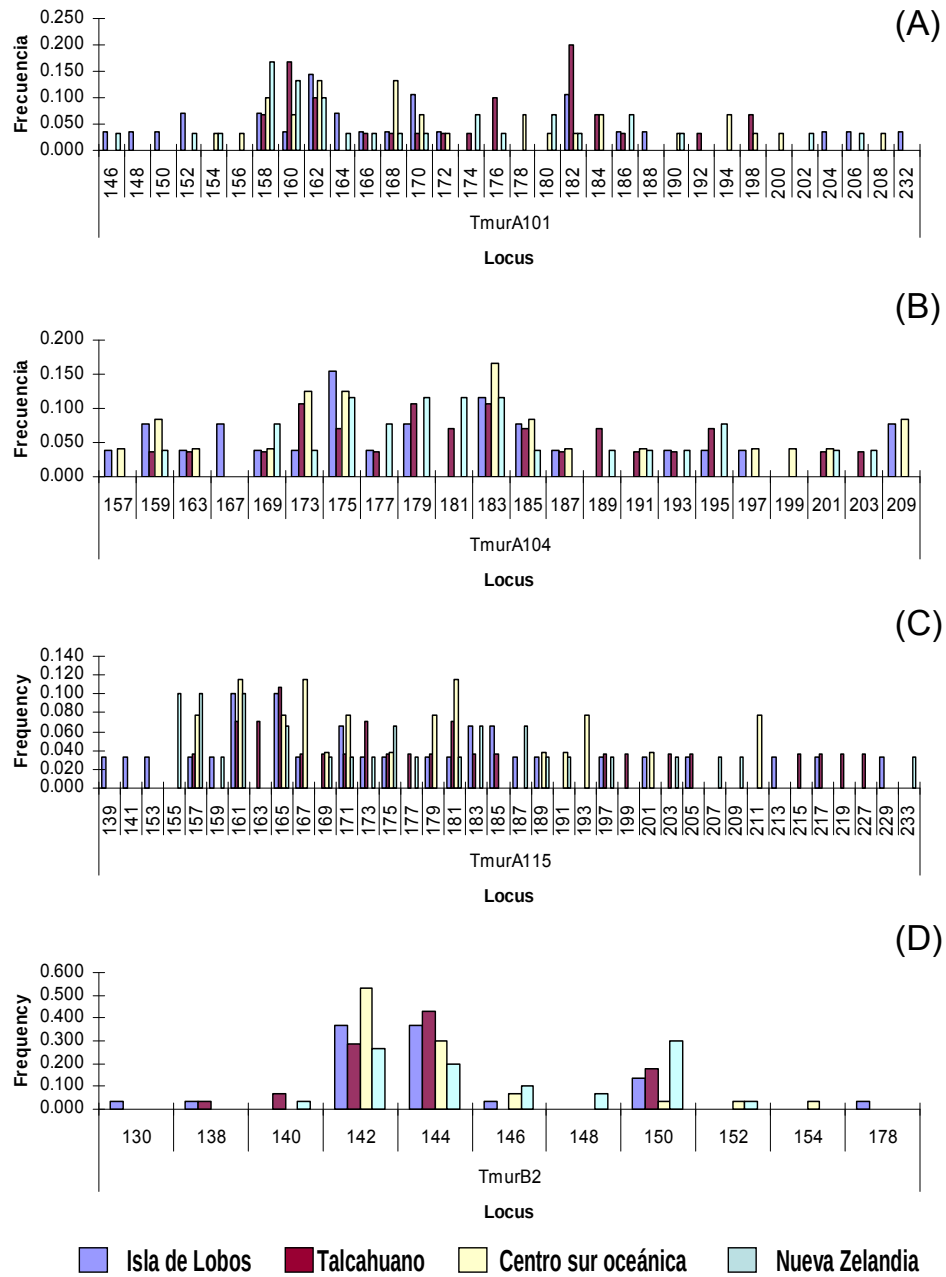


Figura D2.1.2. Frecuencia de los loci, TmurA101, TmurA104, TmurA115 y TmurB2, para cada población analizada.

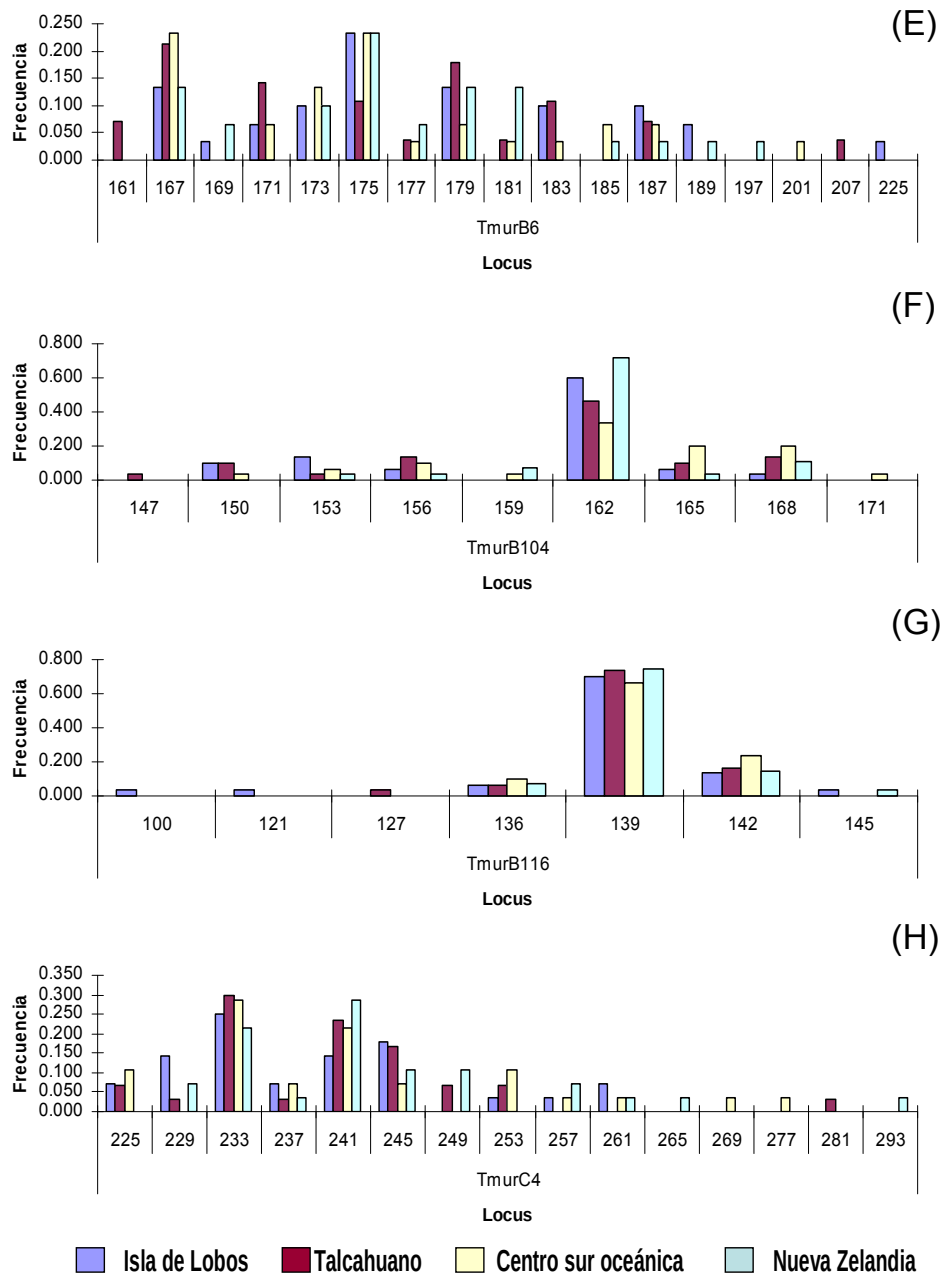


Figura D2.1.3. Frecuencia de los loci, TmurB6, TmurB104, TmurB116 y TmurC4, para cada población analizada.

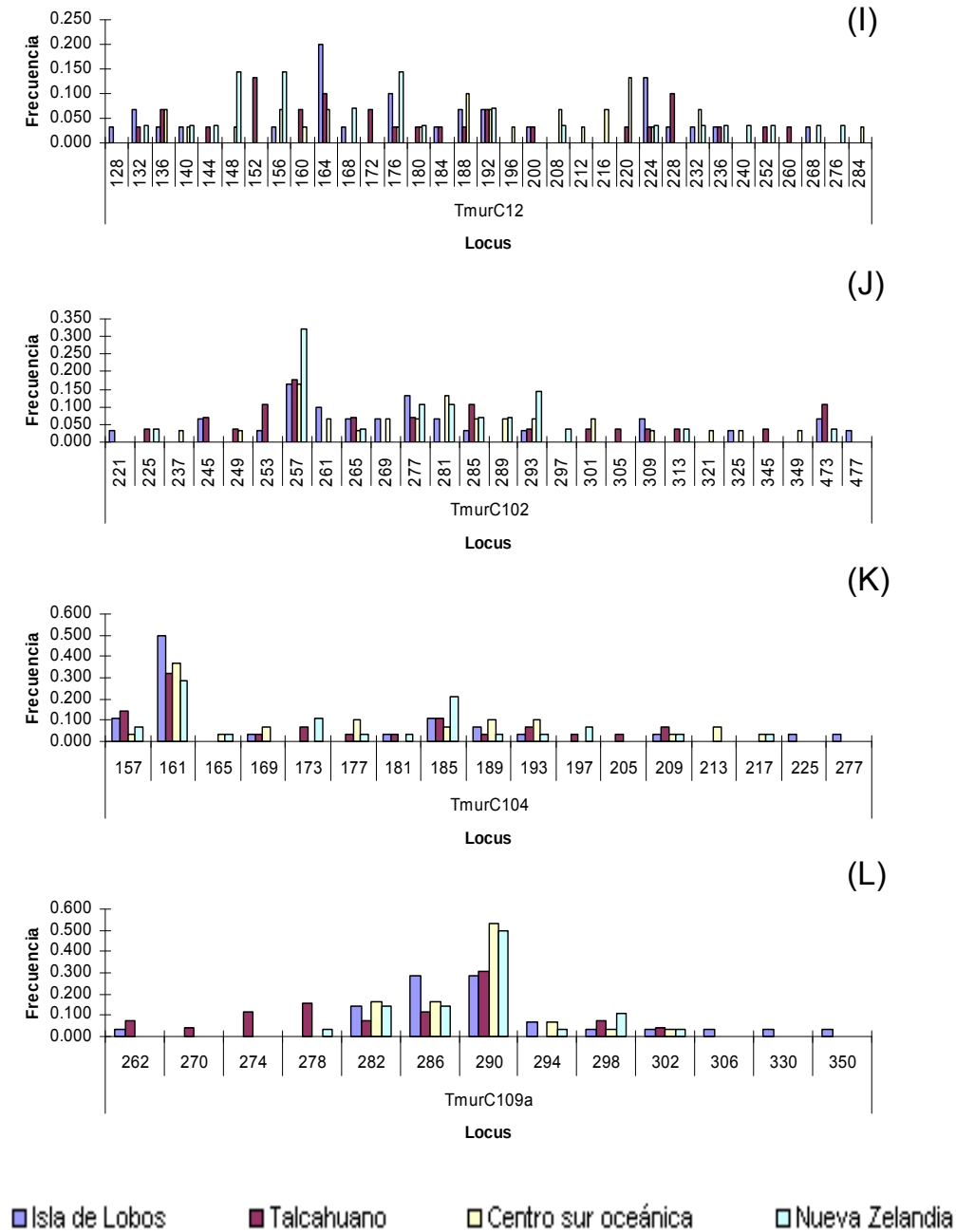


Figura D2.1.4. Frecuencia de los loci, TmurC12, TmurC102, TmurC104 y TmurC109a, para cada población analizada.

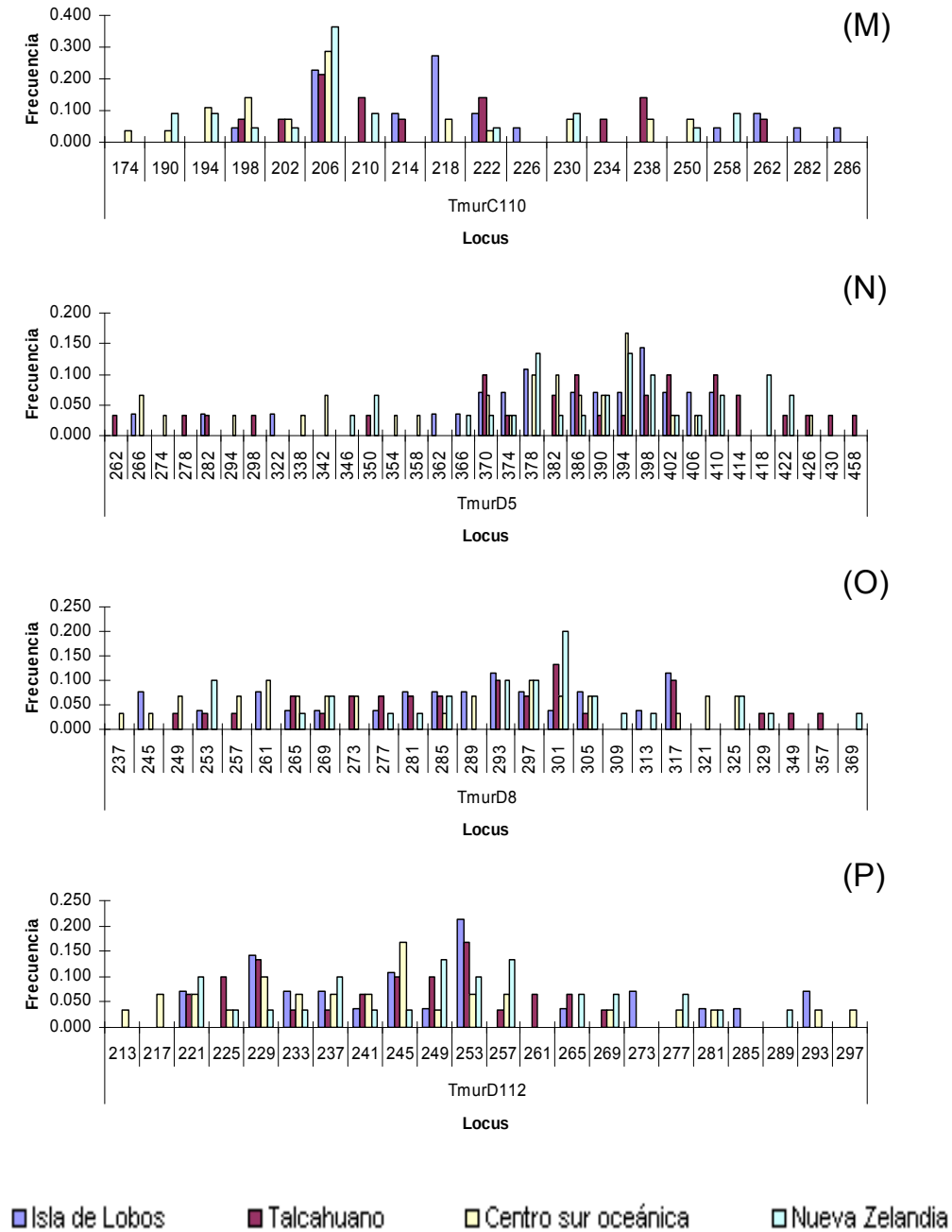


Figura D2.1.5. Frecuencia de los loci, TmurC110, TmurD5, TmurD8 y TmurD112, para cada población analizada.



D.2.1.5. Discusi3n de los resultados con marcadores gen3ticos

El presente estudio tuvo la finalidad de evaluar la diversidad gen3tica en la distribuci3n geogr3fica del jurel (*Trachurus murphyi*), utilizando como fuente de informaci3n ADN nuclear, espec3ficamente microsat3lites y realizar la primera librer3a de loci microsat3lites para la especie.

Variabilidad gen3tica

Los seis loci microsat3lites analizados para *T. murphyi* en su distribuci3n geogr3fica fueron altamente variables (**Tabla D2.1.2**). DeWoody & Avise (2000) en su revisi3n sobre variabilidad gen3tica en marcadores microsat3lites de peces marinos, de agua dulce y an3dromos, proponen un valor promedio de variabilidad de 20,4 alelos por locus y 0,790 de heterocigosidad para peces marinos, valor bajo comparado con lo encontrado en este estudio (**Tabla D2.1.2**). En este estudio los valores promedios del n3mero de alelos y heterocigosidad observada mostraron valores de 21,1 alelos por locus (heter3logos), 27,5 alelos por locus (espec3ficos) y 0,787 para los loci heter3logos y 0,882 para los loci espec3ficos.

Estructuraci3n poblacional

Los valores del 3ndice de diferenciaci3n poblacional F_{st} fueron bajos y no significativos concordando con Ward *et al.* (1994), el cual plantea que peces marinos presentan baja diferenciaci3n gen3tica con valores de $F_{st} < 0,01$, comparados con peces de agua dulce y an3dromos. En el caso particular de homogeneidad gen3tica en el oc3ano Pac3fico Sureste, nuestros resultados son similares a los encontrados en la especie *Dissostichus eleginoides* el cual no mostr3 diferencias en su distribuci3n geogr3fica desde el norte de Per3 hasta las Islas Malvinas (Galleguillos *et al.* 2008). Esta homogeneidad gen3tica no es inusual en recursos 3cticos que se encuentran en la zona econ3mica exclusiva chilena, jurel (Enzimas: Galleguillos & Torres, 1988), anchoveta (Ferrada *et al.*



2002), sardina (Galleguillos *et al.* 1997), congrio dorado (Microsatélites: Canales-Aguirre, 2006), bacalao de profundidad (Enzimas: Galleguillos & Astete, 2003; Microsatélites y secuencias de Dloop y ND1: Galleguillos *et al.* 2008) entre otros.

Geográficamente tenemos localidades muy distantes entre si (Isla de Lobos afuera ($\sim 6^\circ$ S – 81° W), Centro sur oceánicas ($44^\circ 08'$ S – $83^\circ 51'$ W) y Nueva Zelandia (47° S – 176° W), en las cuales no se encontró diferencias genéticas. Ward (2000) en su trabajo *Genética en manejo de pesquerías*, plantea: “Si no se detectan diferencias genéticas, podría ser una gran población (único stock) o más de uno, pero con los análisis no puede ser resuelto”. En caso contrario, la hipótesis nula de “panmixia” puede ser rechazada si se encuentran diferencias, pero si no se puede rechazar, no quiere decir que esta sea verdadera. Por otro lado, tomando en cuenta que tasas de flujo génico del 1% y 5% pueden homogenizar el pool genético de una población y por tanto no se encontraría diferencias no obstante que en la naturaleza éstas existan, es decir que la especie tenga una estructura poblacional, sólo que no es detectada. Si tomamos en cuenta que la hipótesis nula es la “panmixia” (cada individuo tiene la misma probabilidad de apareamiento al azar), ¿que sucede con los individuos que están en localidades distantes (e.g. Nueva Zelandia versus Isla Lobos de Afuera o Centro sur oceánica)? En términos reales estos individuos no se “congregan” para reproducirse y por tanto no comparten la misma probabilidad. Para las localidades del Pacífico sur este (Perú y Chile), la homogeneidad encontrada puede explicarse con aspectos biológicos de la especie, como por ejemplo: a) las principales concentraciones de su abundancia, en Perú, se localizan principalmente en la zona norte y centro; es menos importante al sur de Perú; en Chile, desde Arica a Coquimbo ($18\text{--}30^\circ$ LS) y de Valparaíso al sur de Talcahuano ($33\text{--}37^\circ$ LS); la distribución de estas principales zonas de abundancia puede cambiar estacionalmente, b) puede desovar en toda su distribución (Gorbunova *et al.* 1985), en Perú principalmente al sur ($16\text{--}18^\circ 30'$ LS) y en Chile desde el límite norte hasta Corral (40° LS); al igual



que la abundancia las agregaciones reproductivas pueden variar estacionalmente, c) presenta tamaños poblacionales extremadamente grandes (miles de millones de individuos), d) los huevos y larvas son pelágicos, e) los juveniles y adultos presentan movimientos estacionales (tróficos- reproductivos), e) pueden vivir en diferentes biotopos alimentándose en aguas costeras y reproduciéndose en aguas fuera de la costa (ver Serra, 1991), f) la ocurrencia del fenómeno El Niño, fenómeno que produce desplazamientos espaciales de los recursos y por tanto produce posibilidad de mezcla, g) el estar expandida la distribución del jurel por aumento de su abundancia produce también que los límites de las poblaciones se confundan y por tanto es otro mecanismo que posibilita mezclas.

Para el caso de Nueva Zelandia, si nos remontamos tres décadas atrás, Evsenko (1987) y Bailey (1989) descubrieron a *T. murphyi* en los 139°-158° W a la altura de la latitud 40°S, principalmente en la zona de convergencia subtropical sobre Chatam Rise. Esto demostró que la especie tiene una distribución transoceánica. Una explicación de esta distribución es que la especie expandió su rango de distribución hacia el oeste, colonizando nuevas áreas, a causa de presiones intra-poblacionales, proceso sustentado por Serra (1991), Elizarov *et al.* (1993) y Taylor (2002). Según este último autor, el jurel es una especie invasora en aguas de Nueva Zelandia. Un trabajo reciente utilizando marcadores genéticos realizado por Cárdenas *et al.* (2009), corroboran esta información, la cual da cuenta de una expansión reciente del rango de distribución de *T. murphyi*. La baja variabilidad encontrada en individuos de Nueva Zelandia, la ausencia de alelos privados que den cuenta del área geográfica, y valores de negativos en los análisis demográficos (Tajima's D y Fs's Fu), dan cuenta de esta expansión poblacional (ver Cárdenas *et al.* 2009).

Si tomamos en cuenta que para que una población comience a diferenciarse de otra es necesario un aislamiento reproductivo de un par de miles de años y por otra parte no está claro si *T. murphyi* continúa migrando a través de la



convergencia subtropical entre “Chile y Nueva Zelandia”; si así fuera entonces no es de esperar que se encuentre diferencia a nivel genético. Colocándonos bajo la postura que el grupo de peces que llegaron a Nueva Zelandia no tiene intercambio de individuos con los presentes en Chile, ha pasado muy poco tiempo para que pudieran acumular diferencias genéticas que permita identificarlos como grupos separados; además que debieron ser millones y no unos pocos los individuos migrantes, lo que significa que la deriva génica no tendría efectos significativos (en tan poco tiempo). Por otra parte, la edad de primera madurez está cerca de los tres años de vida y teniendo en cuenta que solo hace tres décadas que se reportó la presencia de *T. murphyi* en la zona de Nueva Zelandia, recién deben haber 10 generaciones de individuos, las cuales son muy pocas para que acumulen y deslumbren diferencias en términos genéticos.

En resumen el no encontrar diferencias significativas en la distribución de *T. murphyi* con los cuatro loci microsatélites heterológos (Kasapidis & Magoulas, 2008) y tres loci especie específicos (obtenidos en este estudio), no significa que no existan stocks diferentes de jurel en la naturaleza. En términos genéticos se debería seguir con los estudios y utilizar todos los loci aislados en este estudio (16 loci microsatélites específicos para *T. murphyi*) para tener una aproximación mucho más robusta (mayor número de marcadores moleculares) al problema.

Librería microsatélites específicos *T. murphyi*

La obtención de microsatélites especie-específicos abre la posibilidad de nuevas evaluaciones con marcadores genéticos. Los que además de ser específicos de *T. murphyi* presentan diferentes motivos de repetición y polimorfismo siendo posible que algunos de estos loci puedan dar nuevas luces sobre la estructura poblacional del jurel. Por otro lado, estos nuevos loci microsatélite son una herramienta de gran utilidad para problemáticas futuras: i) evaluación de estructura poblacional



(*e.g.* Ward *et al.* 2001), ii) detección de cambios en tamaños poblacionales (Luikart *et al.* 1998), iii) relaciones de parentesco y filogenias (*e.g.* Pépin *et al.* 1995), entre otros. Por tanto, se sugiere utilizar estos nuevos loci microsatélites en futuras investigaciones que se realicen en el recurso *T. murphyi*.

D.2.2. Parásitos como herramienta para la identificación de stocks.

Desde el trabajo pionero de Herrington *et al.* (1939), los parásitos han sido utilizados exitosamente como marcas biológicas en estudios poblacionales, no sólo de peces marinos sino también en moluscos, crustáceos e incluso cetáceos (ver referencias en Oliva y Sánchez, 2005). Bajo una perspectiva eminentemente pesquera, los parásitos han demostrado su utilidad como marcas biológicas que han permitido entender no sólo movimientos migratorios y estructura poblacional, sino también discriminar el hábitat ocupado por peces (Oliva *et al.* 2004).

Como ha sido indicado por MacKenzie y Abaunza (2005), los principios básicos que gobiernan el uso de parásitos (tanto metazoos como protista) como marcas biológicas indican que un pez se infecta con una especie particular de parásito sólo cuando éste (huésped) está en el área endémica de tal especie de parásito. La asociación huésped-parásito implica la existencia de dos tipos de parásitos: aquellos altamente específicos que a su vez representan un sistema que ha co-evolucionado; y parásitos generalistas, los que están fuertemente asociados con procesos ecológicos más que evolutivos. En el primer caso se tiene una asociación en un escenario evolutivo que dará importantes pistas acerca de la estructura poblacional; en el segundo caso se obtendrá información referida a movimientos migratorios. Otra aproximación implica que si los peces infectados se encuentran fuera del área endémica del parásito, se puede inferir que ese pez ha estado en algún momento de su historia de vida en tal área endémica (MacKenzie y Abaunza, 2005). Esta aproximación exige conocer la extensión exacta de esa especie de parásito, un problema no fácil de resolver. En



todo caso, dos postulados zoogeogr3ficos refuerzan el uso de par3sitos como marcas biol3gicas: las primeras reglas biol3gicas de Von Ihering (1891) que indican que los animales acarrean a sus par3sitos durante sus migraciones, y los postulados de Noble y Noble (1982) que indican que cuando una poblaci3n se separa en dos o m3s grupos, entonces la fauna de par3sitos de cada nuevo grupo tender3 a una divergencia.

De cualquier modo, el uso de par3sitos como marcas biol3gicas requiere que se cumplan ciertos criterios bien descritos por Mackenzie y Abaunza (2005) y que se pueden resumir en:

- a. El par3sito debe ser com3n en una poblaci3n y raro o estar ausente en otra.
- b. Debe tener, preferentemente, un ciclo de vida directo, infectando un solo hu3sped en su ciclo vital.
- c. La infecci3n debe ser de relativamente larga duraci3n y cubrir al menos la escala de tiempo del estudio.
- d. La incidencia (prevalencia) de infecci3n debe permanecer relativamente constante.
- e. Las condiciones ambientales a trav3s de toda el 3rea de estudio deben corresponder con los l3mites de tolerancia del par3sito.
- f. No se deben considerar ectopar3sitos que sean f3cilmente desprendibles o que no dejen evidencias de su presencia, ya que pueden perderse en la captura o durante la manipulaci3n.
- g. El m3todo de examen debe considerar un m3nimo de disecci3n y preferiblemente un alto nivel de especificidad por un h3bitat definido.
- h. El par3sito debe ser f3cilmente detectable e identificable.
- i. El par3sito no debe tener marcados efectos patol3gicos, ya que de lo contrario originar3 mortalidades selectivas o cambios conductuales en el hu3sped, afectando su valor como marcador.



Estos criterios son aceptados en su totalidad. Pero no es necesario que se cumplan simultáneamente.

Dos aproximaciones se utilizan tradicionalmente en el uso de parásitos como marcas biológicas (MacKenzie y Abaunza, 1998). Una primera aproximación considera análisis univariados en los que datos de un pequeño número de taxa parasitarios, definidos de acuerdo a criterios específicos (duración de su ciclo de vida, adultos vs larvas, ectoparásitos/endoparásitos) son analizados separadamente. Normalmente esta aproximación es útil cuando las diferencias entre la fauna de parásitos de una misma especie en distintas áreas muestra diferencias cualitativas evidentes (*e g.* Sankurathri *et al.* 1983; Oliva y González, 2004). Otra aproximación considera el análisis de la comunidad componente, es decir el conjunto de especies de parásitos que se encuentra en la muestra analizada. Esta aproximación resulta útil cuando las diferencias cualitativas no son claramente evidentes y resulta de utilidad analizar el comportamiento del conjunto de la fauna de parásitos. Muchas veces esta aproximación se complementa analizando por separado los parásitos según el período de residencia en el huésped. En este caso se definen parásitos permanentes (normalmente formas larvales enquistadas y que no pueden abandonar activamente el huésped) y temporales. En este estudio se realizarán análisis tanto univariados como multivariados.

Quizás una de las aproximaciones novedosas al problema de la inequívoca identificación de stock en recursos pesqueros, es el enfoque dado por el proyecto “*HOMSIR: A Multidisciplinary Approach Using Genetic Markers And Biological Tags In Horse Mackerel (*Trachurus trachurus*) Stock Structure Analysis*”. En este proyecto, recientemente concluido, (ver www.homsir.com) se integran varias técnicas para dilucidar la estructura poblacional de *T. trachurus*, incluido el análisis de la fauna parasitológica. (ver Fisheries Research vol 89 número 2)



Los parásitos han sido exitosamente utilizados en la identificaci3n de la estructura poblacional en peces de importancia comercial de Chile, como la merluza ***Merluccius gayi*** (George -Nascimento 1996, Oliva y Ballon 2002), ***Merluccius australis*** (González y Carvajal, 1994), el cascajo o cabrilla española ***Sebastes capensis*** (Oliva y González, 2004), la anchoveta ***Engraulis ringens*** (Valdivia *et al.*, 2007), la merluza de cola ***Macruronus magellanicus*** (Oliva, 2001) y el jurel ***Trachurus murphyi*** (George Nascimento 2000; Aldana *et al.* 1995; Oliva 1999), entre otros. El problema de variabilidad local versus variabilidad regional en la fauna de parásitos de la anchoveta fue clarificado por Chávez *et al.* (2007).

Con relaci3n al jurel en Chile, la informaci3n parasitol3gica puede resultar algo confusa y contradictoria ya que los procedimientos analíticos utilizados por diversos autores no han seguido el mismo patr3n. Los trabajos m3s completos son los de Oliva (1999) y George-Nascimento (2000). Ambos estudios analizan la fauna de parásitos metazoos del jurel a lo largo de las costas de Chile y Perú (Oliva, 1999), 7 localidades: desde Paita a Talcahuano) y desde Iquique a Valdivia (6 localidades, George-Nascimento 2000). La informaci3n aportada por Oliva (1999) sugiere fuertemente la existencia de dos stocks bajo su acepci3n pesquera (Centro - Norte del Perú y un único stock a lo largo de las costas de Chile), en base a análisis univariados. George-Nascimento (2000) sugiere dos stocks ecol3gicos en aguas Chilenas: un stock norte y un stock sur, basado en técnicas multivariadas. Desafortunadamente, George-Nascimento (2000) mezcla a priori localidades del norte y del sur, sin analizar un potencial gradiente latitudinal. Un re-análisis de los datos de Oliva (1999), basado en análisis multivariado usando no sólo parásitos como variable explicatoria sino también la talla del pez, demuestra que la discriminaci3n est3 fuertemente soportada por la talla del pez m3s que por sus parásitos.



D.2.2.1 Resultados del an3lisis de los par3sitos.

En la **tabla D2.2.1** se indica las caracter3sticas de las muestras obtenidas. En resumen, se analiz3 parasitol3gicamente un total de 809 ejemplares de jurel.

Tabla D2.2.1

Localidades de muestreo, c3digo asignado para an3lisis parasitol3gico, longitud promedio a la horquilla (LH) en cent3metros, desviaci3n est3ndar (DS) y tama3o muestral (N) por localidad.

Localidad	C3digo	LH (cm.)	DS	N
Islas Lobos de Afuera (Per3)	ILA	32,08	4,19	50
Paracas (Per3)	PAR	31,83	3,25	105
Iquique	IQU	32,55	3,37	100
Caldera	CAL	28,54	2,18	98
Coquimbo	COQ	27,50	4,85	101
Talcahuano	TAL	45,17	3,02	100
Puerto Montt	PMO	42,86	2,99	100
Chilo3 (Oce3nico)	CHI	38,59	3,72	100
Nueva Zelandia	NZE	49,71	1,95	55

Por otro lado, la **figura D2.2.1** muestra la distribuci3n por tallas de las muestras. Ya que tanto las muestras de Chilo3 oce3nico como de Nueva Zelandia no pueden asignarse a un gradiente latitudinal, se grafican en el extremo de la distribuci3n.

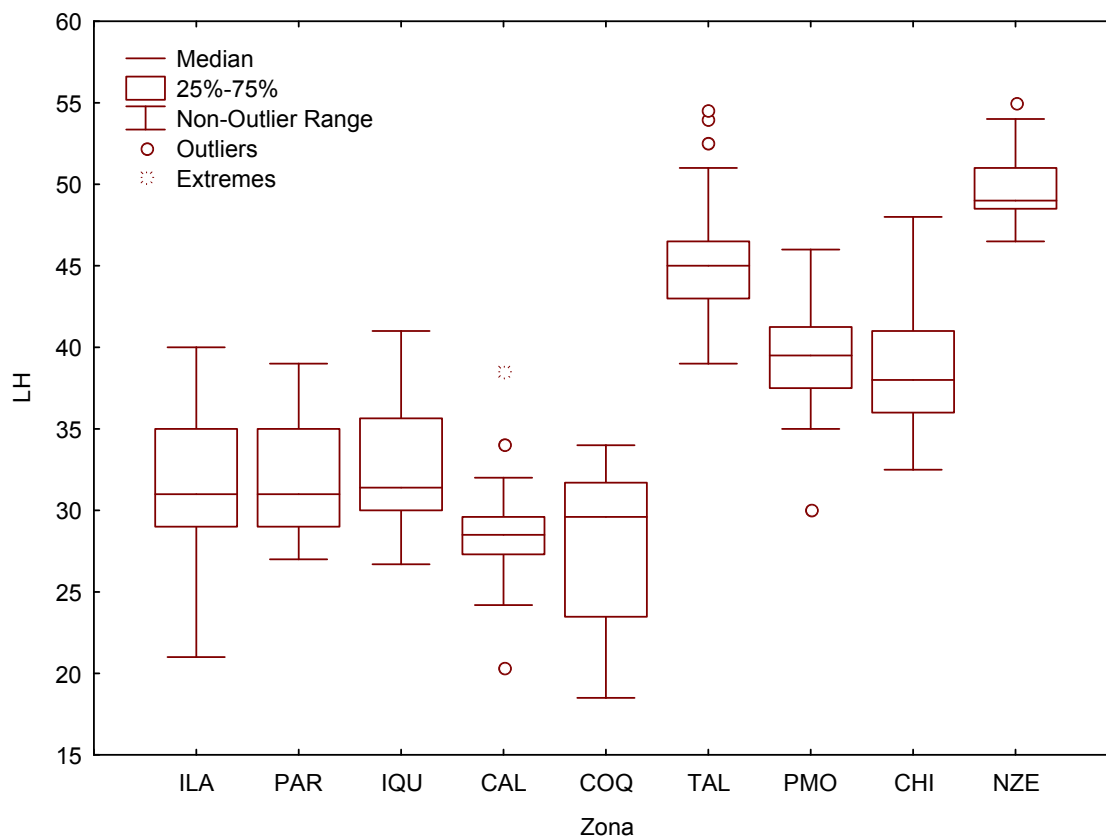


Figura D2.2.1. Distribución por tallas de los ejemplares analizados en un gradiente latitudinal. Muestras de Chiloé y Nueva Zelandia, fuera del gradiente latitudinal.

De la muestra de peces analizados, se obtuvo un total de 10025 individuos parásitos metazoos que representan 18 taxa, siendo posible la identificación a nivel de especie de 11 de ellos. En paréntesis se indica a continuación la clave asignada a cada taxón.



D.2.2.1.1 Ectoparásitos

Monogenea

Cemocotyle aff. trachuri (CEM). Ejemplares de este taxón fueron también encontrados por Oliva (1999) en Paita. Aparece ahora en Isla Lobos de Afuera, la localidad más al norte analizada. Se encontró sólo un ejemplar.

Axinidae (AXI). Pocos ejemplares fueron obtenidos desde muestras de Iquique. Ejemplares similares fueron encontrados por Oliva (1999) en jureles de la zona de Antofagasta.

Copépoda

Caligus bonito (CAL). Copépodo de distribución amplia en peces pelágicos. A diferencia de lo encontrado por Oliva (1999), donde estuvo presente en todas las localidades excepto Talcahuano, en esta oportunidad se colectó sólo desde Coquimbo.

Lernanthropinus trachuri (LER). Informado anteriormente como ***Lernanthropus trachuri***, debe considerarse este nuevo status taxonómico, de acuerdo a Chad (2009). Ausente sólo en muestras de Nueva Zelandia.

Isopoda

Ceratothoa gaudichaudii (CER). Isópodo común en jureles y otros pelágicos pequeños. Está ausente en Puerto Montt, Chiloé (oceánico) y Nueva Zelandia

Rocinela sp. (ROC). Este isópodo no había sido registrado en anteriores estudios referidos al jurel en las costas de Sud América. Es más común en Isla Lobos de Afuera y Paracas. En Chile se obtuvo sólo de Coquimbo.



D.2.2.1.2 Endoparásitos

Digenea

Syncoelium filiferum (SYN). Este digeneo fue registrado anteriormente (Oliva, 1999) en Iquique aunque obtuvo un sólo ejemplar. En esta oportunidad resultó común en muestras de Nueva Zelandia. Aparece nuevamente en Iquique y también en Caldera y Coquimbo.

Cestoda

Tetraphyllidea (TET). Larva de cestodo que aparece sólo en Iquique. Oliva (1999) la registra como ***Scolex pleuronectis***, esta nominación se refiere a un complejo de especies del orden Tetraphyllidea, razón por la que se prefiere mantener sólo la identificación a nivel de orden.

Nybelinia surmenicola (NYB). Estado de desarrollo larval de un cestodo que madura en elasmobranquios. Presenta alta prevalencia en muestras de Nueva Zelandia y Talcahuano, con valores menores en Coquimbo y Chiloé (oceánico).

Eutetrarhynchus sp. (EUT). Larva de cestodo Trypanorhyncha que se obtuvo sólo desde Isla Lobos de Afuera. Oliva (1990) la registró sólo en Paita.

Hepatoxylon trichiuri (HEP). Larvas de este cestodo tetraphyllideo son relativamente comunes en peces marinos (Oliva, 2001). Se obtuvieron en Talcahuano, Nueva Zelandia y Chiloé (oceánico).

Acanthocephala

Corynosoma australe (COR). Larva de acantocéfalo común en peces marinos. Se presentó en 6 de las nueve localidades. Ausente en las localidades extremas: Perú (Isla Lobos de Afuera y Paracas y Chiloé oceánico).



Rhadinorhynchus trachuri (RAD). Ausente sólo en Isla Lobos de Afuera y Puerto Montt. Su mayor prevalencia (100% de infección) ocurre en Chiloé (oceánico). Es el parásito más común al considerar la totalidad de la muestra, representando el 48,2% del total de parásitos recolectados. Los ejemplares obtenidos desde Chiloé representan el 36% del total de parásitos, con una intensidad media de infección de 36,09.

Nematoda

***Anisakis* sp.** (ANI). Formas larvales de este Anisakido consideradas como *Anisakis* tipo I (Berland, 1961) y asociadas posteriormente a *Anisakis simplex*, son comunes en peces marinos a través de todo el mundo y representan un complejo de al menos tres especies que ha sido dilucidado recientemente a través de técnicas moleculares (Mattiucci & Nascetti, 2008). Por esta razón y no siendo posible su correcta asignación a una de las sibling especies descritas (formas larvales no presentan caracteres distintivos) se consideran como *Anisakis* sp. Similar situación ocurre con otros Anisakidos. Estos nematodos representan el segundo grupo más importante de parásitos. Se recolectaron 4046 ejemplares, los que representan el 40,4% del total de parásitos. Las mayores prevalencias ocurren en Talcahuano (99%), Nueva Zelandia (98,2%) y Puerto Montt (92%).

***Contracaecum* sp.** (CON). Larvas de este nematodo anisakido se obtuvieron sólo en Iquique, Caldera y Coquimbo, aunque en baja prevalencia.

***Pseudoterranova* sp.** (PSE). larvas de este anisakido se obtuvieron sólo desde las muestras de Puerto Montt y Talcahuano

Hysterothylacium aduncum (HYS). Ejemplares de este nematodo se obtuvieron sólo en Talcahuano.



Anisakidae (larvas) (LAN). Larvas de un nematodo anisakido no identificado. Se encontraron s3lo en Caldera.

Las **tablas D2.2.2, D2.2.3 y D2.2.4** indican la prevalencia, intensidad media y abundancia de parásitos metazoos obtenidos desde las distintas localidades.

Tabla D2.2.2.

Prevalencia de parásitos metazoos, código para las localidades indicadas en tabla 1. Código para parásitos. CEM = *Cemocotyle aff. trachuri*; AXI= Axinidae; CAL = *Caligus bonito*; LER *Lernanthropinus trachuri*; CER= *Ceratothoa gaudichaudii*; ROC = *Rocinela* sp.; SYN = *Syncoelium filiferum*; TET = Larva Tetracyllidae; NYB = *Nybelinia* sp.; EUT = *Eutetrarhynchus* sp.; HEP = *Hepatoxylon trachuri*; COR = *Corynosoma australe*; RAD = *Rhadinorhynchus trachuri*; ANI = *Anisakis* sp.; CON = *Contracaecum* sp.; PSE = *Pseudoterranova* sp.; HYS = *Hysterothylacium* sp.; LAN = larva Anisakidae.

Especie	Localidad								
	ILA	PAR	IQU	CAL	COQ	TAL	PMO	CHI	NZE
CEM	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AXI	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CAL	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LER	14,0	34,3	41,0	28,6	29,7	20,0	2,0	9,0	0,0
CER	4,0	1,0	4,0	7,1	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0
ROC	12,0	8,6	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SYN	0,0	0,0	7,0	6,1	2,0	0,0	0,0	0,0	36,4
TET	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NYB	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	32,0	0,0	12,0	54,5
EUT	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HEP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	1,0	1,8
COR	0,0	0,0	2,0	2,0	4,0	1,0	1,0	0,0	1,8
RAD	0,0	1,9	28,0	66,3	47,5	32,0	0,0	100,0	3,6
ANI	0,0	6,7	4,0	22,4	17,8	99,0	92,0	12,0	98,2
CON	0,0	0,0	5,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PSE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,0	26,0	0,0	0,0
HYS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	0,0	0,0
LAN	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	0,0	13,0	0,0	0,0



Tabla D2.2.3.

Intensidad media de infecci3n.
C3digo para localidades como en Tabla D2.2.1,
c3digo para par3sitos como en Tabla D2.2.2.

Especie	Localidad								
	ILA	PAR	IQU	CAL	COQ	TAL	PMO	CHI	NZE
CEM	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AXI	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CAL	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0
LER	1,7	1,6	2,2	1,8	1,5	1,7	1,0	1,4	0,0
CER	3,5	1,0	1,0	1,6	2,0	1,3	0,0	0,0	0,0
ROC	1,5	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SYN	0,0	0,0	2,0	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	12,6
TET	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NYB	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	3,7	0,0	1,8	2,7
EUT	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HEP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,0	2,0
COR	0,0	0,0	4,5	1,0	1,0	7,0	1,0	0,0	1,0
RAD	0,0	1,0	1,8	11,0	8,4	2,4	0,0	36,1	1,0
ANI	0,0	1,1	1,0	1,2	1,2	12,7	3,7	1,7	43,8
CON	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PSE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	1,4	0,0	0,0
HYS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
LAN	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0

**Tabla D2.2.4.**

Abundancia.

Código para localidades como en Tabla D2.2.1,
código para parásitos como en Tabla D2.2.2.

Especie	Localidad								
	ILA	PAR	IQU	CAL	COQ	TAL	PMO	CHI	NZE
CEM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AXI	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
LER	0,2	0,5	0,9	0,5	0,4	0,3	0,0	0,1	0,0
CER	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ROC	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SYN	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6
TET	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NYB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2	0,0	0,2	1,5
EUT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HEP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
COR	0,0	0,0	0,1	1,0	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0
RAD	0,0	0,0	0,5	7,3	4,0	0,8	0,0	36,1	0,0
ANI	0,0	0,1	0,0	0,3	0,2	12,6	3,4	0,2	43,0
CON	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PSE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,4	0,0	0,0
HYS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
LAN	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0

En general la fauna de parásitos metazoos del jurel está caracterizada por formas larvales muy poco específicas, la casi ausencia de endoparásitos al estado adulto (excepciones son *R. trachuri* y *S. filiferum*) y presencia de ectoparásitos (*L. trachuri*, *C. aff. trachuri*) específicos de peces del género *Trachurus*. Sin embargo estos parásitos se presentan en baja prevalencia e intensidad de infección.



D.2.2.1.3 Tendencias latitudinales

Bajo la hipótesis de un stock único a lo largo de las costas de Chile, el que presenta una tendencia a concentrar los tamaños de los jureles de mayor tamaño hacia el sur, debería esperarse una tendencia latitudinal en los parámetros de infección, tendiendo a una acumulación de parásitos (ej. formas larvales que no abandonan activamente el pez) a medida que los peces de mayor tamaño avanzan hacia el sur de su distribución y donde tienden a permanecer. De modo similar puede darse una tendencia a la pérdida de parásitos a medida que el pez se aleja de la zona endémica o de mayor concentración de esa especie de parásito en particular. Esta tendencia debería ser más clara en aquellos parásitos que se acumulan con la edad, en particular formas larvales enquistadas y que no pueden abandonar el huésped, entonces estas formas permanecerán en el huésped hasta la muerte de éste. Si la larva muere antes que el huésped, habrá evidencias de su presencia a través de un quiste necrotizado. Esta situación no se observó en ningún caso. Otros parásitos que se deben considerar son aquellos que, al estado adulto, presentan órganos o estructuras de fijación que dificultan su desprendimiento. Se consideran aquellas especies presentes en al menos tres localidades en las costas de Sud América. Las **figuras D2.2.2 y D2.2.3** representan gráficamente tales tendencias para la prevalencia e intensidad media de infección.

Para *L. trachuri* parece evidente una tendencia al incremento de la carga parasitaria desde ILA a PAR en Perú. En las localidades chilenas en cambio, la prevalencia de infección decrece y por el contrario, es evidente un incremento en la prevalencia de infección en *Anisakis sp.* desde las localidades más al norte de Chile hacia el sur. Tanto para *Contracaecum sp.* como *R. trachuri* parece clara también una tendencia a la disminución de la prevalencia hacia el sur; para la última especie, la tendencia se rompe al considerar Chiloé oceánico. Sin embargo debe considerarse que ésta es una muestra más oceánica que costera.

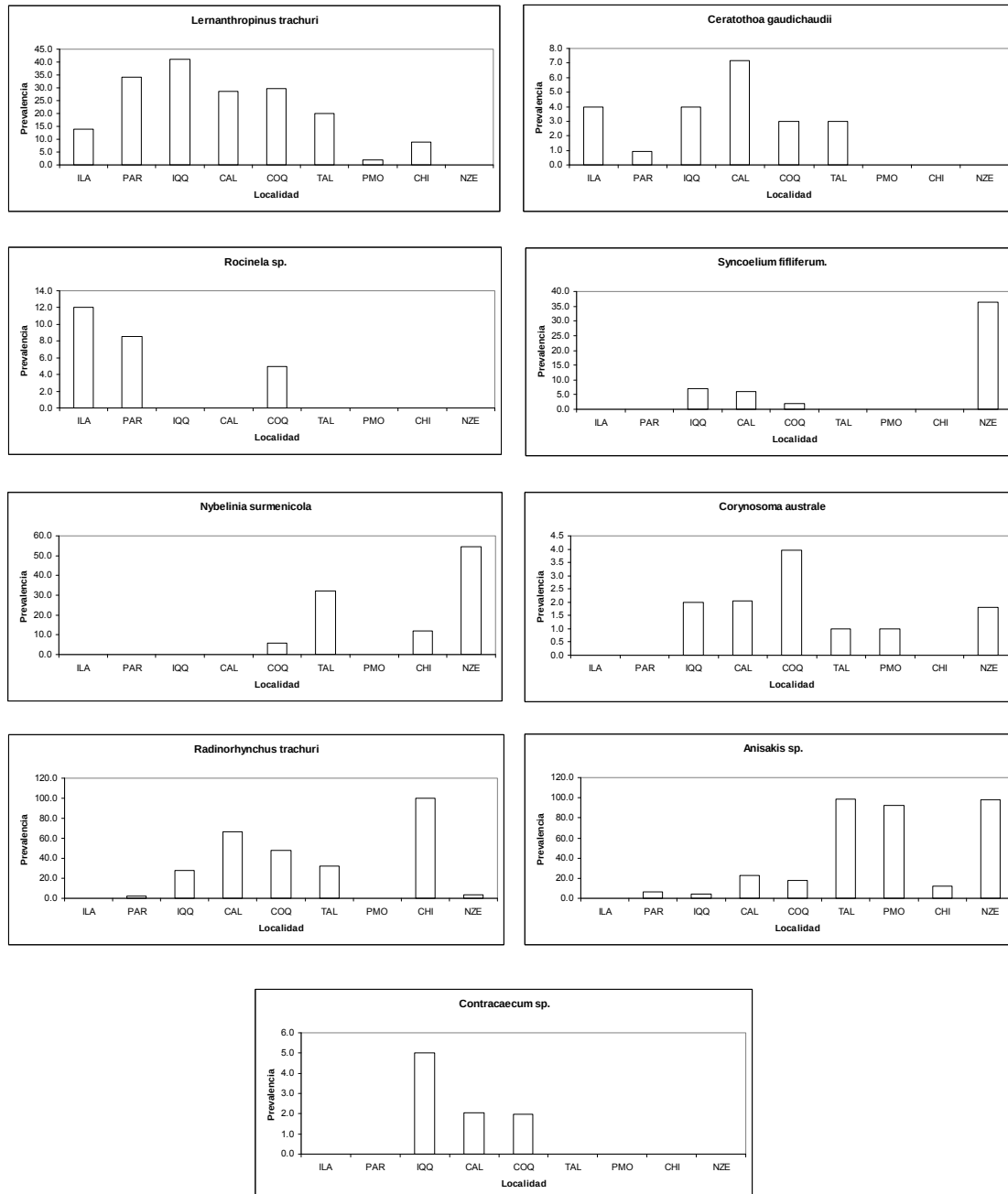


Figura D2.2.2. Tendencia latitudinal en prevalencia de infección, para 9 especies de parásitos metazoos del jurel.



Respecto de *R. trachuri* la figura D2.2.3 sugiere una tendencia decreciente de la intensidad media de infección.

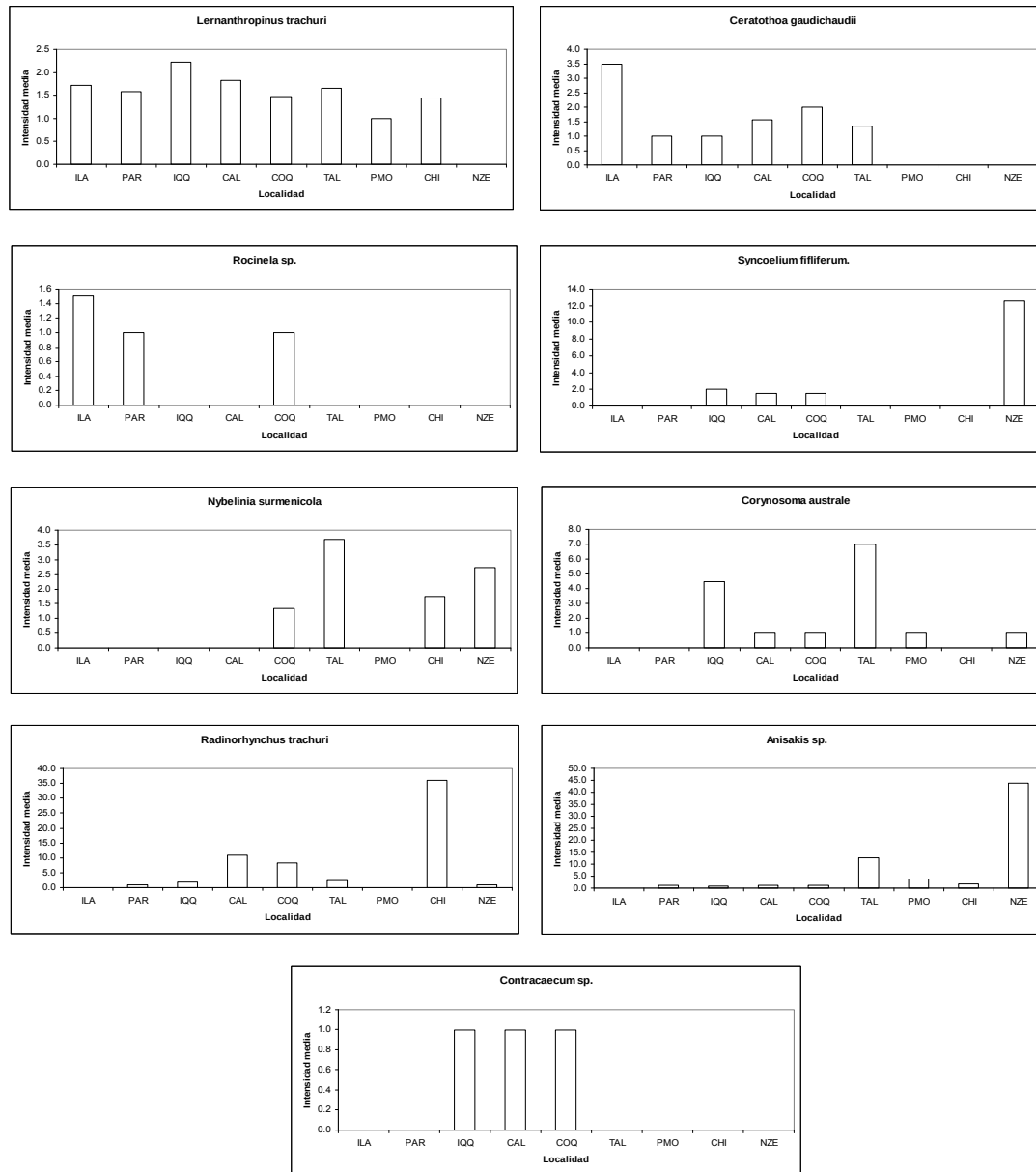


Figura D2.2.3. Tendencia latitudinal en Intensidad media de infección, para 9 especies de parásitos metazoos del jurel.



D.2.2.1.4 Análisis univariado

D.2.2.1.4.1 Prevalencia de infecci3n

Se evalu3 la significancia en las diferencias de prevalencia de infecci3n para aquellos parásitos presentes en más de una localidad a través de tablas de contingencia de 2 x 2 a 2 x 8 y utilizando el estadístico χ^2 . Los parásitos presentes en dos o más localidades son 12. De ellos 6 presentan diferencias que no resultan ser significativas (**Tabla D2.2.5**). De las restantes especies, un aporte importante a la variabilidad lo hacen algunas localidades, por ejemplo tanto *Syncoelium filiferum* como *Nybelinia surmenicola* presentan altas prevalencias en Nueva Zelanda y un caso similar ocurre con *Rhadinorhynchus trachuri* en Chiloé oceánico. Por otro lado, evidentes tendencias latitudinales (ver **figura D2.2.2**) explicarían la variabilidad para *Lernathropinus trachuri* y *Anisakis* sp.

Tabla D2.2.5

Valores del estadístico χ^2 , Grados de libertad (gl) y probabilidad para evaluar significancia de las diferencias en prevalencia de infecci3n. C3digo de especies como en Tabla D2.2.2.

Especie	χ^2	Gl	P
LER	69	7	< 0,001
CER	5,94	5	0,312
ROC	2,45	2	0,294
SYN	52,9	3	< 0,001
NYB	59,8	3	< 0,001
HEP	11,9	2	0,003
COR	3,03	5	0,695
RAD	278	6	< 0,001
ANI	501	7	< 0,001
CON	2,04	2	0,361
PSE	0,613	1	0,434
LAN	0,0256	1	0,873



D.2.2.1.4.2 Intensidad media de infecci3n

La significancia en las diferencias observadas en la intensidad media de infecci3n fue evaluada para aquellos parásitos presentes en dos o más localidades y que además cumplieran con el requisito de presentar prevalencias iguales o superiores al 5%. Cuando en alguna localidad no se cumplió esta condici3n, la localidad fue eliminada del análisis, ya que prevalencias iguales o menores al 5% representan menos de 5 observaciones lo que debilitará la robustez de los resultados. Dada la no-normalidad en la distribuci3n de los valores de intensidad, estos fueron transformados a $\log(n+1)$ previo al análisis de varianza. Cuando fue necesario, se realizaron pruebas de comparaci3n múltiple “*a posteriori*” para definir la (las) localidad (localidades) que originan las diferencias observadas. La **tabla D2.2.6** indica los valores del estadístico F, grados de libertad y valor de probabilidad, bajo la hipótesis nula de igualdad de medias.

Tabla D2.2.6

Resultados de un análisis de varianza sobre
valores transformados de intensidad de infecci3n.

F = valor del estadístico, gl = grados de libertad, P= valor de probabilidad.

Especie	F	Gl	P
LER	1,267	6,164	0,275
ROC	5,95	2,17	0,011
SYN	5,33	2,30	0,01
NYB	1,781	3,76	0,158
RAD	62,519	4,268	<0,001
ANI	136,05	6,297	<0,001
PSE	4,713	1,55	0,034
LAN	8,053	1,23	0,009

De la **tabla D2.2.6** se desprende que los valores de intensidad media de infecci3n, previa transformaci3n ($\log n+1$), no difieren significativamente entre las localidades consideradas, sólo para *L. trachuri* y *N. surmenicola*. El valor de P para *Pseudoterranova* sp. resulta ser marginalmente significativo.



Las **figuras D2.2.4 a D2.2.11** representan la distribuci3n de la media (m1s desviaci3n) de la intensidad media de infecci3n ($\log n+1$) para las 8 especies consideradas, seg1n su ocurrencia en las distintas localidades.

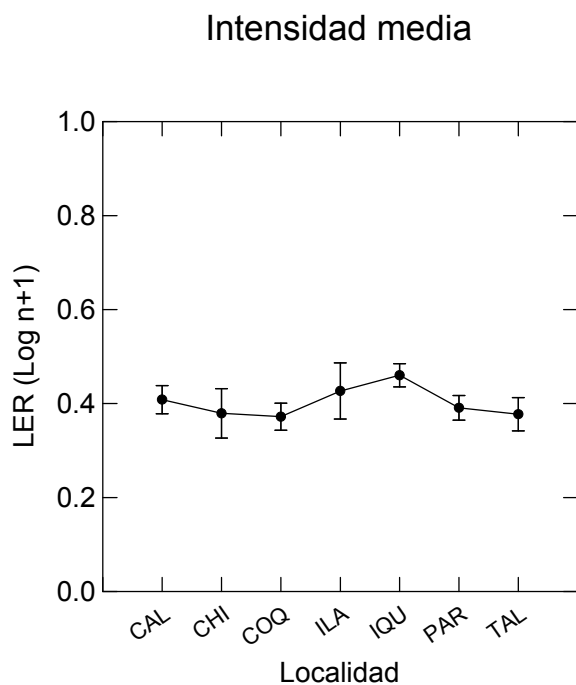


Figura D2.2.4. Intensidad media de infecci3n por localidad, para *L. trachuri*

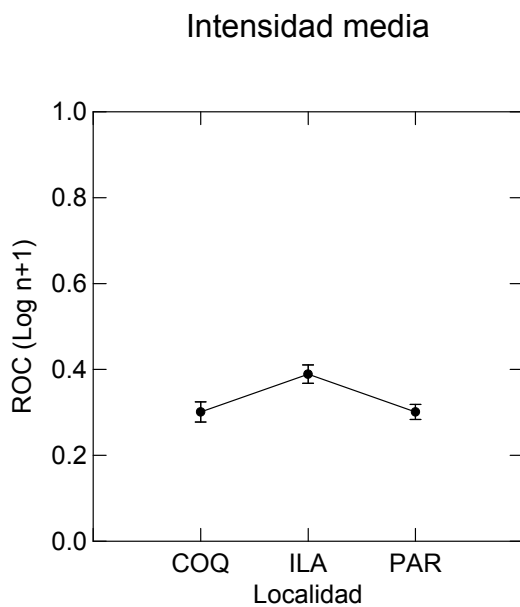


Figura D2.2.5. Intensidad media de infecci3n por localidad, para *Rocinela sp.*

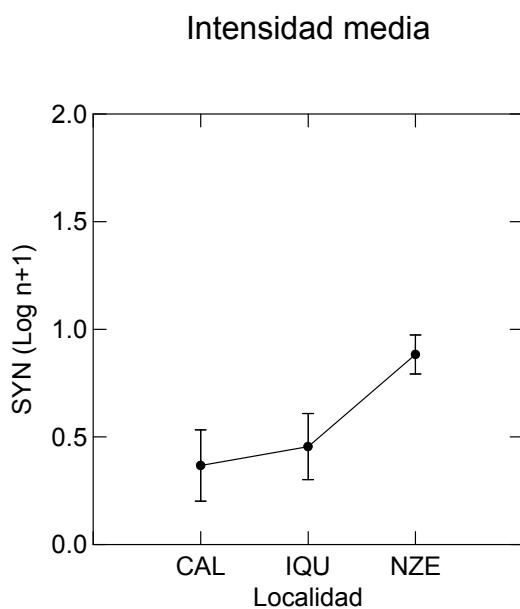


Figura D2.2.6. Intensidad media de infecci3n por localidad, para *S. filiferum*.

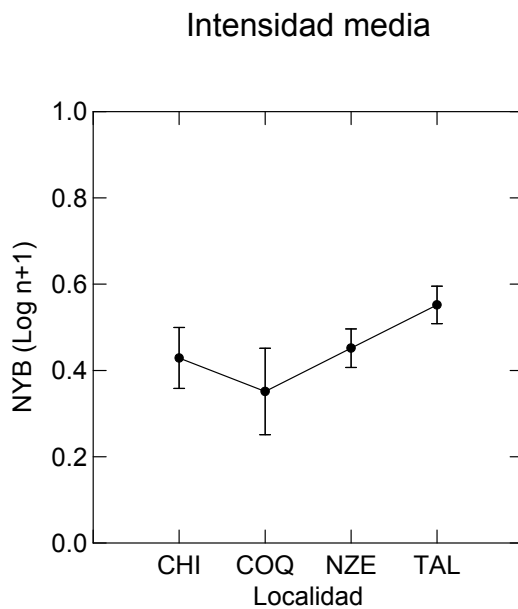


Figura D2.2.7. Intensidad media de infecci3n por localidad para *N. surmenicola*.

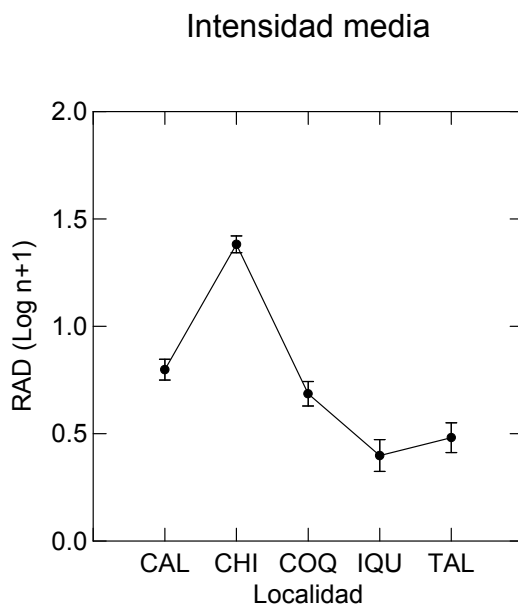


Figura D2.2.8. Intensidad media de infecci3n por localidad, para *R. trachuri*

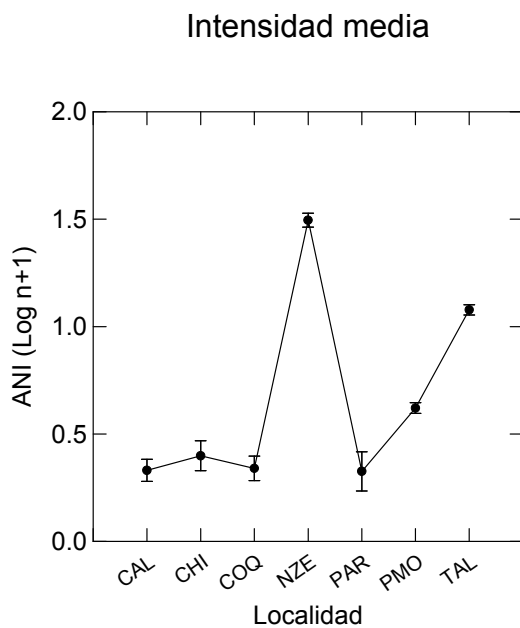


Figura D2.2.9. Intensidad media de infección por localidad, para *Anisakis* sp.

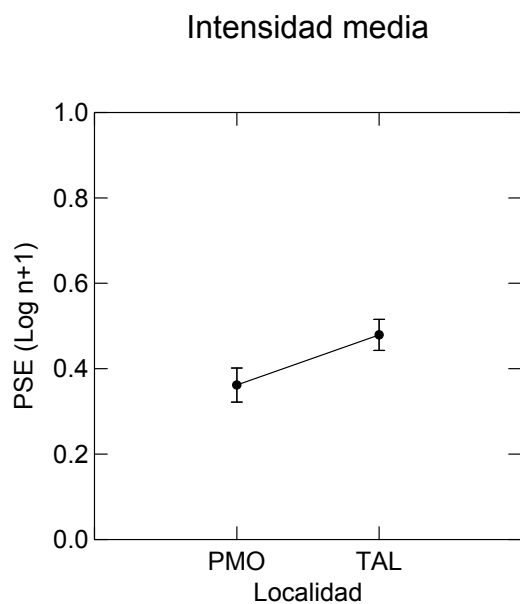


Figura D2.2.10. Intensidad media de infección por localidad para *Pseudoterranova* sp.

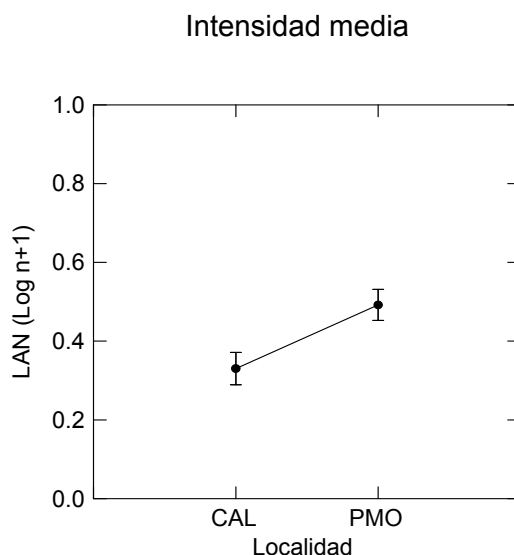


Figura D2.2.11. Intensidad media de infecci3n por localidad, para larvas de Anisakido no identificada.

Los resultados de las pruebas **a posteriori** LSD (m3nima diferencia significativa) indican que para:

***Rocinela* sp.** Las muestras provenientes de COQ y PAR no difieren significativamente entre si ($p = 1,00$), Pero las muestras de ILA tienen una intensidad media de infecci3n significativamente mayor que en las otras localidades ($p < 0,013$).

***Syncoelium filiferum*.** La intensidad media de infecci3n en CAL e IQU no difiere significativamente ($p = 0,700$), pero es significativamente mayor en NZE ($p < 0.01$).

***Rhadinorhynchus trachuri*.** La intensidad media de infecci3n observada en CHI es significativamente m3s alta ($p \leq 0,001$) que en las restantes localidades. Para IQU y TAL las diferencias no son significativas ($p = 0,413$), al igual que



para CAL y COQ ($p = 0,135$); pero la intensidad media en estas 3ltimas dos localidades es mayor que en IQQ y TAL ($p = 0,002$).

Anisakis sp. La intensidad media de infecci3n observada en NZE es significativamente m3s alta ($p \leq 0,001$) que en las restantes localidades. Excluyendo NZE, la intensidad media observada en TAL y PMO difieren entre si, siendo los mayores valores observados en TAL ($p \leq 0,001$). Los valores de intensidad media para CAL, CHI, COQ y PAR no difieren entre si ($p > 0,43$ en todos los casos).

D.2.2.1.5 An3lisis multivariado

An3lisis de Correspondencia.

Con el objeto de determinar que tan bien se asocian las variables a analizar (zona * par3sito) se desarrollaron los siguientes An3lisis de Correspondencia:

- Intensidad media de Infecci3n para todas las especies par3sitas.
- Intensidad media de Infecci3n considerando s3lo aquellas parasitosis con prevalencia de infecci3n superior al 5% o m3s en al menos una localidad.
- Prevalencia de Infecci3n para todas las especies par3sitas.
- Prevalencia de Infecci3n considerando s3lo aquellas parasitosis con prevalencia de infecci3n superior al 5% en al menos una localidad.

Las **figuras D2.2.12 a D2.2.15** muestran en un arreglo en un espacio bi-dimensional la correspondencia observada entre las distintas localidades (= zonas) y los par3sitos metazoos, de acuerdo a los criterios definidos arriba. Para mayor claridad de los gr3ficos de Correspondencia, c3digos para Localidad y Par3sitos fueron redefinidos como sigue:



Localidad	C3digo	Par3sito	C3digo
ILA	A	CEM	1
PAR	B	AXI	2
IQU	C	CAL	3
CAL	D	LER	4
COQ	E	CER	5
TAL	F	ROC	6
PMO	G	SYN	7
CHI	H	TET	8
NZE	I	NYB	9
		EUT	10
		HEP	11
		COR	12
		RAD	13
		ANI	14
		CON	15
		PSE	16
		HYS	17
		LAN	18

Intensidad media

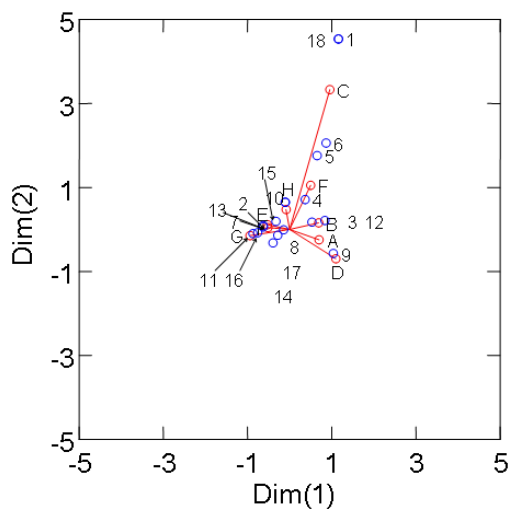


Figura D2.2.12. An3lisis de correspondencia para intensidad media de infecci3n considerando todas las especies de par3sitos.

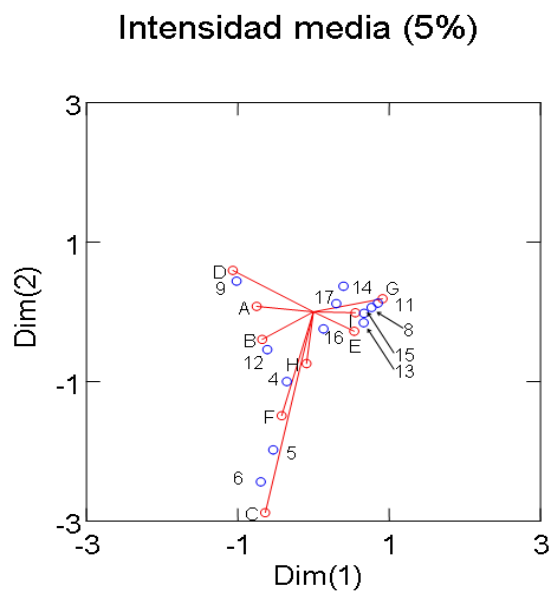


Figura D2.2.13. Análisis de correspondencia para intensidad media de infección considerando las especies de parásitos con prevalencia superior al 5% en al menos una localidad.

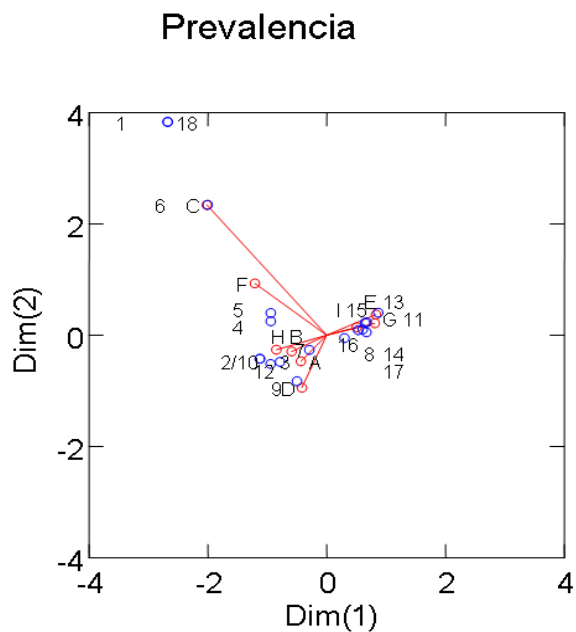


Figura D2.2.14. Análisis de correspondencia para prevalencia de infección considerando todas las especies de parásitos.

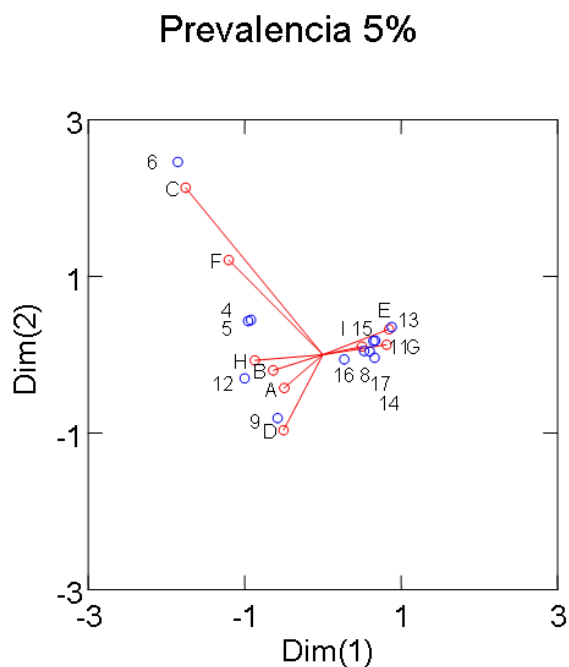


Figura D2.2.15. Análisis de correspondencia para prevalencia de infección considerando las especies de parásitos con prevalencia superior al 5% en al menos una localidad.

En la **tabla D2.2.7** se resumen estadísticos para las cuatro situaciones consideradas y que corresponden al análisis de correspondencia incluyendo valores de prevalencia e intensidad media de infección para todas las especies (Prevtotal e Intentotal, respectivamente) y sólo para aquellas con prevalencia > 5% en al menos una de las localidades en que se encuentran.

**Tabla D2.2.7.**

Estadísticos de Análisis de Correspondencia para 4 situaciones. Se indica valor Chi cuadrado, grados de libertad, probabilidad, Inercia explicada por los tres primeros factores y Quality e Inertia para localidades y parásitos. (Tres mayores valores en cada caso).
Códigos para localidad y parásitos como en Tabla D2.2.2.

	X ²	Gl	p	Inertia Explicada	Quality Loc	Quality Parásitos	Inertia Loc	Inertia Parásitos
Prevtotal	1797	136	<0,001	74,72	ILA CHI PAR	ANI, ROC, RAD	ILA, NZE PMO	RAD ROC LER
Prev 5%	1581	88	<0,001	80,19	COQ PAR ILA	RAD ANI ROC	NZE ILA PMO	RAD ROC LER
Intenttotal	434	136	<0,001	72,11	CHI ILA NZE	RAD CER ANI	ILA CHI NZE	ANI LAN CER
Inten 5%	298	88	<0,001	83,05	CHI ILA NZE	RAD ANI CER	CHI NZE ILA	RAD ANI CER

Los análisis de correspondencia, en general, tienden a asociar bastante bien algunas localidades con parásitos específicos, por ejemplo CHI y *R. trachuri* tienen una alta asociación, al igual que ILA con *C. aff. trachuri* y *Rocinela sp.* NZE está bien asociado con *Anisakis sp.*, al igual que TAL, lo que se corresponde bien con los valores de Quality e Inertia indicados en la **tabla D2.2.7**.

Análisis Discriminante

Los análisis de discriminación, basados sobre intensidad de infección, se realizaron bajo dos situaciones: considerando la totalidad de las especies de parásito y sólo aquellas con prevalencia del 5% o más en al menos en una de las localidad en que estuvieron presentes. Los estadísticos globales para ambas situaciones se indican en la **tabla D2.2.8** a continuación:

**Tabla D2.2.8.**

Estadísticos globales del Análisis de Discriminaci3n para el total de especies y prevalencias mayores al 5%.

(1) = proporci3n de la dispersi3n total explicada por los dos primeros factores.

	Muestra total	> 5% prevalencia
Wilk's lambda	0,0196	0,0219
GI	17,8,799	12,8,799
App. F	30,09	42,29
P	< 0,001	< 0,001
Var exp (1)	0,905	0,914
> F to remove		
ANI	320,49	322,3
RAD	179,54	180,26
SYN	18,82	18,93

Las matrices de asignaci3n correcta (**Tablas D2.2.9 y D2.2.10**) para las dos situaciones analizadas, indican que para las localidades de CHI y NZE, la estructura comunitaria de la fauna de parásitos metazoos permite asignar al 89% y 84% de las muestras a sus respectivas localidades al considerar el total de las muestras. TAL y PMO muestran valores algo menores (77% y 75%, respectivamente). Por el contrario, hay un conjunto de localidades que tienen un bajo grado de asignaci3n, particularmente COQ e ILA, localidades para las cuales la fauna de parásitos metazoos permite una asignaci3n correcta de apenas el 11% al considerar el total de la muestra (**Tabla D2.2.9**), la que aumenta al 14% para COQ y disminuye al 10% para ILA al considerar sólo parásitos con prevalencias iguales o superiores al 5% (**Tabla D2.2.10**). A su vez la **Tabla D2.2.9** muestra procesos de asignaci3n cruzada. Así por ejemplo, un 52% de los peces de IQU son asignados a PAR, un 24% de los peces de CAL son asignados a PAR y el 17% a CHI. Un 38% de los peces de COQ son asignados a PAR y un 19% a CAL. Estos valores no experimentan grandes cambios (**Tabla D2.2.10**) al considerar sólo parásitos con prevalencias mayores a 5%. Pese a que ILA presenta dos parásitos propios (*C. aff. trachuri* y *Eutetrarhynchus* sp.) que tienen baja prevalencia (< 5%) y por lo tanto son eliminados del análisis, los valores de



asignación asociados a los peces de esta localidad no experimentan cambios importantes. Sin embargo, IQU aumenta el porcentaje de asignación correcta de 29% a 41% y PAR baja desde 76% a 59% de asignación correcta.

Tabla D2.2.9.

Matriz de asignación para la totalidad de la muestra % AC 0 Porcentaje de asignación correcta.

	Localidad									
	CAL	CHI	COQ	ILA	IQU	NZE	PAR	PMO	TAL	% AC
CAL	33	17	8	2	12	0	24	2	0	34
CHI	11	89	0	0	0	0	0	0	0	89
COQ	19	11	11	6	12	0	38	3	0	11
ILA	3	0	0	5	5	0	37	0	0	11
IQU	8	0	10	1	29	0	52	0	0	29
NZE	0	0	0	0	0	46	1	0	8	84
PAR	0	0	2	10	13	0	80	0	0	76
PMO	0	0	0	0	0	0	19	75	6	75
TAL	3	0	0	0	2	8	0	10	77	77
TOTAL	77	117	31	24	73	54	251	90	91	55

Tabla D2.2.10.

Matriz de asignación para aquellas especies con prevalencia igual o mayor al 5% en al menos una de las localidades en que estaban presentes.

	Localidad									
	CAL	CHI	COQ	ILA	IQU	NZE	PAR	PMO	TAL	% AC
CAL	28	17	13	2	16	0	20	2	0	29
CHI	9	89	2	0	0	0	0	0	0	89
COQ	11	11	14	6	18	0	36	4	0	14
ILA	2	0	0	5	7	0	36	0	0	10
IQU	6	0	12	1	41	0	40	0	0	41
NZE	0	0	0	0	0	46	1	0	8	84
PAR	0	0	2	10	31	0	62	0	0	59
PMO	0	0	0	0	1	0	18	75	6	75
TAL	2	0	0	0	2	8	0	10	78	78
TOTAL	58	117	43	24	116	54	213	91	92	54



D.2.2.2. Discusión de los resultados del análisis de parásitos

La fauna de parásitos del jurel, *Trachurus murphyi* en las costas del Pacífico Sur de América, se caracteriza por una baja riqueza parasitaria, en términos cualitativos. En este estudio se obtuvieron representantes de 18 taxa, valor bastante bajo al contrastarlo con las 40 especies de metazoos registrados por Mackenzie *et al.* (2008) y las 45 registradas por Gaevskaya & Kovaleva (1980), ambos para *Trachurus trachurus*. Todos los parásitos mencionados en este trabajo habían sido registrados previamente para el jurel en el área de la Corriente de Humboldt. La **tabla D2.2.11** registra los 26 taxa de parásitos que, en distintos estudios cuantitativos, han sido registrados a la fecha. A su vez, la **tabla D2.2.12** indica la riqueza de parásitos (metazoa) en distintos estudios cuantitativos sobre el género *Trachurus*, destacando la escasa fauna de Digenea, de las 3 especies registradas para *T. murphyi* dos tienen muy baja prevalencia y sólo *S. filiferum* se puede considerar un parásito común en jureles de la zona en estudio. La pobreza en la fauna de Digenea ha sido considerada como una característica de los peces de esta zona y asociada a la presencia de una Capa de Mínimo de Oxígeno (Oliva *et al.* 2007).



Tabla D2.2.11.
Taxa de parásitos metazoos registrados en jureles en las costas del Pacífico de sud América.

* = Considerados como accidentales, **= considerado previamente como *Lernanthropus trachuri*, *** = Incluye el complejo *Scolex pleuronectis*, **** = Incluye *Anisakis simplex*, *Anisakis physeteris*, *Anisakis larva I* y *Anisakis larva II*. GN 2000 = George-Nascimento 2000.

	Oliva (1999)							GN 2000		Este estudio								
Especie	PAI	CAO	ARI	IQU	ANF	COQ	TAL	NOR	SUR	ILA	PAR	IQU	CAL	COQ	TAL	PMO	CHI	NZE
<i>Cemocotyle aff trachuri</i>	X									X								
Axinidae					X							X						
<i>Pseudanthothocotyloides</i> sp. *					X													
<i>Kuhnia scomberi</i> *				X														
<i>Caligus bonito</i>	X	X	X	X	X									X				
<i>Lernanthropinus trachuri</i> **	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Ceratothoa gaudichaudii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			
<i>Rocinela</i> sp.										X	X			X				
<i>Syncoelium filiferum</i>				X								X	X	X				X
Opecoelidae gen sp.			X	X				X	X									
Hemiuridae			X															
<i>Tentacularia coryphaenae</i>	X		X	X	X	X	X											
Tetrarhynchida								X	X									
Tetraphyllidea ***	X		X	X	X	X	X					X						
Pseudophyllidea								X	X									
<i>Nybelinia surmenicola</i>	X			X	X	X	X	X	X					X	X		X	X
<i>Eutetrarhynchus</i> sp.	X									X								
<i>Hepatoxylon trichiuri</i>					X		X		X				X			X		
<i>Corynosoma australe</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X				X
<i>Bolbosoma</i> sp.																		
<i>Rhadinorhynchus trachuri</i>			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X
<i>Anisakis</i> sp. ****	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Contracaecum</i> sp.								X	X			X	X	X				
<i>Pseudoterranova decipiens</i>							X	X	X						X	X		
<i>Hysterothylacium aduncum</i>								X	X						X			
Larva Anisakidae													X			X		

**Tabla D2.2.12.**

Parásitos metazoos encontrados en estudios cuantitativos en otras especies de *Trachurus*.

* = Mackenzie *et al.* 2008, ** = Gaevskaya & Kovaleva, 1980.

TAXA	Especie		
	<i>T. murphyi</i>	<i>T. trachurus</i> *	<i>T. trachurus</i> **
Monogenea	4	6	6
Digenea	3	12	17
Cestoda	7	4	11
Nematoda	5	8	5
Acantocefala	3	3	2
Copepoda	2	5	4
Isopoda	2	2	0

Análisis univariado

Los análisis univariados (prevalencia de infección) demuestran diferencias significativas en algunas especies, tales como *Syncoelium filiferum* y *Nybelinia surmenicola* en Nueva Zelandia, en tanto que *Rhadinorhynchus trachuri* presenta una prevalencia de infección del 100% y altos valores de intensidad media en Chiloé. Indudablemente, esta localidad muestra características únicas en su fauna de parásitos metazoos, ya que el 98,5% de sus parásitos metazoos corresponden a este acantocéfalo, situación que no ocurre en ninguna de las otras localidades analizadas. Los altos valores de prevalencia e intensidad media de infección tipifican a CHI como un ambiente particular. Específicamente, estos altos valores de prevalencia e intensidad media de infección sugieren que el jurel, en esta área, se alimenta de preferencia sobre una población de crustáceos que alberga el estado larval del acantocéfalo *R. trachuri*. Adicionalmente esta situación sugiere que los jureles son residentes en esta área, estando sometidos a procesos de infección continuos, tanto a nivel poblacional (reflejado por una prevalencia del 100%) como a nivel de individuo, reflejado en una alta intensidad media (36.09). Al respecto, Vinogradov *et al.* (1990) indican que en aguas oceánicas (158° -126° W) y cercano a los 40° S se encuentra el borde austral de



las aguas subtropicales superficiales y que la división frontal en los 40° - 42° S actúa entre los 80° – 88° W. En esta zona y más hacia el sur (43° 50° S) hay densas agregaciones de copépodos calanoídeos, quetognatos *Saggita* y eufáusidos, que conforman el denominado stock para la alimentación del jurel, con concentraciones de copépodos mesoplanctónicos de $14,9 \text{ T} \cdot \text{km}^{-2}$ y eufáusidos de $2,66 \text{ T} \cdot \text{km}^{-2}$. El hospedador intermediario de *R. trachuri* en las costas del Pacífico de Norteamérica (Oregon-California) puede ser un amphipodo o copépodo (Baldwin *et al.* 2008). Pese a que no se conoce el hospedador intermediario para *R. trachuri* en el hemisferio sur, se puede hipotetizar que representantes de estos grupos podrían actuar también como hospedador intermediario. Bajo este criterio, una ingesta sostenida de estos organismos explicaría los altos valores en los parámetros de infección de este parásito.

De modo similar, a lo indicado por Oliva (1999) para peces recolectados en la localidad de Paita, los peces ahora recolectados desde ILA (215 km lineales al sur de Paita) se caracteriza por la presencia, aunque en prevalencias bajas, del monogeneo *Cemocotyle aff. trachuri* y la larva del cestodo *Eutetrarhynchus sp.* además de la ausencia de formas larvales de nemátodos de la Familia Anisakidae y del acantocéfalo *R. trachuri*. En esta oportunidad, es evidente además la presencia del Isópodo *Rocinela sp.* que en esta localidad presenta la mayor prevalencia.

Al considerar tendencias latitudinales en los parámetros analizados, algunas especies muestran comportamientos disímiles en el rango total, pero al descomponer este rango y considerar las muestras costeras de Chile (excluye CHI) por un lado y las muestras de Perú se sugieren tendencias decrecientes para *C. gaudichaudii*, *L. trachuri* y *Contracaecum sp.* desde Iquique al sur y para *R. trachuri* desde CAL al sur. Por otro lado, tanto *C. australe* como *Anisakis sp.* muestran tendencias al incremento hacia el sur. Ya que las tendencias en la talla



media de los peces no se corresponden con estas, las tendencias en la carga parasitaria serían un atributo asociado a las localidades. Bajo este criterio, es decir pérdida/ganancia de parásitos, particularmente formas larvales que se acumulan en gradientes latitudinales (Oliva, 2001) es plausible plantear la hipótesis de un movimiento migratorio desde el norte de Chile hacia el sur.

Análisis multivariado

El análisis multivariado ha adquirido relevancia en el análisis de parásitos como herramientas para la discriminación de stock. Mackenzie & Abaunza (2005) actualizan técnicas y metodologías que están siendo ampliamente utilizadas. Una búsqueda en ISI WEB, utilizando como criterio “parasites” & “stock” y restringiendo la búsqueda a partir del año 2000, arroja más de 30 estudios, lo que demuestra la utilidad de esta herramienta.

El análisis de correspondencia sobre prevalencia así como intensidad media de infección es claro al asociar localidades con parásitos específicos. Así por ejemplo, CHI tiene una fuerte correspondencia con ***R. trachuri***. ***Anisakis sp.*** se corresponde bien con muestras provenientes de NZE, PMO y TAL. Estas dos últimas localidades se asocian además con *P. decipiens* e *H. aduncum* respectivamente. Por otro lado, hay buena correspondencia entre la localidad más extrema (ILA) y ***C. aff. trachuri*** y ***Eutetrarhynchus sp.*** ILA y PAR a su vez se asocian bien con ***Rocinela sp.***

En concordancia con el análisis de correspondencia, las características cuantitativas de la fauna parasitaria tienen éxito al discriminar, con un elevado nivel de asignación correcta, los peces provenientes de NZE y CHI, sugiriendo que estas son unidades discretas.



Las localidades de ILA, PAR e IQU muestran una alta asignaci3n cruzada, tanto para la muestra total como para la muestra reducida al 5% de prevalencia. El an3lisis de discriminaci3n (sobre prevalencias mayores a 5%) asigna 36 individuos (de 50) de ILA a PAR, 7 a IQU y s3lo asigna correctamente 5 a ILA. Un 38,1 % de los ejemplares de IQU son asignados a PAR y un 29,5% de los ejemplares de PAR son asignados a IQU, lo que sugiere que las muestras provenientes de estas localidades podr3an constituir una unidad independiente. Sin embargo la presencia de larvas de *Anisakis sp.* as3 como el acantoc3falo *R. trachuri* junto a la ausencia de *C. aff. trachuri* y *Eutetrarhynchus sp.* en IQU permiten descartar esta alternativa. Alternativamente, la zona norte de Chile y sur del Per3 puede representar una zona de mezcla.

D.2.2.3 Conclusiones de la parasitofauna

En conclusi3n, la evidencia parasitol3gica sugiere que:

- Muestras provenientes de CHI y NZE corresponder3an a unidades poblacionales discretas.
- Muestras provenientes de la zona centro norte del Per3 representan una unidad discreta.
- Muestras provenientes de Chile (excepto CHI) constituir3an otro grupo discreto en el cual procesos de migraci3n (norte a sur) son sugeridos por las tendencias en la prevalencia e intensidad media de infecci3n de par3sitos que se acumulan en el pez, tales como *Anisakis sp.* y *C. australe*.



D2.3. Morfometría corporal

D.2.3.1. Verificación de la técnica utilizada en morfometría corporal.

Para efectos de verificación de la metodología a ser utilizada en este estudio, una muestra de 25 ejemplares de jurel provenientes de una zona de pesca 60 mn al oeste de Paita en Perú, fue procesada bajo 2 modalidades, primero bajo el método tradicionalmente utilizado, donde se obtuvieron las medidas anteriormente señaladas a través de la proyección de los puntos utilizando agujas para proyectar éstos sobre papel y así utilizar su medición recta entre puntos con sensibilidad de 1 mm. Luego, fueron obtenidas las mediciones desde fotografías digitales, utilizando el método antes desarrollado.

Un test de ANOVA simple para la diferencia entre muestras pareadas de las distancias utilizadas no muestra diferencias significativas entre pares de mediciones realizadas por uno u otro método ($p > 0.10$).

Adicionalmente, se establece que el método basado en fotografías digitales, reduce tiempo de preparación y procesamiento de muestras en laboratorio, reduce fuentes de error de medición y ofrece una mayor sensibilidad en las mediciones.

D.2.3.2. Resultados análisis morfométrico

El análisis de la morfometría del cuerpo fue finalmente efectuado sobre un total de 750 peces. La distribución de tallas de jurel considerada por cada localidad, es resumida en la **figura D2.3.1**.

En esta figura, se observa que en especial la muestra de Nueva Zelandia (NZE) excede el rango de tamaños inicialmente planteado para este estudio, esto debido

a que en esa área no se registraron ejemplares de menores tamaños en la fecha de colecta de esta muestra.

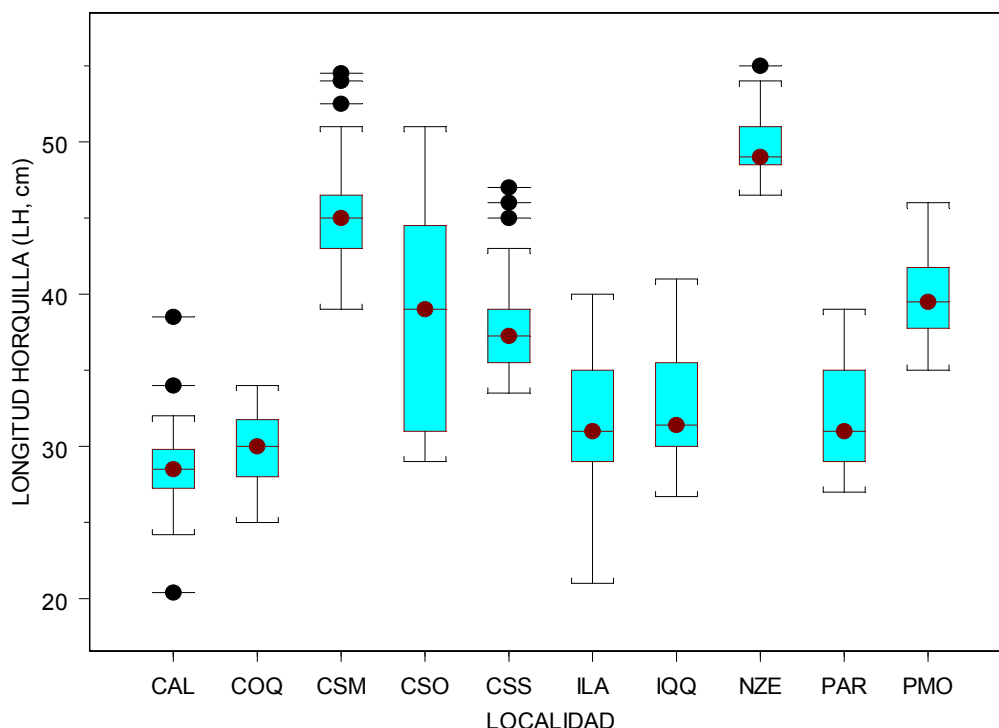


Figura D2.3.1. Distribución por tallas de los ejemplares analizados por localidad.

Para poner a prueba la posible existencia de diferencias morfométricas entre las diferentes localidades estudiadas, se utilizó el Análisis Discriminante Múltiple (ADM). Este análisis, ajusta un modelo de diferenciación que es altamente significativo ($\text{Lambda de Wilks} = 0,00939$; $F(126,5567) = 37,230$; $p < 0,0001$), por lo cual se logra especificar un modelo basado en las 14 distancias generadas a partir de los diferentes hitos morfológicos. El estadígrafo Lambda de Wilks evalúa la capacidad discriminante de la función de discriminación y mientras más cerca esté de cero, mayor será el poder de discriminación de la variable discriminada.



La **Tabla D2.3.1** resume los estadígrafos obtenidos del ajuste del modelamiento multivariado.

Tabla D2.3.1.

Valores del estadígrafo Lambda de Wilks, estadígrafo F y valores de probabilidad asociados a las distancias morfométricas utilizadas.

Distancia morfométrica	Valor Lambda de Wilks	Valor de remoci3n F (9,727)	Valor de probabilidad (p)	Tolerancia
V1_2	0,01431524	42,3978348	<0,001	0,12327877
V1_3	0,01344202	34,8842087	<0,001	0,04784716
V2_3	0,01094462	13,3953228	<0,001	0,09914152
V1_4	0,01123501	15,8939657	<0,001	0,12830532
V2_4	0,01444134	43,4828529	<0,001	0,12705366
V3_4	0,01231448	25,1823425	<0,001	0,18566673
V4_5	0,01191759	21,7672825	<0,001	0,05343113
V3_6	0,01195859	22,1200485	<0,001	0,09568255
V5_6	0,01094996	13,4412937	<0,001	0,02961357
V6_7	0,01225080	24,6343975	<0,001	0,05943771
V5_8	0,01080491	12,1931906	<0,001	0,06150772
V7_8	0,01099277	13,8096113	<0,001	0,01548795
V8_9	0,01098259	13,7220402	<0,001	0,15672603
V7_10	0,01247609	26,57291412	<0,001	0,02687259

Al graficar los puntajes para las dos primeras componentes can3nicas de la funci3n discriminante (**Figura D2.3.2**), se observa que los individuos de las localidades de Nueva Zelandia (NZE) tienen un mayor alejamiento con respecto al resto de las localidades analizadas; sin embargo, las dem3s localidades muestran un alto grado de variabilidad y por ende de sobreposici3n de sus característic3s morfométricas. Las localidades de Isla de Lobos (ILA) y Par3cas (PAR) se superponen fuertemente y ambas localidades se entremezclan con los atributos de los individuos correspondientes a la localidad de Iquique (IQQ). En un grado de sobreposici3n aúN m3s alta, los centroides de las localidades de Iquique (IQQ), Caldera (CAL) y Coquimbo (COQ), se encuentran muy cercanos entre sí; sin embargo, existen individuos de estas localidades (particularmente los de Caldera) que muestran atributos morfométricos de los peces de la zona centro-sur de Chile, e incluso similares a los de Nueva Zelandia.

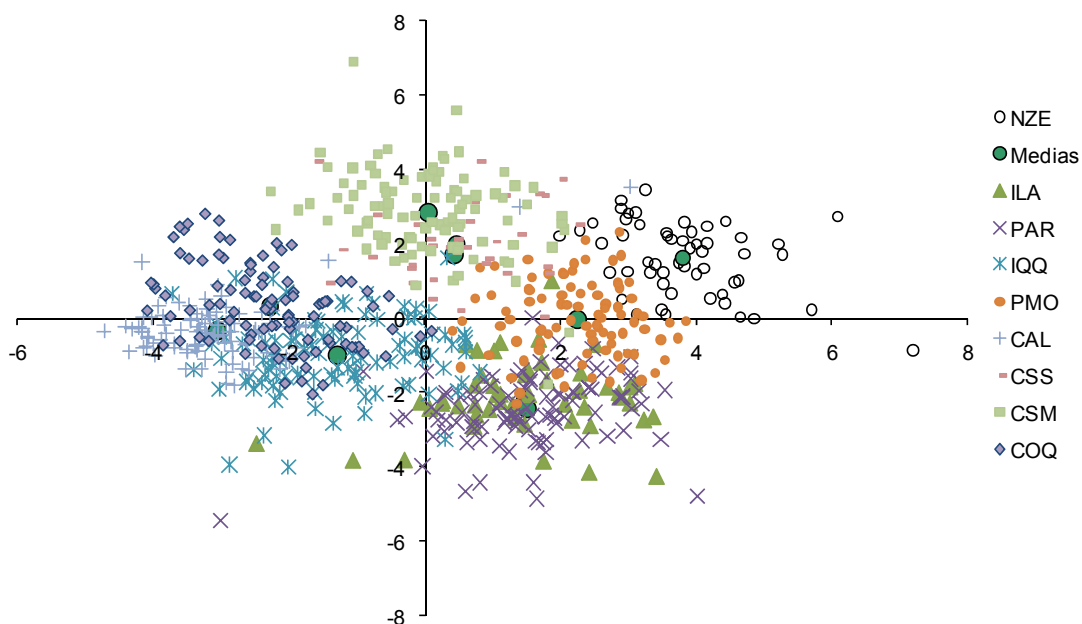


Figura D2.3.2. Puntajes para las componentes can3nicas (1 y 2) en la discriminaci3n morfom3trica de jurel por localidad. Se destacan las posiciones medias de los centroides de cada localidad.

La **tabla D2.3.2** representa la matriz de re-clasificaci3n de todos los ejemplares analizados por localidad. De 3sta se desprende que si bien existe un alto porcentaje de discriminaci3n o identificaci3n de la localidad a la cual pertenecen estos individuos (> 78% en 9 localidades), los peces pertenecientes a las localidades de Isla de Lobos (ILA) y los de aguas oce3nicas frente a Chile centro-sur (CSO) muestran bajos porcentajes de asignaci3n.



Tabla D2.3.2.

Matriz de clasificación por localidad (LOC), se indica el porcentaje de clasificación correcto (Filas: Clasificaciones observadas, Columnas: Clasificaciones predichas).

		IQQ	CSS	CSO	COQ	NZE	ILA	PAR	PMO	CAL	CSM
	Valor-p	P=0,13600	p=0,04800	p=0,01600	p=0,13333	p=0,07200	p=0,06667	p=0,13867	p=0,12267	p=0,13333	p=0,13333
LOC	% Correcto										
IQQ	84,3	86	0	0	4	0	0	4	1	6	1
CSS	88,9	0	32	0	3	1	0	0	0	0	0
CSO	50,0	0	0	6	2	0	0	0	1	0	3
COQ	78,0	3	0	0	78	0	0	0	0	19	0
NZE	94,4	0	0	0	0	51	0	0	2	0	1
ILA	38,0	0	1	0	0	0	19	25	5	0	0
PAR	89,4	1	0	0	0	0	6	93	3	1	0
PMO	87,0	0	0	0	0	5	1	4	80	0	2
CAL	83,0	5	0	0	9	1	0	0	0	83	2
CSM	92,0	2	2	1	0	0	1	0	2	0	92
Total	82,7	97	35	7	96	58	27	126	94	109	101



D.2.3.3. Conclusiones del an3lisis morfom3trico.

De los an3lisis morfom3tricos realizados se puede concluir lo siguiente:

Los 14 hitos morfom3tricos seleccionados permiten un adecuado nivel de discriminaci3n de la forma corporal del jurel y caracterizaci3n de los peces provenientes de diferentes localidades.

Este an3lisis, basado en la recolecci3n de hitos morfom3tricos y obtenci3n de fotograf3as digitales bajo un procedimiento est3ndar de marcado de peces, permite un m3todo costo-efectivo que puede utilizarse adecuadamente para un seguimiento de hitos que permitan caracterizar atributos fenot3picos de diversas localidades en el 3rea de distribuci3n del jurel.

Si bien, el uso de estos hitos permite un satisfactorio nivel de caracterizaci3n de los peces provenientes por localidades, se detecta un alto grado de mezcla o superposici3n con otras localidades.

Las localidades con atributos espec3ficos que m3s se alejan del resto de las localidades, son las de Nueva Zelandia (NZE) y Centro-Sur Isla Mocha (CSM). Cabe destacar que ambas localidades, se diferencian del resto en los tama3os de los peces provenientes de estas muestras, ya que sus tallas medias superan los 45 cm LH; mientras que el resto de las localidades muestran tallas medias menores a 40 cm LH y una mayor superposici3n de rangos de tama3os.



D.2.4. Morfometría de otolitos

La morfometría de los otolitos es un rasgo característico de una especie (Hecht and Appelbaum, 1982; Gaemers, 1984) y también específico de una población en algunos casos (Neilson *et al.*, 1985), puesto que variaciones en la forma de los otolitos puede revelar la presencia de diferentes stocks (Bird *et al.*, 1986; Campana and Casselman, 1993; Begg and Brown, 2000; Turan, 2000 y Turan *et al.*, 2006).

Las características morfométricas usadas como indicadores para identificar distintos stock se resumen en tres categorías: 1) Las tradicionales medidas lineales de una dimensión, atributos relativos al tamaño, como longitud y ancho del otolito (Begg and Brown, 2000; Bolles and Begg, 2000) y distancias entre puntos específicos del otolito (ejemplo, Turan, 2000 y Turan *et al.*, 2006). Así también, se incluyen medidas internas del otolito como la longitud del núcleo y ancho de las bandas hialinas e incrementos. 2) Comprende las medidas de tamaño en dos dimensiones como el área y perímetro (Campana and Casselman, 1993, Begg and Brown, 2000; Bolles and Begg, 2000) y diferentes índices de forma que incluyen la circularidad, rectangularidad, elipticidad, excentricidad, redondez y factores de forma (Pothin *et al.*, 2006). 3) La más reciente técnica morfológica analiza el contorno de la forma del otolito en dos dimensiones usando análisis de frecuencia, por medio de transformadas de Fourier o transformadas de wavelets (Bird *et al.*, 1986; Smith, 1992; Campana and Casselman, 1993, Begg and Brown, 2000; Bergenius *et al.*, 2005; Parisi-Baradad *et al.*, 2005; Pothin *et al.*, 2006; Turan *et al.*, 2006).

D.2.4.1. Resultados del análisis de morfometría de otolitos

El análisis de varianza mostró la existencia de diferencias significativas de las tallas entre las distintas localidades de muestreo $F_{(8, 424)} = 278,1$ $P = 1,7e^{-161}$. Esta



situación es producto de las dificultades tenidas para completar las muestras y las características de la estructura de tallas en las diferentes localidades, como por ejemplo, la existencia histórica de una alta proporción de ejemplares juveniles en el norte de Chile (Arica a Antofagasta).

D.2.4.1.1 Análisis de Índices de Forma

El cálculo de los índices de forma fue independizado del tamaño del pez y esto se puede apreciar a través de la relación de estos índices con la longitud horquilla de cada ejemplar (**Figura D.2.4.1**). En esta figura se muestra también la relación entre los cinco índices de forma.

Los valores promedios de los índices de forma presentan diferencias leves entre las distintas localidades (**Tabla D.2.4.1**). Para el factor de forma los valores más bajos corresponden a Nueva Zelandia y Perú, lo que indica que estos otolitos presentan una forma más irregular que los correspondientes al resto de las localidades. En el caso de la redondez y circularidad todas las localidades presentan valores muy cercanos; en el caso particular de la redondez muestra que todos los otolitos se alejan bastante del círculo perfecto al presentar valores bastante menores que 1. La rectangularidad presentó un valor máximo para Perú lo que muestra que los otolitos de esta localidad son levemente más rectangulares que el resto de las zonas. La elipticidad no muestra diferencias importantes, revelando con ello que los cambios en los ejes de longitudes máximos y mínimos del otolito presentan la misma proporcionalidad entre localidades.

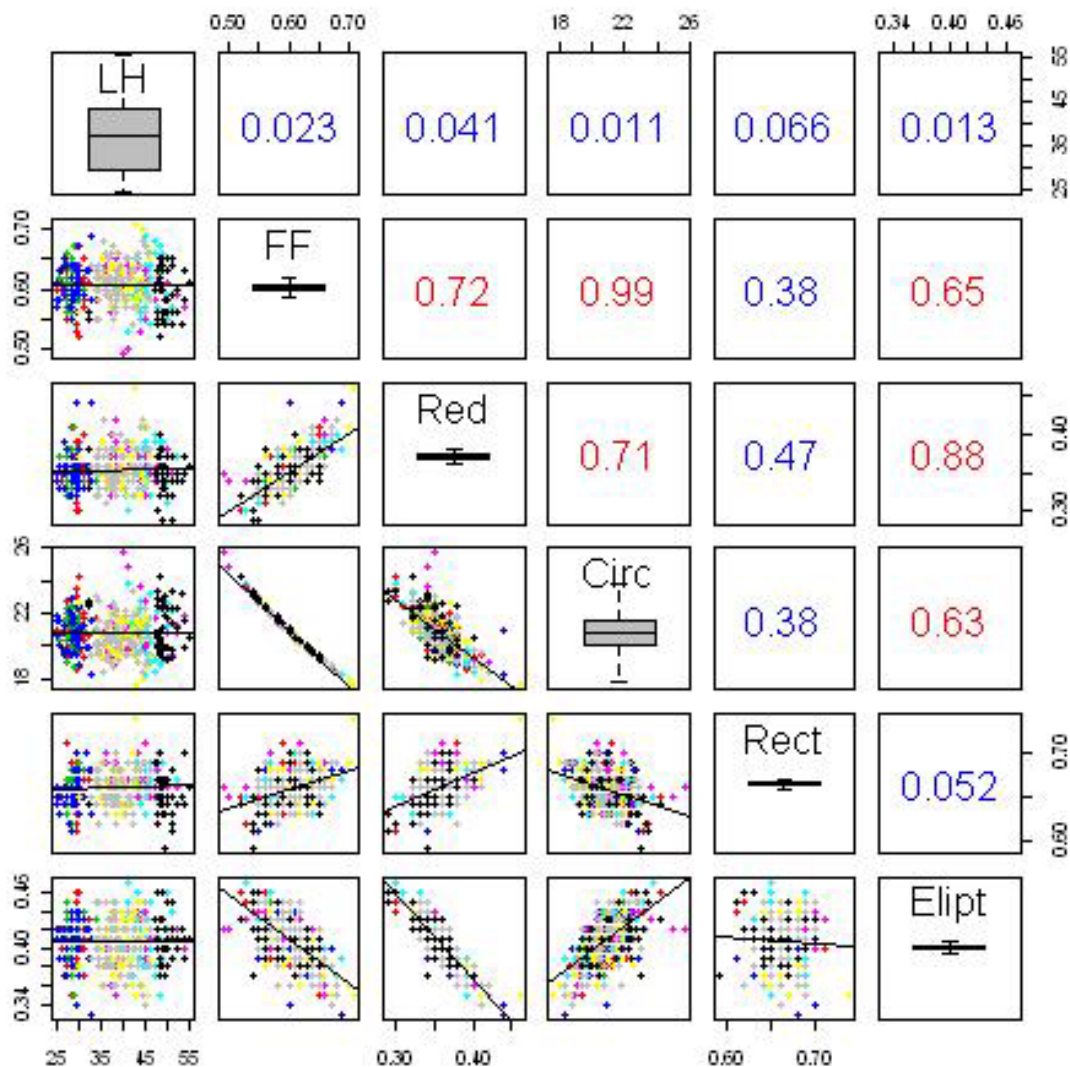


Figura D.2.4.1. Relaciones entre los índices de forma y la longitud horquilla del pez (LH). Hacia la izquierda se presentan la dispersi3n de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinaci3n de los ajustes. Los índices de forma corresponden a: FF: factor de forma; Red: redondez; Circ.: circularidad; Rect.: rectangularidad; Elipt.: elipticidad.

**Tabla D.2.4.1.**

Valores promedios y desviación estándar de los índices de forma de los otolitos de *Trachurus murphyi* para cada una de las localidades.

Localidades	Índices de Forma				
	Factor de Forma	Redondez	Circularidad	Rectangularidad	Elipticidad
Perú	0,59 ± 0,03	0,35 ± 0,02	21,42 ± 1,23	0,67 ± 0,02	0,41 ± 0,02
Iquique	0,60 ± 0,03	0,35 ± 0,02	21,03 ± 1,18	0,66 ± 0,02	0,41 ± 0,02
Caldera	0,60 ± 0,03	0,35 ± 0,02	20,84 ± 0,89	0,66 ± 0,01	0,41 ± 0,02
Coquimbo	0,61 ± 0,03	0,35 ± 0,02	20,81 ± 1,00	0,65 ± 0,02	0,41 ± 0,02
Talcahuano (costa)	0,61 ± 0,04	0,35 ± 0,02	20,75 ± 1,23	0,66 ± 0,02	0,41 ± 0,02
Talcahuano (oceanico)	0,60 ± 0,04	0,36 ± 0,02	20,91 ± 1,39	0,66 ± 0,02	0,41 ± 0,02
Puerto Montt	0,61 ± 0,03	0,36 ± 0,03	20,50 ± 1,03	0,66 ± 0,02	0,40 ± 0,02
Chiloe (Oceanico)	0,61 ± 0,03	0,36 ± 0,02	20,57 ± 1,09	0,66 ± 0,02	0,40 ± 0,03
Nueva Zelanda	0,59 ± 0,04	0,35 ± 0,02	21,23 ± 1,39	0,65 ± 0,02	0,41 ± 0,02

El test de Mahalanobis determinó la no existencia de normalidad en los datos de índices de forma con $P < 0,000$ y la ausencia de homogeneidad de varianza $P = 0,001$, por lo cual se procedió con análisis de varianza no-paramétrico.

El análisis varianza, a través del test de Kruskal Wallis, para los índices de forma, mostró diferencias significativas entre localidades en tres de los cinco índices estimados, a saber: Factor de Forma, Circularidad y Rectangularidad (**Tabla D.2.4.2**). Para el Índice Factor de Forma y el de Circularidad el test de comparaciones a posterior mostró que en la mayoría de las localidades se acepta la hipótesis nula, es decir no existen diferencias significativas entre zonas. Las diferencias significativas que arrojó el test para estos dos índices de forma están establecidas por Nueva Zelanda que muestra diferencias con todas las localidades ($P < 0,05$). Otras diferencias se presentan entre Talcahuano costa y oceánico con Iquique, Caldera y Coquimbo; a las que se suman Puerto Montt y Chiloe oceánico con Caldera y Coquimbo. En el caso del índice de Rectangularidad el test indica que Nueva Zelanda presenta diferencias significativas con todas las localidades (**Tabla D.2.4.3**). En resumen



se puede apreciar con los test de comparaciones a posterior, que Nueva Zelandia es la localidad que mayormente establece las diferencias significativas, determinadas con la prueba de Kruskal Wallis, para el Factor de Forma, Circularidad y Rectangularidad.

Tabla D.2.4.2.

Test de Kruskal Wallis que compara los 3ndices de forma de otolitos de *Trachurus murphy* entre las distintas localidades de muestreo.

Indices	<i>g.l.</i>	<i>Valor</i>	<i>P</i>
Factor de Forma	8,424	52,96	0,000 ***
Redondez	8,424	8,89	0,352
Circularidad	8,424	52,96	0,000 ***
Rectangularidad	8,424	17,24	0,026 *
Elipticidad	8,424	6,26	0,621

C3digos de Significancia, * <0,05, ** <0,01, *** <0,001.

**Tabla D.2.4.3.**

Resultado de los Test de comparaciones a posteriores no-parametrico para tres índices de forma cuya prueba de Kruskal Wallis mostró diferencias significativas. Se presenta la probabilidad de rechazar la hipótesis de igualdad entre las localidades. Destacados en gris se presentan los valores menores 0,05 que indican rechazo de la hipótesis.

	Perú	Iquique	Caldera	Coquimbo	Talcahuano (C)	Talcahuano (O)	Puerto Montt	Chiloe (O)	Nueva Zelanda
Índice de Forma	Perú		0,232	0,144	0,157	0,661	0,780	0,711	0,659
	Iquique	0,232		0,628	0,688	0,002	0,006	0,104	0,114
	Caldera	0,144	0,628		0,936	0,000	0,001	0,029	0,030
	Coquimbo	0,157	0,688	0,936		0,000	0,002	0,039	0,040
	Talcahuano (costa)	0,661	0,002	0,000	0,000		0,763	0,108	0,067
	Talcahuano (oceanico)	0,780	0,006	0,001	0,002	0,763		0,202	0,139
	Puerto Montt	0,711	0,104	0,029	0,039	0,108	0,202		0,887
	Chiloe (Oceanico)	0,659	0,114	0,030	0,040	0,067	0,139	0,887	
	Nueva Zelanda	0,047	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000
Índice de Circularidad	Perú		0,231	0,143	0,156	0,664	0,784	0,709	0,657
	Iquique	0,231		0,627	0,686	0,002	0,006	0,104	0,114
	Caldera	0,143	0,627		0,937	0,000	0,001	0,029	0,030
	Coquimbo	0,156	0,686	0,937		0,002	0,038	0,040	0,000
	Talcahuano (costa)	0,664	0,002	0,000	0,000		0,760	0,109	0,067
	Talcahuano (oceanico)	0,784	0,006	0,001	0,002	0,760		0,204	0,140
	Puerto Montt	0,709	0,104	0,029	0,038	0,109	0,204		0,887
	Chiloe (Oceanico)	0,657	0,114	0,030	0,040	0,067	0,140	0,887	
	Nueva Zelanda	0,048	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000
Índice de Rectangularidad	Perú		0,33	0,43	0,12	0,26	0,27	0,23	0,18
	Iquique	0,33		0,74	0,28	0,78	0,79	0,67	0,49
	Caldera	0,43	0,74		0,15	0,54	0,55	0,43	0,29
	Coquimbo	0,12	0,28	0,15		0,40	0,40	0,47	0,60
	Talcahuano (costa)	0,26	0,78	0,54	0,40		0,99	0,88	0,69
	Talcahuano (oceanico)	0,27	0,79	0,55	0,40	0,99		0,88	0,69
	Puerto Montt	0,23	0,67	0,43	0,47	0,88	0,88		0,80
	Chiloe (Oceanico)	0,18	0,49	0,29	0,60	0,69	0,69	0,80	
	Nueva Zelanda	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00

D.2.4.1.2. Análisis de medidas morfométricas entre hitos.

La variabilidad ontogenética entre zonas fue corregida a través de la estandarización que independizó las medidas morfométricas del efecto tamaño del pez. En la **figura D.2.4.2** se presentan las relaciones entre las distintas medidas morfométricas (entre hitos o puntos del otolito), donde se incluye la longitud del pez. En esta figura se



muestran las medidas ponderadas en que se ha eliminado el efecto talla, por lo cual la existencia de ejemplares de distinto tamaño no tiene impacto en el análisis.

El test de Mahalanobis determinó la no existencia de normalidad para las doce medidas morfométricas entre puntos del otolito ($P < 0,000$) y la ausencia de homogeneidad de varianza $P = 0,002$, por lo cual se procedió con análisis de varianza no-paramétrico.

El análisis varianza, a través del test de Kruskal Wallis, para las medidas lineales entre puntos del otolito, mostró diferencias significativas entre localidades para las doce variables, oscilando el P value entre 0,03 y 0,000. En este caso para determinar si estas diferencias permiten la separación de grupos discretos se aplicó el análisis de componentes principales.

Los métodos de contraste aplicados antes del análisis factorial (análisis de componentes principales), para analizar la pertinencia de este tipo de análisis, presentaron resultados suficientes, a saber: La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) fue de 0,57 indicando que los datos son suficientes para un análisis factorial y el Test de Bartlett's tuvo un $P < 0,000$ e indica que las variables están correlacionadas. El análisis de componentes principales (ACP) muestra que las dos primeras componentes explican el 56% de la varianza, el tercer componente aporta un 20% adicional que permitiría explicar el 76% (**Tabla D.2.4.4**).

Tabla D.2.4.4.

Resultado del análisis de componentes principales (ACP). Se presenta el porcentaje de la varianza explicado por los tres primeros componentes que agrupan la variables morfométricas correspondientes a las distancias entre puntos del otolito o hitos.

Componentes	VarianzaTotal	Varianza (%)	Varianza Acumulada (%)
1	3,95	32,88	32,88
2	2,79	23,24	56,12
3	2,35	19,61	75,74

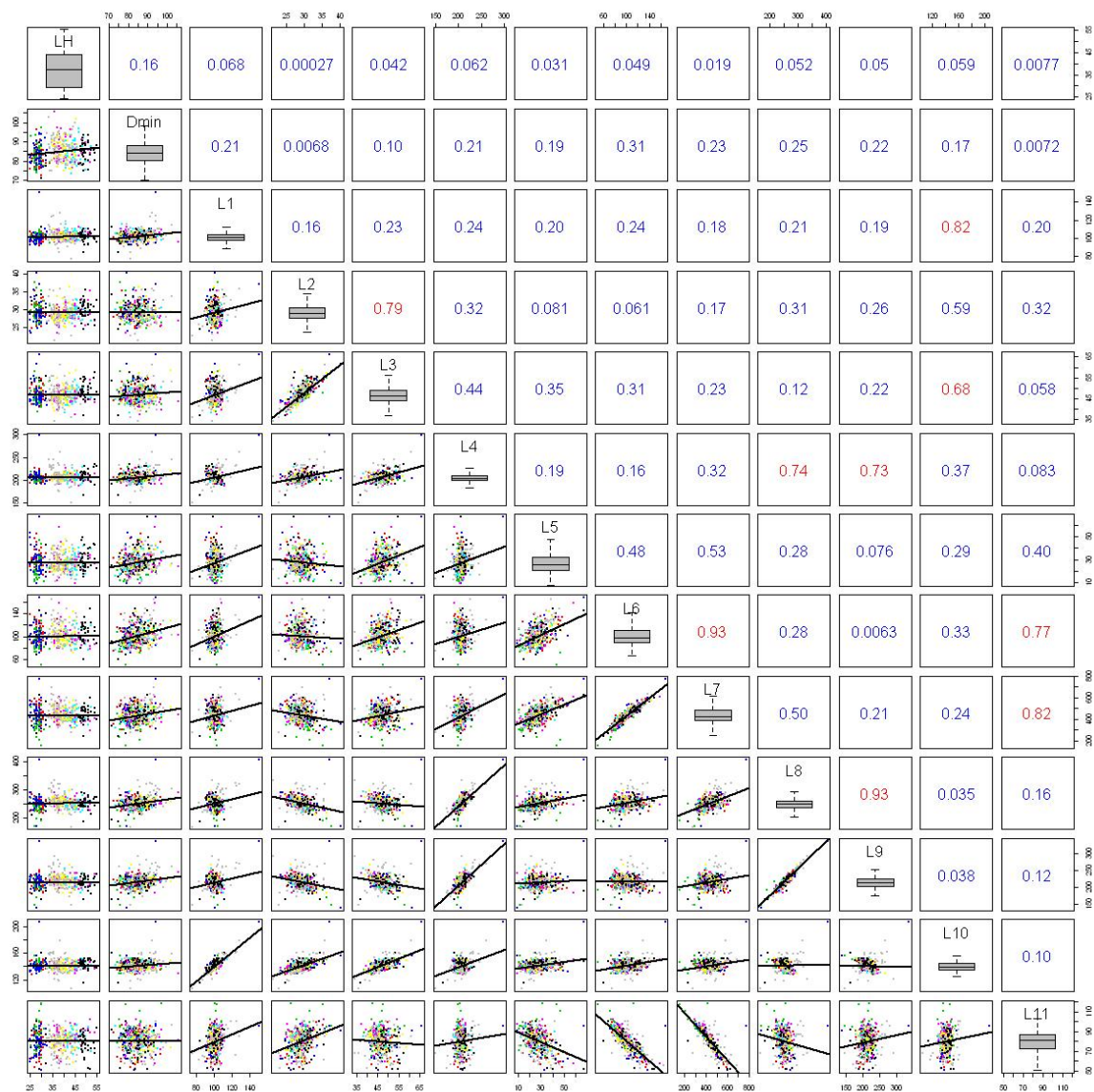


Figura D.2.4.2. Relaciones entre las distintas variables morfométricas, medidas entre distintos hitos o puntos del otolito. Se incluye además la longitud horquilla del pez (LH), el diámetro máximo (Dmax) y el diámetro mínimo del otolito (Dmin). Hacia la izquierda se presentan la dispersión de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinación de los ajustes. El significado de cada variable se presenta en la metodología y figura D2.4.1.



La primera componente está compuesta por todas las variables a excepción de la L2 que es la medida del foco al anti-rostro. La segunda componente está compuesta por las medidas L1, L2, L3, L8, L10 y L11, a excepción de la L11 el resto de las medidas de esta componente se ubican desde la zona media longitudinal hacia el borde dorsal del otolito. La tercera componente agrupa las medidas L4, L6, L8, L9 y L11, donde la mayoría corresponden al rostro del otolito. Las variables pertenecientes corresponden a aquellas que tuvieron valores superiores a 400 en la matriz de componentes.

El análisis gráfico de la distribución de las localidades de muestreo de acuerdo a los valores propios de las componentes del ACP, muestra una sobreposición de puntos para la mayoría de las localidades. La ubicación de los centroides de las elipses (centro de gravedad de la nube de puntos) correspondientes a la primera y segunda componente permite ver una segregación, produciendo dos grupos relativos, uno formado por Perú (Grupo 1) y otro por el resto de las localidades que aparecen más próximas, aunque el centroide de Caldera parece separarse levemente respecto de la componente 1 (**Figura D2.4.3A y B**). Los centroides de la primera y tercera componente permiten ver una situación distinta en que todos centroides de las localidades aparecen muy próximos (**Figura D.2.4.3B**). Una mayor segregación de los centroides se observa al comparar la segunda con la tercera componente, aquí se aprecia nuevamente la separación del centroide correspondiente a Perú pero mucho más distanciado del resto de las localidades (**Figura D.2.4.4**). La relación entre la primera y segunda componente explican el 56% de la varianza, la primera con la tercera componente explican el 55% de la varianza, en tanto que la segunda con la tercera componente sólo explican el 43%.

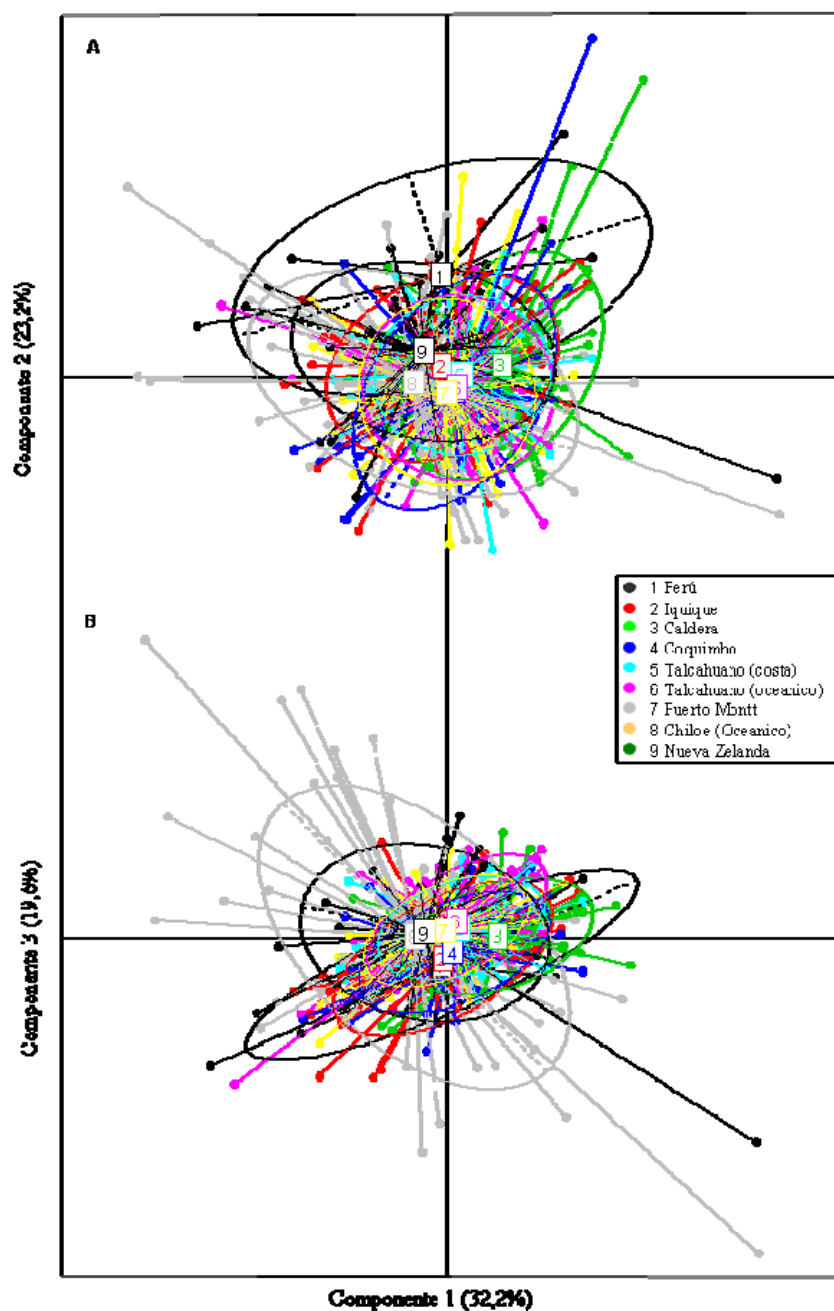


Figura D.2.4.3. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales (ACP). A) Relación entre la primera y la segunda componente, B) relación entre la primera y tercera componente.

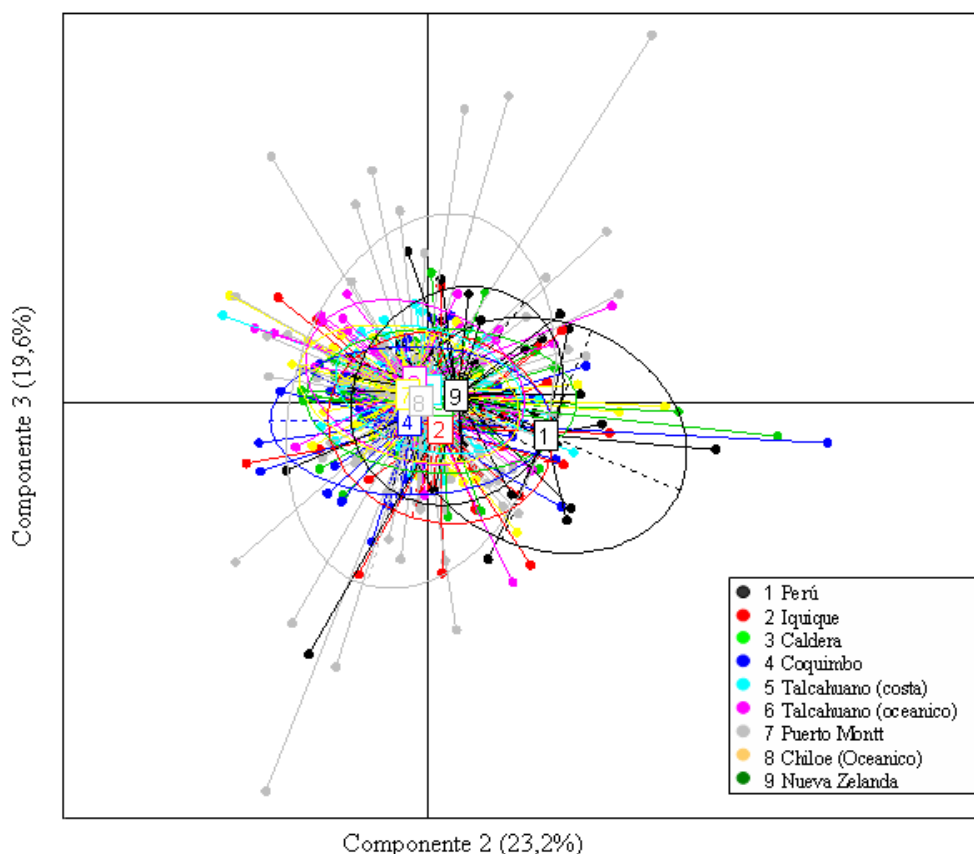


Figura D.2.4.4. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales. Se muestra la relación entre la tercera y la segunda componente.

D.2.4.1.3. Análisis de contornos.

En términos generales, la técnica de reconstrucción de formas de otolitos es precisa en reproducir la variabilidad entre regiones e intra-regiones. A modo de ejemplo, la **figura D.2.4.5 y D.2.4.6** muestran la reconstrucción de los bordes de los otolitos en las zonas de muestreo de Coquimbo y Nueva Zelanda utilizando un conjunto de 30 Descriptores de Fourier (DF). En las figuras se destacan dos importantes características del análisis, la primera dice relación con la normalización del tamaño y dirección del conjunto de otolitos para cada zona de estudio, procedimiento que se

orienta a eliminar el sesgo ocasionado por algunos de los rasgos morfométricos como por ejemplo la longitud, mientras que la segunda, se refiere a la certeza con la cual los DF reproducen el contorno observado de cada otolito independiente de la procedencia y estructura de los otolitos.

El análisis discriminante basado en los primeros dos coeficientes armónicos (seno-coseno/largo-ancho) revela un grado de separación entre los otolitos (**Figura D.2.4.7**). Primero, algunos otolitos de la zona de Chiloé y Puerto Montt se desagregan completamente del cluster que incluye las restantes localidades de muestreo. Segundo, basado en el eje longitudinal del otolito (armónico coseno) se observa una desagregación de aquellos recolectados en Nueva Zelanda (izquierda del gráfico) y se destaca la importancia relativa de esta separación con respecto al segundo armónico seno (ancho del otolito).

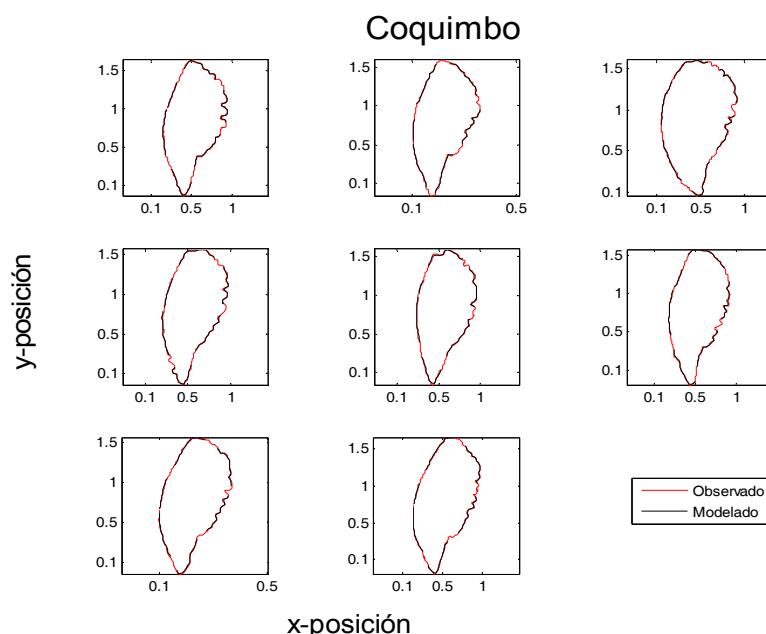


Figura D.2.4.5. Reconstrucción de los contornos de otolitos para la zona de Coquimbo utilizando un conjunto de 30 DF.

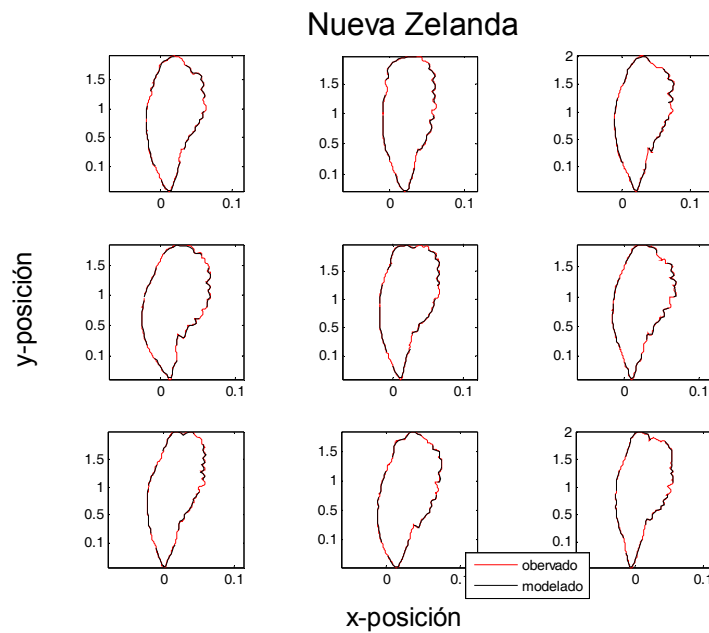


Figura D.2.4.6. Reconstrucción de los contornos de otolitos para la zona de Nueva Zelanda utilizando un conjunto de 30 DF.

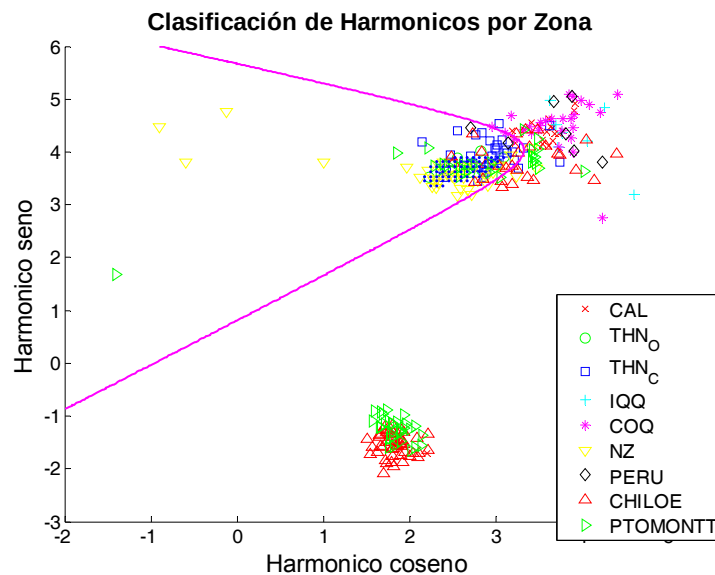


Figura D.2.4.7. Ordenamiento multidimensional de la matriz de distancia de los DF en cada zona de muestreo (stress=0.078) y clasificación discriminante (línea) para categorizar cluster de otolitos con similares armónicos coseno (largo otolito) y seno (ancho otolito)



La utilización de la totalidad de los DF para discriminación por zonas (**Figura D.2.4.8**) es consistente con la discriminación de los 2 primeros armónicos (**Figura D.2.4.7**), en el sentido que la forma de los otolitos recolectados en la localidad de Chiloé oceánico y Puerto Montt emergen considerablemente bien separada de los contornos que componen el cluster mayor. El acierto en la clasificación entre Chiloe/PtoMontt v/s Otras Zonas es cercano a un 86% y es explicado principalmente por la primera dimensión del análisis (65%). Por otro lado, se observa un grado de discriminación de los otolitos muestreados en la zona de Nueva Zelanda, sin embargo, el acierto de clasificación es bajo y no supera el 28% (**Figura D.2.4.8**).

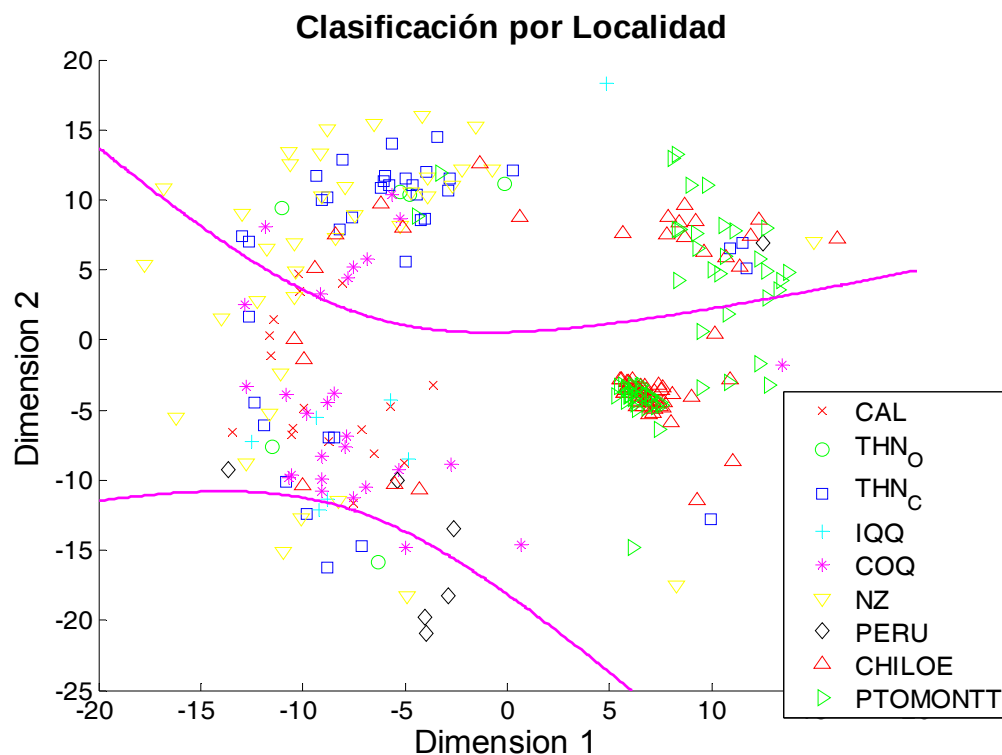


Figura D.2.4.8. Ordenamiento multidimensional de la matriz de distancia de los DF en cada zona de muestreo (stress=0.078) y clasificación discriminante (línea) para categorizar cluster de otolitos con similares formas de contornos.



D.2.4.2. Discusi3n del an3lisis de morfometr3a de otolitos

De manera similar a otras aproximaciones morfom3tricas, como la morfometr3a del cuerpo, la forma de estructuras duras como los otolitos puede ser usado para identificar stocks. Sin embargo, la forma de los otolitos y escamas est3n menos sujetos a variabilidad de corto tiempo como ocurre con la forma del cuerpo afectado por cambios en la alimentaci3n o condici3n de desove (Cadrin and Friedland, 2005).

En este estudio se aplicaron varias t3cnicas, desde el tradicional an3lisis de medidas lineales entre puntos del otolito hasta an3lisis de forma de Fourier, pasando por la estimaci3n de 3ndices de forma que representan el patr3n de crecimiento del otolito en un plano bidimensional.

El resultado de las pruebas de Kruskal Wallis para cada una de las doce variables que corresponden a medidas lineales entre puntos o hitos del otolito, mostr3 que existen diferencias significativas entre distintas localidades ($P < 0,000$). El an3lisis univariado para todas las doce medidas del otolito no muestra un patr3n com3n, ya que cada variable recoge solo una orientaci3n del tama3o del otolito y son el conjunto de las variables analizadas simult3neamente las que pueden describir de mejor manera la morfometr3a. En consecuencia el an3lisis de componentes principales (ACP) permiti3 determinar las localidades que dan cuenta de estas diferencias significativas encontradas. Las figuras de las elipses que relacionan las tres primeras componentes de ACP muestran una sobreposici3n en la mayor3a de los puntos. La componente 1 representan once de las 12 medidas del otolito, la Componente 2 representa la dimensi3n del sector dorsal del otolito y la Componente 3 da cuenta de las medidas del rostro del otolito. S3lo al observar los centros medios (Centroides) para la nube de puntos de cada localidad, se puede apreciar un segregaci3n. Esto ocurre para Per3 que muestra una separaci3n m3s



marcada del resto de las localidades con respecto a la componente 2. Existe tambi3n una separaci3n relativa de los centroides de Caldera y Chilo3 respecto de la componente 1, pero esta es peque1a si se considera que los limites de las elipses se mantienen superpuestas (**Figura D.2.4.3 A y B**). La relaci3n de la componente 2 con la 3 muestra nuevamente la separaci3n de Per3 del resto de las localidades las que aparecen ahora muy agregadas. Esta separaci3n de Per3 se observa respecto de la componente 2 (**Figura D.2.4.4**). Estos resultados sugieren la segregaci3n de dos grupos relativos uno correspondiente a Per3 y un segundo que agrupa al resto de las localidades estudiadas, sin embargo este resultado hay que observarlo con reserva, ya que el tama1o de muestra correspondiente a esta localidad fue muy peque1o (8 ejemplares) y donde Isla Lobos de Afuera est3 mayormente representada con 7 muestras.

Para los c3lculos de 3ndices de Forma, el an3lisis univariado no-param3trico revel3 que tres de los cinco 3ndices, factor de forma, circularidad ($P < 0,001$) y rectangularidad ($P < 0,05$), muestran diferencias significativas entre localidades. Estas diferencias est3n dadas principalmente por Nueva Zelanda que presenta diferencias con todas las localidades para los tres 3ndices. Otras diferencias se presentan solo para dos de los cinco 3ndices (Factor de Forma y Circularidad) y corresponden a diferencias entre Talcahuano (costa y oce3nico) con Iquique, Caldera y Coquimbo; en tanto que Puerto Montt y Chilo3 presenta diferencias con Caldera y Coquimbo. En cuanto a las similitudes est3n dadas entre las localidades del norte (Iquique a Coquimbo) adem3s de Iquique con Puerto Montt y Chilo3. En el sur existe similitud entre todas las localidades (Talcahuano a Chilo3). En el caso de Per3 presenta similitud con todas las zonas de Chile y solo muestra diferencias con Nueva Zelanda.

Los patrones de variaci3n geogr3fica obtenidos por la clasificaci3n y ordenamiento de los DF se contradicen con la hip3tesis de stock que actualmente sostiene el modelo conceptual de la poblaci3n, en que existe un solo stock para Chile. Esto debido a que



tanto en el análisis discriminante, como en el análisis de ordenamiento multidimensional, se obtienen dos conjuntos que sugieren diferencias en la estructura de otolitos. El primer conjunto representa los otolitos muestreados en la zona norte y centro-sur de Chile (incluyendo algunas de las muestras de Perú y Nueva Zelandia), mientras que el segundo grupo reúne otolitos de la zona austral y oceánica de Chile, específicamente los muestreos de Puerto Montt y Chiloé. Si bien el acierto, en la discriminación de los otolitos de esta última zona es mayor a un 75% y por tanto concluyente, el clúster principal que se conforma por las restantes zonas de muestreo, también agrupa otolitos de la zona austral.

Al margen de las diferencias encontradas en la forma de los otolitos para zonas de muestreos chilenas, el análisis de clasificación muestra una separación (28%) y ordenamiento débil ($\text{stress}=0,17$) de los otolitos muestreados en Nueva Zelandia con respecto a los otolitos de la zona norte (incluyendo Perú) y centro sur de Chile. Este punto es importante, debido a que en base a la hipótesis de un único stock en el Pacífico suroriental (aguas oceánicas y continentales), se esperaba encontrar diferencias importantes entre los otolitos de Nueva Zelandia y las restantes zonas de muestreo. Si bien, los criterios de clasificación no son concluyentes para discriminar diferencias, los gráficos de ordenamiento y clasificación muestran que algunos de los otolitos de Nueva Zelandia se discriminan notablemente del resto del clúster en la primera dimensión de clasificación (eje x, ver **Figuras D.2.4.7 y D.2.4.8**), que en términos geométricos representa la mayor variabilidad de los DFs por zona de muestreo.

El análisis de morfometría de otolitos como metodología para diferenciar poblaciones de peces explotados se basa en que el crecimiento y desarrollo de los otolitos están influenciados tanto por factores genéticos como ambientales (Cardinale *et al.*, 2004). Sin embargo, en el análisis morfométrico de otolitos existe una serie de incertezas que deben ser eliminadas o minimizadas en este tipo de



estudios que permita una base sólida para afirmar que las diferencias en la forma del otolito entre stock son reales y no debidas a la calidad del muestreo. Los efectos que pueden originar confusión e incerteza en el análisis son el sexo, la edad y la clase anual entre otros. La edad y el uso de una sola clase anual puede ser determinante, ya que distintas edades y clases anuales podrían actuar como factores de confusión en el análisis de forma de los otolitos (Cardinale *et al.*, 2004)

La metodología de análisis morfométrico que utiliza las medidas de distancias entre hitos del otolito muestra discrepancias respecto de los análisis de forma (índices de forma y transformada de Fourier) probablemente debido a que reflejan o recogen en distinta magnitud las variaciones debidas al efecto ontogenético y ambiental. En el caso de las medidas de distancias entre hitos recoge principalmente las variaciones debidas al crecimiento, que son el reflejo de toda la historia de vida de los individuos (ontogenética y ambiental), en tanto que el análisis de forma, si bien tiene una componente genética, acumula principalmente las variaciones en la forma del otolito que han sido generadas en mayor magnitud por el impacto de las condiciones ambientales, principalmente debidas a la alimentación que puede sufrir variaciones durante la historia de vida del pez. Según Hüßy (2008) a medida que los peces aumentan en tamaño los otolitos son más irregulares en su contorno debido al aumento del número de lóbulos formados. El alto consumo de alimento aumenta la formación de lóbulos que originan otolitos más grandes y relativamente más amplios. Entonces a pesar que el desarrollo del tamaño el otolito y la forma general de éste es un proceso ontogenético, los detalles finos de su forma pueden ser modulados por factores ambientales, particularmente la disponibilidad de alimento. Así el tamaño del otolito y la presencia de lóbulos está exclusivamente vinculada al tamaño del pez (crecimiento), indicando un desarrollo determinado ontogenéticamente, en tanto que la forma del otolito está más cercanamente asociado con el desarrollo de los lóbulos, que está determinado principalmente por factores ambientales.



De esta manera en el estudio de la forma del otolito (índices de forma y transformada de Fourier) el contar con muestras de similares tallas (edades) es crítico para este tipo de análisis, más que para las estimaciones de medidas lineales entre hitos del otolito. En muchos casos se trata de evitar el efecto de la talla a través de procesos de estandarización, como el empleado en el presente estudio. Sin embargo, este tipo de métodos son a menudo incapaces de eliminar o evitar totalmente el efecto del tamaño solo con la estandarización de tallas o diámetro del otolito (Hüssy, 2008). Este tipo de estandarizaciones puede ser más efectivo para eliminar el efecto tamaño (efecto alométrico) en el análisis de distancias lineales entre hitos del otolito que para los análisis de forma. Para este último tipo de estimaciones se debe considerar un muestreo que permita recoger tallas similares debido a las consideraciones planteadas en el párrafo anterior. De hecho en el estudio de Stransky *et al.* (2008) en que utilizan la forma de otolitos para diferenciar stocks en el Atlántico noreste y Mediterráneo, utilizan un rango de tallas muy reducido con lo cual evitan tener que estandarizar los datos antes del análisis. En el presente estudio fue imposible contar con muestras de tallas similares, lo que probablemente incorporó en el análisis de forma variabilidad debida a la ontogenia, lo cual pudo haber causado que los resultados fueran poco claros y discordantes.

Si bien, el análisis morfométrico con distintas técnicas, medidas lineales entre hitos del otolito y de forma, fueron realizados para dar una mayor robustez a los resultados que permitieran contrastar la hipótesis de un único stock en aguas oceánicas y costeras de Chile, la existencia de discrepancias en los resultados de estas, abre la discusión sobre cual metodología es más apropiada para aceptar o rechazar la hipótesis de trabajo.

Como se menciona en los párrafos anteriores, el análisis de medidas lineales entre hitos permite diferenciar dos grupos relativos, uno que agrupa a todas las localidades de Chile y Nueva Zelandia y otro que incluye a las muestras de Perú,



más precisamente de la localidad de Isla Lobos de Afuera, que presenta 7 de las 8 muestras analizadas. Sin embargo, esta segregación no es lo suficientemente discreta y debe ser considerada con cautela, ya que el tamaño de muestra correspondiente a Perú es muy pequeño.

Las inconsistencias y falta de claridad en los resultados de los análisis de forma (índices de forma y transformada de Fourier) pueden estar determinados por la distorsión generada al no contar con otolitos de peces con tallas similares. De esta manera, las diferencias observadas, utilizando los índices de forma, entre la zona norte (Iquique a Coquimbo) con la zona sur (Puerto Montt, Chiloé) puede deberse a que estas muestras presentaban claras diferencias en tallas, por lo cual es probable que las diferencias observadas tengan su origen en la variabilidad ontogenética de estos grupos más que a reales diferencias poblacionales. Situación similar pudo haber ocurrido en la clasificación de grupos con la metodología de análisis de contornos de Fourier, donde se aprecia una segregación entre el grupo oceánico de Chile (principalmente Puerto Montt y Chiloé) del resto de las localidades, a pesar de que es necesario indicar que esta separación mostraba también un nivel importante de mezcla (25%). Este análisis debiera ser realizado nuevamente en un futuro estudio, que permita testear la hipótesis y o confirmar los resultados obtenidos con la técnica de medidas lineales.

En resumen podemos considerar que en el presente estudio, referido a morfometría de otolitos de jurel, solo los resultados obtenidos aplicando la técnica de medidas de distancias lineales entre hitos o puntos del otolito presentan mayor confiabilidad. El resultado morfométrico de otolitos permitiría sugerir la existencia de un gran grupo, que incluye a todas las localidades de Chile (costeras y oceánicas) junto con Nueva Zelandia, haciendo la separación de un grupo relativo correspondiente a la localidad de Isla Lobos de Afuera en Perú, el cual debido a la



debilidad que le otorga el bajo número de muestras de esta zona, no es posible de confirmar con una absoluta certeza.

D.2.4.3. Conclusiones del análisis de morfometría de otolitos

1. El análisis de medidas de distancias entre puntos del otolito sugiere la segregación de dos grupos relativos, uno que agrupa a todas las localidades de Chile (costeras y oceánicas) junto con Nueva Zelandia y un segundo grupo correspondiente a Perú (Isla Lobos de Afuera)
2. Los resultados de las técnicas univariadas y multivariadas empleadas para describir la forma de los otolitos de jurel, no son concluyentes en describir un patrón de agregación de las localidades. Por un lado, el análisis de varianza revela una separación de las localidades del norte (Iquique a Coquimbo) y sur de Chile (Talcahuano a Chiloé), esto al margen que Perú (que corresponde a Isla Lobos de Afuera) presenta similitud con ambas localidades de Chile. Mientras que por otro lado el análisis de Fourier clasifica dos grupos, el primero formado por las localidades de Puerto Montt y Chiloé oceánico (75%) y un segundo que agrupa al resto de las localidades, aunque este grupo muestra un grado de mezcla al contener un porcentaje de los otolitos (25%) de la zona austral (Puerto Montt y Chiloé).
3. Consideramos que en el presente estudio sólo los resultados obtenidos aplicando la técnica de medidas de distancias lineales entre hitos o puntos del otolito presentan mayor confiabilidad. Esto debido a que en el muestreo no fue posible obtener ejemplares de tallas similares para todas las localidades, situación que si bien en el análisis de medidas lineales es posible superar a través de una estandarización que elimine este efecto del tamaño del pez, para las técnicas de análisis de forma puede que no sea posible. Para esta última técnica las diferencias ontogenéticas en las



otolitos pueden persistir, ya que segun Hussy (2008) otolitos m3s grandes y de mayor edad pueden variar su forma debido a condiciones ambientales, aumentando el n3mero y tama1o de los l3bulos de su contorno debido principalmente a la alimentaci3n, lo que afecta la forma, pero no la relaci3n de tama1o de los otolitos.

4. Se requiere considerar en un futuro estudio el rean3lisis de la morfometr3a de otolitos con las metodolog3as de forma (Fourier u otras), adem3s de replicar el an3lisis de medidas lineales para confirmar los resultados obtenidos en el presente estudio.

D.2.5. Microqu3mica de los otolitos

Los modelos tradicionales de din3mica de poblaciones con frecuencia suponen poblaciones panm3cticas discretas, aunque los peces marinos pueden encontrarse en agregaciones de poblaciones locales estructuradas espacialmente que experimentan adaptaci3n local pero est3n relacionados entre s3 por la migraci3n. Desde esta perspectiva, los procesos cr3ticos en la din3mica de modelos son inmigraci3n y emigraci3n en lugar de nacimiento y mortalidad: la inmigraci3n desde poblaciones vecinas puede permitir que una poblaci3n subsista incluso con bajo reclutamiento y una elevada mortalidad que, en caso contrario, conducir3an a la extinci3n si la poblaci3n estuviera aislada. En lugares donde se extingue una poblaci3n no-autosustentada, la continua inmigraci3n permite recolonizar los h3bitats. Sin embargo, el movimiento ha resultado ser dif3cil de medir, lo que ha dificultado el uso de este enfoque.

La t3cnica de espectrometr3a de masas con plasma acoplado inductivamente por l3ser (L3ser-ICPMS) se ha aplicado con 3xito en el Centro de Ecolog3a Pesquera Cuantitativa (Center for Quantitative Fisheries Ecology, CQFE) de la



Old Dominion University (ODU) para analizar la qu3mica de otolitos de peces dependientes de los estuarios a lo largo de la costa este de los Estados Unidos y de peces exclusivamente marinos en el Océano Antártico, incluyendo el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) frente al extremo sur de Sudamérica. La qu3mica fijada en los incrementos de crecimiento de los otolitos de los peces refleja la composici3n del agua que pasa a trav3s de las branquias y, por lo tanto, de la masa de agua en la que se ubica un pez; los incrementos de crecimiento tambi3n proporcionan un registro cronol3gico de la historia de vida del pez hasta la captura. Como resultado, la qu3mica de otolitos puede actuar como una marca natural de la ubicaci3n de un pez en tiempo y espacio, lo que se ha utilizado para determinar la fidelidad con el lugar de nacimiento y la migraci3n de espec3menes j3venes. Investigadores del CQFE han descubierto diferencias significativas en esta qu3mica entre zonas frontales y masas de agua, y entre regiones alrededor del Océano Antártico. Tambi3n han hallado evidencia de estabilidad temporal asociada a estructuras hidrográficas y cambios en la qu3mica con la edad que sugieren fuertemente un movimiento entre las masas de agua.

Las tendencias del ambiente a lo largo de la plataforma continental de Chile, y en alta mar (Strub *et al.* 1998, Silva y Konow 1975), sugieren que la qu3mica de otolitos podr3a tambi3n resolver la estructural espacial del jurel (*Trachurus murphyi*). Adem3s, si la estructura de la poblaci3n refleja la disponibilidad de estructuras hidrográficas aptas para el desove, entonces es probable que las etapas tempranas incorporen esta qu3mica, que es 3nica para cada área de desove; esta qu3mica proporcionaría un registro del área donde los peces fueron desovados que acarrean consigo permanentemente, incluso si los sobrevivientes de distintas áreas se mezclan posteriormente. Como resultado, la qu3mica de otolitos ofrece la oportunidad de examinar no sólo la estructura



de la población sino también el movimiento y la mezcla entre las áreas geográficas muestreadas.

En este proyecto, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) de Chile y el CQFE trabajan en conjunto para examinar el movimiento dentro del ciclo de vida del jurel entre las áreas del Océano Pacífico Sur. Usando láser-ICPMS de alta resolución, para muestrear el borde de los otolitos correspondiente a la fecha y hora de captura conocidas, se puede medir la química de otolitos que caracteriza áreas específicas a lo largo de la plataforma continental occidental de América del Sur y en el “cinturón del jurel”, que se extiende a través del Océano Pacífico hasta Nueva Zelandia. También se puede utilizar la química en los anillos de los otolitos correspondientes a años anteriores con el fin de examinar la exposición al medio y, en consecuencia, reconstruir el movimiento entre las áreas registradas en la química de otolitos. Este trabajo forma parte de un proyecto más grande coordinado por el IFOP que analiza la estructura de población del jurel mediante la comparación de resultados de distintos métodos.

La preparación de muestras en el laboratorio y los análisis de ICPMS para el proyecto fueron desarrollados en el CQFE, que se dedica a trabajos sobre métodos de muestreo en pesquerías, edad y crecimiento, y al modelamiento de población y pesquerías, que incluye modelos de evaluación de stock estructurados por edad. El CQFE ha utilizado satisfactoriamente la cronología y la química fijada en los otolitos para realizar investigación básica sobre la estructura de la población, la determinación de la edad y la estimación de tasas vitales en el bacalao de profundidad (Ashford *et al.* 2005, Ashford *et al.* 2006, Ashford and Jones 2007, Ashford *et al.* 2008).



D.2.5.1. Objetivo del proyecto

El objetivo general del proyecto es determinar la estructura poblacional del jurel en el Pacífico sur. Para este efecto y debido a que el análisis químico de los otolitos no ha sido aplicado antes sobre el jurel son necesarios los siguientes pasos.:

1. Examinar si el análisis elemental de los otolitos puede discriminar entre el jurel de regiones geográficas diferentes usando la química fijada previamente a la captura a lo largo del borde de los otolitos.
2. Caracterizar las escalas espaciales a las cuales la química del borde varía en el jurel.
3. Probar las hipótesis de vínculo o conexión y de segregación de poblaciones usando la química fijada en los núcleos de los otolitos durante los estadios tempranos de vida.

D.2.5.2. Resultados del análisis de química de los otolitos

D.2.5.2.1. Química fijada antes de la captura (borde).

La química fijada a lo largo del borde de los otolitos mostró diferencias significativas entre las áreas de muestreo para los tres elementos (**Tabla D2.5.1, Fig. D2.5.1 y D2.5.2**). Se encontraron diferencias significativas, usando los test de Scheffé y SNK, entre las áreas muestreadas durante el verano para Mg/Ca, Sr/Ca y Ba/Ca; entre Chiloé Oceánico e Isla Lobos de Afuera durante el otoño para Sr/Ca y Ba/Ca; entre las dos muestras tomadas frente a Coquimbo en enero y marzo para Ba/Ca. También encontramos diferencias significativas usando SNK y entre las muestras extraídas frente a Talcahuano para Ba/Ca. También se hallaron diferencias con las dos muestras obtenidas frente a Puerto Montt.



Tabla D2.5.1.

Química de bordes: Resultados del ANOVA y pruebas SNK que muestran diferencias en las concentraciones de a) Mg/Ca, b) Sr/Ca y c) Ba/Ca, entre áreas de muestreo frente a la costa occidental de América del Sur y Nueva Zelanda. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas en el test SNK; las líneas debajo muestran lo mismo para el test de Scheffé.

a) Mg/Ca

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	33	0.001533	0.000046	2.7	<0.0001
Sample	11	0.000494	0.000045	2.6	0.003
Length	1	0.000002	0.000002	0.1	0.726
Error	356	0.006092	0.000017		
Total	401	0.008147			

TO	IQ	CN	TC	CA	PA	P1	IL	CS	NZ	P2	CO
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

b) Sr/Ca

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	33	1.4×10^{-6}	0.43×10^{-7}	1.08	0.358
Sample	11	8.8×10^{-6}	8.0×10^{-7}	19.73	<0.0001
Length	1	0.5×10^{-6}	4.7×10^{-7}	11.74	0.0007
Error	356	14×10^{-6}	0.4×10^{-7}		
Total	401	31×10^{-6}			

IA	PA	IQ	P2	P1	CN	CO	CA	TO	CS	TC	NZ
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

c) Ba/Ca

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	33	119.2	3.6	0.89	0.65
Sample	11	2165.8	196.9	48.24	<0.0001
Length	1	77.4	77.4	18.96	<0.0001
Error	356	1452.8	4.1		
Total	401	3969.8			

IL	P2	P1	CN	TC	CS	CA	PA	IQ	NZ	CO	TO
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

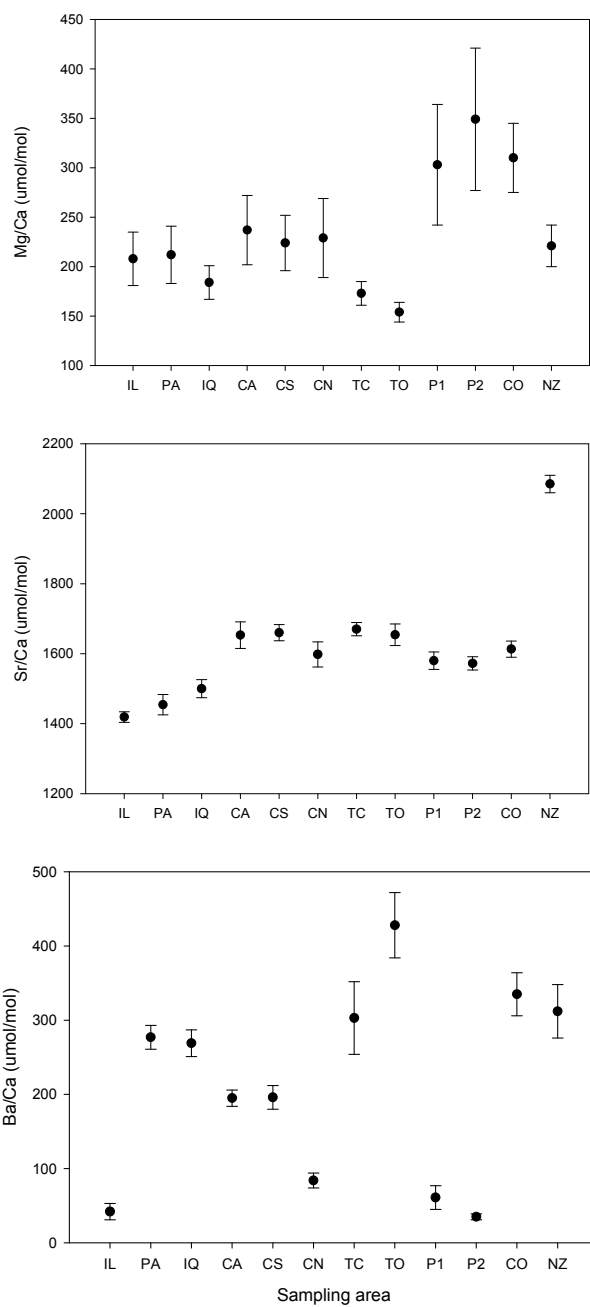


Figura D2.5.1. Química del borde del otolito: concentración media de Mg/Ca, Sr/Ca y Ba/Ca. La ds se muestra en barras.

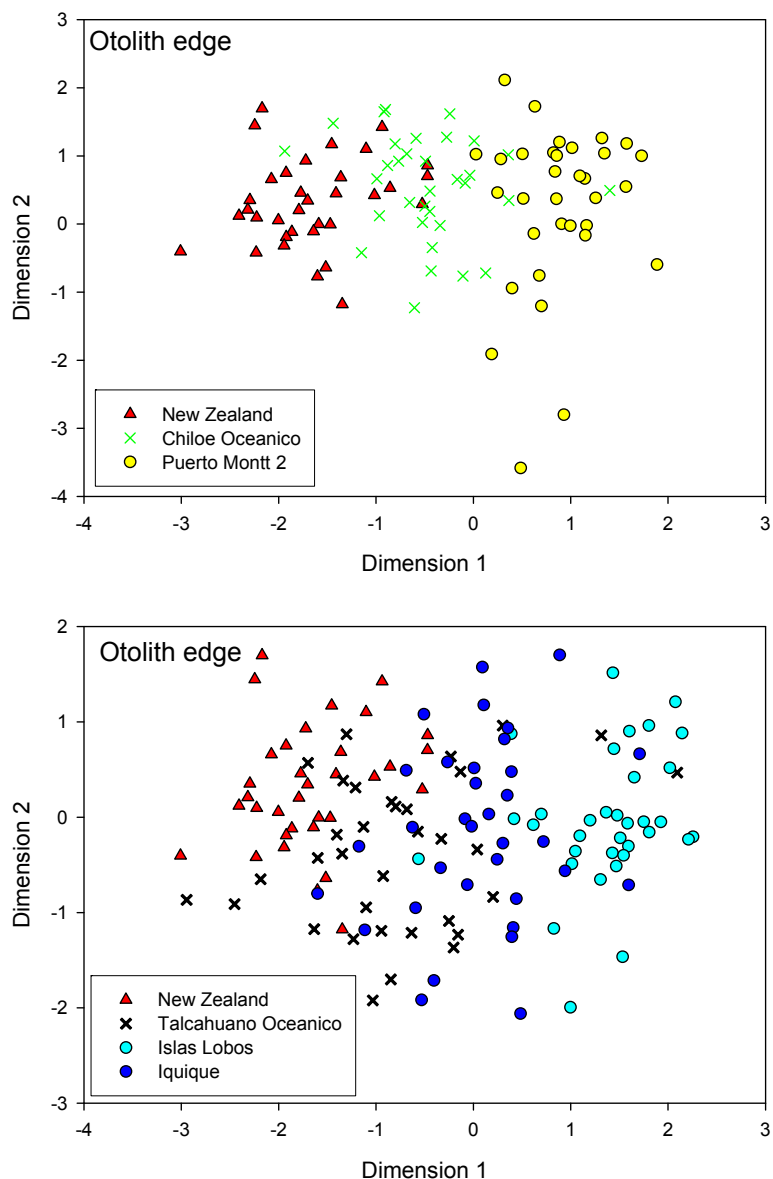
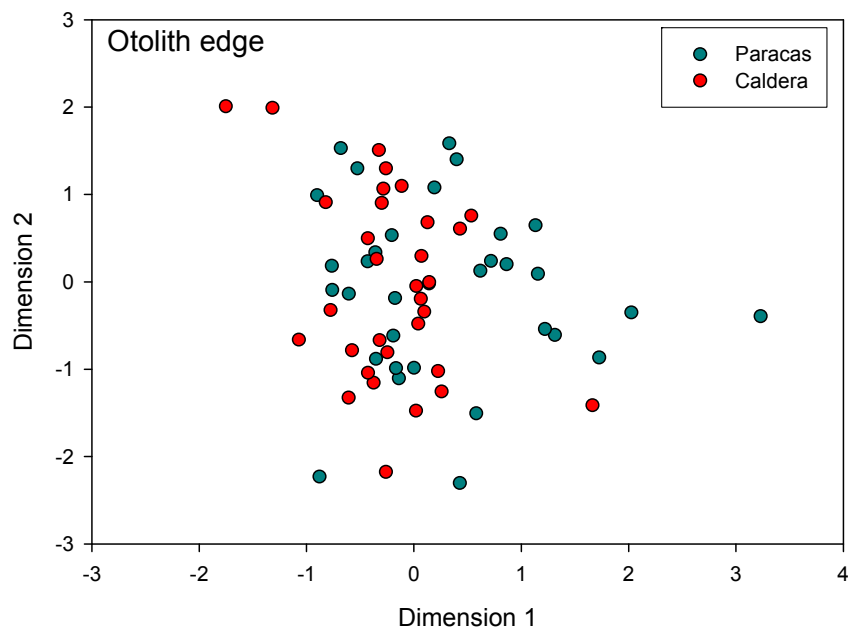
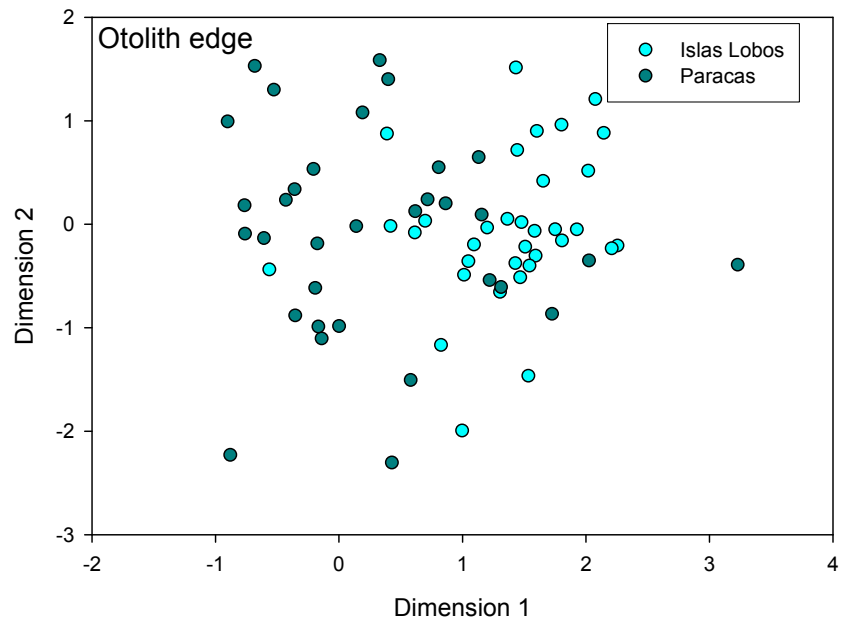
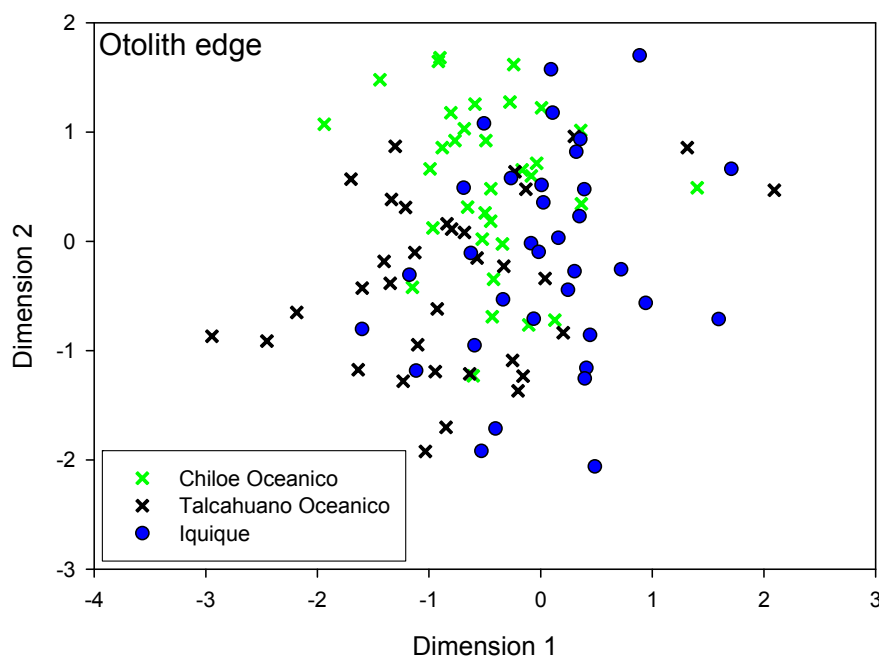


Figura D2.5.2. Química del borde de otolitos: Relaciones entre jurel individual de diferentes áreas de muestreo usando escalamiento multidimensional no-métrico basado en distancias euclidianas. Estrés= 0,14.



Figura D2.5.2. (continuación)



**Figura D2.5.2. (continuación)**

Al examinar la hipótesis E1 (ver D.1.5.5), la ANOVA univariante para Mg/Ca mostró diferencias significativas entre Talcahuano Oceánico y Chiloé Oceánico, usando SNK, lo que sugiere que la química discriminó la exposición a ASTS y ASSA, respectivamente. Sin embargo, Sr/Ca mostró diferencias importantes entre Nueva Zelandia y Talcahuano Oceánico, así como Chiloé Oceánico. Esto sugiere un efecto zonal fuerte, así como la exposición a ASTS y ASSA, pero, como las muestras fueron extraídas frente a Nueva Zelandia en invierno con arrastre de media-agua en comparación a las extraídas en verano y otoño con redes de cerco frente a Chile, las diferencias podrían haber sido el resultado de un enfriamiento estacional o la exposición a aguas más profundas versus aguas superficiales.



Al examinar la hip3tesis E2 (ver D.1.5.5), el test SNK para Sr/Ca mostr3 diferencias significativas entre tres grupos de tratamiento: 1) Puerto Montt norte a Caldera, 2) Iquique, 3) Paracas e Isla de Lobos de Afuera. Esto fue coherente con el flujo de la Corriente Costera de Chile aun cuando las comparaciones fueron confundidas por el muestreo en otoño en Chiloé Oceánico e Isla Lobos de Afuera y en verano en otras áreas frente a Sudamérica. También hubo diferencias importantes entre las áreas costeras y oceánicas: para Mg/Ca, Chiloé Oceánico se diferenci3 de ambas zonas de Talcahuano, Coquimbo Norte e Iquique; para Sr/Ca usando SNK, ambas áreas oceánicas fueron distintas a Iquique, Paracas, Isla Lobos de Afuera, como también de Nueva Zelanda.

Al examinar la hip3tesis E3 (ver D.1.5.5), se encontr3 una diferenciación considerable: Isla Lobos de Afuera mostr3 las concentraciones más bajas de Ba/Ca y no fue significativamente diferente de los dos tratamientos de Puerto Montt. En los lugares donde se esperaba evidencia de surgencia, se encontraron niveles más altos de Ba/Ca; usando SNK, en Coquimbo Norte hubo concentraciones significativamente más altas de Ba/Ca que en Isla Lobos de Afuera y Puerto Montt; Talcahuano Costa, Coquimbo Sur, Caldera, Iquique y Paracas formaron un grupo único que mostr3 concentraciones significativamente más altas de Ba/Ca que todas las otras áreas costeras, pero similares entre sí.

D.2.5.2.2. Química fijada durante el período de vida temprana (núcleo).

Al examinar las hip3tesis P1 y P2 (ver D.1.5.6), no se encontraron diferencias entre Paracas e Iquique o Caldera, lo que indica que no hay evidencia que respalde que haya un límite de una población a lo largo de la costa entre Chile y Perú (**Tabla D2.5.2, Fig. D2.5.3 y D2.5.4**). No se pudieron contrastar las áreas oceánicas frente a Chile y Perú debido a falta de muestras. En lugar de eso, el test



de Scheffé indican marcadas diferencias entre Isla Lobos de Afuera y Coquimbo Norte con todas las otras áreas para Ba/Ca; mientras el test SNK muestra diferencias significativas entre la Isla Lobos de Afuera y todas las otras áreas.

Tabla D2.5.2.

Química del núcleo: Resultados del ANOVA y pruebas SNK que muestran diferencias en las concentraciones de a) Mg/Ca, b) Sr/Ca y c) Ba/Ca, entre áreas de muestreo frente a la costa occidental de América del Sur y Nueva Zelanda. SNK mostrada encima y Scheffé debajo de las zonas muestreadas.

a) Mg/Ca	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	0.0462	0.0014	5.78	<0.0001
Sample	11	0.0161	0.0015	6.23	<0.0001
Error	371	0.0872	0.0002		
Total	416	0.1490			

TO	TC	CN	P1	P2	IL	NZ	PA	CO	IQ	CA	CS
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

b) Sr/Ca	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	1.29×10^{-11}	0.038×10^{-11}	1.32	0.113
Sample	11	1.24×10^{-11}	0.012×10^{-11}	3.91	<0.0001
Error	371	1.07×10^{-10}	0.029×10^{-11}		
Total	416	1.32×10^{-10}			

CN	CS	IL	NZ	CA	IQ	PA	TC	P1	TO	CO	P2
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

c) Ba/Ca	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	0.379	0.0111	1.15	0.263
Sample	11	0.771	0.0701	7.23	<0.0001
Error	371	3.594	0.0097		
Total	416	4.744			

IL	CN	CS	PA	CO	TC	CA	TO	IQ	P1	P2	NZ
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

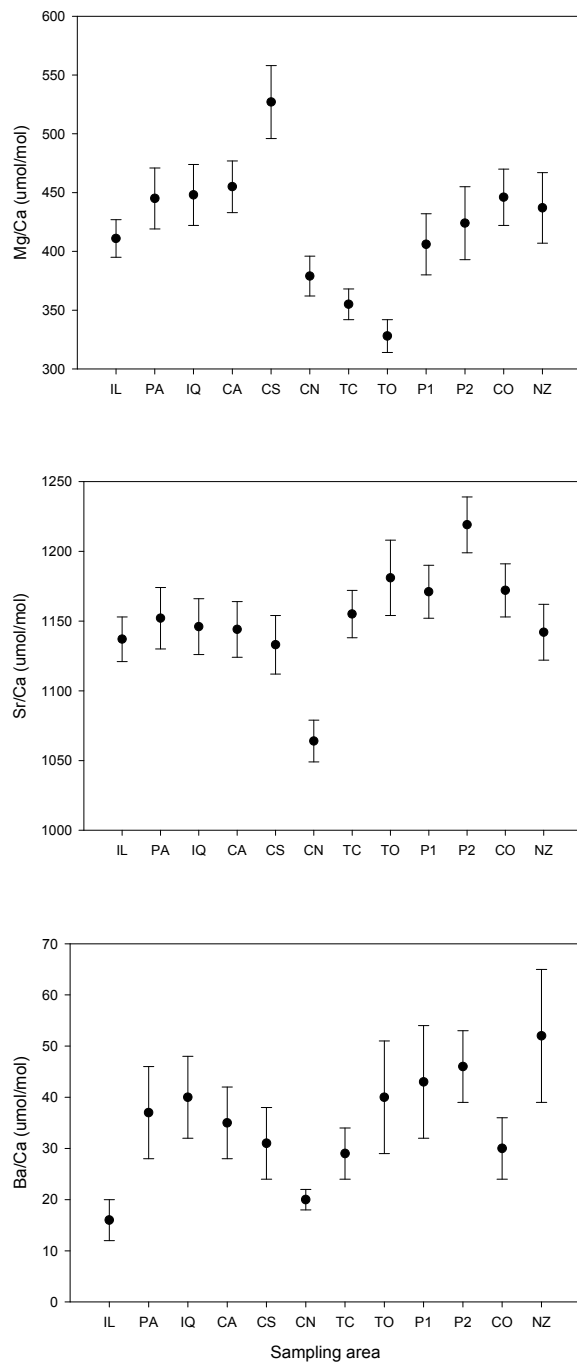


Figura D2.5.3. Química del núcleo del otolito: concentración media de Mg/Ca, Sr/Ca y Ba/Ca. La ds se muestra en barras.

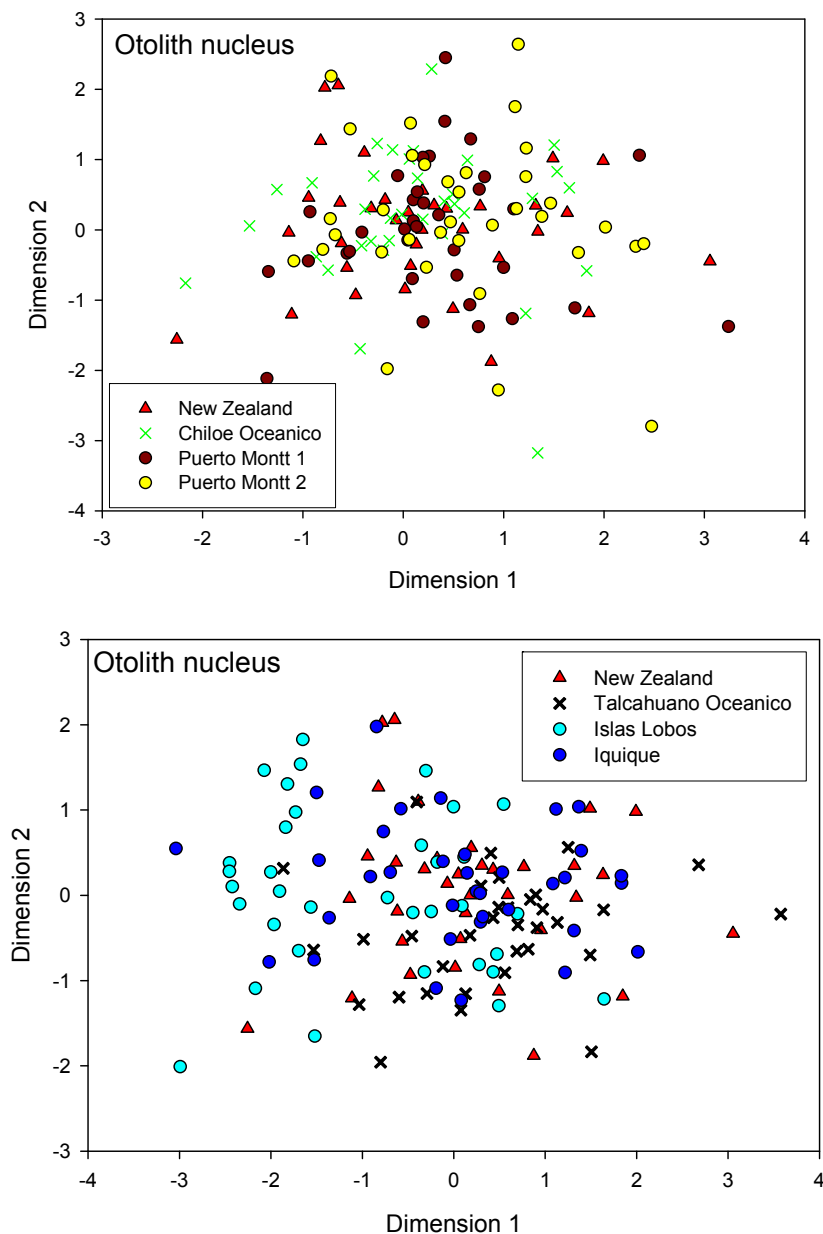


Figura D2.5.4. Química del núcleo del otolito: Relaciones entre jurel individual de diferentes áreas de muestreo usando escalamiento multidimensional no-métrico basado en distancias euclidianas. Estrés= 0,14.



Figura D2.5.4. (continuación)

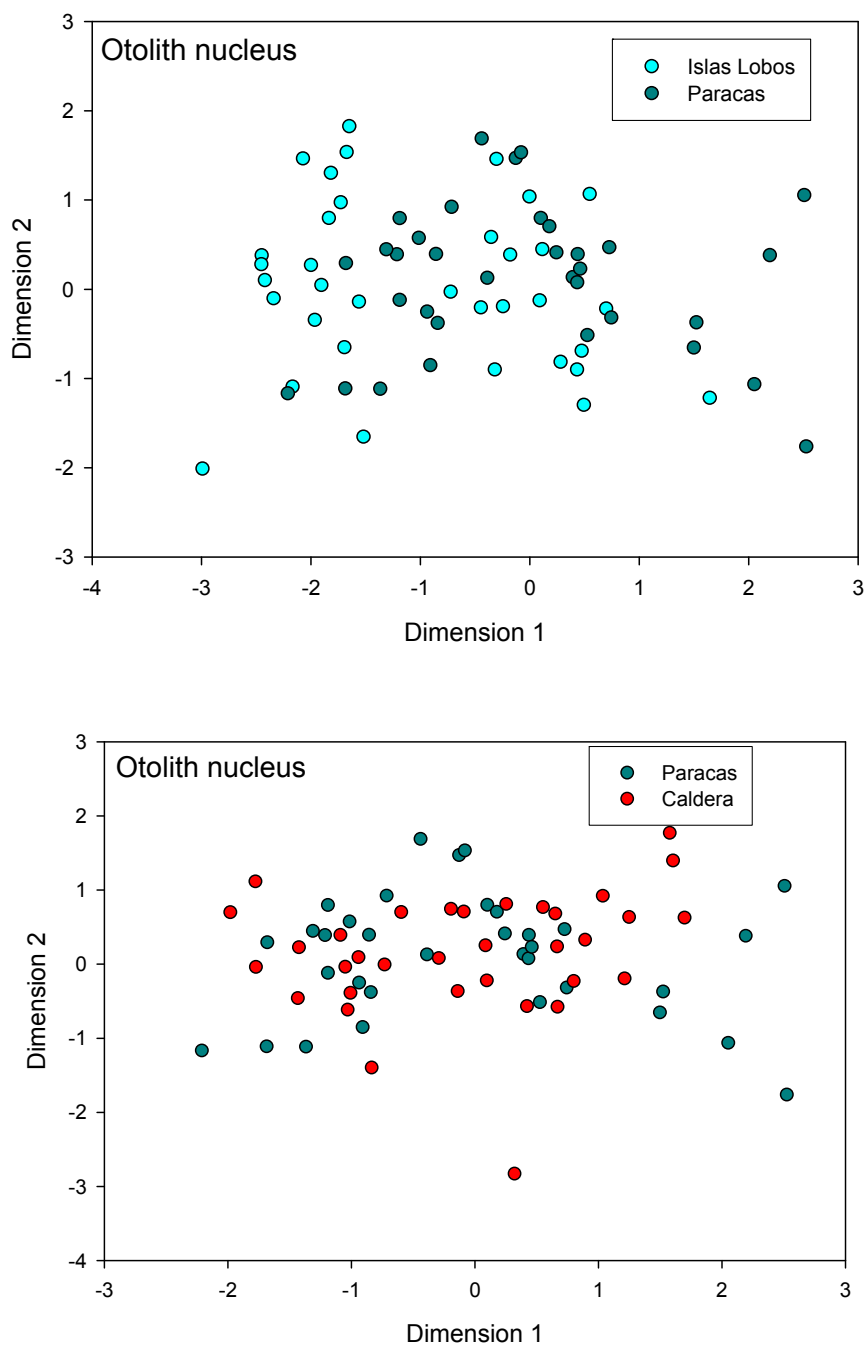
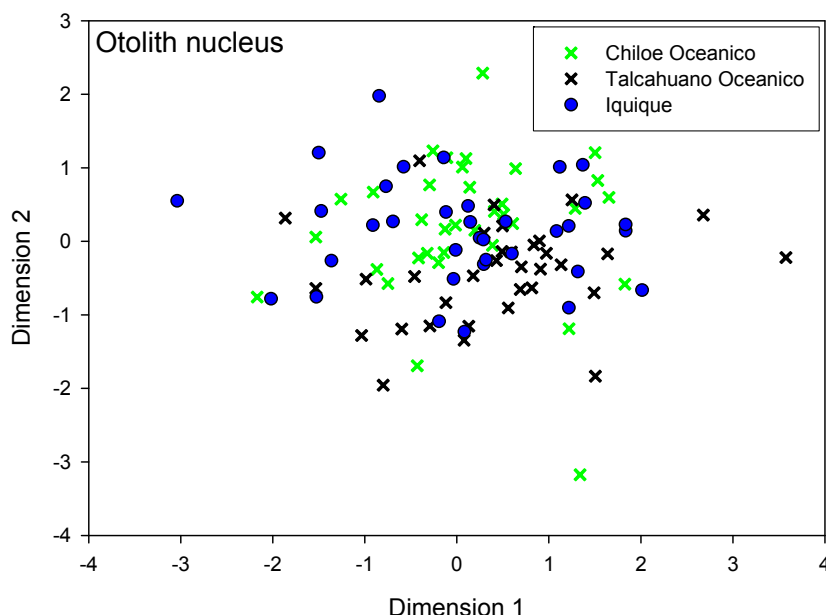


Figura D2.5.4. (continuación)



La distribución de datos para Isla Lobos de Afuera (**Figura D2.5.4.**) dió indicios de dos poblaciones, lo que explica su desviación de la normalidad y es observado en la distribución de los residuales cuando se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov; esto sugiere una mezcla entre una población definida localmente y una parecida a la de las áreas de muestreo más al sur. Se encontraron otras diferencias asociadas a Coquimbo: el test de Scheffé indica que Coquimbo Sur se diferencia significativamente de Talcahuano Oceánico para Mg/Ca; y el test SNK muestra que difiere significativamente de Coquimbo Norte, de ambas muestras frente a Talcahuano y Puerto Montt. Para Sr/Ca, el test de Scheffé indica que Coquimbo Norte se diferencia significativamente de Puerto Montt 2, mientras que el test de SNK indica que difiere de Parácas y de todas las áreas al sur de Coquimbo. El test de SNK también indica que Talcahuano Oceánico difiere significativamente para



Mg/Ca de Islas Lobos de Afuera, Parácas, Iquique y Caldera, como también de Chiloé Oceánico.

Al examinar las hipótesis P3 y P4, se encontró poca evidencia para sustentar la existencia de un límite poblacional entre Nueva Zelandia y Sud-América. Encontramos que Nueva Zelandia se diferenció significativamente de Talcahuano Oceánico para Mg/Ca, aunque no de Chiloé Oceánico, usando el test de SNK. Nueva Zelandia también difirió significativamente de Isla Lobos de Afuera para Ba/Ca con los tests de Scheffé y SNK, y Coquimbo Norte también por Scheffé, pero de ninguna otra área costera, lo que indica que los peces en Nueva Zelandia estuvieron expuestos a condiciones ambientales parecidas durante su primera etapa de vida al igual que los peces de la mayoría de las áreas de muestreo a lo largo de la costa de América del Sur. Hubo poca evidencia que sustentara la existencia de un límite poblacional entre zonas oceánicas y costeras frente a Chile. Talcahuano Oceánico se diferencia significativamente para Mg/Ca de Iquique, Caldera y Coquimbo Sur usando el test de SNK pero no de otras zonas. En cambio, Chiloé Oceánico se diferencia significativamente sólo de Talcahuano Costa para Mg/Ca, pero de ninguna otra área costera, usándolo el test de SNK; se separa solo de Coquimbo Norte para Sr/Ca y de Isla Lobos de Afuera para Ba/Ca, usando el test de SNK; y de Isla Lobos de Afuera y Coquimbo Norte para Ba/Ca usando Scheffé.

Al momento de examinar la información usando análisis de conglomerados, se encontró evidencia de cinco conglomerados (**Tabla D2.5.3**). Los primeros cuatro mostraron una débil evidencia de concentraciones espaciales (**Tabla D2.5.4**), lo que indica que el conglomerado puede haber sido un artefacto. Sin embargo, el último conglomerado que se separó (C4) mostró una fuerte concentración espacial en Isla Lobos de Afuera, lo que sugiere que los otros conglomerados pueden, de hecho, indicar una mezcla considerable y las diferencias entre las áreas de



muestreo encontradas por el ANOVA pueden ser indicativas de cambios en las proporciones de poblaciones que se mezclan en cada 1rea en lugar de l1mites de poblacionales existentes entre las 1reas de muestreo.

Tabla D2.5.3.

Qu1mica del n1cleo: res1men de estad1sticas que miden la calidad del conglomerado.

Conglomerado N°	DECM	R2 semiparcial	R2	Suma 2
10	0.507	0.021	0.70	25.8
9	0.625	0.025	0.68	31.5
8	0.624	0.037	0.64	46.6
7	0.680	0.037	0.60	46.8
6	0.682	0.045	0.56	55.9
5	0.972	0.045	0.51	56.6
4	0.784	0.062	0.45	76.9
3	0.755	0.070	0.38	86.8
2	0.900	0.119	0.26	148.2
1	1.000	0.265	0.00	330.4

Tabla D2.5.4.

Qu1mica del n1cleo: distribuci3n a cinco conglomerados basados en las similitudes de las primeras etapas de vida registradas en los n1cleos. El an1lisis de conglomerados est1 basado en el enfoque de varianza m1nima de Ward.

	C1	C2	C3	C4	C5
IL	10	8	1	15	1
PA	12	12	4	1	5
IQ	19	12	2	0	2
CA	17	13	3	0	1
CS	12	19	4	0	0
CN	8	19	4	1	3
TC	21	11	0	0	3
TO	18	8	1	1	6
P1	18	9	5	0	3
P2	21	4	3	0	7
CO	18	8	5	0	4
NZ	18	9	5	0	3



D.2.5.3. Discusi3n de los resultados de la qu4mica de otolitos.

A pesar de la fuerte evidencia de heterogeneidad espacial en la qu4mica fijada por el jurel en sus otolitos, no se encontraron evidencias que confirmen l4mites de poblaci3n entre Nueva Zelandia y Am4rica del Sur o entre Chile y Per4. Sin embargo, s4 se encontr3 una fuerte estructura espacial con evidencia de cinco grupos de peces que se mezclan en diferentes proporciones entre las 4reas de muestreo. Uno de estos grupos exhibi3 una fuerte concentraci3n espacial en Isla Lobos de Afuera en el norte de Per4, aunque en ning4n otro lugar, y podr4a ser un indicio de una poblaci3n distinta.

La qu4mica fijada a lo largo de los bordes de los otolitos reflej3 la estructura hidrogr4fica tal como se esperaba. En estudios previos con el bacalao de profundidad frente a Am4rica del Sur, se encontr3 que la distribuci3n de Sr/Ca del otolito estaba inversamente relacionada con tasas de crecimiento (Ashford *et al.* 2005). Esto fue consistente con la evidencia del jurel, que mostr3 bajas concentraciones frente a la zona norte de Chile y Per4 y los niveles m4s altos frente a Nueva Zelandia en aguas m4s profundas. Las concentraciones de Ba/Ca en el bacalao de profundidad se asociaron a nueva producci3n en mar abierto alimentada por el nitrato, a diferencia del nitr3geno reciclado frente a las plataformas continentales como la que rodea Am4rica del Sur. En el jurel, se encontr3 que las zonas oce4nicas conten4an las concentraciones m4s altas de Ba/Ca.

La actividad autig4nica, especialmente a lo largo de la plataforma de la Patagonia, y la resuspensi3n de sedimentos an3xicos puede explicar el enriquecimiento de Mn/Ca en el otolito del bacalao, pero no se hallaron pruebas de diferencias espaciales para el jurel, lo que muy probablemente es el resultado de las bajas concentraciones que no excedieron el nivel basal. Por otro lado, la fisiolog4a probablemente explica las distribuciones de Mg/Ca del otolito (Ashford *et al.* 2005; Ashford *et al.* 2006),



reflejando actividad de los peces. Los peces capturados durante el otoño en Chiloé Oceánico, cuando se estaban alimentando, presentaban altas concentraciones de Mg/Ca y se separan de Talcahuano Oceánico y de las demás áreas de Chile que fueron muestreadas en verano durante el desove.

En resumen, la evidencia de los bordes de otolitos para el jurel es coherente con lo encontrado anteriormente, lo que sugiere que las razones de los elementos trazas contienen información sobre la hidrografía a la cual los peces han estado expuestos. En el caso de Mg/Ca, las altas concentraciones corresponden a altos niveles de actividad; Sr/Ca a condiciones como la temperatura del agua y disponibilidad de alimento que controlan el crecimiento; y Ba/Ca a diferencias oceánicas/continentales. Nuestros datos mostraron diferencias significativas entre las zonas muestreadas a través de los límites putativos entre el Pacífico oriental y occidental, y entre Chile y Perú, lo que indica el poder de la técnica para probar estas hipótesis.

A pesar de esto, no se encontraron diferencias en la química del núcleo que apoyen la existencia de estos límites. En cambio, encontramos que el jurel de Nueva Zelandia tiene una química en el núcleo similar a la mayoría de las áreas de muestreo frente a América del Sur, lo que no es del todo sorprendente. Las edades de los jureles se han estimado hasta los 19 años en las áreas frente a América del Sur utilizando otolitos enteros y cortes, y en 30 años frente a Nueva Zelandia utilizando secciones de otolitos. Los peces procedentes de Nueva Zelandia en este estudio eran grandes y por lo tanto, podían haber tenido la edad suficiente como para haber formado parte de las primeras migraciones desde América del Sur; si las edades menores resultan ser más exactas, los núcleos podrían reflejar un momento en que todos los peces provinieron de América del Sur antes de que una población local pudiera establecerse y los reclutas crecido hasta el tamaño en el cual fueron muestreados. Se necesitarían pruebas adicionales con peces más pequeños y más jóvenes, con estimaciones exactas de



edad, para determinar la proporci3n de peces locales e inmigrantes y, por consiguiente, si el flujo de migrantes ha seguido o ha disminuido en importancia, ya sea debido a un flujo reducido o porque una poblaci3n reproductora local contribuye ahora con una parte cada vez mayor del reclutamiento.

Frente a Am3rica del Sur, no se hall3 evidencia de un l3mite de poblaci3n entre Per3 y Chile. Caldera, Iquique y Paracas mostraron una qu3mica en el n3cleo similar. En cambio, se encontraron diferencias entre Paracas e Isla Lobos de Afuera. Sin embargo, esta diferencia parece deberse a un grupo de peces con una qu3mica que no se ha encontrado en ning3n otro lugar, el cual se mezcl3 con otro grupo que ten3a una qu3mica similar a otros lugares. Talcahuano Oce3nico muestra alg3n grado de separaci3n de las zonas muestreadas m3s al norte en Mg/Ca, y Sr/Ca diferenci3 a Coquimbo Norte de ambas zonas oce3nicas y las de Talcahuano Costa hacia el sur; mientras que Ba/Ca separa a la Isla Lobos de Afuera de todas las dem3s zonas muestreadas.

Ning3n patr3n subyacente fue evidente hasta que se analizaron nuestros resultados en el contexto de la oceanograf3a f3sica. En un informe paralelo sobre la estructura oce3nica frente a las costas de Chile y Per3, se identificaron dos zonas principales con condiciones propicias para el desove de jurel durante la primavera y principios del verano. Una de ellas fue en un 3rea oce3nica caracterizada en gran medida por ASTS frente a Chile central, con corrientes d3biles y giros de baja energ3a cin3tica. La otra fue en las aguas costeras frente a la zona norte de Chile y sur de Per3, nuevamente con corrientes d3biles y giros de baja energ3a cin3tica, pero caracterizada por una mezcla de ASTS y agua de surgencia, principalmente de una capa de ASSA bajo la ASTS costera y AESS m3s profunda. En alta mar, fuertes corrientes en direcci3n oeste y la energ3a cin3tica separan las dos 3reas, pero un pasillo de aguas m3s tranquilas conecta el 3rea oce3nica a la costa sur de Chile (**Figuras D2.7.4 a D2.7.7**).



Se hizo evidente un patr3n subyacente en la qu3mica de los otolitos correspondiente a la oceanograf3a cuando se utiliz3 el an3lisis de conglomerados. Adem3s del conglomerado concentrado en Isla Lobos de Afuera (C4), la mayor3a de los peces se clasificaron en dos de los cuatro conglomerados restantes. Uno de 3stos se concentr3 m3s en las 3reas de muestreo desde Coquimbo a Paracas (C2), pero con evidencia de movimiento a otras 3reas; el otro (C1) mostr3 evidencia de concentraciones m3s altas frente a Talcahuano y hacia el sur de Chile, en particular Talcahuano Costa, pero con importantes movimientos a las 3reas al norte. Al examinar la qu3mica que caracteriza a cada conglomerado (**Fig. D2.5.5**), el Sr/Ca indic3 exposici3n de los peces de C2 a un medio ambiente costero con mejores condiciones para el crecimiento que C1, en conformidad con las condiciones que prevalecen, respectivamente, en las 3reas de desove costeras del norte y oce3nicas del centro del pa3s identificadas por los ocean3grafos. Las diferencias en Mg/Ca fueron mucho menores, pero C2 mostr3 concentraciones m3s altas, de acuerdo con las velocidades de corriente ligeramente mayores y los niveles de energ3a cin3tica del 3rea costera del norte.

Los conglomerados restantes pose3an mucho menos peces. Uno (C5) de ellos present3 evidencia de exposici3n a aguas oce3nicas, con mejores condiciones para el crecimiento que C1 o C2. Tras consultar con nuestros ocean3grafos, 3stos indicaron que se pueden encontrar condiciones similares frente a Iquique, donde ASTS m3s c3lida se aproxima cerca de la costa. Por el contrario, en otras zonas del norte donde C2 est3 m3s concentrado, la surgencia crea condiciones m3s costeras. En contraste, C3 muestra propiedades similares a C1, pero con niveles un poco m3s altos de Mg/Ca, que sugiere exposici3n a un ambiente m3s energ3tico como el que existe entre las 3reas oce3nicas y costeras identificadas en la oceanograf3a. El conglomerado concentrado en Isla Lobos de Afuera (C4) present3 Mg/Ca similar a C2, pero mayor Sr/Ca sugiere una exposici3n a un ambiente de condiciones de crecimiento m3s r3pidas, y Ba/Ca mostr3 un fuerte



agotamiento, en conformidad con la informaci3n del borde del otolito y las condiciones marcadamente costeras.

Con base en esta evidencia de los datos de la qu3mica de los otolitos y la oceanograf3a, se plantea la hip3tesis de que la estructura de la poblaci3n del jurel frente a Chile y Perú refleja esencialmente dos áreas donde prevalecen las condiciones para que el desove sea exitoso: una al norte a lo largo de la costa desde Coquimbo y la otra en aguas oceánicas frente a Chile central. Fuera de estas áreas, el jurel en su etapa temprana est3 expuesto a corrientes fuertes y a remolinos de alta energ3a cin3tica, que conduce a la mortalidad por medio de advecci3n hacia la alta mar y movimiento fuera de la capa superficial productiva. Como resultado, el desove en zonas donde predominan estas condiciones es poco probable que contribuya tanto a las futuras generaciones. Nuestros datos no dan lugar a una expectativa de altas tasas de fidelidad con el sitio de desove. Por el contrario, sugieren un movimiento considerable y mezclas entre las zonas, con algunas pruebas que indican que el área oceánica cumple un papel importante en la contribuci3n de reclutas a la pesquer3a en el área costera frente al norte de Chile y al sur de Perú. Sin embargo, esta área costera es más importante en la contribuci3n de reclutas a nivel local que a la pesquer3a oceánica. En contraste, el grupo de jurel que se encontr3 sólo alrededor de Isla Lobos de Afuera parece no avanzar o contribuir al desove más al sur. Nuestros datos sugieren, sin embargo, que las dos zonas de desove más al sur pueden desempeñar un rol importante para abastecer de reclutas a la pesquer3a frente a la zona norte de Perú. Sin embargo es muy importante seálalar que aún son necesarios más estudios para comprobar estas hip3tesis.

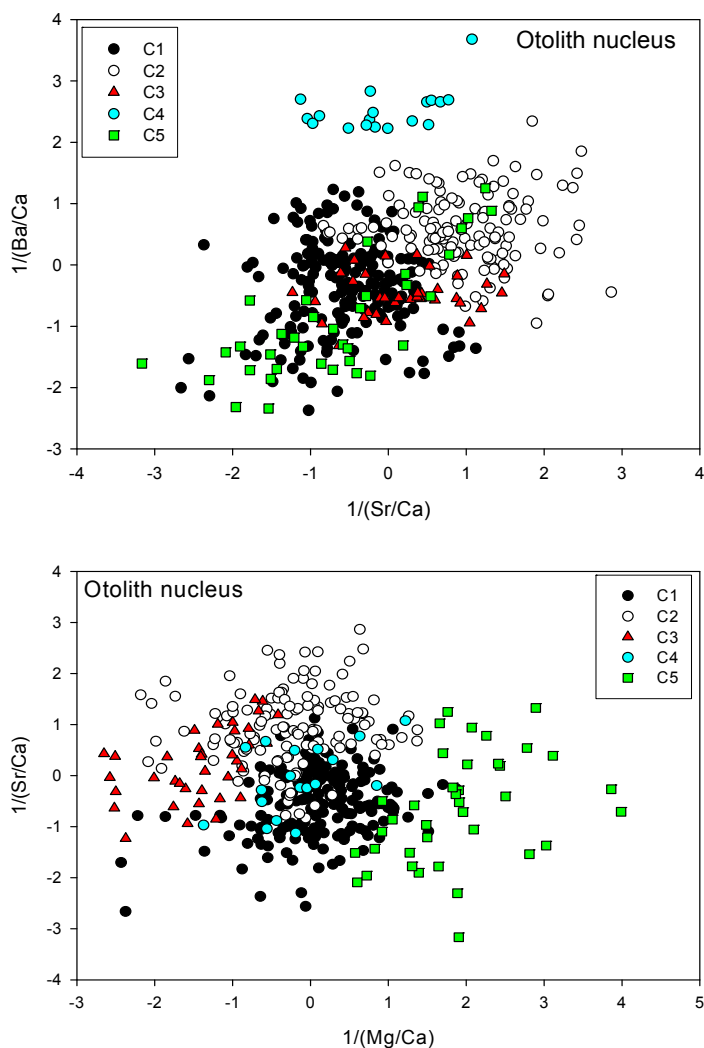


Figura D2.5.5. Química del núcleo de los otolitos: Resultados del análisis de conglomerados de jurel.

D.2.6. Patrones de historia de vida

Varios estudios se han orientado a resolver la posición taxonómica del jurel, sobre la base de criterios morfológicos, genéticos, y biogeográficos (Roedel y Fitch, 1952, Berry y Cohen, 1974, Stepien y Rosenblatt, 1996, Oyarzún, 1998, Poulin *et al.* 2004). Asimismo, varios estudios han comentado sobre la estructura



poblacional de *Trachurus murphyi* en el Pacífico sur, utilizando técnicas como la genética (Galleguillos y Torres, 1988, Arancibia *et al.* 1996, Sepúlveda *et al.* 1996), parásitos (George-Nascimento y Arancibia, 1992, Oliva, 1999, George-Nascimento, 2000), morfometría y merística (Arancibia *et al.* 1996, Hernández *et al.* 1998), y patrones de historia de vida (Evseenko, 1987, Serra, 1991), y cuyas conclusiones varían desde una sola unidad poblacional sobre la base de los resultados genéticos, dos subpoblaciones autosustentadas, una frente a Perú y otra frente a las costas de Chile sobre la base de patrones de historia de vida y parásitos (Serra, 1991, Oliva, 1999), un stock costero y otro oceánico (Evseenko, 1987), entre otras (George-Nascimento, 2000). Otros estudios han sugerido la existencia de dos a cuatro, o más poblaciones interdependientes (Koval, 1984, Alekseev, 1986, Koval y Gordev, 1987, Kalchugin, 1992, Elizarov *et al.* 1993), como también la existencia de una sola población (Parin, 1984 y 1987, Evseenko, 1987).

En esta sección se utiliza patrones de historia de vida con el objeto de identificar unidades de stock de *T. murphyi* en el área de su distribución. Un stock puede exhibir diferencias en uno o más parámetros de historia de vida comparado con otros stocks de la misma especie. Según Begg *et al.* (1999) los parámetros poblacionales vitales, como el crecimiento, la supervivencia, la madurez sexual, fecundidad, distribución y abundancia, zonas de desove, son consecuencia directa del modo de historia de vida en que los stocks de peces han evolucionado. Las diferencias en dichos parámetros han sido utilizadas para identificar unidades de manejo separadas asumiendo que la variación fenotípica se debe a controles genotípicos y ambientales. A su vez, las diferencias en los parámetros de historia de vida se consideran como evidencia de unidades de stock discretas (Ihssen *et al.* 1981). Otros rasgos de la historia de vida como la estructura de tamaños, madurez y fecundidad expresan la interacción entre la base genética y la influencia ambiental y proveen de evidencia para la estructura de stock (Begg, 2005).



Para los propósitos de identificación de la estructura poblacional, se destaca aquí el concepto de unidad de stock como aquella que comprende al conjunto de individuos en un área, que son parte de un mismo proceso reproductivo, es auto-contenido, sin emigración ó inmigración de los individuos desde ó hacia el stock. Esta unidad puede ser identificada como una subpoblación autosustentada, y en la que se verifica lo siguiente:

- a) Nivel de abundancia de magnitud similar en una región dada, donde está contenida la unidad de stock,
- b) Una zona de desove identificable, con persistencia espacio-temporal,
- c) Una estructura de tamaños completa, desde juveniles hasta adultos longevos, y
- d) Un patrón de reclutamiento similar en el tiempo entre localidades o zonas geográficas.

Serra (1991), sobre la base de la distribución de la abundancia, estacionalidad de las capturas, abundancia relativa, desove y estructura de tamaños concluye que el jurel está estructurado en dos subpoblaciones autosustentadas en el Pacífico Suroriental; una unidad distribuida esencialmente frente a Perú y la otra frente a las costas de Chile, incluyendo en ésta última la fracción que se distribuye en aguas oceánicas en la zona adyacente a la ZEE. En Chile, la evaluación y manejo se basa en esta noción y constituye la hipótesis de esta sección.



D.2.6.1. Resultados del an3lisis de patrones de historia de vida.

D.2.6.1.1 Patrones de distribuci3n de la abundancia

El an3lisis de los patrones de distribuci3n de la abundancia tiene por objeto detectar discontinuidad espacial y cambios en los niveles de biomasa (abundancia). Por supuesto, tal condici3n depende de la situaci3n del recurso.

Sobre la base de la revisi3n bibliogr3fica, Parrish (1989) resumi3 la distribuci3n espacial y estacional de los arrastreros rusos que operaron sobre el jurel en el Pacífico Sur entre 1984 y 1989 (**Figura D2.6.1**). Aunque la acumulaci3n de datos revela presencia de otras embarcaciones que reportaban datos climatol3gicos, la distribuci3n espacial que debe ser considerada como indicativa de la operaci3n de barcos arrastreros rusos sobre el jurel corresponde a las agregaciones m3s densas en el l3mite de las 200 millas n3uticas frente a Perú y Chile. En este contexto, la evidencia permite inferir un patr3n espacial de distribuci3n de la abundancia de jurel.

De acuerdo con la estacionalidad, en primavera (octubre-diciembre) se observa que los arrastreros rusos operaron esencialmente frente a Chile, desde los 20°S hasta 40°S, y extendiéndose hacia el oeste hasta aproximadamente 95°W frente a Chile central (33°-40°S). A su vez, se observa una agregaci3n m3s d3bil de barcos operando frente a Perú, al norte de los 12°S. En la 3poca de otoño-invierno, la flota rusa oper3 frente a Chile con una mayor frecuencia al sur de los 40°S, conformando dos agregaciones importantes. Una de ellas, desde los 80°W hasta 90°W, y la otra desde 100°W hasta 120°W. Tambi3n es evidente una agregaci3n importante localizada al norte de 12 3 14°S frente a Perú (**Figura D2.6.1**)

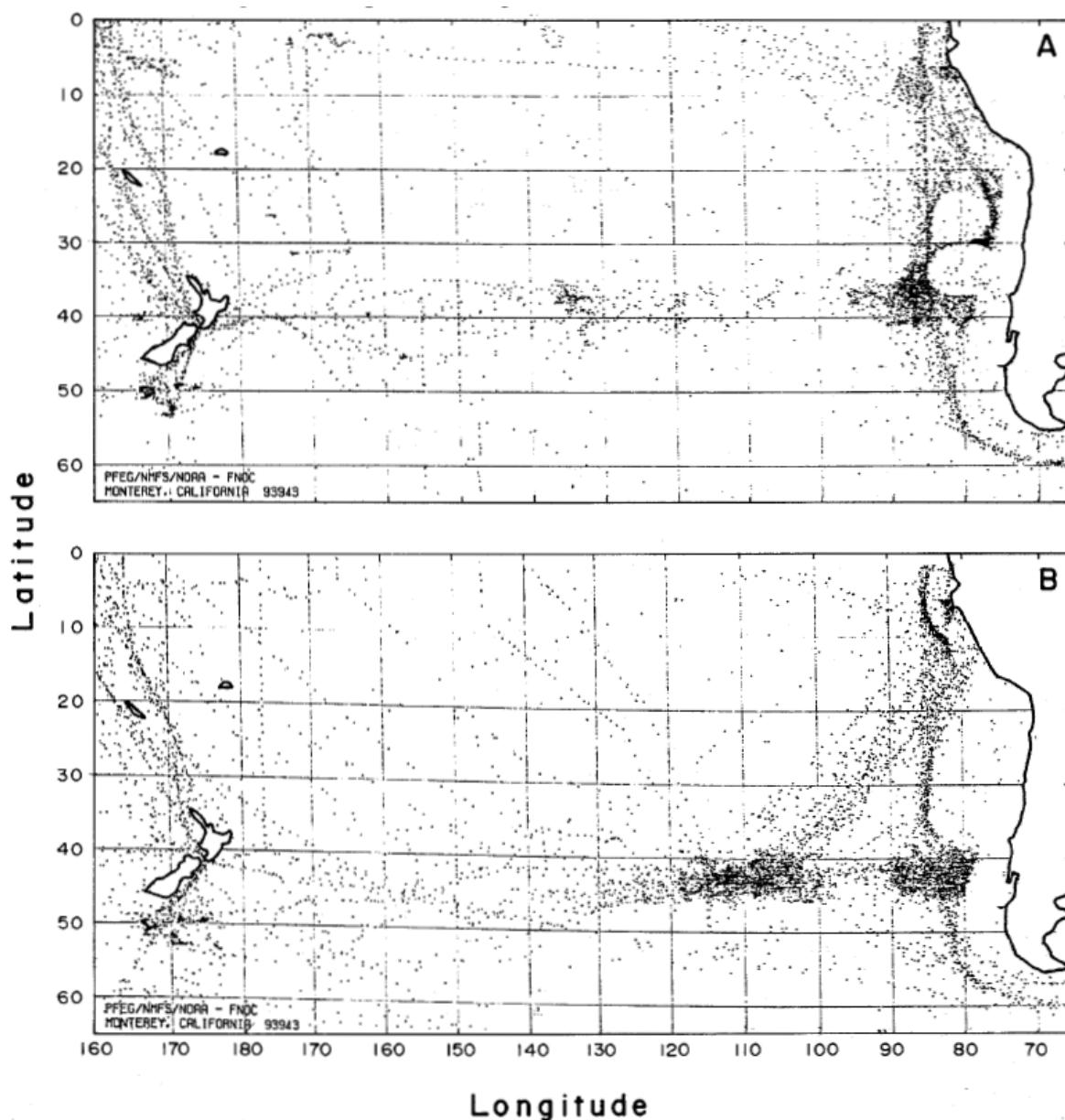


Figura D2.6.1. Cambios estacionales en la posición de los barcos rusos que operaron en el Pacífico Sur entre 1984 y 1987, A: octubre-diciembre; y B: abril-junio (obtenida de Parrish, 1989).

Nekrasov *et al.* (1994) realizan un análisis estacional similar utilizando el rendimiento de la flota de altura rusa (**Fig. D2.6.2**). Según estos autores, fuera de las 200 millas náuticas frente a Perú, las agregaciones más altas de jurel

aparecían generalmente desde junio a diciembre. De acuerdo con Kuznetzov (1994), las salidas de agregaciones comerciales de jurel al sur de los 14°S comenzaban desde mediados de agosto, y se extiende hasta 300 a 500 km desde la ZEE de Perú y Chile.

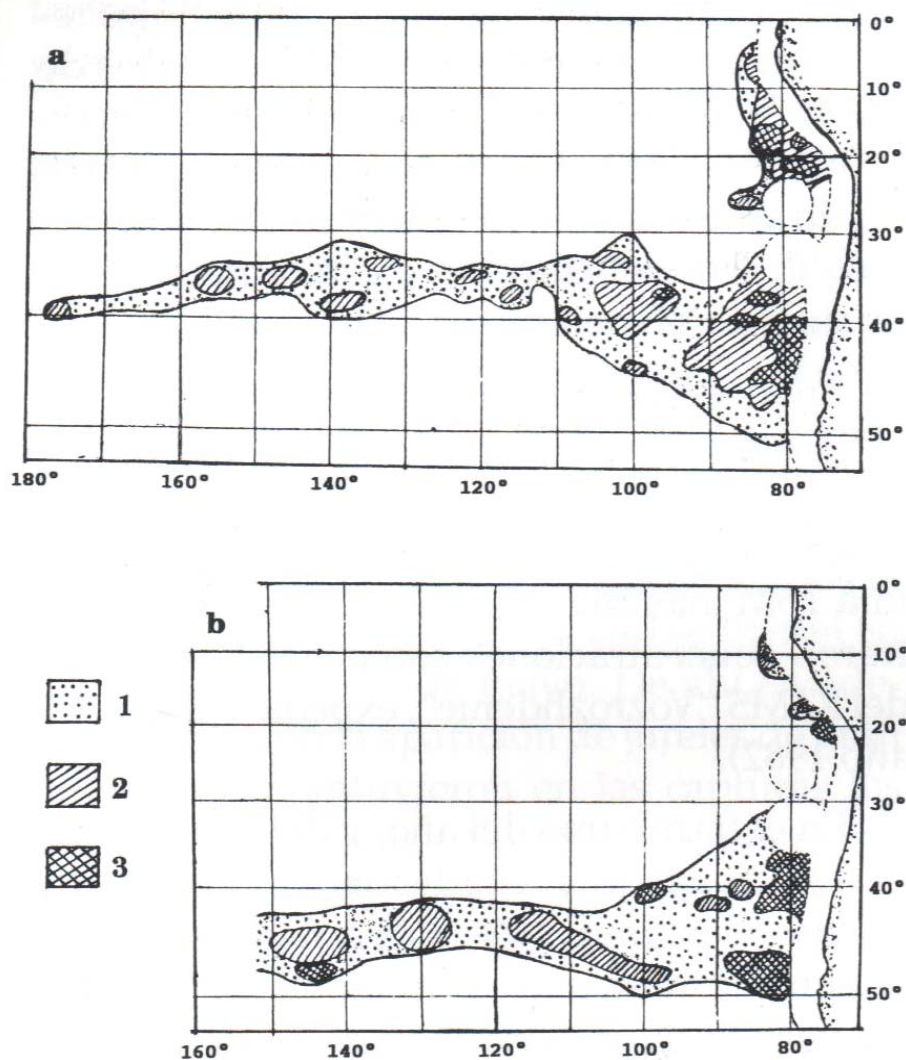


Figura D2.6.2. Estacionalidad de la pesca de jurel por la flota de altura rusa que operó en el Pacífico Sur: a) otoño-invierno, y b) primavera-verano. 1: < 1 ton/hora de arrastre; 2: 1 a 5 ton/h; y 3) > 5 ton/h (obtenida de Nekrasov *et al.* 1994).



Por su parte, seg3n Nekrasov *et al.* (1994) el l3mite sur de la distribuci3n de jurel se explicaría por el frente subantártico a los 52°S en primavera. En julio-agosto, el jurel se desplaza al norte y noroeste, ubicándose al norte de los 40°S en septiembre-noviembre. Aunque el l3mite occidental se puede establecer en los 177°W, hacia el oeste de los 110°W s3lo se detectan agregaciones aisladas (**Fig. D2.6.2**).

Desde el punto de vista de la estacionalidad de las capturas de la flota, en Per3 las capturas industriales bajan entre abril y septiembre (**Fig. D2.6.3**), precisamente durante el periodo en que la flota de altura rusa reconocía una salida de concentraciones comerciales de jurel desde la ZEE de Per3.

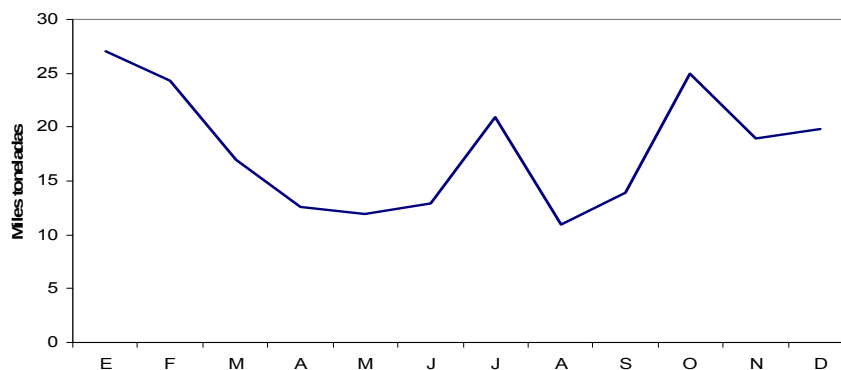


Figura D2.6.3. Estacionalidad de las capturas de jurel (miles de toneladas) en la costa peruana durante 1985 – 2003 (Fuente: IMARPE).

D.2.6.1.1.1. Patrones de abundancia en Per3.

En Per3, la pesquer3a de jurel comenz3 a desarrollarse a partir de 1970, con niveles de capturas anuales bastante insignificantes hasta 1973. En general, las capturas de jurel en Per3 son bajas, aunque se destacan capturas particularmente altas en algunos a3os (**Fig. D2.6.4**).

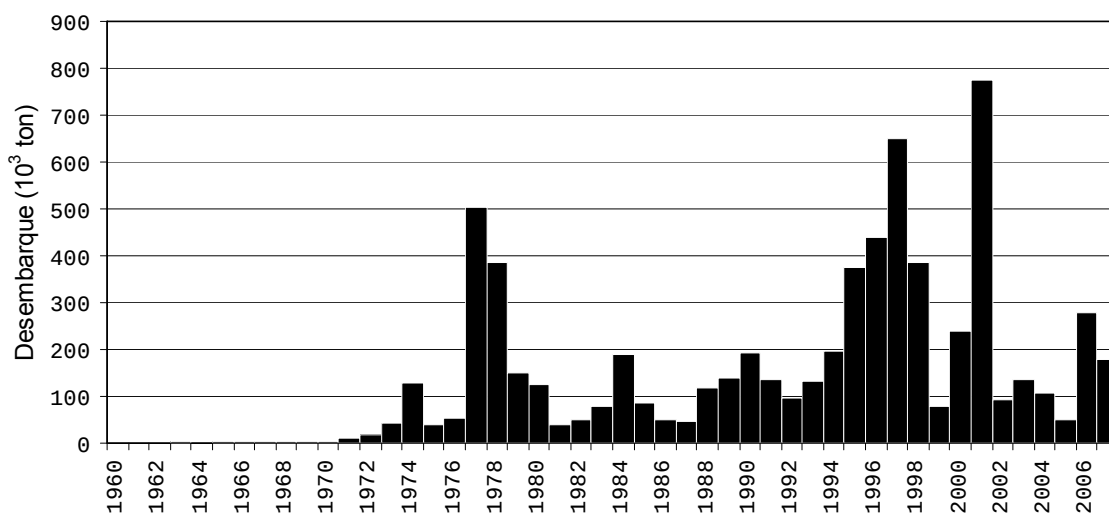


Figura D2.6.4. Desembarques de jurel en Per3 (Fuente: IMARPE).

El patr3n espacial de la abundancia de jurel frente a las costas de Per3 ha sido analizado seg3n los cruceros de evaluaci3n de recursos pel3gicos realizados por el IMARPE y que se resumen en la **tabla D2.6.1**. En general, se puede deducir que durante la primavera el jurel presenta una mayor concentraci3n en la parte central y sur de la costa peruana, distribuci3n que est3 influenciada por el proceso de desove, el cual se desarrolla al sur de los 14°S entre octubre y noviembre. En verano, en cambio, hay una migraci3n



hacia el norte, donde se producen las mejores capturas. En el otoño el jurel se dispersa uniformemente a lo largo de la costa peruana, y en el invierno se observa que las concentraciones se presentan generalmente en la costa central y sur del Perú.

Se destaca que a contar del 2002, se produce una disminuci3n importante de la presencia de jurel frente a la costa de Perú, observándose que las mayores concentraciones se ubicaron al sur de los 14°S, Pisco (**Fig. D2.6.5**). La baja presencia de jurel en la regi3n norte-centro, determin3 niveles de biomasa menores a las 500 mil toneladas entre el 2002 y 2007, a excepci3n del 2006 (**Fig. D2.6.6**). Recientemente, Ñiquen y Peña (2008) resumieron los estimados de biomasa de jurel frente a Perú en tres estratos espaciales, y encontraron un significativo cambio en el nivel de la biomasa de jurel frente a Perú antes y después de 1997 (**Fig. D2.6.7**). Se observa, a su vez, que previo a 1997, la mayor biomasa de jurel se concentraba en la regi3n Norte y Central de Perú, entre 3° y 14°S.



Tabla D2.6.1.
Resumen de evaluaciones acústicas de jurel frente al Perú.

Fecha Año/mes	Area de estudio	Biomasa (10 ⁶ ton)	Distribución Biomasa	Fuente
1972/07	03°36'S - 18°27'S	---	Grandes concentraciones al norte alrededor de Islas Lobos (06°S)	Abramov y Kotlyar (1980)
1972/11-12	03°36'S - 18°27'S	---	05°S - 7°30'S	Durzhinin <i>et al.</i> (1973)
1973/06	03°36'S - 18°27'S	---	Grandes concentraciones al norte alrededor de Islas Lobos (06°S)	Abramov and Kotlyar, 1980
1978/05	03°36'S - 18°27'S	4,60	3,3 mill t al norte de Callao (12°S) 1,3 mill t al sur de Callao (12°S)	Jordan <i>et al.</i> (1978)
1980/03-04	03°36'S - 18°27'S	4,70	2,7 mill t al norte de Callao (12°S) 2,0 mill t al sur de Callao (12°S)	IMARPE (1980)
1980/09	03°36'S - 18°27'S	---	Paita (05°S) - Callao (12°S)	Valdivia <i>et al.</i> (1983)
1983/03-05	03°36'S - 18°27'S	8,90	06°S - 12°S (5,6 mill t) 14°S - 16°S (1,5 mill t)	OLDEPESCA (1984)
1983/09-10	13°S-18°S	2,30	14°S - 16°S (1,2 mill t)	OLDEPESCA (1984)
1983/11-12	05°S-13°S	4,60	09°S - 10°S (2,3 mill t)	OLDEPESCA (1984)
1986/04-05	03°S - 12°S (- 150 millas)	4,33	Front. Norte (03°S) - Callao (12°S)	IMARPE (1986)
1988/05-07	03°36'S-18°27'S (- 120 millas)	2,81	Talara (04°S) - Front. Sur (18°S)	IMARPE (1988)
1989/07-09	03°36'S-18°27'S (- 120 millas)	4,30	Pto. Pizarro (03°S) - Ilo (17°S)	IMARPE (1989)
1989/11-12	07°S-13°S (- 120 millas)	4,37	Chicama (07°S) - Doña María (13°S) *Mas denso desde Huarmey	Žuzunaga <i>et al.</i> (1991)
1990/02-04	03°36'S-18°27'S (- 200 millas)	5,97	Talara (04°S) - Front. Sur (18°S)	Vilchez <i>et al.</i> (1991)
1995/08-09	05°S-13°30'S (- 150 millas)	-----	Paita (05°S) - Callao (12°S)	Gutiérrez (1996)
1996/02-04	03°36'S-18°27'S (10 - 120 millas)	3,08	Punta Aguja (05°) - Front.Sur (18°S)	Segura <i>et al.</i> (1996)
1996/11-12	05°S-18°17'S (- 110 millas)	3,38	Tacna (18°S) - Paita (05°S)	Gutiérrez <i>et al.</i> (1997a)
1997/04	05°S-12°S (10 - 100 millas)	1,25	Callao (12°S) - Punta Aguja (05°S)	Gutiérrez <i>et al.</i> (1997b)
1997/09-10	05°S-17°S	1,89	San Juan (15°S) - Salaverry (08°S)	Gutiérrez <i>et al.</i> (1997c)
1998/03-05	18°S-03°S	0,11	Tumbes (03°S) -Isla Lobos de Tierra (06°S) Atico (16°S) - Front. Sur (18°S)	Castillo <i>et al.</i> (1998a).
1998/05-06	04°S-18°S	0,06	05°S - 17°S mayor concent. 05°S - 06°S	Castillo <i>et al.</i> (1998b).
1998/08-09	05°S-18°S	0,02	10°S - 17°S mayor concent. 16°S	Castillo <i>et al.</i> (1998c).
1998/11-12	06°S-18°S (20 - 80 millas)	-	* Poco presente en el área prospectada	Gutierrez <i>et al.</i> (1999)
1999/02-04	03°S-18°S (- 120 millas)	0,09	Parachique (05°S) - Ilo (17°S)	Castillo <i>et al.</i> (1999a)
1999/06	05°S-14°S (0- 140 millas)	0,03	Morrope - Cherrepe (07°S)	Castillo <i>et al.</i> (1999b)
1999/11-12	06°S-15°S (0- 100 millas)	0,66	06°S - 15°S mayor concent. 12°S - 15°S	Castillo y Gutierrez (2000a)
2000/01-03	03°S-18°S (- 130 millas)	0,70	Tacna (18°S) - Tumbes (03°S)	Castillo y Gutierrez, 2000 (b)
2002/02-03	03°S-18°S	0,09		Com. pers.
2002/10	15°S-18°S	0,45		Com. pers.
2003/02-04	03°S-18°S	0,45	Atico (16°S) - Ilo (17°S)	Com. pers.

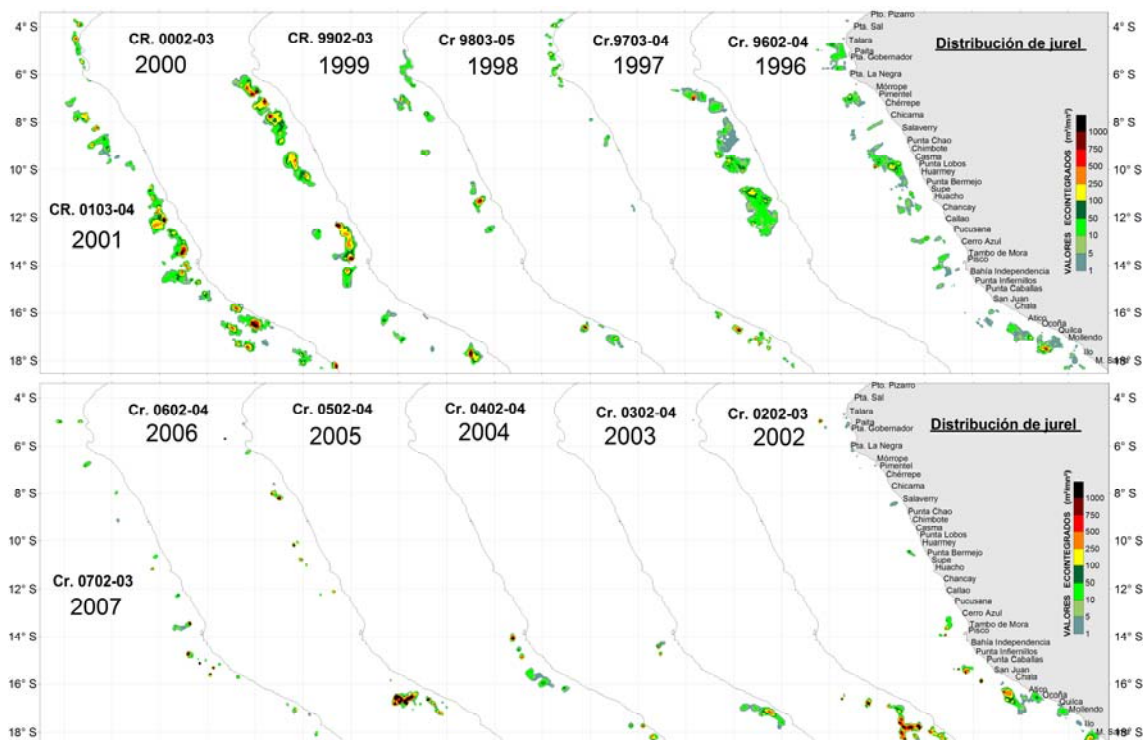


Figura D2.6.5. Distribución de los valores eointegrados de jurel en verano-otoño frente a la costa del Perú (1996-2007, Fuente: IMARPE).

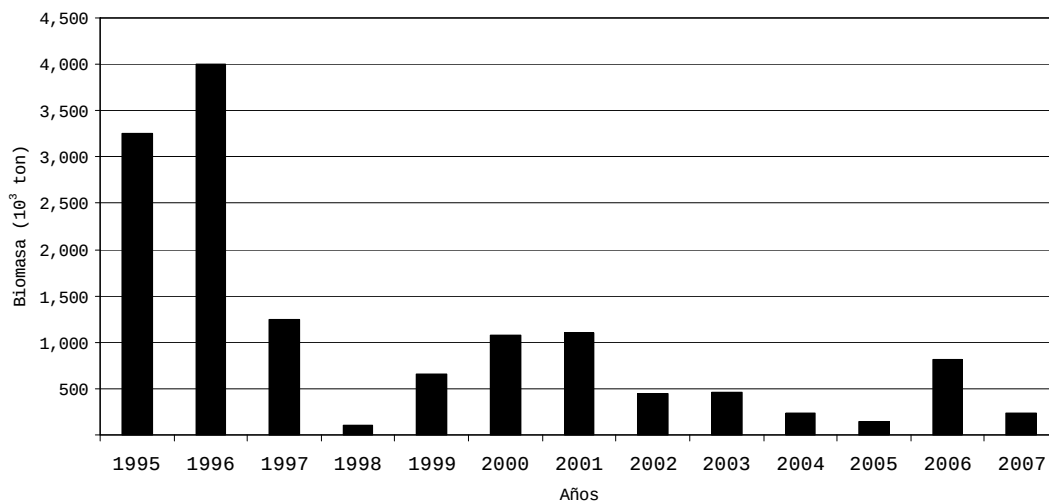


Figura D2.6.6. Biomasa acústica de jurel frente a Perú (Fuente: IMARPE).

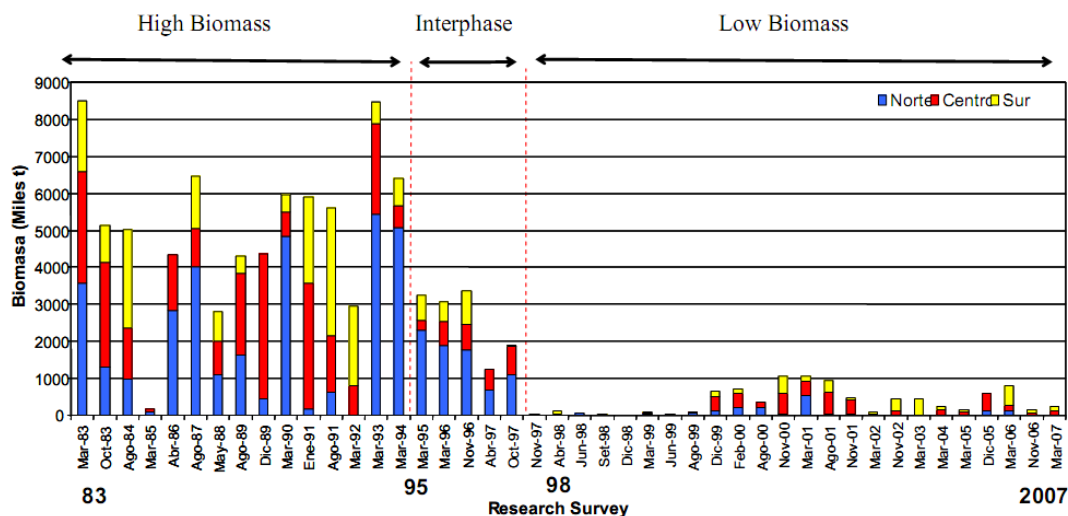


Figura D2.6.7. Biomasa acústica de jurel frente a Perú, por sectores: Norte (3°-7°S), Centro (7°-14°S), y sur (14°-18°S) (Obtenido de Niquen & Peña 2008).

D.2.6.1.1.2. Zona norte de Chile

Los patrones en la abundancia relativa de jurel en la zona norte de Chile, incluyendo hasta Coquimbo, se resumen en la **Tabla D2.6.2**. Se observa que por lo general el mayor nivel de biomasa de jurel se ubica de Antofagasta a Coquimbo en algunos años. El máximo nivel de biomasa de jurel entre Arica y Antofagasta se obtuvo en el invierno de 1981 con 5,8 millones de ton, disminuyendo los dos años siguientes a 2,8 y 1,8 millones de ton (Castillo *et al.* 1992).

En 1983 se observó una drástica disminución de la biomasa de jurel (Lillo *et al.* 1983). En el periodo 1984-1991, las biomásas de jurel variaron entre 46,6 mil ton en 1984 a 610,0 mil ton en 1989, con fluctuaciones interanuales importantes (Castillo *et al.* 1992, Castillo y Briones 1987). En el periodo 1984-1995, la biomasa acústica evaluada en invierno muestra fluctuaciones anuales importantes (**Fig. D2.6.8**).

**Tabla D2.6.2.**

Resumen de las evaluaciones acústicas de jurel frente a las costas de la zona norte de Chile.

Fecha Año/mes	Area de estudio	Biomasa (10 ⁶ ton)	Distribuci3n Biomasa	Fuente
1981/06-07	18°27'-30°S	5,800	Principal concentraci3n entre Iquique (21°S) y Caldera (27°S)	Castillo <i>et al.</i> (1984a)
1981/10-12	24°-28°30'S	1,500	principal concentraci3n de Antofagasta al sur	Guzmán <i>et al.</i> (1983)
1982/07-09	18°30'-30°S	6,100	1,9 entre 18°30's-24°S	Guzmán <i>et al.</i> (1983)
	(0-100 millas)		4,4 entre 24°S-30°S	
1982/07-09	18°30'-30°S	1,700	0,9 desde 18°30'S a 24°S	
	(100-200 millas)		0,9 entre 24°S a 30°S	
1983/02-03	18°28'-28°30'S	0,400	0,3 desde 18°30'S a 24°S	Lillo <i>et al.</i> (1984)
			0,1 desde 24°S a 28°30'S	
1983/05-06	18°28'-23°30'S	2,100	1,6 entre 0-100 millas	Castillo <i>et al.</i> (1984a)
	(0-200 millas)		0,5 entre 100-200 millas	
1983/07-09	18°43'-29°S	2,700	1,1 desde 18°43'S a 24°S	Castillo <i>et al.</i> (1984a)
			1,6 desde 24°S a 29°S	
1984/08-09	18°28'-23°30'S	0,440	0,04 desde 18°28'S a 24°S	Castillo <i>et al.</i> (1984b)
			0,4 desde 24°S a 28°30'S	
1991/11-12	18°28'-23°25'S	0,242		Castillo <i>et al.</i> (1992)
		0,582	Antofagasta-Coquimbo	Lillo <i>et al.</i> (1991)
			0.803 ton entre Arica y	
1992/08-09	18°28'-23°25'S	0,803	Antofagasta	Castillo <i>et al.</i> (1993)
			77% (0,511 ton) entre Arica y	
1993/08-09	18°28'-30°00'S	0,664	Pta. Amarilla (24°S)	Castillo <i>et al.</i> (1994)
			0,226 ton entre Caldera y	
			Coquimbo	
1994/08-09	18°28'-23°25'S	0,213	0,213 entre Arica y Antofagasta	Castillo <i>et al.</i> (1995)
			Principalmente al sur de	
1995/08-09	18°28'-31°00'S (0-100 millas)	0,309	Antofagasta	Castillo <i>et al.</i> (1996)
			9,3% entre Arica y Antofagasta	
			(0,034 ton)	
			86,2% entre Antofagasta y 31°S	
			(0,275 ton)	

Por otra parte, los proyectos m3s recientes de evaluaci3n de jurel financiados por el FIP no han sido sancionados (*i.e.*, FIP 2006-08 y FIP 2007-09). No obstante, seg3n Castillo (2008), los niveles de biomasa evaluados han sido similares en magnitud a los registrados a comienzos de los a3os 90. La distribuci3n de la densidad de jurel en estos 3ltimos cruceros revela una tendencia de desplazamiento al sur de Iquique (20°S), como se muestra en la **Figura D2.6.9**.

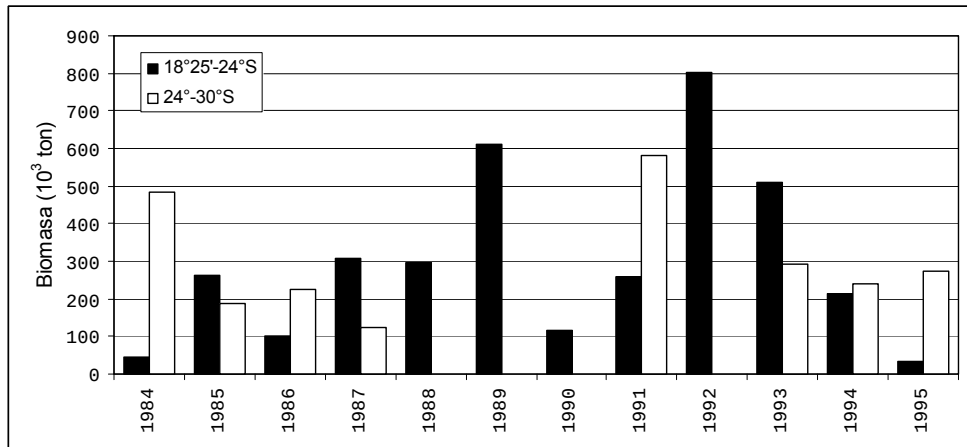


Figura D2.6.8. Biomasa acústica de jurel en invierno, zona comprendida entre Arica y Coquimbo.

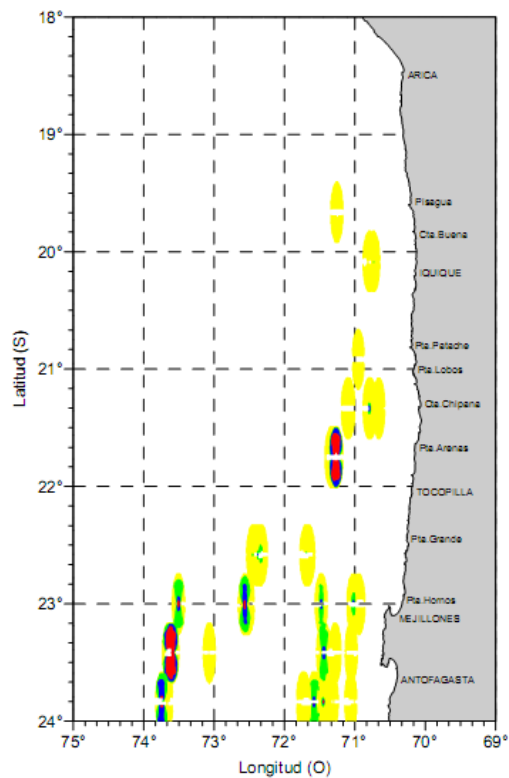


Figura D2.6.9. Distribución de la biomasa de jurel evaluada acústicamente en la primavera de 2007 (obtenida de Castillo, 2008).



D.2.6.1.1.3. Zona centro-sur de Chile

Se han recopilado y resumido 21 cruceros de evaluación hidroacústica realizados en la zona centro-sur de Chile, que comprende principalmente el área entre Valparaíso y Corral (**Tabla D2.6.3**). Las primeras evaluaciones de jurel en la zona costera de la zona centro-sur se realizaron entre 1982 y 1984, con niveles de biomasa moderada. Posteriormente, entre 1991 y 1992 se desarrollaron evaluaciones en la zona costera y en la zona oceánica, cruceros orientados a comprender la distribución del recurso. Finalmente, desde 1993 ha sido el Fondo de Investigación Pesquera el que ha permitido financiar las evaluaciones anuales de la biomasa de jurel en esta zona (**Tabla D2.6.3**).

El cambio más importante desde el punto de vista de la evaluación acústica de la biomasa de jurel ocurre el año 2002. A partir de ese año, la densidad de jurel al interior de las 200 millas náuticas comienza a caer persistentemente. En el periodo 1991-2002 el área de estudio cubrió desde 5 a 200 millas náuticas, y desde Valparaíso al sur de Corral. En consecuencia, a partir del 2003 el área de estudio se extendió hasta el 43°S y una distancia fuera de la costa que excedió las 500 millas náuticas. El recurso comenzó a disminuir su presencia al interior de las 200 millas náuticas, emergiendo como más importante su presencia en aguas oceánicas. Cabe destacar que la biomasa en aguas oceánicas adyacentes aparentemente siempre fue importante a juzgar por la operación de la flota internacional (**ver Figs. D2.6.1 y D2.6.2**), y por las estimaciones de biomasa en esa zona hecha por Rusia (Elizarov *et al.* 1993).



Tabla D2.6.3.
Resumen de las evaluaciones acústicas de jurel frente a las costas de la zona centro-sur de Chile.

Fecha Año/mes	Área	Biomasa Millones ton	Distribución Biomasa	Fuente
1982/05-06	35°50'S-38°30'S	0,890	El recurso estuvo contenido en el área de estudio. Densidad: 87,9 ton/ millas ²	Rodríguez <i>et al.</i> (1983)
1982/10-11	35°S-38°50'S	1,100	Mayores agregaciones de Talcahuano al norte	Rodríguez <i>et al.</i> (1983)
1983/11-12	30°S-36°S	2,600	0,6 del 33°S al norte 2,0 del 33°S al sur	Lillo <i>et al.</i> (1984)
1984/06-07	33°S-40°S	0,700	Disperso en toda el área. Densidad: 18,7 ton/millas ²	Castillo <i>et al.</i> (1984)
1991/06-07	34°55'S-50°S (0-200 millas)	3,410	Densidad: 119,8 ton/ millas ²	Córdova <i>et al.</i> (1991a)
1991/11-12	34°S-40°15'S (100-300 millas)	0,500	Baja densidad, cardúmenes y agregaciones dispersas	Córdova <i>et al.</i> (1991b)
1992/05-06	33°40'S-39°S (0-90 millas)	1,370		Serra <i>et al.</i> (1994a)
1992/11-12	33°40'S-39°S (100-400 millas)	0,300	Baja densidad, cardúmenes y agregaciones dispersas	Serra <i>et al.</i> (1994a)
1993/06-07	32°40'S-39°20'S (5-100 millas)	1,990	88% entre Pta Nugurue (36°S) y Pta Morguilla (37°40'S) Densidad: 56,9 ton/ millas ²	Serra <i>et al.</i> (1994b)
1994/07-08	32°40'S-39°20'S (5-170 millas)	0,630	82% entre Pta. Lavapié (37°20'S) y Queule (39°20'S)	Quiñones <i>et al.</i> (1995)
1997/05-06	32°40'S-41°00'S (5 - 200 millas)	3,530	Alto índice de ocupación y cobertura espacial	Córdova <i>et al.</i> (1997)
1998/06-07	32°40'S-40°20'S (5 - 200 millas)	3,200	28% entre Pta Barrancos (34°S) y Constitución (35°20'S) 57,6% entre Pta. Nugurúe (36°S) y 38°40'S. 30,6% entre Talcahuano (36°40'S) e Isla Mocha (38°20'S)	Córdova <i>et al.</i> (1999)
1999/05-06	33°20'S-40°40'S (5 - 200 millas)	4,100	68,4% entre Pto. Saavedra (38°27'S) y sur de Corral (40°20'S) El recurso esta contenido dentro del area, concentrado en 100 millas 29,6% entre 33°20'S y Bucalemu (33°50'S) 18,2% entre Constitución (35°20'S) y Pta Nugurúe (36°S) 36,2 % entre Lebu y Ba. San Pedro	Córdova <i>et al.</i> (2000)
2000/05-06	33°S-40°S (5 - 200 millas)	5,600	El recurso esta contenido dentro del area, concentrado en las 100 millas Principalmente de Topocalma (34°10'S) al sur de Pta. Nugurue Densidades menos importantes al sur de Lebu.	Córdova <i>et al.</i> (2001)
2001/05-06	33°S-40°S (5 - 200 mn)	5,970	El recurso esta contenido dentro del area, y concentrado en las 100 millas 93,1% concentrado entre el sur de Topocalma (34°40'S) y norte de Corral (39°40'S)	Córdova <i>et al.</i> (2002)
2002	32°40'S-40°S (5 - 200 millas)	1,900	Concentrado desde el sur de Constitución (35°40'S) a Corral (40°S), con 90,6% de la biomasa. La distribución no fue cubierta por el crucero.	Córdova <i>et al.</i> (2003)
2003/05-06	33°45'S-40°55'S (5-400 millas)	3,521	0,881 dentro de las 200 millas; 2,640 entre 200 y 400 millas	Córdova <i>et al.</i> (2004)
2004/05-06	34°10'S-42°30'S (5-400 millas)	4,240	0,540 dentro de las 200 millas; 3,700 entre 200 y 400 millas	Córdova <i>et al.</i> (2005)
2005/06	34°10'S-42°30'S (5-400 millas)	4,620	0,510 dentro de las 200 millas; 4,110 entre 200 y 400 millas	Córdova <i>et al.</i> (2006b)
2006/06-07	33°20'S-43°S (5-500 millas)	4,028	0,597 dentro de las 200 millas; 3,192 entre 200 y 400 millas 3,431 entre 5 y 500 millas	Córdova <i>et al.</i> (2007)
2007/06-07	33°20'S-43°S (5-600 millas)	3,231	0,091 dentro de las 200 millas; 3,140 entre 200 y 400 millas	Córdova <i>et al.</i> (2008)



D.2.6.1.1.4. Desove de jurel en aguas oceánicas frente a Chile central

Se han recopilado antecedentes relativos a la evaluación de la abundancia de huevos de jurel en aguas oceánicas, orientadas a la estimación del stock desovante de jurel (**Tabla D2.6.4**). Cubillos *et al.* (2008) analizan cuatro de estos cruceros (1998, 1999, 2000 y 2001) y concluyen que el grueso del desove de jurel tiende a ocurrir fuera de la zona costera entre 80° y 92°W, frente a los 35°S, y asociado con temperatura superficial del mar más cálida que 15-16 °C. Asimismo, muestran que la estructura espacial del desove se caracteriza por una estructura autocorrelacionada que fluctúa entre 125 y 252 millas náuticas, lo que sugiere que el desove es un proceso de gran escala y claramente asociado al comportamiento reproductivo de los adultos, que tienden a dispersarse, generando una baja densidad. Esto probablemente se deba a la búsqueda de condiciones adecuadas para el desove en aguas con temperaturas que caracterizan el frente subtropical frente a Chile central.

Según Núñez *et al.* (2008), la densidad de huevos (huevos por 10 m²) mostró una tendencia decreciente desde 1999 al 2007 durante el pico de desove, desde 581,7 huevos por 10 m² en 1999 a 39,8 huevos por 10 m² en el 2007. La cobertura espacial del desove respecto del área de estudio también ha cambiado, desde una incidencia sobre el 70% en el periodo 1999-2002 a niveles de 26,5% en el 2007 (**Fig. D2.6.10**).



Tabla D2.6.4.

Resumen de los cruceros ictioplanctónicos de jurel realizados en alta mar frente a Chile central. (PAM: pesquero de alta mar)

Crucero	Fecha	Latitude (°S)	Longitud (°O)	Area de estudio (mn ²)	N° de PAM	Diseño de muestreo	Distancia entre transectas (mn)
Dec. 1998	04 – 08 Dec	33°00'–39°00'	75°00'–86°00'	231340	5	Zig Zag	75
Nov. 1999	14 – 22 Nov	33°06'–38°12'	75°00'–92°00'	284526	9	Lineal	18
Dec. 1999	15 – 20 Dec	35°03'–38°24'	74°00'–86°00'	114917	6	Lineal	18
Nov. 2000	25 Nov – 4 Dec	32°06'–37°48'	75°00'–92°00'	261815	10	Lineal	18
Nov. 2001	18 – 30 Nov	31°48'–36°54'	75°00'–92°00'	257280	9	Lineal	18
Nov. 2003	10 – 22 Nov	33°00'–38°00'	75°00'–92°00'	327568	8	Lineal	20
Nov. 2004	20–29 Nov	31°40'–38°00'	75°00'–92°00'	403980	10	Lineal	20
Nov. 2005	¿?	33°00'–38°40'	75°00'–92°00'	356320	9	Lineal	20
Nov. 2006	14–26 Nov	32°50'–38°50'	74°00'–92°00'	391755	9	Lineal	20
Nov. 2007	¿?	30°00'–35°50'	74°00'–92°00'	¿?	5	Lineal	25

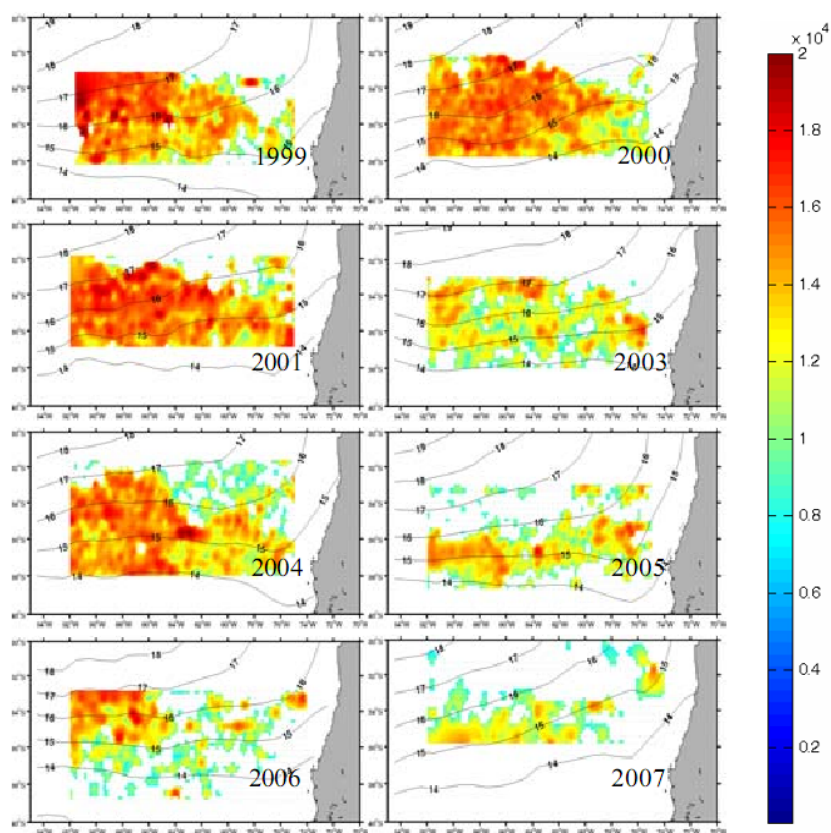


Figura D2.6.10. Distribución de huevos de jurel (huevos por 10 m²) durante el período de máxima intensidad reproductiva frente a Chile central (obtenido de Núñez *et al.* 2008).



D.2.6.1.2 Estructura de tallas

La estructura de tallas corresponde a datos anuales de captura en n3mero a la talla, y provienen de: a) la zona norte de Chile (ZNCh), que abarca la zona Arica-Antofagasta; b) La zona centro-norte (ZCNCh), que comprende Caldera-Coquimbo, y c) la zona centro-sur de Chile, que comprende entre San Antonio y Valdivia (y Chilo3 en a3os recientes). Adem3s, se obtuvieron las frecuencias de tallas anuales de las capturas de jurel en Per3, periodo 1995-2006 y la estructura de tallas en las capturas de la flota de altura rusa, que oper3 frente a Chile por fuera de la zona econ3mica exclusiva entre 1979 y 1991 (**Figura D2.6.11**).

La estructura de tallas de jurel en las capturas nacionales se compara con la estructura de tallas de las capturas de la flota de altura rusa, que oper3 durante el periodo 1982-1991. De esta manera, se observa que los cambios detectados en la estructura de tallas son muy similares en el periodo 1982-1991, en las cuatro zonas que se comparan (**Figura D2.6.12**). Aparentemente, en ese periodo ocurrieron cambios poblacionales que incidieron en la estructura de tallas de las capturas, a pesar de las diferencias en el desarrollo de las pesquer3as. Se debe mencionar que hasta 1990, la flota nacional operaba pr3cticamente en sectores muy costeros. Esto muestra que existe conectividad, y demuestra que las diferentes pesquer3as realizaron operaciones de pesca sobre una misma unidad poblacional. Se observa que la estructura de tallas de la flota de cerco de la zona centro-sur de Chile fue muy similar con aquella de la flota de altura rusa. En cambio, aunque la estructura de tallas en las capturas de la flota de cerco de la zona norte y centro-norte fue similar, hubo a3os en que se observan notables disimilitudes (casos de 1988 y 1989). Se destaca que en la zona norte, hubo un cambio en la operaci3n de la flota de cerco a contar de 1986 y que consisti3 en el reemplazo de la red de cerco sardinera por anchovetera, y una operaci3n en zonas m3s costeras. Probablemente esto determin3 la menor frecuencia de ocurrencia de jurel grande (> 35 cm LH) en la zona norte.

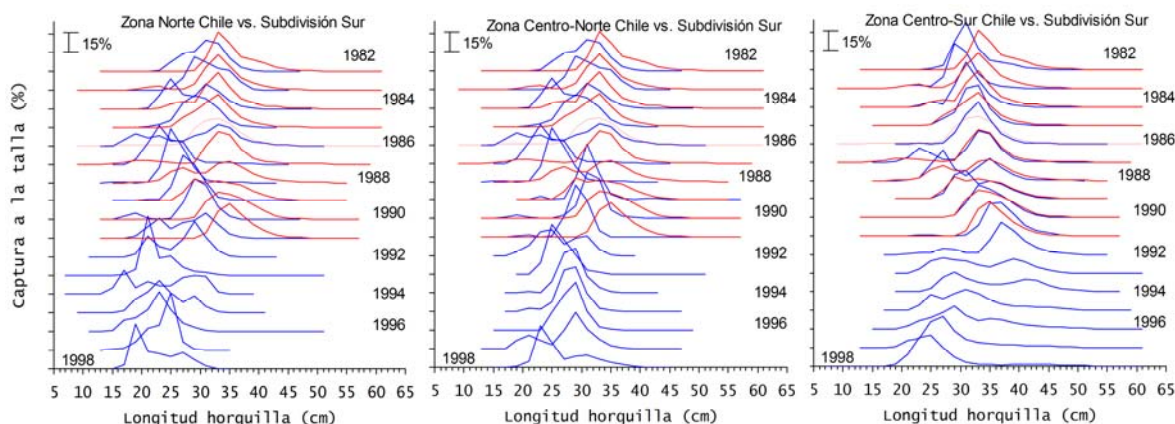


Figura D2.6.11. Composición por tallas (%) de jurel en las capturas de la flota de cerco de las zonas Norte (Arica-Antofagasta), Centro-Norte (Caldera-Coquimbo), Centro-Sur de Chile (azúles) y de la flota de altura rusa (rojo) que operó con red de media agua por fuera de la ZEE frente a Chile (20°S-40°S, Subdivisión Sur).

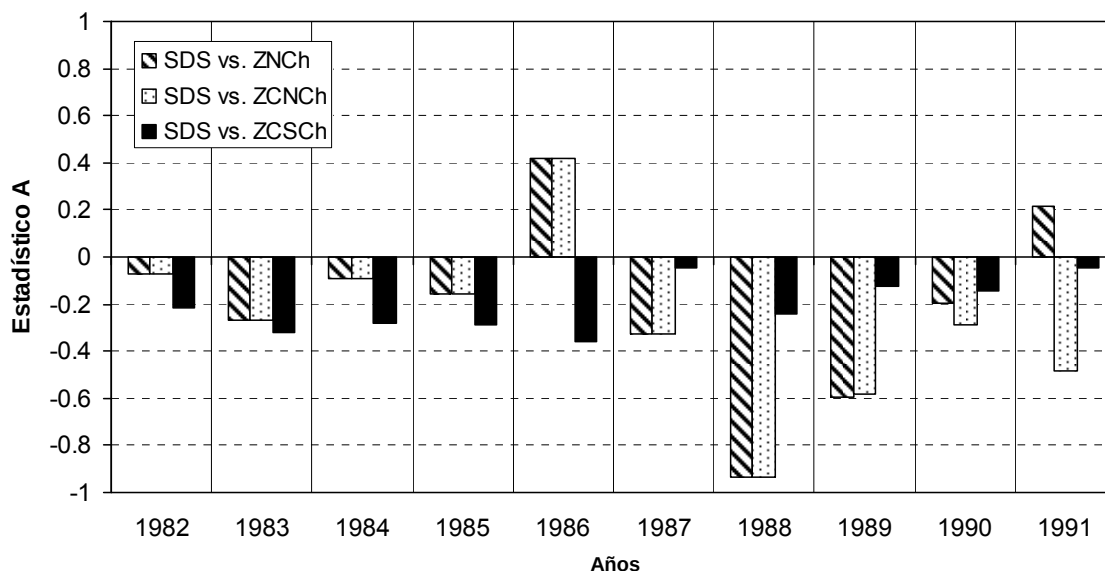


Figura D2.6.12. Estadístico de comparación de la composición por tallas de jurel en las pesquerías de cerco de la zona norte (ZNCh), zona centro-norte (ZCNCh) y zona centro-sur (ZCSCCh) versus la pesquería de altura rusa que operó en la Subdivisión Sur, por fuera del límite de 200 millas náuticas frente a Chile.



En Perú, al separar los datos de frecuencia de tallas por zonas, y al graficar la frecuencia relativa acumulada por clases de tallas de 1 cm, se observa que en general en la región norte (4°S - 7°S) los ejemplares de jurel alcanzan tamaños más grandes que en la región centro (7°S - 14°S) y sur (14°S - 18°S). Solamente en 1997 se observó una distribución de frecuencia similar entre la norte y centro, mientras que en el sur de Perú fueron peces pequeños (**Fig. D2.6.13**).

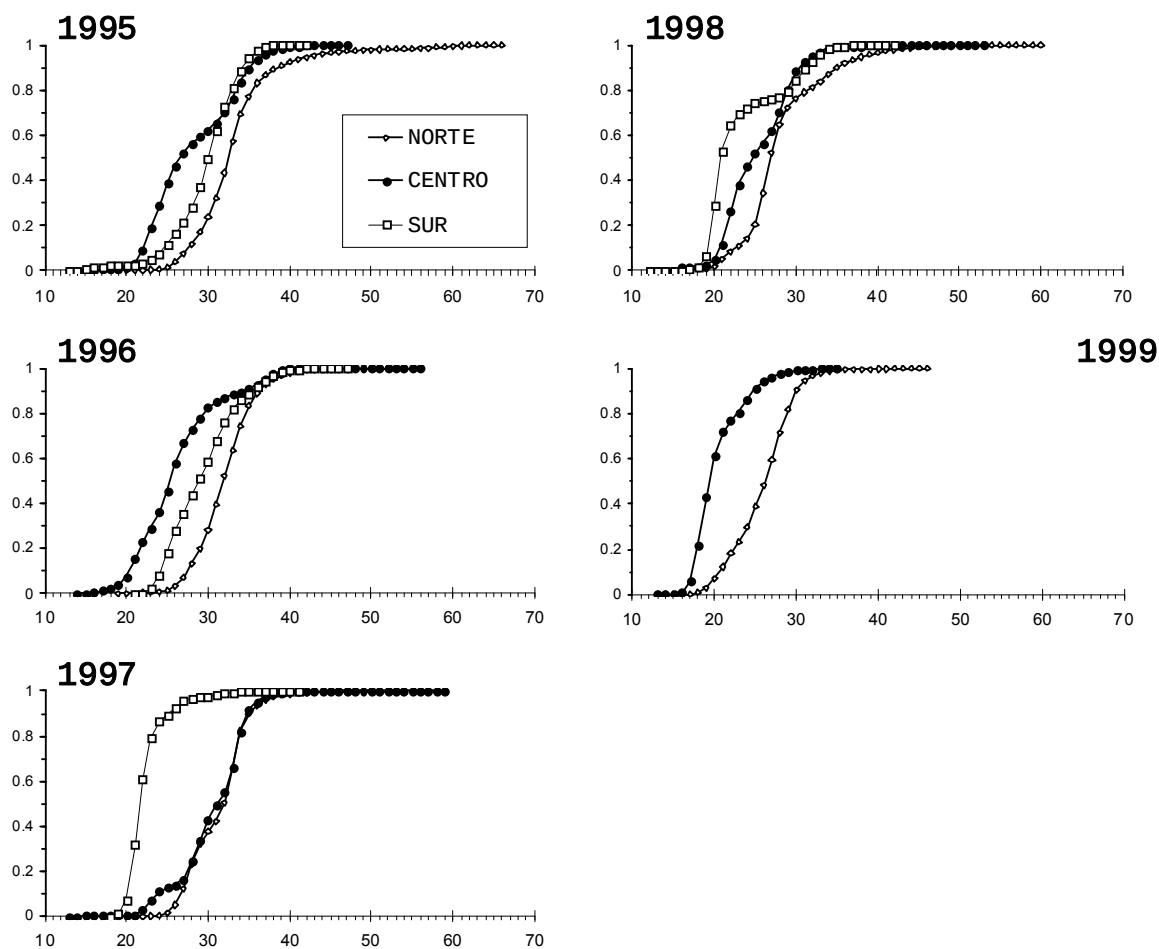


Figura D2.6.13. Composición por tallas (%) de jurel en la zona norte (3° - 7°S), centro (7° - 14°S), y sur (14° - 18°S) de Perú (1995-1999).



D.2.6.1.2.1. Proporción de ejemplares de tamaño menor a 25 cm LH

La fracción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla (y la longitud promedio en dicha fracción), podrían ser indicador del algún proceso biológico que no esté influenciado por la acción de la pesca en la fracción completamente vulnerada, tal como el reclutamiento. La proporción menor a 25 cm LH se muestra en la **Figura D2.6.14**, a la cual se agregaron los datos de Perú del periodo 1995-2006. Se utiliza la transformación logito para proporciones y se muestra los resultados en la **Figura D2.6.15**, donde se observa una tendencia creciente desde 1975 a 1999.

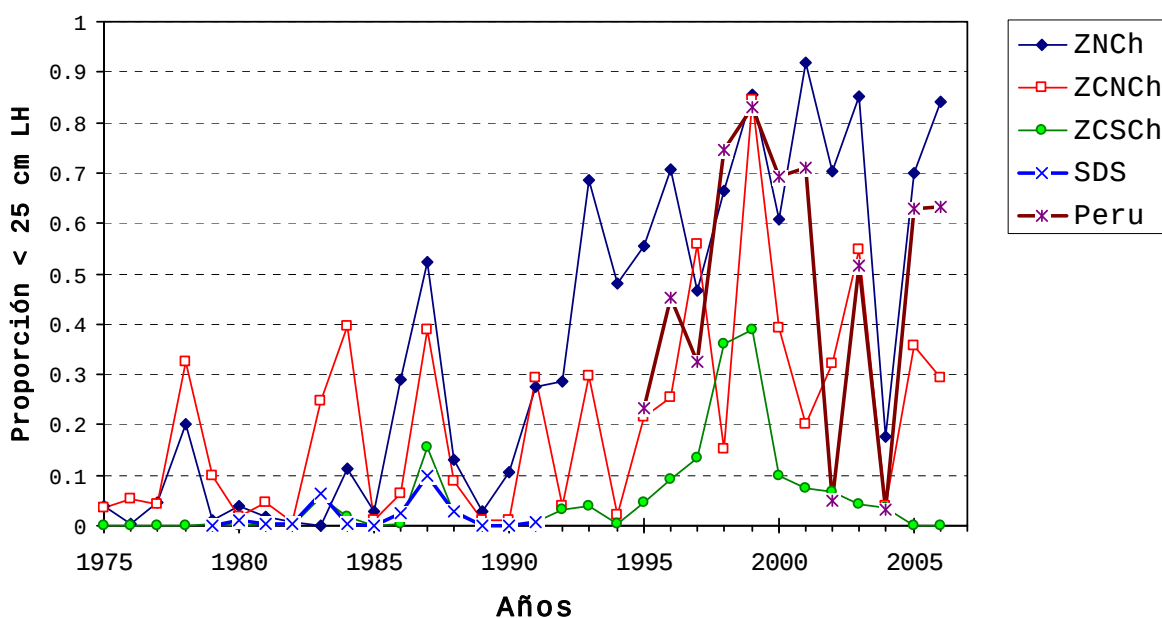


Figura D2.6.14. Cambios anuales en la proporción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas norte (ZNCh: Arica-Antofagasta), centro-norte (ZCNCh: Caldera-Coquimbo), centro-sur (ZCSCh: San Antonio-Valdivia), de la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE (SDS), y en las capturas de Perú.

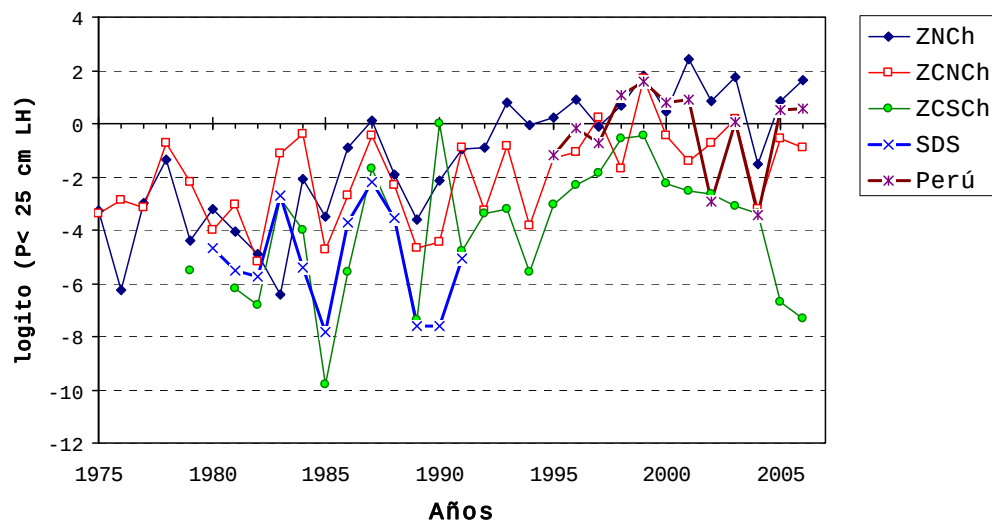


Figura D2.6.15. Cambios anuales en el logito de la proporción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas norte (ZNCh: Arica-Antofagasta), centro-norte (ZCNCh: Caldera-Coquimbo), centro-sur (ZCSCh: San Antonio-Valdivia), de la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE (SDS) y en las capturas de Perú.

La matriz de correlación entre zonas se muestra en la **Tabla D2.6.5**, donde se aprecia que los cambios estructurales en la fracción menor a 25 cm de LH de la zona norte de Chile tienen un grado de asociación significativo con la zona centro-norte, zona centro-sur y Perú (1995-2006). La zona centro-norte se asocia significativamente con la zona centro-sur y Subdivisión Sur (fuera de la ZEE, 1979-1991). A su vez, hay una asociación muy fuerte entre los cambios en la proporción menor a 25 cm LH de la zona centro-sur con los cambios detectados en la flota de altura rusa (**Fig. D2.6.16**).

**Tabla D2.6.5.**

Matriz de correlación entre las series de tiempo de la fracción de jurel menor a 25 cm LH (transformación logito). Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

	ZNCh	ZCNCh	ZCSCCh	SDS	Perú
ZNCh	1				
ZCNCh	0,610	1			
ZCSCCh	0,458	0,665	1		
SDS	0,193	0,705	0,901	1	
Perú	0,682	0,531	0,072	-	1

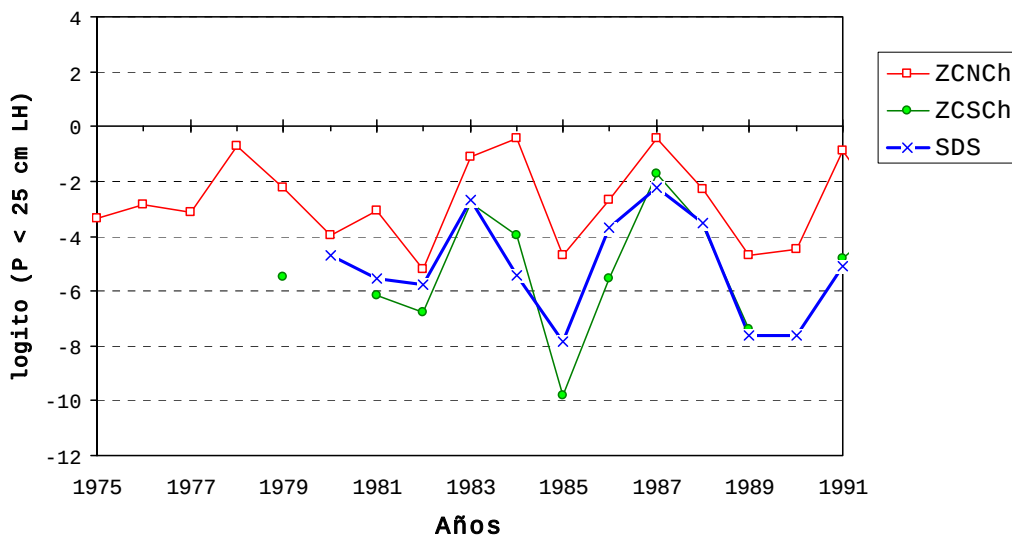


Figura D2.6.16. Cambios anuales en la proporción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla (transformación logito) en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.

D.2.6.1.2.2. Longitud promedio en la fracción menor a 25 cm LH

Los cambios interanuales en el tamaño promedio de jurel capturado en la fracción menor a los 25 cm LH se muestran en la **Figura D2.6.17**. La matriz de correlación revela una asociación significativa entre la zona norte de Chile y Perú (**Tabla D2.6.6**) y correlaciones débiles no significativas con los cambios exhibidos en la flota de altura rusa.

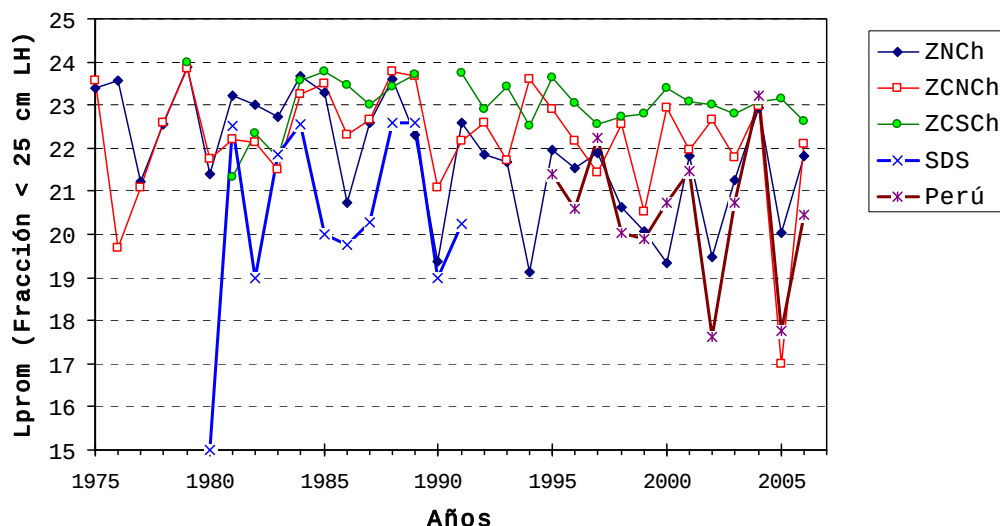


Figura D2.6.17. Cambios anuales en la longitud promedio de la fracción de jurel menor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.

Tabla D2.6.6.

Matriz de correlación entre las series de tiempo de la longitud promedio de jurel en fracción menor a 25 cm LH. Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

	ZNCh	ZCNCh	ZCSCCh	SDS	Perú
ZNCh	1				
ZCNCh	0,313	1			
ZCSCCh	0,095	0,267	1		
SDS	0,539	0,527	-0,129	1	
Perú	0,791	0,513	-0,015	-	1

D.2.6.1.2.3. Longitud promedio en la fracción mayor a 25 cm LH.

El indicador que dice relación con el tamaño promedio de jurel capturado en la fracción mayor a los 25 cm LH (**Fig. D2.6.18**), podría dar cuenta de los efectos de la explotación en la fracción completamente vulnerada. La matriz de correlación revela una asociación significativa de la zona norte con la zona centro-norte y



centro-sur de Chile y una asociación más fuerte entre la zona centro-norte y centro-sur (**Tabla D2.6.7**). Interesante, es la asociación significativa entre los cambios en la longitud promedio de la zona centro-norte y Perú, y a su vez que los cambios en la longitud promedio de la flota de altura rusa reflejan cambios diferentes a los de la pesquería de cerco frente a la zona centro-sur de Chile.

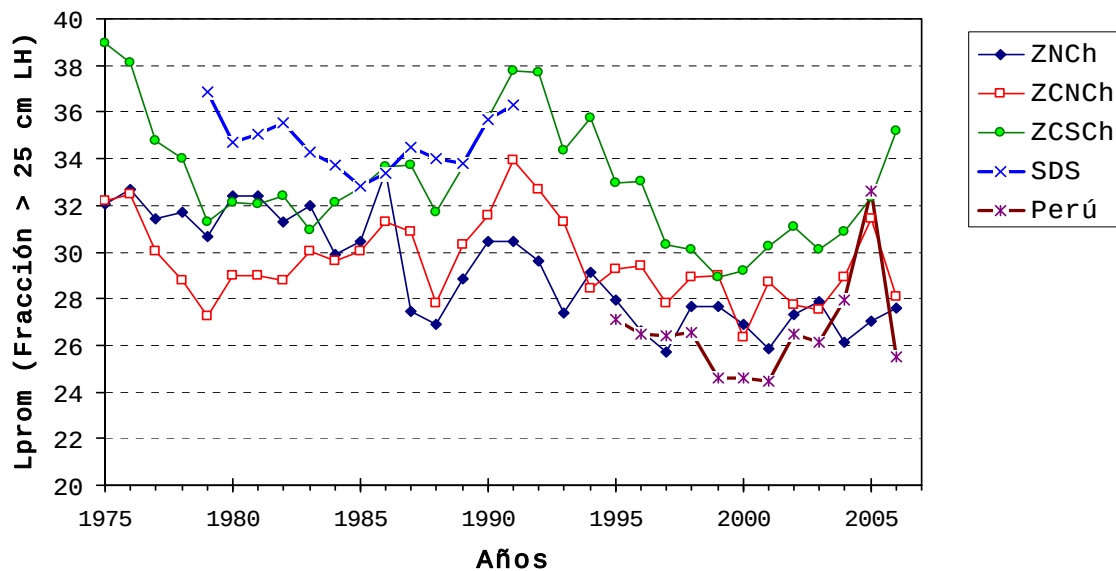


Figura D2.6.18. Cambios anuales en la longitud promedio de la fracción de jurel mayor a 25 cm de longitud horquilla en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.

Tabla D2.6.7.

Matriz de correlación entre las series de tiempo de la longitud promedio de jurel en fracción mayor a 25 cm LH. Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

	ZNCh	ZCNCh	ZCSCCh	SDS	Perú
ZNCh	1				
ZCNCh	0,399	1			
ZCSCCh	0,464	0,756	1		
SDS	0,089	0,013	0,274	1	
Perú	-0,001	0,745	0,314	-	1



D.2.6.1.2.4. Longitud promedio

El tamaño promedio de jurel en las capturas se compara entre zonas en la **Figura D2.6.19**, observándose la tendencia general decreciente del indicador. Los cambios estructurales que inciden en la longitud media son similares frente a Chile, y también con Perú (**Tabla D2.6.8**). En este último caso, la correlación es más fuerte particularmente por los cambios ocurridos en la zona norte (Arica-Antofagasta) que con la zona centro-norte. Nuevamente, la longitud promedio en la captura de la flota de altura rusa no se asocia con aquellos de la pesquería de cerco frente a la zona centro-sur de Chile.

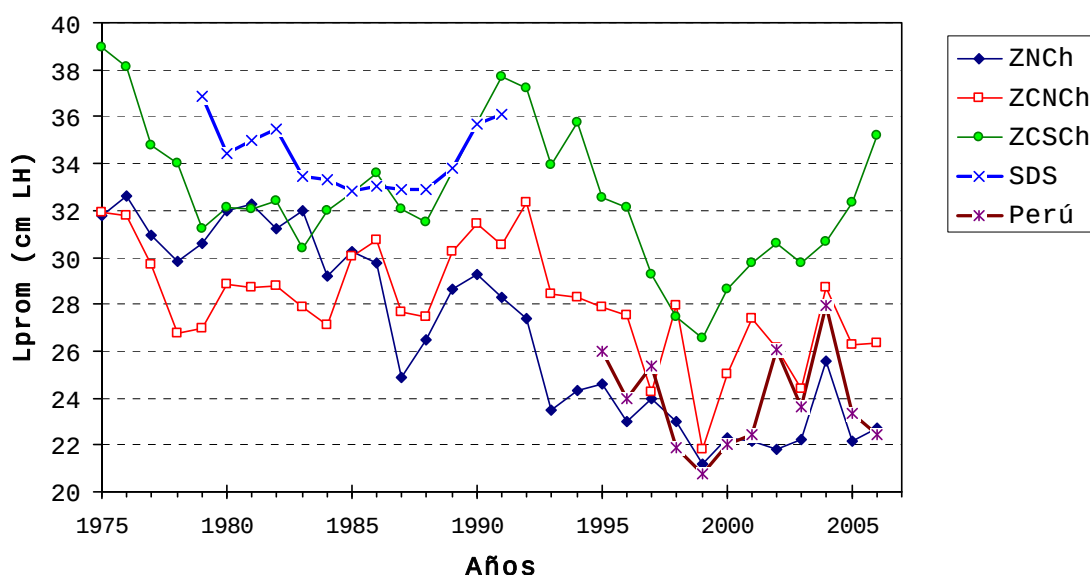


Figura D2.6.19. Cambios anuales en la longitud promedio de jurel en las capturas de la flota nacional de cerco de las zonas centro-norte (Caldera-Coquimbo) y centro-sur (San Antonio-Valdivia) y la flota de altura rusa que operó fuera de la ZEE.



Tabla D2.6.8.

Matriz de correlación entre las series de tiempo de la longitud promedio de jurel en las capturas. Los valores en negrita son estadísticamente significativos ($P < 0,05$).

	ZNCh	ZCNCh	ZCSCCh	SDS	Perú
ZNCh	1				
ZCNCh	0,652	1			
ZCSCCh	0,496	0,781	1		
SDS	0,336	0,117	0,374	1	
Perú	0,744	0,469	0,333	-	1

D.2.6.1.3. Tasa de crecimiento en peso del otolito.

Con el objeto de analizar la tasa de crecimiento en peso del otolito de jurel y proceder a su comparación entre zonas, se logró recolectar muestras de varias localidades a lo largo de Chile, así como en Perú (Paracas) y Nueva Zelandia, con tamaños de muestra que fluctuaron entre 102 y 232 (**Tabla D2.6.9**).

**Tabla D2.6.9.**

Número de localidades y de otolitos obtenidos para el análisis de la tasa de crecimiento en peso de jurel.

Datos	Perú Paracas	Iquique	Caldera	Coquimbo	Talcahuano	Chiloé	Nueva Zelandia	Total general
Otolitos (N°)	74	150	103	162	232	144	166	1031
LH promedio (cm)	31,6	31,2	34,4	31,7	39,3	42,1	50,6	38,1
Mín de LH (cm)	27	22	26	23	27	34	46	22
Máx de LH (cm)	39	41	46	47	53	50	56	56
O. Izq. promedio (mg)	25,1	23,5	28,4	25,5	36,9	43,7	72,4	38,2
Mín Oizq (mg)	18,3	11,4	17,5	14,0	18,6	25,9	47,9	11,4
Máx Oizq (mg)	38,5	38,3	46,3	66,5	74,5	88,1	116,8	116,8
O. Der. Promedio (mg)	25,3	23,3	28,4	25,4	36,8	43,2	72,2	38,1
Mín de Oder (mg)	18,3	10,9	17,7	13,4	16,9	27,0	43,6	10,9
Máx de Oder (mg)	39,3	37,9	44,8	65,3	70,4	87,6	120,3	120,3



Por otra parte, existe un desbalance en términos de los estratos de tamaños que han sido cubiertos en cada zona, como también una varianza heterogénea en el peso del otolito en función del tamaño de jurel (**Fig. D2.6.20, Tabla D2.6.10**). En otras palabras, las diferencias significativas que ocurren entre zonas a una misma longitud se deben básicamente al efecto de las zonas de Nueva Zelanda y Chiloé, ya que presentan una mayor varianza a la talla.

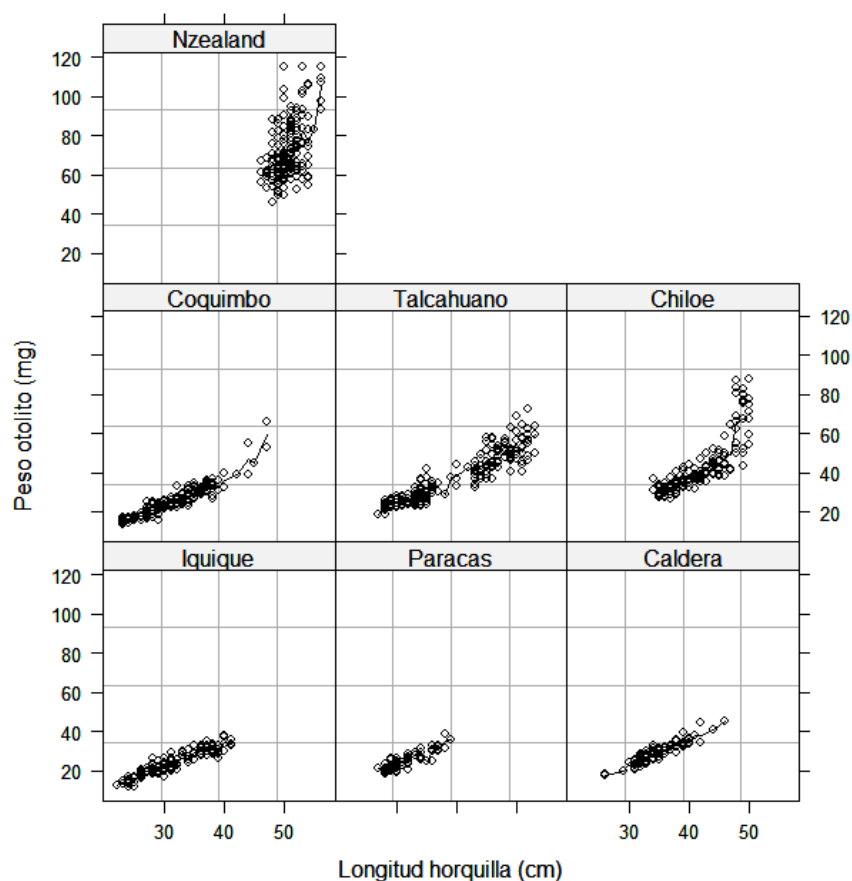


Figura D2.6.20. Relación entre el peso del otolito (mg) y la longitud (cm) de los especímenes de jurel por zonas de estudio.



Tabla D2.6.10.

Análisis de covarianza entre el logaritmo del peso del otolito, efecto de la zona y como co-variable el logaritmo de la longitud del pez.

Efecto	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr(>F)
Log(LH)	1	197,584	197,584	13722,468	< 2,20E-16
Zona	6	5,959	0,993	68,976	< 2,20E-16
Log(LH):Zona	6	0,820	0,137	9,489	3,70E-10
Residuals	1002	14.427	0,014		

Cuando se ajusta un modelo potencial entre el peso del otolito (PO) y la longitud del pez (LH) y se grafican los residuales en función de las zonas, se puede apreciar que las varianzas no son homogéneas y son mayores en Nueva Zelandia (**Fig. D2.6.21**).

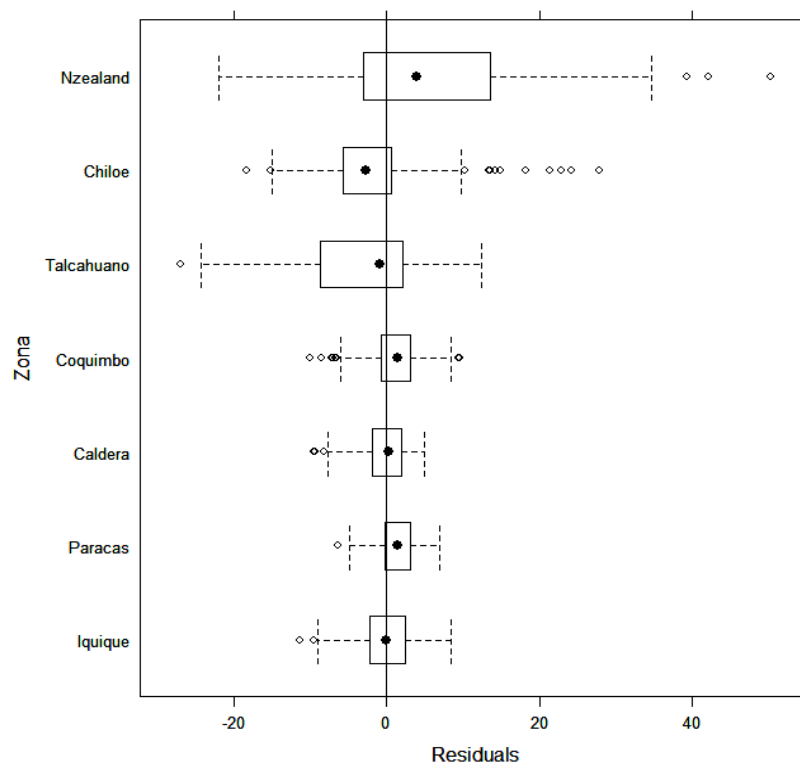


Figura D2.6.21. Residuales de la relación potencial entre el peso del otolito y la longitud de jurel, según zona.

Aparentemente, la naturaleza de dicha heterogeneidad se podría deber a la mezcla de ejemplares de diferentes edades. En efecto, Araya *et al.* (2001) encontraron también que la varianza en el peso del otolito de jurel no era constante en función del tamaño. En peces longevos, aparentemente la depositación de material en los otolitos continúa de tal manera que los otolitos más pesados podrían estar asociados con peces más longevos a una misma talla. No obstante, la determinación de la edad en otolitos enteros no logró remover la variabilidad del peso del otolito en peces de más de 8 años (Fig. D2.6.22). Además, el peso promedio de los otolitos de N. Zelandia y Chiloé son significativamente mayores que el resto de las zonas (Fig. D2.6.23).

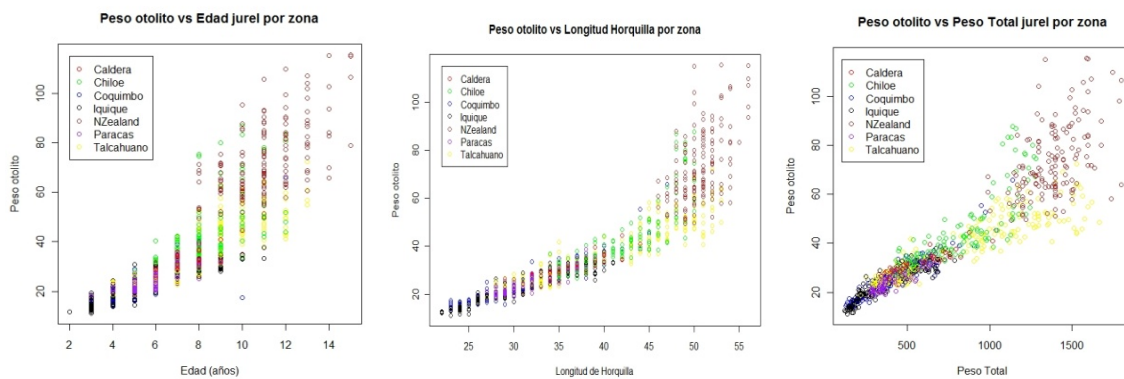


Figura D2.6.22. Peso del otolito (mg) y su relación con la edad, longitud del pez, y peso del pez por localidad.

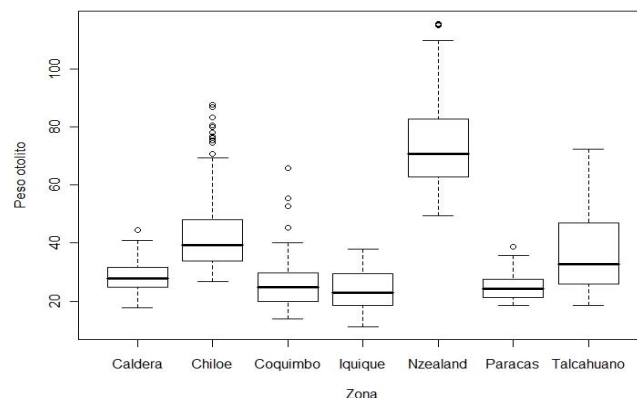


Figura D2.6.23. Peso del otolito (mg) de jurel por localidad.



Con el objeto de comparar la tasa de crecimiento en peso del otolito, se aplicó logaritmos para estabilizar la varianza en el peso del otolito, y se encontró que no existen diferencias significativas en la tasa de crecimiento en peso del otolito entre localidades (**Tabla D2.6.11**). Al excluir los datos de Nueva Zelandia, se comprueba que la tasa de crecimiento en peso del otolito es más similar en los datos de las localidades de Chile y Perú (**Tabla D2.6.12**).

Tabla D2.6.11.

Análisis de covarianza entre el logaritmo del peso del otolito, efecto de la zona y como co-variable el logaritmo de la longitud del pez (LH).

	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr(>F)
Zona	6	143,312	23,885	2056,3664	<2e-16
LH	1	59,082	59,082	5086,5555	<2e-16
Edad	1	2,363	2,363	203,4598	<2e-16
Zona*LH	6	0,81	0,135	11,616	1,36E-12
Zona*Edad	6	0,103	0,017	1,4762	0,1831
Residuales	976	11,337	0,012		

Tabla D2.6.12.

Análisis de covarianza entre el logaritmo del peso del otolito, efecto de la zona y como co-variable el logaritmo de la longitud del pez (LH) sin incluir los datos de Nueva Zelandia.

	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr(>F)
Zona	5	42,848	8,57	861,4371	<2e-16
LH	1	57,824	57,824	5812,65	<2e-16
Edad	1	1,313	1,313	131,976	<2e-16
Zona*LH	5	0,724	0,145	14,5639	1,06E-13
Zona*Edad	5	0,022	0,004	0,4499	0,8135
Residuales	832	8,277	0,01		



D.2.6.1.4 Índices reproductivos y de condici3n

Se compil3 y valid3 una base de datos biol3gicos específcos de jurel para Chile, que cubre el periodo 1997-2007. El análisis preliminar del factor de condici3n (FC) y del índice gonadosomático se realizó considerando macrozonas, a saber. Zona Norte: Arica, Iquique, Antofagasta; Zona Centro-Norte: Caldera y Coquimbo; y Zona Centro-Sur: San Antonio, Talcahuano, Corral y Chiloé. A su vez, se utiliz3 rangos de tamaío para analizar el efecto de la talla; se distinguieron 6 grupos: Grupo 1: < 20 cm LH, Grupo 2: 20 -25 cm; Grupo 3: 25-30 cm; Grupo 4: 30-35 cm, Grupo 5: 35-40 cm; y Grupo 6: > 40 cm.

El factor de condici3n se analiz3 considerando cambios mensuales entre zonas, observándose que existen diferencias significativas entre meses y zonas (**Tabla D2.6.13**). En efecto, el FC presenta una variaci3n semianual en las zonas norte y centro-sur, con valores mayores en la época estival y mínimos en la época invernal. La zona centro-norte presenta una variaci3n estacional con máximos en enero, mayo y diciembre (**Figura D2.6.24**)

Tabla D2.6.13.

Análisis de varianza para el factor de condici3n de jurel entre meses y zonas.

	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F value	Pr(>F)
Mes	11	328,84	29,89	4108,4	<2,20E-16
Zonas	2	2,34	1,17	160,67	<2,20E-16
Mes*Zona	22	50,66	2,3	316,46	<2,20E-16
Residuales	357409	2600,64	0,01		

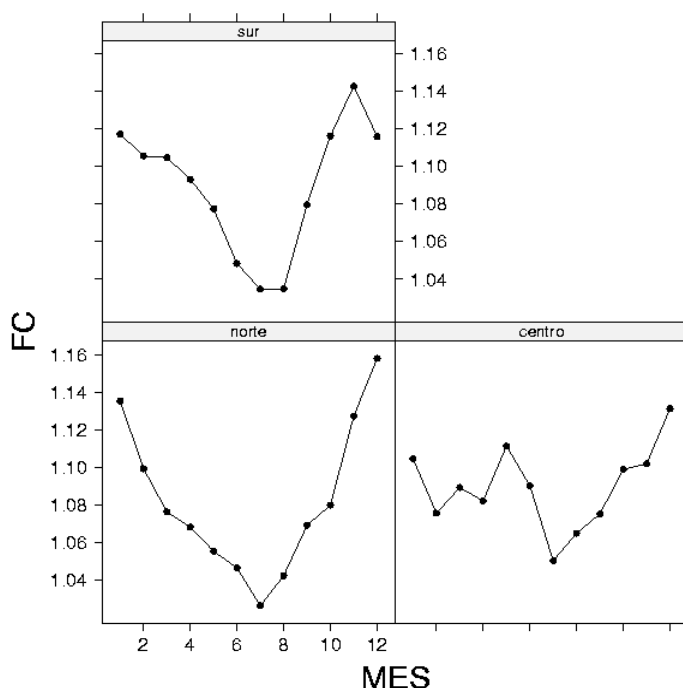


Figura D2.6.24. Variación mensual y entre zonas del factor de condición (FC) de jurel.

El índice gonadosomático de jurel varía significativamente entre meses y zonas (**Tabla D2.6.14**). Se observa que en las zonas norte y centro-norte de Chile, el IGS alcanza valores máximos de 1,8 para la época estival y con los mínimos en invierno, mientras que en la zona centro-sur presenta los valores más bajos (**Figura D2.6.25**). A su vez, en la zona centro-norte se observa un máximo en octubre, mientras que en la zona centro-sur ocurre en noviembre y en la zona norte en diciembre. Las diferencias podría deberse al tamaño de los ejemplares, ya que un análisis de varianza revela que hay diferencias significativas en el IGS entre clases de tamaño y entre zonas (**Tabla D2.6.15**). El efecto del tamaño en el IGS se ilustra en la **Figura D2.6.19**, donde se observa que los ejemplares menores a 20 cm no influyen en el IGS, y que los ejemplares de mayor tamaño corporal tienen mayor amplitud temporal que se refleja en el IGS.



Tabla D2.6.14.

Análisis de varianza para el índice gonadosomático de jurel entre meses y zonas.

	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F value	Pr(>F)
Mes	11	17645	1604	3467,6	<2,20E-16
Zonas	2	2004	1002	2166	<2,20E-16
Mes*Zona	22	1821	83	178,9	<2,20E-16
Residuales	149960	69371	0,4626		

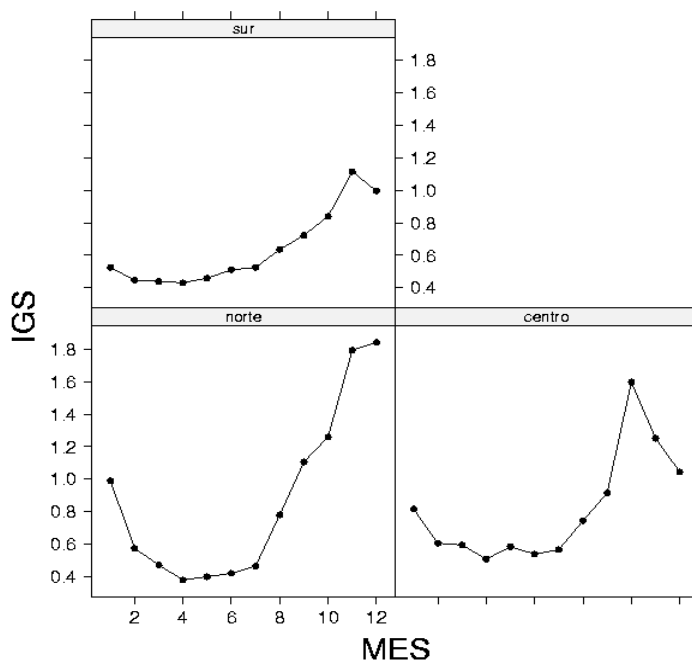


Figura D2.6.25. Variación mensual y entre zonas del índice gonadosomático (IGS) de jurel.

Tabla D2.6.15.

Análisis de varianza para el índice gonadosomático de jurel entre clases de tamaño, meses y zonas.

	gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F value	Pr(>F)
Clases	5	6967	1393	3147,236	<2,20E-16
Mes	11	16584	1508	3405,098	<2,20E-16
Clases*Zona	55	909	17	37,344	<2,20E-16
Residuales	149924	66380	0,442		



D.2.6.2. Discusión de los resultados del análisis de patrones de historia de vida.

En esta sección, se intenta identificar unidades de stock de jurel considerando como premisa la existencia de dos subpoblaciones de jurel en el Pacífico suroriental según lo propuesto por Serra (1991). Esto debido a las limitaciones impuestas por la información disponible para el resto del Pacífico sur. Para ello, se revisó: a) el nivel de abundancia y su distribución; b) estructura de tallas; c) tasa de crecimiento en peso del otolito, entre localidades; y d), indicadores reproductivos y de condición.

La unidad de stock debe ser identificada en términos del uso diferencial de hábitat en los cuales se identifica una estructura que determina un patrón de distribución espacio-temporal característico de la abundancia e historia de vida de un recurso. Esta estructura establece un patrón espacial en el que se reconoce un área de desove, un área de alimentación y una zona de crianza según el modelo del triángulo migratorio dentro del ciclo vital propuesto por Harden y Jones (1968). Más específicamente, establece que los patrones de distribución geográfica de las poblaciones marinas son establecidos y mantenidos por corrientes residuales conectando las áreas de desove con los sitios de crianza de juveniles. En contraste, la hipótesis miembro-vagabundo de Sinclair y Illes (1989) establece que los patrones de distribución son mantenidos por áreas que limitan la dispersión y advección de huevos y larvas e historia de vida temprana (**e.g.**, áreas de retención de huevos y larvas).

En el caso de la subpoblación chilena de jurel, Arcos **et al.** (2001) postulan que se estructura según la hipótesis de triángulo migratorio, e identifican: a) un hábitat oceánico de desove frente a Chile central, b) un hábitat de crianza, al norte de los 30°S y d) un hábitat de alimentación costero, con un núcleo de mayor abundancia



frente a Chile central. La conectividad entre el h3bitat de alimentaci3n y de desove est3 claramente documentado en t3rminos de una migraci3n estacional a comienzos de primavera desde la zona costera hacia el 3rea de desove oce3nica y una migraci3n hacia la costa durante el verano despu3s del desove (Serra, 1991, Grechina y Arcos, 1995). Informaci3n reciente sobre las zonas de pesca de la flota internacional y avalada por la zona de pesca de la flota rusa al sur de 40°S a fines del verano y otoño antes de los noventa (ver **figura D2.6.1**) sugieren tambi3n un proceso migratorio hacia el sur.

En relaci3n con el h3bitat de desove, los antecedentes m3s recientes confirman que el h3bitat de desove de jurel es oce3nico (Evsenko, 1987, Elizarov *et al.* 1993, Cubillos *et al.* 2008) y que est3 centrado en los 35°S y que podr3a extenderse m3s all3 de los 92°W, ya que la abundancia de huevos no ha sido cubierta en el l3mite occidental de las transectas (Cubillos *et al.* 2008). Seg3n Evseenko (1987) alcanzar3a hasta 100-105° O. Asimismo, el jurel prefiere desovar en aguas c3lidas con temperatura superficiales mayores a 15-16 °C y cuyo l3mite sur podr3a corresponder con el l3mite del frente subtropical (Elizarov *et al.* 1993).

Frente a Per3, Santander y Flores (1983) encontraron que el desove se extiende m3s de 120 millas n3uticas fuera de la costa; Gorbunova *et al.* (1985) comunicaron que el desove de jurel se ubic3 hasta 270 millas n3uticas a lo largo de una transecta localizada frente a 8°S en 1982. Muck *et al.* (1987) establecieron que la principal 3rea de desove frente a Per3 se localiza cerca de 200 millas n3uticas fuera de las costas sobre la base de 81 cruceros realizados entre 1964 y 1986. En dicho estudio, solamente una fracci3n pequeña de las muestras planct3nicas conten3an jurel ya que la mayor3a de los cruceros cubr3a las primeras 100 millas n3uticas de la costa. Aunque estos resultados sugieren el car3cter tambi3n oce3nico del desove de jurel frente a Per3, las caracter3sticas del h3bitat reproductivo y los l3mites y localizaci3n del desove son m3s bien inciertos.



La época de desove frente a Perú ocurre en primavera-verano. Abramov y Kotlyar (1980) señalan que la estación reproductiva del jurel se extiende desde junio a marzo, y con la mayor intensidad de desove en septiembre-octubre. Orrego y Machii (1989) analizan varios indicadores reproductivos y señalan que el desove se extiende desde octubre a marzo. Esta época coincide con la estacionalidad detectada en el índice gonadosomático a lo largo de Chile, y aunque existen diferencias significativas entre zonas, la época de máxima actividad reproductiva de jurel es bastante estrecha y ocurre entre noviembre y diciembre (ver **figura D2.6.25**).

La actividad reproductiva que se gatilla entre fines del invierno y comienzos de primavera determina la migración reproductiva de jurel hacia el área de desove en aguas oceánicas. De acuerdo con Nekrasov *et al.* (1994), las agregaciones más altas de jurel aparecían desde junio a diciembre en aguas oceánicas, y provenían desde la ZEE de Perú. Mientras que al sur de los 14°S, el jurel comenzaba a salir de la ZEE de Perú y Chile desde mediados de agosto (Kuznetsov 1994) y se extendía hasta diciembre (Arcos *et al.* 1995). Frente a Chile central, la mayor intensidad de captura en aguas oceánicas comenzaba en septiembre y terminaba usualmente en diciembre, o enero en algunos años y terminaba en diciembre (Arcos *et al.* 1995).

En consecuencia, se tiene certeza que el área de desove de jurel localizada frente a Chile central (30°S – 40°S) forma parte de la estructura de una población. Aunque no se tiene una evidencia tan fuerte sobre la existencia de otra área de desove en su distribución, en la literatura se reconoce que el jurel desova en aguas oceánicas frente a Perú (Santander y Flores (1983); Gorbunova *et al.* (1985); Muck *et al.* (1987)), desde los 4°N hasta los 18°S. En parte, esta falta de conocimiento se podría deber a que los cruceros de investigación en Perú están orientados a la evaluación de la anchoveta dentro de las primeras 100 millas



náuticas de la costa y considerando que existe una migraci3n fuera de la costa durante la 3poca en que los índices reproductivos son más altos, se deduce la existencia de un área de desove persistente en aguas oceánicas frente a la regi3n norte-centro de Perú. Esta inferencia ya había sido establecida por Serra (1991) y en este estudio se sustenta al considerar que en la regi3n norte y centro de Perú se observa la presencia de especímenes de mayor tamaño corporal (ver **Fig. D2.6.13**), típico de una estructura demográfica completa. A su vez, existe una asimetría a la forma de una imagen en términos de las tendencias opuestas en la distribuci3n espacial norte-sur del tamaño de jurel. En Perú, las tallas de jurel aumentan de sur a norte mientras que en Chile, las tallas aumentan de norte a sur.

Otro elemento importante que define una poblaci3n lo constituye el nivel de abundancia promedio. Siguiendo a Sinclair (1988) y Sinclair y Iles (1989), las diferencias en la abundancia promedio entre las poblaciones de la misma especie queda definida por el tamaño de las características físico-oceanográficas que restringen la dispersi3n de huevos y primeros estados de la historia de vida. Además, puede ocurrir vagancia densidad-dependiente (i.e., un incremento en la tasa de pérdidas en altos niveles de abundancia) para poder regular la abundancia sin mediar procesos tróficos densidad-dependientes. Esto podría explicar la invasi3n de jurel hacia el Pacífico occidental, cuando la abundancia de la subpoblaci3n fue máxima a fines de los años 80 y comienzos de los años 90.

Asimismo, las evaluaciones de biomasa acústica de jurel frente a Perú demuestran un nivel promedio alto (2 a 8 millones de ton), particularmente en la regi3n centro-norte (4°S-14°S) durante los años 80 hasta 1995. Después de 1997, el nivel de abundancia disminuye, se mantiene bajo hasta el 2007 (**Fig. D2.6.7**) y en el sector central y sur del Perú. Ñiquen y Peña (2008) interpretan que el jurel habría cambiado su distribuci3n espacial, permaneciendo en el sector sur y sustentado básicamente por juveniles. Una interpretaci3n alternativa acerca del



cambio en el nivel promedio de la abundancia frente a Perú se puede deber al enfriamiento general del sistema de corrientes de Humboldt durante el evento La Niña 1999-2000 (*e.g.* Bertrand *et al.* 2004) y que se establece a contar de 2002. Bajo esta condici3n ambiental, es muy factible que el límite norte de la subpoblaci3n sureña de jurel se distribuyera más septentrional, lo que explicaría la asociaci3n en los cambios de la proporci3n bajo talla en el periodo 1995-2006. Se destaca que Grechina *et al.* (1998) indica que los desplazamientos de jurel hacia fuera de los límites de la ZEE se relaciona con la salida de las aguas relativamente frías de la Corriente Peruana, en 8°S – 10°S, 14°S – 15°S, y 17°S - 20°S. En otras palabras, la baja abundancia de jurel en la zona centro-norte de Perú después de 1999 se podría deber a que el jurel no estuvo disponible al interior del área evaluada, probablemente refugiado en aguas oceánicas septentrionales más cálidas, por fuera de la ZEE de Perú. Bertrand *et al.* (2004) mostraron que en 1998 el jurel se cerca de la costa en la regi3n norte y posteriormente con la llegada de La Niña 1999 prácticamente desapareci3 de la zona probablemente debido a una migraci3n fuera de la costa peruana y una migraci3n latitudinal, ya que la distribuci3n se observ3 separada en dos grupos: uno al norte y otro al sur de Callao. Este comportamiento del jurel no había sido observado durante otros eventos El Niño frente a Perú, ya que se observaron niveles de biomasa de entre 6,5 y 8,5 millones de ton después de El Niño 1982-83, 1986-87, y 1989-93 (Muck y Sanchez 1987, Ganoza 1998). Por otra parte, Schwartzman *et al.* (2008) reconocen que la Niña 1999-2000 parece haber iniciado un periodo de surgencias más fuertes a lo largo de la costa. El periodo anterior al evento El Niño 1997-98 se caracteriz3 por la menor frecuencia de aguas frías costeras y más presencia de agua subtropical, y en particular en la regi3n norte de Perú.

En consecuencia, cuando el nivel promedio de biomasa de jurel frente a Perú es alto est3 relacionado con la distribuci3n de dicha biomasa en la regi3n norte (4°S-12°S), lo que sugiere un patr3n característico. Este patr3n ha sido evidente



cuando el agua subtropical estuvo más cerca de la costa, dominando el sistema de corrientes de Humboldt (ver también Alheit y Ñiquen 2004, y Alheit y Bakun 2009).

En la zona norte de Chile (18°S - 30°S), el nivel promedio de la abundancia de jurel se puede considerar baja, del orden de 200 mil a 2,7 millones de toneladas, con excepción de los primeros cruceros acústicos realizados en 1981 y 1982 (**Tabla D2.6.2**). Respecto de la distribución de dichos niveles de biomasa no se puede concluir un patrón persistente, en términos de una distribución asimétrica hacia el sur o norte. En algunos años se localiza hacia el norte de Antofagasta y en otros hacia el sur de Antofagasta. En comparación, la abundancia de jurel evaluada acústicamente durante otoño en la zona centro-sur de Chile es mayor y se caracteriza porque está sustentada por ejemplares de todos los tamaños. En este contexto, se infiere que frente a Chile centro-sur (33 - 42°S) se distribuye la abundancia de una subpoblación autosustentada. Probablemente, la biomasa de jurel en la zona norte de Chile sea parte de esta subpoblación donde preferentemente se acumulan ejemplares de menor tamaño corporal, por efecto de la corriente de deriva del Oeste y en general del Sistema de Corrientes de Humboldt (Fuenzalida *et al.* 2008). En efecto, el desarrollo de huevos y larvas en alta mar determina que en el sector oceánico exista una mayor probabilidad de encontrar juveniles. Bailey (1989), registra la presencia de juveniles de jurel de 4,5 a 8,5 cm en estómagos de atún al oeste de los 166°W .

Como consecuencia del desove oceánico de esta subpoblación de jurel, los juveniles de jurel que alcanzan los 20 cm tienden a acumularse hacia el este, alcanzando las costas de Chile probablemente al norte del límite sur de la posición de la convergencia subtropical. En este contexto, estructuralmente la subpoblación de jurel no tendría un área de crianza separada e identificable geográficamente, como fue planteado por Arcos *et al.* (2001), ya que los juveniles del año de jurel



parecen estar distribuidos principalmente en aguas oceánicas frente a la costa chilena (Grechina, 1992).

La estructura de tamaños de jurel en las pesquerías de cerco nacional y en la pesquería de altura rusa que operó entre 1979 y 1991, revela que estas flotas estuvieron explotando una misma estructura poblacional en su área de distribución frente a Chile. La alta asociación significativa entre los cambios interanuales de la fracción juvenil menor a 25 cm LH constituye una de las mejores evidencias, junto con el desove continuo entre la zona costera y la alta mar hasta aproximadamente 100-110°O. No obstante, en este análisis aparece con una asociación positiva y significativa entre la proporción de jurel menor a 25 cm de la zona norte de Chile con Perú, en el periodo 1995-2006; y débilmente entre la zona centro-norte de Chile con Perú. Asimismo, los cambios interanuales en la talla promedio de jurel de la fracción menor a 25 cm LH solamente estuvieron correlacionados significativamente entre la zona norte de Chile y Perú. Estas asociaciones se explican porque en la estructura de tallas de jurel colectados frente a Perú, en la fracción menor a 25 cm LH (~27 cm LT) influye el aporte de la región sur (14°S-18°S). En efecto, cuando se establece el grado de asociación de la talla media en la fracción mayor a 25 cm, no se detecta una correlación significativa con la zona norte. No obstante, aparece una relación significativa entre Perú y la zona centro-norte de Chile (Caldera-Coquimbo, **Tabla D2.6.7**). Es probable que los cambios interanuales en la estructura de tallas de jurel en Perú estén influenciados por la subpoblación chilena de jurel, ya que a contar de 2002 la flota peruana comenzó a operar principalmente en la región central y centro-sur (9°S-14°S), al desaparecer de la zona costera el jurel que sustentaba la pesquería en la zona norte (4°S-7°S) (Ñiquen y Peña, 2008).

Respecto de la tasa de crecimiento en peso del otolito, su utilidad para inferir unidades de stock no parece ser adecuada ya que presenta una varianza



heterogénea respecto de la longitud del pez, en particular en peces más grandes que 40 cm LH. Esta característica ya había sido discutida por Araya *et al.* (2001), y se pensaba que se debía a peces de diferentes edades a una misma talla. Sin embargo, al determinar la edad mediante lectura de *annuli* en otolito entero, no se pudo resolver tal efecto. Probablemente se requiere leer la edad en secciones delgadas de otolitos de peces longevos y de gran tamaño. Lo interesante, es que este cambio de varianza estaba mayormente representado en los jureles que provenían de Nueva Zelandia y en algunos de Chiloé y Talcahuano. Cuando se descartaron los datos de Nueva Zelandia, se pudo establecer que no existían diferencias significativas en la tasa de crecimiento en peso de los otolitos de jurel, lo que significa que la tasa de depósito de material en los otolitos es en promedio la misma en los jureles del margen oriental del Pacífico ya que se incluye la muestra de Perú. El peso del otolito presenta una mayor varianza respecto de la longitud y peso de los especímenes que la localidad. Por lo tanto, al tener una mayor variabilidad con la ontogenia determina su bajo poder para discriminar diferencias entre localidades.

En relación con los cambios estacionales en el IGS y factor de condición, se encontraron diferencias significativas entre zonas frente a Chile. Esto sólo permite señalar que el jurel presenta una expresión temporal diferencial en el comportamiento reproductivo, probablemente relacionado con la sincronía del proceso de maduración de la gónada en un gradiente latitudinal. En este contexto, se recomienda realizar un análisis de la dinámica reproductiva de jurel frente a Chile que abarque tópicos como efectos alométricos del desarrollo de la gónada respecto de la longitud del pez y peso corporal; efectos demográficos sobre la estacionalidad de la madurez (*e.g.* Somarakis et al. 2004), ya que muchos de estos aspectos son escasamente documentados para el jurel en la literatura.



D.2.6.4. Conclusiones de los patrones de historia de vida

Sobre la base de los indicadores aqu3 analizados y considerando la estructura de una poblaci3n autosustentada en la que se verifica un 3rea de desove con persistencia temporal y espacial, un nivel de abundancia caracter3stico, con una estructura demogr3fica completa, y un patr3n de reclutamiento similar, se concluye que no existe evidencia en contra de la hip3tesis de Serra (1991). Por lo tanto, se identifica una subpoblaci3n de jurel autosustentada con un n3cleo de mayor abundancia localizado frente a Chile central. En esta unidad de stock de jurel, se reconoce un patr3n espacial (geogr3fico) que est3 bien definido por su 3rea de desove, las migraciones reproductivas desde y hacia el 3rea de desove, la acumulaci3n ontogen3tica de jurel hacia las costas del sur de Per3 y norte de Chile, cuyo reclutamiento determina cambios interanuales similares en la estructura de tama3os en la fracci3n menor a 25 cm LH. El l3mite septentrional de esta unidad de stock es dif3cil de precisar debido a la condici3n expandida de su distribuci3n hacia el oc3ano y hacia el norte a contar del 2002, y que podr3a abarcar el sur de Per3.

Para la subpoblaci3n del norte de Per3, se sabe que el desove ocurre en aguas oce3nicas al norte de los 14°S. Aunque no se conoce con precisi3n los l3mites espaciales y la persistencia interanual del 3rea de desove de esta subpoblaci3n, se sabe que ocurre en aguas oce3nicas, y que produjo un nivel de abundancia alto (de 2 a 8 millones de toneladas) y que est3 sustentando por una estructura de tallas completa (12 a 66 cm LT). La variabilidad ambiental interanual (El Ni3o-La Ni3a) y de baja frecuencia (interdecadal) podr3an afectar la disponibilidad de esta subpoblaci3n a la pesca en el norte de Per3.



D.2.7. Marco oceanográfico

El objetivo es obtener y describir la información oceanográfica necesaria para dar un marco ambiental que permita caracterizar el hábitat oceánico del jurel en asociación con la estructura poblacional que detecte este proyecto, de acuerdo con la solicitud general de interpretar los patrones de distribución del recurso que se solicita en los TBR. Este tipo de información contiene una variabilidad espacio temporal no descrita anteriormente para una zona tan extensa asociada al jurel.

Cabe destacar la dificultad para definir el marco oceanográfico que sustentaría la estructura poblacional del jurel, toda vez que el análisis oceanográfico es un proceso de análisis paralelo al de su investigación en el jurel.

La pesquería del jurel desarrollada por flotas chilena, peruana y de países distantes (Rusia, China, Holanda, Vanuatu, Korea, Alemania, Islas Faroe) ha entregado una serie de antecedentes mostrando que se distribuye en una banda a lo largo de Sudamérica entre la costa y los 1500 km, y en una banda zonal entre los 35° S y 45° S que parte de la costa de Chile hasta Nueva Zelandia y Australia. Esta amplia distribución está basada especialmente en información que han publicado científicos rusos y neozelandeses y está limitada a los periodos 1980-1991 y 2002-2003. Aún así, sus resultados muestran que la distribución de las capturas no es homogénea y muestra una clara tendencia a mayores concentraciones en el área frente a Chile, mientras que una mayor dispersión al oeste de los 110°W (Nesterov & Church, 2006; Trotsenko *et al.*, 2006).

Dentro de este marco espacial en que se distribuye el jurel, el Pacífico sur presenta diversos procesos que actúan modificando las condiciones oceanográficas y meteorológicas en múltiples escalas espaciales (local, mesoescala, regional y oceánica) y temporales (intra-estacional, anual, inter-anual y decadal). En este contexto, la variabilidad anual (estacional), conducida por el



cambio anual de la radiaci3n solar, es la m1s marcada sobre el sistema atm3sfera-oce1no (Rojas y Silva, 1996; Strub *et al.*, 1998) y el sistema ecol3gico del Pac3fico sur. Dentro de esta escala temporal, una de las estructuras m1s caracter3sticas del Pac3fico sur es el anticicl3n del Pac3fico sur, el que tienen un desplazamiento estacional (25°-33°S entre invierno y verano, respectivamente), y gobierna el sistema de vientos de gran escala de esta parte del oce1no. Los vientos asociados al anticicl3n conducen el giro subtropical, el cual esta limitado al sur por la presencia del frente subtropical y la corriente de deriva del oeste, mientras que hacia la costa por el sistema de surgencia costero (Bakun & Nelson, 1991). Al aproximarse al continente americano el frente se vuelve hacia el norte con una definici3n espacial difusa (Stramma *et al.*, 1995), posiblemente asociado a una rama de la corriente de deriva del oeste que viaja hacia el norte, la corriente de Humboldt, mientras que la otra rama se mueve hacia el sur formando la corriente del Cabo de Hornos. Por otro lado, en la secci3n sur de la corriente de deriva del oeste aparece el frente Polar ant1rtico o convergencia Ant1rtica (60° S) (Tomczak & Godfrey, 1994; Strub *et al.*, 1998). Estos frentes oce1nicos, cuya posici3n norte-sur deber3a estar determinada por la estacionalidad de los vientos y corrientes, muestran una evidente coherencia espacial con la banda oce1nica en la que se distribuyen las mayores capturas de jurel de la flota rusa. La extensi3n espacial, la lejan3a del continente y la falta de datos hace que la identificaci3n y caracterizaci3n f3sica-qu3mica-biol3gica de este tipo de frentes en el Pac3fico sur est3 muy limitada a muy pocas investigaciones y reci3n en la 3ltima d3cada, con la incorporaci3n de las boyas Argo, se est3 generando una mejor aproximaci3n a este tipo de estructura.

Por otro lado, a lo largo de la costa Sudamericana y espec3ficamente en las costas de Per3 y norte de Chile, el viento a escala regional y local genera una surgencia casi permanente; mientras que al sur de los 33° S, aunque aumenta en intensidad, la estacionalidad del sistema de vientos conduce una estaci3n de surgencia que abarca



principalmente el periodo primavera y verano (Bakun & Nelson, 1991). Este sistema de surgencia tiende a concentrar la productividad en una pequeña banda costera trayendo como consecuencia la formación de una de las zonas más productivas del océano posiblemente limitada por el frente de surgencia (Bakun, 1996). Al mismo tiempo, modelos oceanográficos muestran que las inestabilidades de las corrientes asociadas al frente tienen el potencial de generar giros de mesoescala que se propagan hacia el oeste sirviendo como un mecanismo de exportación de masa y energía (Batteen *et al.*, 1995). Además de estar asociados a la zona de surgencia, los giros de mesoescala también parecen estar relacionados a los frentes oceánicos (frente subtropical y subantártico) (Hormazabal *et al.*, 2004a), pero en general el rol ecológico y la dinámica espacial e interna de estas estructuras oceanográficas no ha sido estudiada en el Pacífico Sur.

Además de las interacciones, entre los diferentes procesos y mecanismos en sus diferentes escalas espacio-temporales, los eventos El Niño/La Niña modifican de manera aperiódica la intensidad de los vientos, la intensidad de la surgencia, el frente subtropical, la corriente de deriva del oeste y los campos verticales y horizontales de temperatura y salinidad, la distribución de algunos organismos (Strub *et al.*, 1998) y posiblemente el número e intensidad de los giros de mesoescala presentes en la zona.

Área de Desove

De acuerdo a la información biológica y pesquera del jurel (Arcos *et al.*, 2001; Sepúlveda *et al.*, 2001), en el Pacífico Suroriental la población de jurel está organizada en tres hábitats distintos: 1) una zona de crianza de juveniles localizada en aguas oceánicas al norte de los 30°S, 2) una zona de alimentación donde se congregan los adultos y ocurre el reclutamiento de juveniles de 2 a 3



años en la zona centro-sur de Chile, y 3) un área oceánica principal de desove frente a Chile centro-sur. Respecto de la distribución espacial de jurel en el Pacífico Suroriental, se ha establecido la existencia de un patrón de migración estacional hacia el hábitat reproductivo oceánico en el comienzo de la primavera, principalmente entre los 32-40° S y presumiblemente hasta más allá de los 92° W y una migración hacia la costa durante el verano asociada a la mayor disponibilidad de alimento en aguas costeras de Chile central (Serra, 1991; Gretchina *et al.*, 1998; Arcos *et al.*, 2001).

Durante el otoño y comienzos del invierno, la especie se agrega en cardúmenes compactos en aguas costeras y oceánicas de Chile central, incrementando la disponibilidad de agregaciones comerciales para la pesquería chilena de cerco, con el 39–90 % de éstas entre la superficie y los 100 m de profundidad (Arancibia *et al.*, 1995). Por el contrario, durante el desove que ocurre principalmente entre los meses de Octubre y Diciembre (aunque puede extenderse entre septiembre y enero, Gretchina *et al.*, 1998; Oyarzún *et al.*, 1998), el jurel se encuentra ampliamente distribuido en la columna de agua hasta 300 m de profundidad y sólo entre el 9 y 47,5 % se encuentra en los primeros 100 metros, formando agregaciones más pequeñas y dispersas en comparación con las observadas en el período otoño-invierno (Barbieri *et al.*, 1998).

Evseenko (1987) ha sugerido que el desove del jurel estaría confinado a la Zona de Convergencia Subtropical, que se extiende desde Chile hasta los 150 – 160° W. Investigadores chilenos han reportado importantes núcleos de abundancia de huevos de la especie frente a Chile central, principalmente entre los 82° – 92° W y entre los 33° – 39° S (Sepúlveda *et al.*, 2001; Núñez *et al.*, 2004; Cubillos *et al.*, 2008), en tanto que investigaciones rusas que han analizado sobre 10 años de datos ictioplanctónicos en esta región (Elizarov *et al.*, 1993), han reportado concentraciones de huevos de jurel en un área similar, pero sobre la base de los



trabajos de Evseenko (1987). En sentido estricto, el desove reportado para la zona al oeste de 120°W es muy escaso y corresponde más bien a extrapolaciones sobre la base de algunas postlarvas y juveniles encontrados.

Aunque las relaciones entre la distribuci3n de productos del desove (huevos y larvas de jurel) y las condiciones ambientales y los mecanismos que controlan su variabilidad espacio-temporal en esta amplia zona de desove, no han sido claramente establecidos, se ha sugerido que el desove est1 confinado a la zona de la convergencia subtropical caracterizada por alimento de peque1o tama1o, aguas comparativamente m1s c1lidas (Evseenko, 1987) y que podr1a relacionarse con cambios en la temperatura superficial del mar, meandros y zonas frontales donde las larvas de jurel podr1an verse favorecidas en su asociaci3n con convergencias y divergencias presentes en el h1bitat de desove oce1nico frente a Chile central (Cubillos *et al.*, 2002).

Por otra parte, investigaciones llevadas a cabo en el Instituto de Investigaci3n Pesquera, en el marco de proyectos del Fondo de Investigaci3n Pesquera, sobre la distribuci3n de huevos y larvas de jurel modelada geostad1sticamente, han mostrado: 1) La existencia de un 1rea de desove principal del jurel localizada en la alta mar contigua a Chile central, la cual es recurrente a trav1s de los a1os y en la que se manifiesta una alta actividad reproductiva entre los meses de noviembre-diciembre (Sep1lveda *et al.*, 2001; Cubillos *et al.*, 2002; Sep1lveda *et al.*, 2004); 2) Un mayor porcentaje del desove asociado a aguas oce1nicas frente a Chile central (33-38°S) y entre los 82 y m1s all1 de los 92° W) (Sep1lveda *et al.*, 2002 & 2003; N11ez *et al.*, 2004; Cubillos *et al.*, 2008); 3) Mayores densidades de huevos y larvas de jurel asociadas a temperaturas superficiales que fluctuaron entre los 16°-18°C, vientos moderados ($4-8 \text{ m s}^{-1}$), turbulencias menores a $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$, y bajas velocidades de corrientes ($< 15 \text{ cm s}^{-1}$) (N11ez *et al.*, 2004; Sep1lveda *et al.*, 2006; Cubillos *et al.*, 2008; N11ez *et al.*, 2008).



Por los antecedentes expuestos, se analizó desde el punto de vista de las variables oceanográficas más importantes un área frente a Chile central extendida hacia el área de desove del recurso.

D.2.7.1. Resultados del análisis oceanográfico

D.2.7.1.1. Océano Pacífico Sur Oriental

D.2.7.1.1.1. Batimetría

De la zona del Pacífico Sur Oriental (PSO), la topografía del fondo marino presenta rasgos notables especialmente la cordillera del Pacífico Este, la que se levanta desde el fondo ubicado a 4000 m y se desarrolla a lo largo de los 120°W (**Fig. 2.7.0**). A partir de esta cordillera se proyectan la cordillera de Nazca hacia el norte y la cordillera de Chile hacia el sur definiendo las grandes cuencas de Perú y Chile. Estas cadenas montañosas submarinas llegan a aflorar en forma de islas como la Isla de Pascua, Salas y Gómez, San Félix y San Ambrosio, mientras que el Archipiélago de Juan Fernández aparece como una rama relictiva o montes individuales. Además de estas grandes cadenas aparece la fosa de Perú-Chile la cual es generada por la subducción del piso marino bajo el continente americano y puede alcanzar 5000 m de profundidad.

D.2.7.1.1.2. Descripción de campos medios y variabilidad estacional

a) Esfuerzo del viento (τ)

El campo medio del esfuerzo del viento muestra el patrón general de circulación atmosférica en superficie, caracterizado por el predominio de viento hacia el oeste en la zona tropical (alisios) y hacia el este en la región al sur de ~36°S (vientos del oeste), con mínimas intensidades de τ en la región



subtropical (entre $\sim 27^{\circ}$ - 37° S) (**Fig.D2.7.1**). Sobre los bordes oriental y occidental predominan los vientos hacia el Ecuador, siendo particularmente intensos en el borde oriental. De esta forma, en el Pacífico suroriental (**Fig.D2.7.2**) se configura una celda de circulación anticiclónica centrada en $\sim 29^{\circ}$ S- 98° W, mostrando las mayores magnitudes de τ ($> 0.01 \text{ N m}^{-2}$) al sur de 37° S, vinculado a los vientos del oeste. Frente a Chile central, la celda anticiclónica presenta un núcleo con altas intensidades de τ , vinculado a la ocurrencia de un jet costero (Garreaud y Muñoz, 2005), cuyo eje principal se ubica aproximadamente a $\sim 200 \text{ km}$ de la costa. En el borde norte de la celda anticiclónica se presenta una región con niveles moderados de τ (~ 0.08 - 0.12 N m^{-2}) que registra un máximo frente a la zona sur de Perú. Los menores niveles de τ ($< 0.05 \text{ N m}^{-2}$) del Pacífico suroriental se presentan entre ~ 26 - 37° S y al oeste de ~ 78 - 80° W, asociados al centro de la celda anticiclónica. Desde esta región se visualiza hacia el sureste una franja con bajo τ , la cual se extiende hasta la región costera entre ~ 38 - 42° S. Otra región con mínimos niveles de τ se observa en la zona costera del norte de Chile y Perú.

En el Pacífico suroriental la variabilidad estacional de τ está principalmente relacionada con los cambios en la extensión y la posición del anticiclón subtropical (**Fig.D2.7.2**). Dicho anticiclón presenta su posición más austral durante el verano, periodo en que τ es mínimo frente a Perú y el norte de Chile. Conjuntamente, en la zona de transición costera frente a Chile central, el núcleo con máximo τ se intensifica y localiza entre ~ 30 - 38° S, asociado a una mayor frecuencia y extensión hacia el sur de los eventos de jet costero (Garreaud & Muñoz, 2005). En otoño el núcleo del anticiclón se desplaza hacia el noreste, observándose un incremento de τ frente a Perú y el norte de Chile. La posición más septentrional y oceánica del anticiclón se observa en invierno, periodo en que se registran las máximas magnitudes de τ frente a Perú y el norte de Chile. En la transición costera de Chile central, el núcleo de máximo τ exhibe un desplazamiento al norte de $\sim 34^{\circ}$ S y una



disminuci3n de su intensidad, comportamientos vinculados a la menor extensi3n meridional y frecuencia del jet costero (Garreaud & Mu1oz, 2005). Adicionalmente, en la regi3n oce1nica frente a Chile central, se observa un aumento de τ vinculado a una intensificaci3n de los vientos del oeste. En primavera, el anticicl3n subtropical se desplaza hacia el sureste, disminuyendo la magnitud de τ frente a Perú y aumentando en la transici3n costera frente a Chile central. Adem1s, se observa una disminuci3n de τ en la regi3n oce1nica frente a Chile central.

b) Corriente y transporte superficial (CS y TS)

Asociada al patr3n del viento, la circulaci3n oce1nica del Pacífico sur muestra un patr3n general caracterizado por un predominio de CS/TS con direcci3n hacia el suroeste en la regi3n tropical, sureste-este entre $\sim 23\text{-}36^\circ\text{S}$ y noreste entre $36\text{-}45^\circ\text{S}$ (**Fig. D2.7.3 y D2.7.5**). Este patr3n se modifica en los bordes occidental y oriental, observ1ndose en este 1ltimo un predominio de CS/TS hacia el noroeste frente a Chile central, y al oeste-suroeste frente a Perú. Las mayores magnitudes de CS/TS ($> 10 \text{ cm s}^{-1} / > 0.30 \text{ Sv}$) se presentan en la regi3n tropical, en el borde occidental (regi3n costera frente a Australia y Nueva Zelandia) y en el l3mite sur del 1rea de estudio ($\sim 50^\circ\text{S}$). M3nimos niveles de CS/TS ($< 1 \text{ cm s}^{-1} / < 0.05 \text{ Sv}$) se observan en la regi3n directamente influenciada por el anticicl3n del Pacífico suroriental.

Al examinar en detalle el Pacífico suroriental, es posible distinguir altos niveles de CS/TS ($> 4 \text{ cm s}^{-1} / > 0.075 \text{ Sv}$) frente a Perú, en la transici3n costera frente a Chile central y en la regi3n oce1nica que se extiende al oeste del $\sim 84^\circ\text{W}$, entre $\sim 32\text{-}45^\circ\text{S}$ (**Fig. D2.7.4 y D2.7.6**). En dichas regiones CS/TS exhibe una direcci3n hacia el suroeste, noroeste y este-noreste, respectivamente. Los m3nimos niveles de CS/TS ($< 1 \text{ cm s}^{-1} / < 0.035 \text{ Sv}$) se observan en la regi3n oce1nica subtropical (al oeste de 90°W y entre $\sim 24\text{-}30^\circ\text{S}$) asociados al centro del anticicl3n subtropical. Desde esta regi3n se proyecta hacia el sureste una franja con bajos niveles de



CS/TS ($\sim 2 \text{ cm s}^{-1}/\sim 0.05 \text{ Sv}$), la cual alcanza la región costera de Chile centro-sur entre $\sim 38\text{-}42^\circ\text{S}$ (similar al patrón observado en τ). Frente a la zona norte de Chile, entre $\sim 18\text{-}23^\circ\text{S}$, existe otra región con bajos CS/TS que se extiende hasta $\sim 90^\circ\text{W}$. La variabilidad estacional de CS/TS presenta un comportamiento similar a τ , **evidenciando la fuerte conexión entre estas variables asociada a la dinámica de Ekman (Fig. D2.7.3 y D2.7.5)**. En la transición costera frente a Chile central, máximas (mínimas) intensidades de CS/TS se observan en verano (invierno), vinculadas al fortalecimiento (debilitamiento) del jet costero del viento. Contrariamente, frente a Perú y en la región oceánica frente a Chile central, el máximo (mínimo) CS/TS se registra en invierno (verano). La franja de bajo CS/TS frente a Chile centro-sur también presenta una importante variabilidad estacional, siendo máxima su extensión en verano y desapareciendo en invierno.

c) Energía cinética (EC)(EKE - Eddy kinetic Energy)

La EC en el Pacífico sur exhibe altos niveles ($> 100 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$) en la región ecuatorial (particularmente en su borde occidental), frente a la costa oriental de Australia y de la Isla Norte de Nueva Zelandia y en la región subtropical del Pacífico occidental y central (entre $18\text{-}30^\circ\text{S}$ y al oeste de 120°W), esta última región asociada a la Zona de Convergencia del Pacífico sur (**Fig. D2.7.7**). A excepción de su costa nororiental, los menores niveles de EC ($< 20 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$) se presentan alrededor de Nueva Zelandia. Otras regiones del Pacífico sur con baja EC, corresponden a la región subantártica suroriental y a la región subtropical oriental.

Comparado al Pacífico suroccidental, central y tropical, el Pacífico suroriental muestra un predominio de bajos valores de EC. Sus máximos niveles de EC ($\sim 40\text{-}120 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$) se presentan dentro de los primeros $\sim 600\text{-}800 \text{ Km}$ de la costa sudamericana, al norte de 39°S , vinculados a la intensa actividad de mesoescala que define a la zona de transición costera (**Fig. D2.7.8**). Dentro de la zona de



transición costera, los sitios con máxima EC ($>80 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$) se observan al norte de 12° S , entre $\sim 15\text{-}18$ y entre $\sim 24\text{-}38^\circ \text{ S}$. Otra región de alta EC se encuentra en una franja oceánica al oeste de $\sim 85^\circ \text{ W}$, extendida latitudinalmente entre $\sim 32\text{-}40^\circ \text{ S}$, la cual presenta niveles ligeramente inferiores a los observados en la transición costera de Chile central. Entre esta región oceánica y la transición costera de Chile central se distingue una franja con niveles bajos a intermedios de EC ($\sim 25 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$), la cual es coincidente con la franja de bajo T, TS y CS anteriormente mencionada. Mínimos niveles de EC ($\sim 5\text{-}20 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$) se presentan en la región oceánica subtropical al oeste de la zona de transición costera, y en la región subantártica al sur de $40\text{-}42^\circ \text{ S}$ (**Fig. D2.7.8**).

La distribución latitudinal de la región con alta EC frente a Chile central evidencia una importante variabilidad estacional, registrando su posición más austral (septentrional) durante otoño (primavera) (**Fig. D2.7.8**). Frente a Perú y la zona norte de Chile no se distingue una fluctuación meridional en el campo de EC, pero se observa una mayor (menor) intensidad de EC durante otoño (primavera). La región oceánica de alta EC que se extiende entre $32^\circ\text{-}41^\circ \text{ S}$ no muestra una clara estacionalidad, sin embargo, se distingue una ampliación hacia el este del núcleo con $\text{EC} > 30 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ durante primavera (**Fig. D2.7.8**).

d) Temperatura superficial del mar (TSM – promedio de los primeros 50 m)

La TSM muestra un fuerte gradiente hacia el ecuador ($>20^\circ \text{ C}$ entre $5\text{-}50^\circ \text{ S}$, 150° E), siendo este la principal estructura observada en casi todo el Pacífico sur, con excepción de la región tropical y subtropical oriental. En estas dos últimas regiones se distinguen importantes gradientes con dirección oeste y noroeste, respectivamente (**Fig. D2.7.9**). En el Pacífico suroriental, se distingue un predominio del gradiente zonal desde la región ecuatorial hasta $\sim 30^\circ \text{ S}$, y un predominio del gradiente meridional al sur de 34° S (**Fig. D2.7.10**). Al sur de 38° S y



aproximadamente a 120 km de la costa, se distingue una ligera desviaci3n de las isotermas hacia el sur. Las bajas TSM observadas frente a las costas de Sudamérica pueden ser vinculadas principalmente a la surgencia costera modulada por el esfuerzo del viento a lo largo de la costa.

La variaci3n estacional de la TSM en el Pacífico suroriental se caracteriza por un máximo desplazamiento hacia el sureste (noroeste) de las isotermas en otoño (primavera), con un aumento (disminuci3n) del gradiente zonal y meridional de TSM (**Fig. D2.7.10**). El desplazamiento meridional es evidente en la posici3n de la isoterma de 16°C, la cual se localiza en ~39°S en otoño y al norte de 34°S en primavera.

e) Salinidad superficial (SS – promedio de los primeros 50 m)

Dentro del Pacífico sur, el máximo de SS ($> 35 \text{ g kg}^{-1}$) está vinculado a las aguas subtropicales de la regi3n central y oriental (entre ~10° y ~30°S), mientras que la mínima SS ($< 34 \text{ g kg}^{-1}$) está asociada a las aguas subantárticas de la regi3n oriental (entre ~36° y ~50°S) (**Fig. D2.7.11**). En la transici3n entre estas dos masas de agua se localiza el Frente Subtropical (FST), asociado a SS de ~34.64-34.85 g kg^{-1} , y el Frente Subantártico (FSA), asociado a SS entre ~34.1-34.2 g kg^{-1} . Dentro del Pacífico **suroriental, el centro de máxima SS se localiza entre ~18-26°S y al oeste de 96°W (Fig. D2.7.12)**. En la regi3n costera frente a Chile, se distingue una penetraci3n de aguas de baja SS hacia el norte, generándose un mínimo zonal aproximadamente a 150 km de la costa.

El patr3n estacional de la SS frente a Chile central difiere entre la regi3n costera y oceánica. En los primeros 400 Km costa afuera, la SS es mínima en primavera y máxima en otoño, mientras que desde los 400 km hacia el oeste la SS es mínima en invierno y máxima en otoño (**Fig. D2.7.12**). Un análisis más detallado de la



variabilidad estacional de las isohalinas vinculadas a FST y FSA se presenta en la sección Frentes Oceánicos.

f) Clorofila SeaWiFS (CL)

El campo medio de CL del Pacífico sur muestra una amplia región con concentraciones $< 0.1 \text{ mg m}^{-3}$ en la región subtropical entre $\sim 170^{\circ}\text{E}$ y $\sim 85^{\circ}\text{W}$, la cual se extiende hacia la banda ecuatorial en su borde occidental (**Fig. D2.7.13**). El área de esta región varía estacionalmente, presentando una mayor (menor) extensión zonal y meridional durante verano (invierno). En la región tropical y subantártica (i.e. al norte y sur de la región subtropical de baja productividad) se distinguen niveles de CL entre $\sim 0.1\text{-}0.3 \text{ mg m}^{-3}$, exceptuando la región contigua a Nueva Zelanda que presenta concentraciones entre $\sim 0.3\text{-}0.75 \text{ mg m}^{-3}$. La región con mayores concentraciones de CL corresponde a la franja costera de Perú y Chile, la cual exhibe valores superiores a 1 mg m^{-3} . En el Pacífico suroriental, la mayor extensión costa afuera de aguas ricas en CL se observa frente a Perú y Chile central, siendo mínima frente a la zona norte de Chile (**Fig. D2.7.14**). Los mayores gradientes de CL se observan dentro de la zona de transición costera, disminuyendo considerablemente en la zona oceánica. En 36°S , la CL disminuye desde ~ 5 a 0.2 mg m^{-3} en los primeros 400 km costa afuera, y desde ~ 0.2 a 0.15 mg m^{-3} en los siguientes 400 km, observándose una menor variación zonal a medida que se avanza hacia el oeste.

La CL presenta un marcado ciclo estacional en la región costera frente a Perú y Chile, con máximas (mínimas) concentraciones en verano (invierno) asociadas al ciclo anual de τ (**Fig. D2.7.14**). Por el contrario, las máximas (mínimas) concentraciones de CL en la región oceánica se registran en invierno (verano), probablemente relacionadas con la dinámica de remolinos de mesoescala originados en la región costera, estructuras que tardan ~ 6 meses en llegar a la región oceánica (Correa-Ramírez *et al.*, 2007). La variación estacional de la CL en



la región oceánica frente a Chile central se evidencia al examinar el comportamiento de la isolínea de 0.1 mg m^{-3} en 36°S . Dicha isolínea se sitúa en $\sim 87^\circ\text{S}$ durante el verano, se desplaza a $\sim 91^\circ\text{W}$ durante el otoño, se extiende al oeste de 100°W en invierno y retrocede a 93°W en primavera (**Fig. D2.7.14**).

g) Profundidad de la capa de mezcla (H_{mix})

El campo medio de H_{mix} presenta máximos valores ($> 60 \text{ m}$) al sur de 40°S , en el Pacífico ecuatorial central y en el Pacífico subtropical suroriental (**Fig. D2.7.15**). Mínimos valores de H_{mix} ($< 30 \text{ m}$) se registran frente a la costa Sudamericana y en el Pacífico occidental ecuatorial-subtropical. Dentro del Pacífico sur H_{mix} presenta una variación estacional promedio de 70 m , alcanzando profundidades máximas durante la estación de invierno y mínimas en verano.

Al examinar en detalle el Pacífico suroriental, se distinguen niveles de H_{mix} mayores a 60 m en la región oceánica subtropical (al oeste de 84°W y entre ~ 17 - 23°S) y en la región al sur de 45°S (**Fig. D2.7.16**). La región costera frente a Perú y Chile tiene valores de H_{mix} inferiores a 30 m , sin embargo la precisión de estos estimados no es apropiada de acuerdo al índice de calidad (< 0.5 , contornos grises en Fig. D2.7.16). En la región oceánica frente a Chile central, H_{mix} promedio es de ~ 40 - 50 m .

El ciclo estacional de H_{mix} en el Pacífico suroriental presenta una intensa variabilidad estacional similar a la observada en todo el Pacífico sur (**Fig. D2.7.16**), exhibiendo máximas profundidades en invierno ($> 80 \text{ m}$) y mínimas en verano ($< 40 \text{ m}$). Esta intensa fluctuación anual podría ser en parte vinculada con el ciclo anual del viento, el cual induce una máxima mezcla turbulenta en invierno, cuando el anticiclón subtropical tiene su menor extensión.



D.2.7.1.1.3. Frentes Oce3nicos en el PSO (Frente Subtropical –FST- y Frente SubAntartico -FSA-)

Las caracteristicas de los frentes oce3nicos (FST y FSA) han sido abordadas por un n3mero reducido de investigaciones (**Tabla D2.7.1**), debido a la envergadura espacial de este tipo de estructuras oce3nicas y el costo que implica estudiarlas. Estas investigaciones se han centrado en las caracteristicas de estos frentes con un n3mero limitado de transectas oceanogr3ficas al este de los 120°W, las cuales son ocasionales y diflcilmente podrían permitir observar una estacionalidad.

Tabla D2.7.1.

Valores de salinidad y temperatura en que esta caracterizado el FST y el FSA.

Autor	Frente	Parámetro	Longitud
Chaigneau & Pizarro, 2005	FST	34,8 - 34,2 psu (media = 34,5)	88°W
		34,9 - 34,2 psu (media = 34,5)	103°W
Sun & Watts, 2002	FSA	34,2 - 34,1 psu	103°W
	FSA	34,0 - 34,0	90°W
Stramma <i>et al.</i> , 1995	FST	17° - 15°C	O. Pacífico
		35 - 34,5 psu	
Hanson & Lowery, 1985	FSA	34,2 34, 05 psu	90°W

Basados en estas investigaciones, se establecieron rangos con los cuales es posible tener una primera aproximaci3n a la identificaci3n y ubicaci3n de estos frentes: FST (34,65 y 34,85 psu) y FSA (34,1 y 34,2 psu). De acuerdo a la informaci3n publicada (Fedorov, 1985; Stramma *et al.*, 1995), respecto a las caracteristicas de frentes y su envergadura espacial, se estableci3 preliminarmente que la distribuci3n de salinidad asociada a ellos era un mejor indicador que la temperatura, ya que esta última era modificada con mayor intensidad y rapidez por el ciclo anual y perturbaciones intra e interanuales. Por lo anterior y en base a rangos de salinidad se identific3 la distribuci3n espacial de cada uno de estos frentes a lo largo del ańo en el Pacífico sur (**Fig. D2.7.17**). Los



valores de temperatura correspondientes fueron variando según la estación, presentándose el FST en valores de temperatura de 20° - 21°C en verano - otoño y en temperaturas de 16° - 18°C en invierno - primavera, en tanto que el FSA quedó definido por temperaturas que fluctuaron entre 16° y 18°C en verano - otoño y entre 13° y 15°C en invierno - primavera.

Los resultados muestran que entre los 100° y 120°W, aparece una zona de inflexión, ya que hacia el oeste los contornos de temperatura y salinidad se separan. La temperatura asociada a ambos frentes sigue describiendo una banda entre los 32° y 40°S, mientras que la salinidad se proyecta hacia el sur. A este respecto, los contornos de salinidad que definen al FST llegan a cruzar completamente la banda que describen los contornos de temperatura, mientras que las isohalinas del FSA se proyectan hacia la corriente circumpolar y el Cabo de Hornos. Por otro lado hacia el este, los contornos de salinidad y temperatura que definen ambos frentes son coincidentes espacialmente a través de todo el año (**Fig. D2.7.17**).

Por todo lo anterior se analizó estacionalmente la zona del PSO (**Fig. D2.7.18**), donde se observa que tanto el FST y el FSA se vuelven hacia el norte alrededor de los 87°W siguiendo el quiebre de las isothermas, para luego acercarse hacia el continente en forma más difusa y poco definida.

Entre el FST y el FSA presentan una banda que abarca entre los 32° y 38°S, con movimientos estacionales que pueden hacer llegar el FSA hasta los 40°S en verano y 37° en invierno, mientras que el FST no presenta movimientos tan notables. Cabe señalar que la banda que encierran ambos frentes entre los 100° y 80°W tiende a presentar una mayor separación en verano que en el resto de las estaciones del año. Al este de los 85°W el FST abarca entre los 24° y 27°S siendo relativamente estable durante el año. En cuanto al movimiento latitudinal de los



contornos que caracterizan el FSA, se observa que en verano - otoño, los contornos se desplazan entre los paralelos 33° y 38°S, mientras que en la época invierno - primavera se observa un aumento en las latitudes, entre 33° y 35°S.

D.2.7.1.1.4. Influencia espacial de la Surgencia

La variabilidad de la TSM asociada al ascenso de aguas a las capas superficiales, hace que en las zonas donde ocurre continuamente surgencia la amplitud anual de la señal de TSM sea menor que la zona adyacente, por lo que la varianza de la TSM, ha sido tomada como un indicador espacial de la zona de influencia de la surgencia. Las figuras **D2.7.19** y **D2.7.20** muestran la distribución espacial de la varianza de la TSM calculada sobre imágenes semanales de TSM que abarcaron entre 1985 y 2006. Estas distribuciones permiten apreciar la gran zona de surgencia de Perú (14°-16°30'S) que puede llegar a abarcar más de 300 km a lo largo de la costa y 150 km hacia el océano (**Fig. D2.7.19a**). Por otro lado a lo largo de la zona norte de Chile (18°-26°S), se forma una banda costera de estrecha extensión hacia el océano (~40 km), pero que abarca entre los 18°S a 24°30'S (~725 km) (**Fig. D2.7.19b**).

En la zona central de Chile sólo resaltó un foco no bien definido centrado en los 29°S (**Fig. D2.7.20**), entre isla Choros e isla Damas. Por otro lado entre los 30°S y 43°S se desarrolla una identificable banda costera que alcanza el máximo entre los 35° y 37°S en una amplia zona de 330 km de largo, cuya extensión hacia el oeste puede superar los 200 km frente a lo 36°S.

Los valores de varianza asociados a estas zonas pueden fluctuar dependiendo de la latitud, pero aun así aunque se presenten diferentes escalas tanto para la zona de Perú como de Chile, la distribución espacial de estos valores permite reconocer estructuras oceanográficas características de la zona. Valores de varianza de TSM



menores a 6°C son observados en Per3 y norte de Chile y valores menores a 2,5°C en la zona centro y centro - sur de Chile.

Es posible observar tambi3n, que las mayores diferencias de varianza de TSM entre la banda costera y el oc3ano son m3s evidentes en Per3 y norte de Chile que en el centro-sur de Chile donde la variabilidad de TSM en el oc3ano son del orden de los 3°C aproximadamente, mientras que en Per3 y en la zona norte de Chile son alrededor de los 10°C.

D2.7.1.2. 3rea de Desove

Estaciones de muestreo de la zona de desove de jurel y su proyecci3n hacia el oc3ano interior permiten delimitarla aproximadamente (**Figura D2.7.21**).

D.2.7.1.2.1. Temperatura promedio y variabilidad de la temperatura en el 3rea de desove

La distribuci3n de la temperatura en el 3rea de desove (**Figura D2.7.22**) presenta un incremento en direcci3n sureste-noroeste, desde temperaturas inferiores a 15°C al sur de los 39°S que incrementan hasta un n3cleo de temperaturas superiores a 20°C ubicado al norte de los 32°S y al oeste de los 90°W, t3picas del centro del giro subtropical. Al oeste de los 85°W los contornos de temperatura de 15 a 17°C se observan m3s estrechos, posiblemente debido a la ubicaci3n del frente subtropical.

Durante el mes de noviembre la temperatura en toda la regi3n se presenta alrededor de 1.5°C por debajo del promedio, lo que causa que los contornos se observen desplazados hacia el norte (**Figura D2.7.22 inferior**). En este mes ocurre la transici3n de invierno a verano que provoca el desplazamiento de aguas c3lidas hacia el sur, situaci3n que igualmente se observa en la variabilidad



temporal de la temperatura, evidenciando un ciclo estacional con un m3nimo centrado en el mes de agosto y un m3ximo durante el mes de enero (**Figura D2.7.22**). Adem3s se observa una variabilidad de car3cter interanual en la temperatura de la regi3n, con temperaturas mayores ocurriendo durante los periodos c3lidos caracterizados por eventos El Ni3o.

La amplitud de la variabilidad temporal de la temperatura no es uniforme en toda el 3rea de desove. Esta amplitud es mayor a lo largo de una franja entre los 32-38°S, en la cual la regi3n situada al oeste de los 93°W evidencia una amplitud de la variabilidad mayor de 2,6°C (**Figura D2.7.23**). La extensi3n de esta franja est3 relacionada principalmente a la migraci3n y cambios en la intensidad del frente subtropical. Sin embargo durante el mes de noviembre la variabilidad observada es mucho menor, con m3ximas amplitudes del orden de los 1,5°C en dos n3cleos centrados en los 88°W-34°S y en 98°W-37°S, lo cual podr3a indicar la presencia de menores gradientes de temperatura y zonas frontales durante este mes.

Aunque a nivel estacional la variabilidad de la temperatura es mayor durante los meses de oto3o y menor durante primavera (**Fig. D2.7.24**). Este m3nimo de temperatura en primavera (noviembre) represent3 variaciones interanuales, ya que se observ3 un retraso durante los periodos c3lidos y un adelantamiento durante los per3odos fr3os.

D.2.7.1.2.2. Concentraci3n de clorofila en el 3rea de desove.

La concentraci3n de clorofila en la regi3n de desove de jurel frente a Chile central se ha caracterizado por la presencia de un gradiente zonal desde concentraciones medias entre 0,2-0,7 mg m⁻³ al Este de los 80°W (al interior de la regi3n de transici3n de la zona costera influenciada por surgencia, Hormaz3bal *et al.*, 2004), a concentraciones bajas inferiores a 0,1 mg m⁻³ t3picas de las aguas oce3nicas, ubicadas hacia el NW de la regi3n. Durante los meses de noviembre, la



distribución de la clorofila se observa similar al característico gradiente costa océano observado en el campo promedio (**Figura D2.7.25**).

La clorofila en la región de desove de jurel evidencia una variabilidad estacional inversa a la de la zona costera, con máximas concentraciones durante los meses de invierno y mínimas entre enero-febrero durante el verano (**Figura D2.7.26**).

D.2.7.1.2.3. Campo de anomalía de la energía cinética (EC) en la región de desove de jurel

Un detalle del campo medio de EC en la región oceánica frente a Chile centro-sur se presenta en la figura **D2.7.27**. Los mayores niveles de EC se observaron en la zona de transición costera al este de $\sim 80^{\circ}\text{S}$, y en el sector oceánico entre ~ 34 y 39°S y al oeste de $\sim 87^{\circ}\text{S}$. Entre estas dos zonas se observó una franja con bajos valores de AEC, cuyo eje principal se extendió desde la región del anticiclón subtropical (al norte de $\sim 32^{\circ}\text{S}$, entre ~ 85 - 95°W) hacia el sureste (al sur de $\sim 38^{\circ}\text{S}$, entre ~ 75 - 81°W).

La serie de tiempo semanal de EC promedio en la región entre 30° - 40°S y 75° - 85°W para el periodo octubre de 1992 – febrero de 2008 se presenta en figura **D2.7.28**. En esta serie se observa una intensa variabilidad interanual, estacional e intraestacional. En la escala interanual, los mínimos valores pueden ser vinculados a periodos El Niño (Correa-Ramírez *et al.*, 2007). En la escala estacional se distingue un máximo en otoño y un mínimo en primavera. La principal zona de desove de jurel frente a Chile centro-sur, que se extiende al oeste de $\sim 80^{\circ}\text{W}$ y al norte de $\sim 36^{\circ}\text{S}$, posee un gradiente de EC en dirección suroeste-noreste. Estacionalmente el desove ocurre durante la primavera, cuando la intensidad de EC es menor.



D.2.7.2. Discusi3n

La distribuci3n espacial de los campos medios, especialmente Viento y TSM presentan a la zona del Pacífico y el PSO anualmente muy dinámica, donde cambios importantes aparecen en las condiciones térmicas asociadas al área de pesca de jurel. Además, variaciones estacionales en EC y en el transporte asociado al viento y las corrientes, dan indicios de significativos cambios estacionales que podrían sustentar algunas de las hipótesis en cuanto a la zona de desove y transporte de huevos y larvas. Aún así, estos cambios no son evidentes en parámetros como la salinidad y la clorofila.

El esfuerzo del viento en la zona de distribuci3n del jurel tiene una clara componente estacional que depende de la posici3n del anticicl3n del Pacífico (Bakun & Nelson, 1991), pero que también esta influenciada por la línea del continente, la que produce una disminuci3n relativa en la zona norte de Chile (Pizarro, 1999), en comparaci3n con la parte central de Perú y el centro sur de Chile. La estacionalidad observada muestra que en Chile Central la intensidad del viento se incrementa durante primavera y verano, mientras que en el Perú es en invierno y primavera. El límite sur de esta influencia se mueve hacia el norte en invierno. Esta combinaci3n produce que en la zona entre la V y VIII Regi3n de Chile esté bajo la influencia de los vientos más intensos hacia el Ecuador a partir de primavera y durante el verano. Siguiendo el desplazamiento del anticicl3n, la mayor intensidad en Perú se observa entre invierno primavera en la costa del departamento de Ica. En esta zona el transporte asociado a las corrientes es más intenso durante invierno, con menores valores en primavera y otoño, como estaciones de transici3n; es mínimo durante el verano. En la zona centro sur de Chile el transporte hacia el Ecuador, siguiendo el giro subtropical, aparece intenso pero acotado espacialmente durante verano, pero de menor intensidad pero mayor cobertura espacial durante el invierno. Las corrientes superficiales aparecen coherentes en términos estacionales con el transporte integrado. En particular es



importante se1alalar que durante la primavera el transporte y las corrientes se dirigen hacia la costa, al sur de los 30°S y hacia el noroeste al norte de los 30°S; mientras que en verano el transporte hacia la costa disminuye significativamente de intensidad.

El transporte y las corrientes son coherentes con la distribuci3n espacial de la energía cinética (EC). El promedio presenta centros de mayor energía en la zona oceánica en los 36° S, en la parte central de Chile (30° a 37° S) y la parte central de Perú (14° a 18° S) (Hormazábal *et al.*, 2004a & 2004b). Esta distribuci3n cambia estacionalmente ya que en Perú y Chile es más intenso entre otoño e invierno: es más débil, extenso y menos definido en el periodo primavera verano. Cabe se1alalar que la zona oceánica de mayor energía centrada en los 36° S aparece desconectada con la costa por un área de menor EC, definida entre los 85° y 78° W y al parecer presenta los menores valores durante la primavera y otoño. Al igual que el viento, transporte y corrientes, la continuidad espacial de la EC también se ve interrumpida por el codo que une el norte de Chile y sur de Perú.

Al igual que los forzantes, los campos de TSM y la salinidad presentaron fluctuaciones estacionales marcadas asociadas al ciclo anual de la radiaci3n solar y la circulaci3n termohalina. Estas dos variables han permitido caracterizar el tipo de aguas presentes en la zona de estudio (Silva & Neshyba, 1979; Sievers & Silva, 1982; Silva, 1983), de las cuales el agua ecuatorial subsuperficial que juega un papel fundamental en la productividad del sistema (Strub *et al.*, 1998). La distribuci3n espacial de la concentraci3n de CLA present3 una banda costera de altas concentraciones ($> 0,3 \text{ mg m}^{-3}$) y una zona de transici3n ($0,05$ a $0,1 \text{ mg m}^{-3}$) que rodea un espacio central de mínimas concentraciones ($<0,05 \text{ mg m}^{-3}$). Al oeste de los 120° W coincide espacialmente con el anticicl3n del Pacífico y el giro subtropical de las corrientes, la zona de menor transporte, mínimas intensidades de corriente y mínimos valores de EC. Esta zona de minima CLA abarca una mayor área durante el verano y se observa reducida durante el invierno.



A lo largo de la costa del continente, las mayores extensiones espaciales de la surgencia y la distribuci3n espacial de CLa se observaron al norte de los 18° S y al sur de los 30° S. En estas extensas zonas sobresalen las proyecciones observadas en torno a los 15° S y 37°S, las cuales coinciden con las zonas de mayor energía en corrientes y vientos asociadas a Chile centro-sur y el departamento de Ica en Perú. En ambos lugares la proyecci3n de la influencia costera, en funci3n de CLa y la varianza de la temperatura sobrepasaron los 200 km, mientras que a lo largo de la costa est1 restringida a los primeros 50 a 70 km de la costa.

Dentro del contexto del PSO se ha identificado como zona de desove del jurel frente a Chile central (30° a 40° S y 75° a 100° W). Esta zona se encuentra en el camino de decaimiento de CLa hacia el océano, pero donde la influencia de la surgencia costera alcanza la mayor extensi3n espacial. Adem1s, se ubica en el centro del área de menor EC descrita entre la banda costera y la zona oceánica, como también forma parte del área de transici3n entre los vientos circumpolares y la calma del centro del anticicl3n, limitada al este por el cambio de direcci3n de los vientos los que se dirigen hacia el norte cerca de la costa (Bakun & Nelson, 1991; Rojas & Silva, 1996). Las corrientes y el transporte al parecer también juegan un rol importante en la zona ya que entre invierno y primavera la intensidad de ambas variables decae a valores intermedios aunque siempre con direcci3n este noroeste.

Las principales características del área de desove de Chile son compartidas por las descritas para la zona central de Perú: una proyecci3n de gran extensi3n de la zona de surgencia especialmente a trav1s de la CLa, niveles bajos de EC en una zona entre los 84° a 85° W y surgencia donde participan aguas de origen Ecuatorial subsuperficial. Las evidentes diferencias entre ambas zonas apuntan a que el viento, las corrientes y el transporte tienen direcci3n hacia el oeste durante casi todo el ańo, excepto durante el verano que es cuando disminuyen su intensidad en la zona adyacente al continente. Diferencias menos evidentes se pueden derivar de la

distribución vertical de las masas de aguas involucradas en la surgencia y la profundidad donde se ubica el limite superior de la capa de mínimo oxígeno, que caracteriza al agua del tipo Ecuatorial Subsuperficial (Silva & Neshyba, 1979). Esta agua presenta su núcleo alrededor de los 150 m de profundidad, pero tiene una influencia importante (>60 %) hasta los 40 m frente a Perú y norte de Chile, mientras que esta influencia se ubica alrededor de los 200m en Chile central y sur (Silva & Konow, 1975). Estas diferencias, como la dirección del transporte y corrientes y la mayor o menor cantidad (volumen de agua) de agua rica en nutrientes, pero también de bajo contenidos de oxígeno, que aflora a lo largo de la costa, pueden estar jugando un rol ecológico que aún no ha sido cuantificado

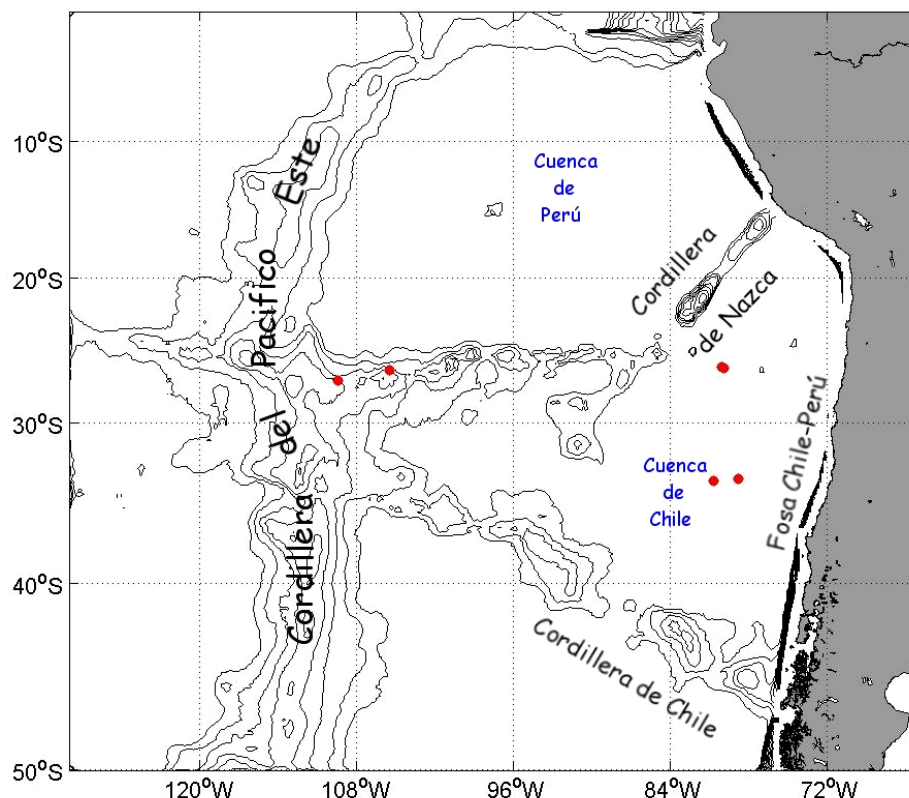


Figura D2.7.0. Batimetría de la zona del Pacífico sur oriental basada en la topografía de 2' de resolución espacial de Sandwell and Smith (1996) (http://topex.ucsd.edu/marine_topo/text/topo)

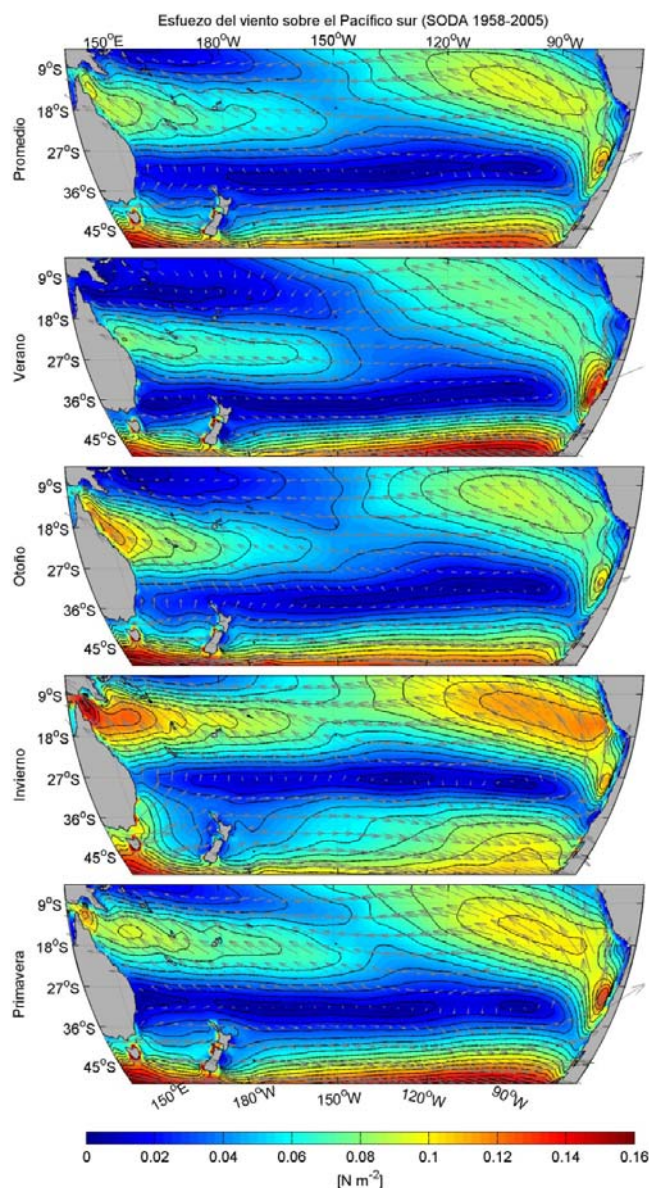


Figura D2.7.1. Esfuerzo del viento sobre el Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de esfuerzo del viento generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del esfuerzo del viento, respectivamente.

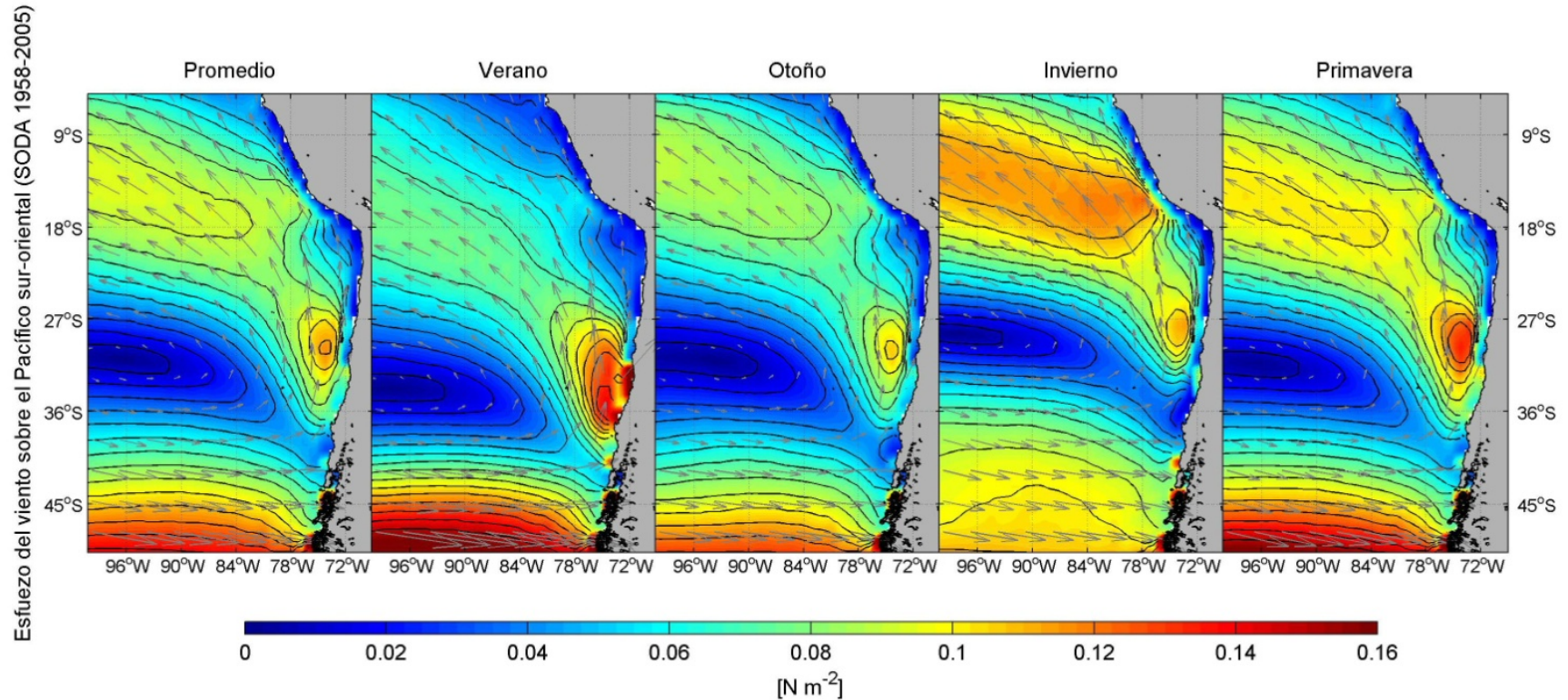


Figura D2.7.2. Esfuerzo del viento sobre el Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de esfuerzo del viento generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del esfuerzo del viento, respectivamente.

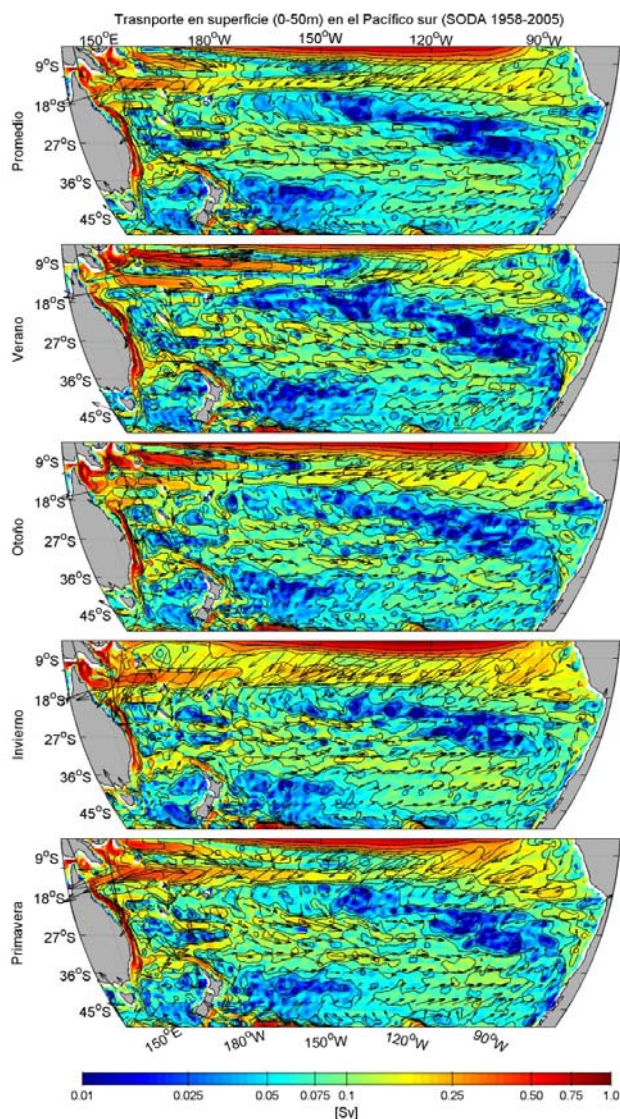


Figura D2.7.3. Transporte (Sv) integrado en superficie (primeros 50 metros) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están calculados a partir de los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del transporte, respectivamente. $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

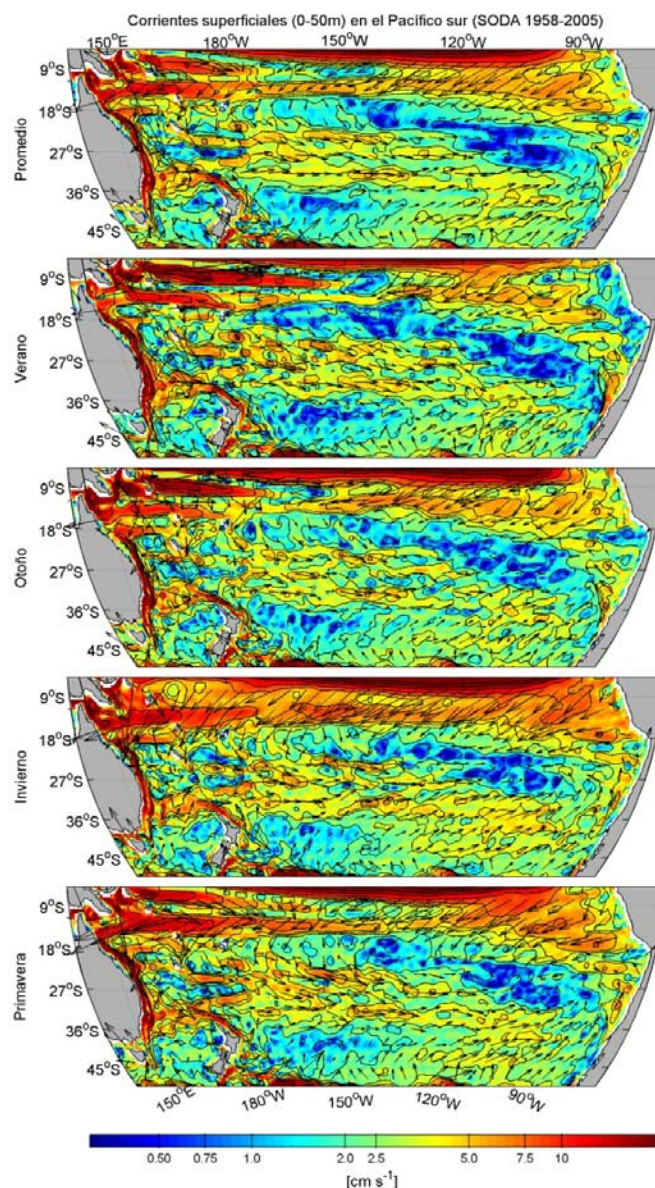


Figura D2.7.4. Corrientes superficiales (primeros 50 metros) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial de la corriente, respectivamente.

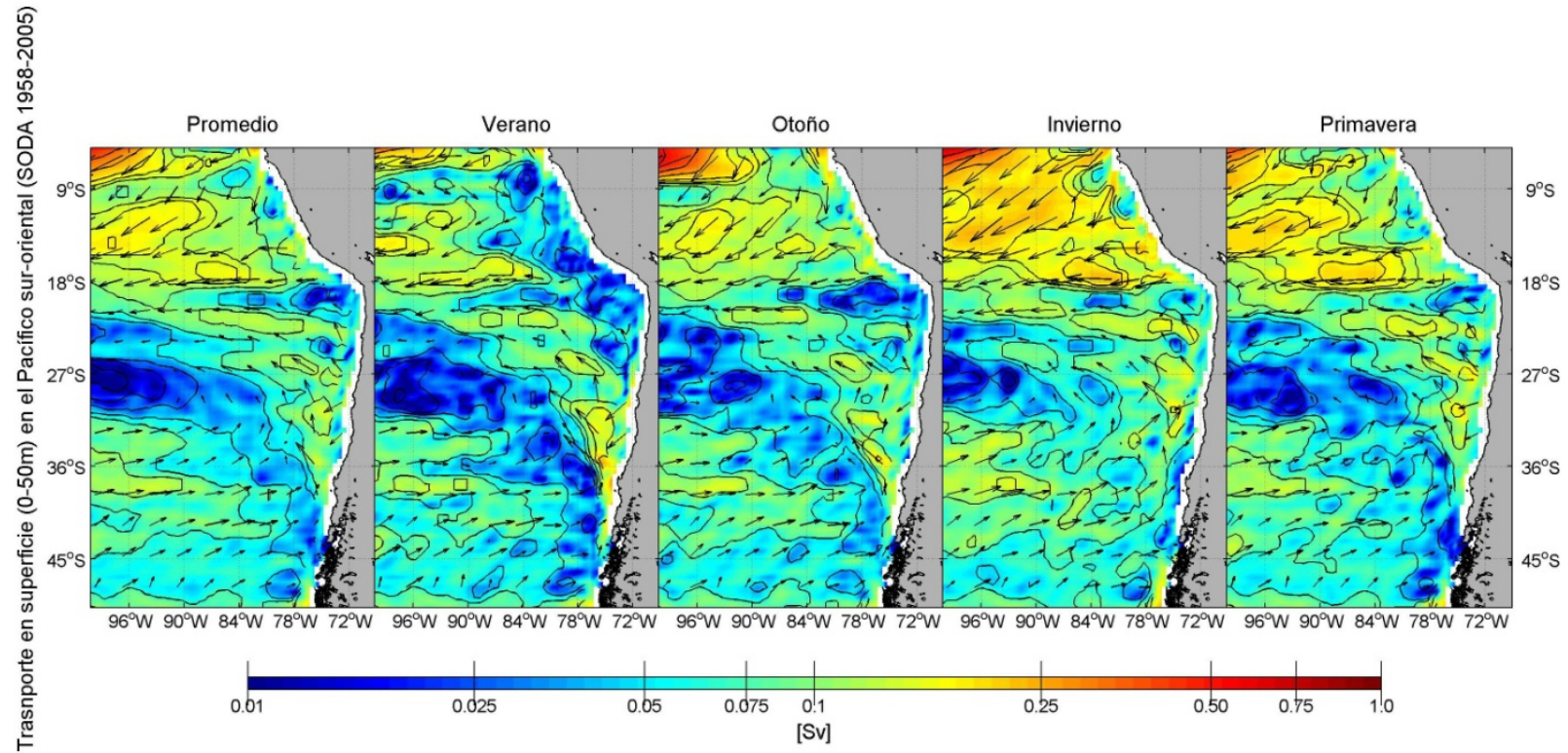


Figura D2.7.5. Transporte (Sv) integrado en superficie (primeros 50 metros) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están calculados a partir de los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial del transporte, respectivamente. $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

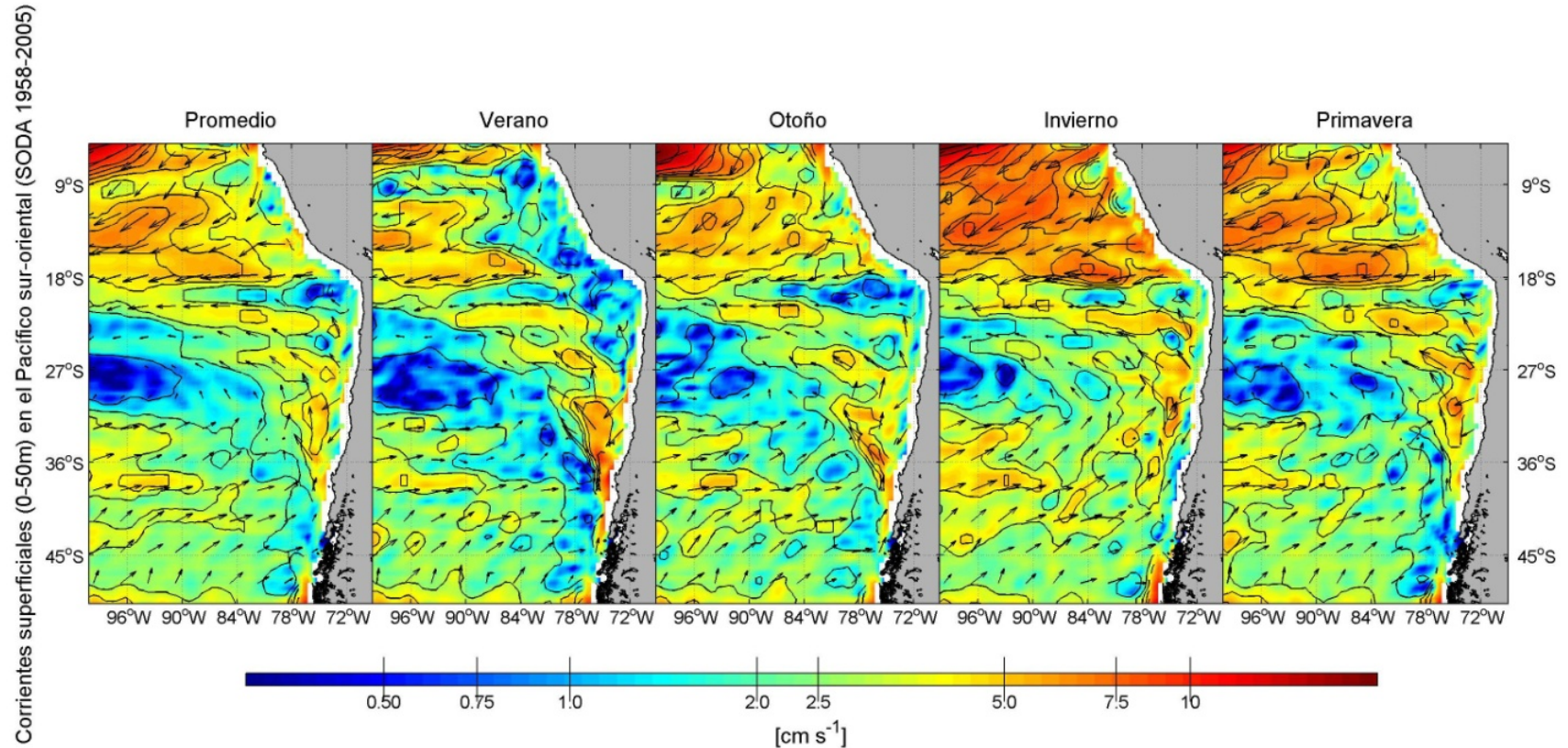


Figura D2.7.6. Corrientes superficiales (primeros 50 metros) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de corrientes generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La escala de colores y las flechas representan la intensidad y el campo vectorial de la corriente, respectivamente.

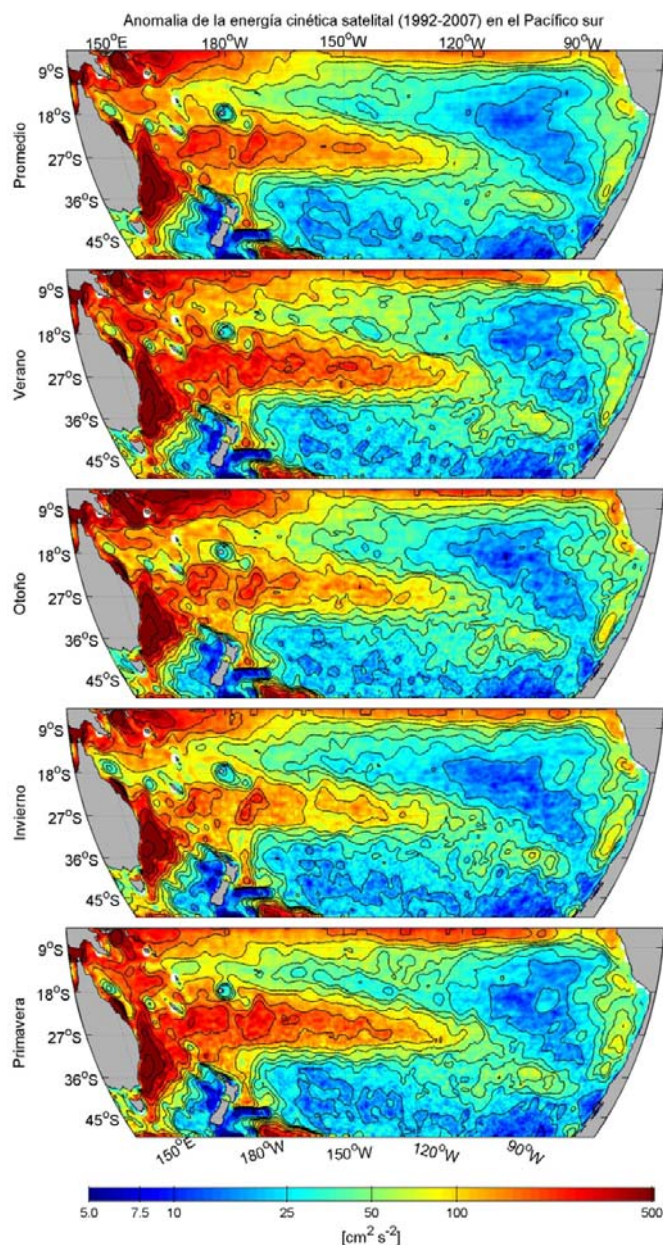


Figura D2.7.7. Energía cinética (EKE) del Pacífico Sur durante el periodo 1992-2007; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en datos semanales de anomalía del nivel del mar de los satélites ERS, Jason y TOPEX-Poseidon. Los datos del periodo diciembre de 1993 - marzo de 1995 no fueron considerados para el cálculo de EKE, debido al menor número de satélites operando en este periodo y a la baja confiabilidad de los datos.

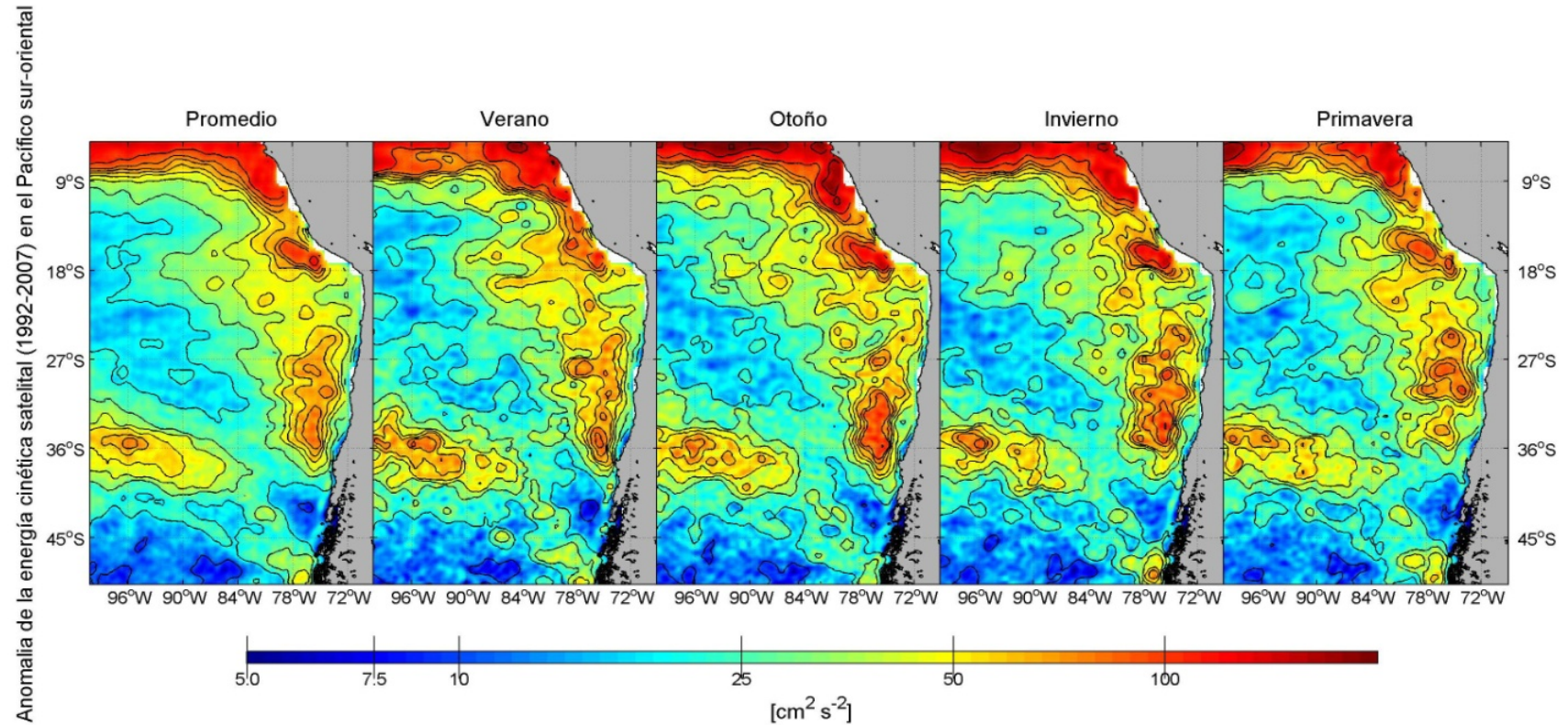


Figura D2.7.8. Energía cinética (EKE) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1992-2007; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en datos semanales de anomalía del nivel del mar de los satélites ERS, Jason y TOPEX-Poseidon. Los datos del periodo diciembre de 1993 - marzo de 1995 no fueron considerados para el cálculo de EKE, debido al menor número de satélites operando en este periodo y a la baja confiabilidad de los datos.

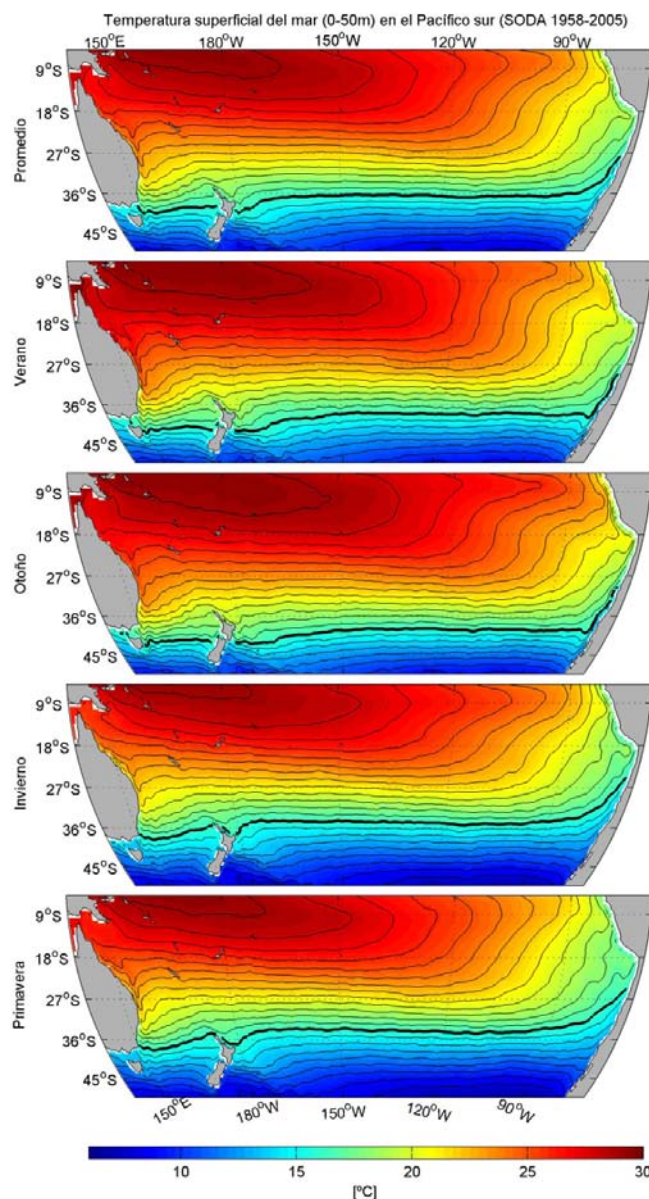


Figura D2.7.9. Temperatura superficial (primeros 50 metros) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de temperatura del mar generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La línea gruesa negra corresponde al contorno de 16°C, el cual se ha reportado como límite inferior de la distribución de huevos de jurel (Gretchina *et al.*, 1998).

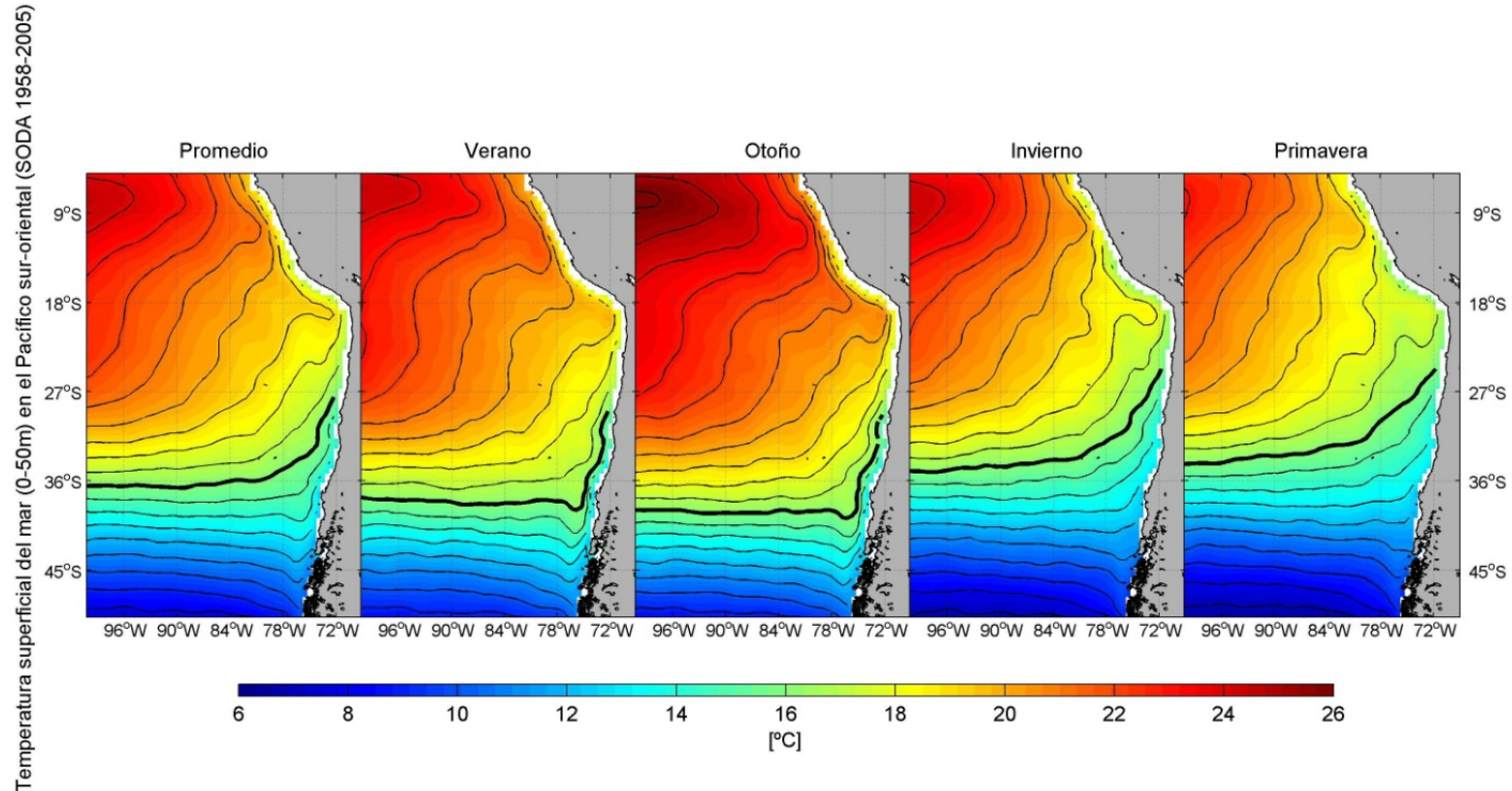


Figura D2.7.10. Temperatura superficial (primeros 50 metros) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de temperatura del mar generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad. La línea gruesa negra corresponde al contorno de 16°C, el cual se ha reportado como límite inferior de la distribución de huevos de jurel (Gretchina *et al.*, 1998).

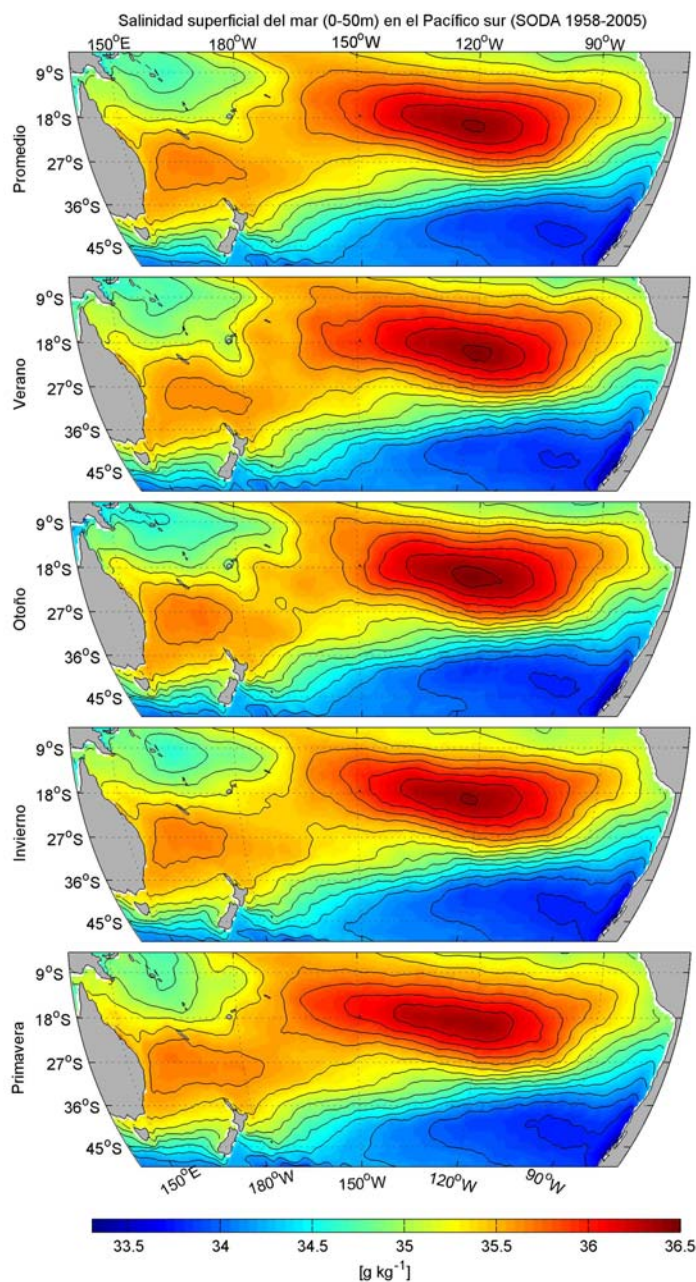


Figura D2.7.11. Salinidad superficial (promedio de los primeros 50 metros) en el Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; promedio (panel superior) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los promedios están basados en los datos mensuales de salinidad generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad.

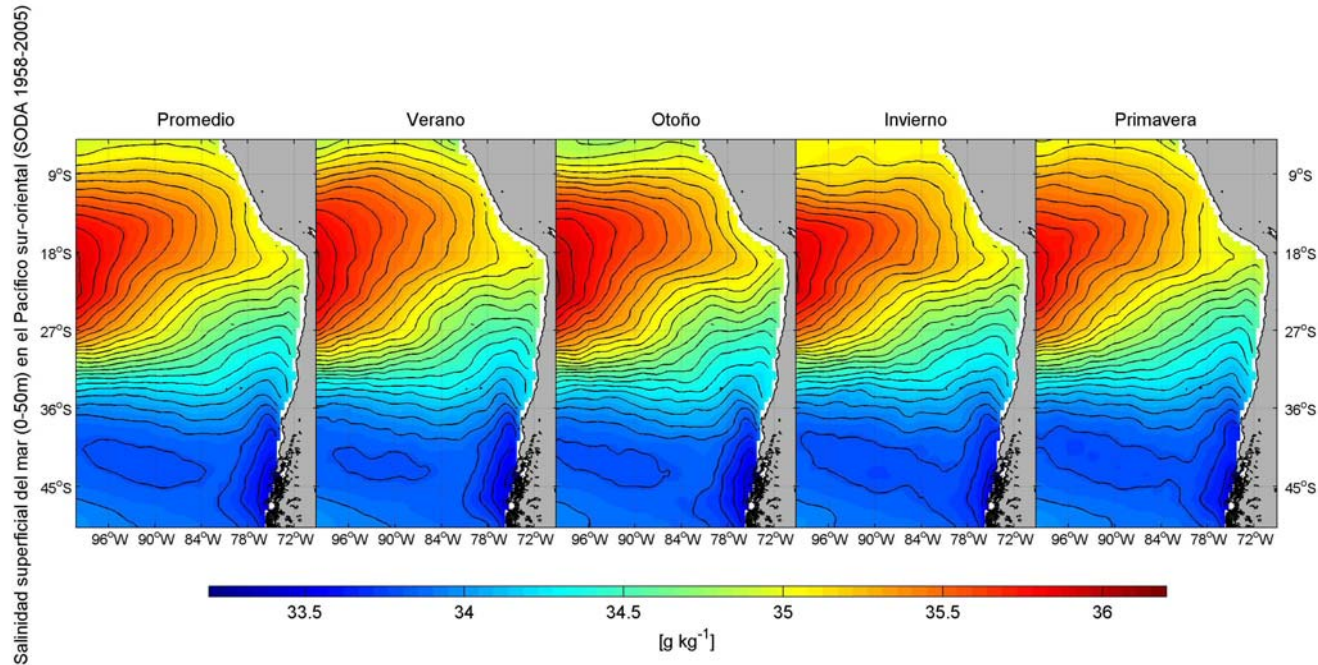


Figura D2.7.12. Salinidad superficial (promedio de los primeros 50 metros) en el Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; promedio (panel 1) y promedios para los meses de diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los promedios están basados en los datos mensuales de salinidad generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3 para los primeros 50 m de profundidad.

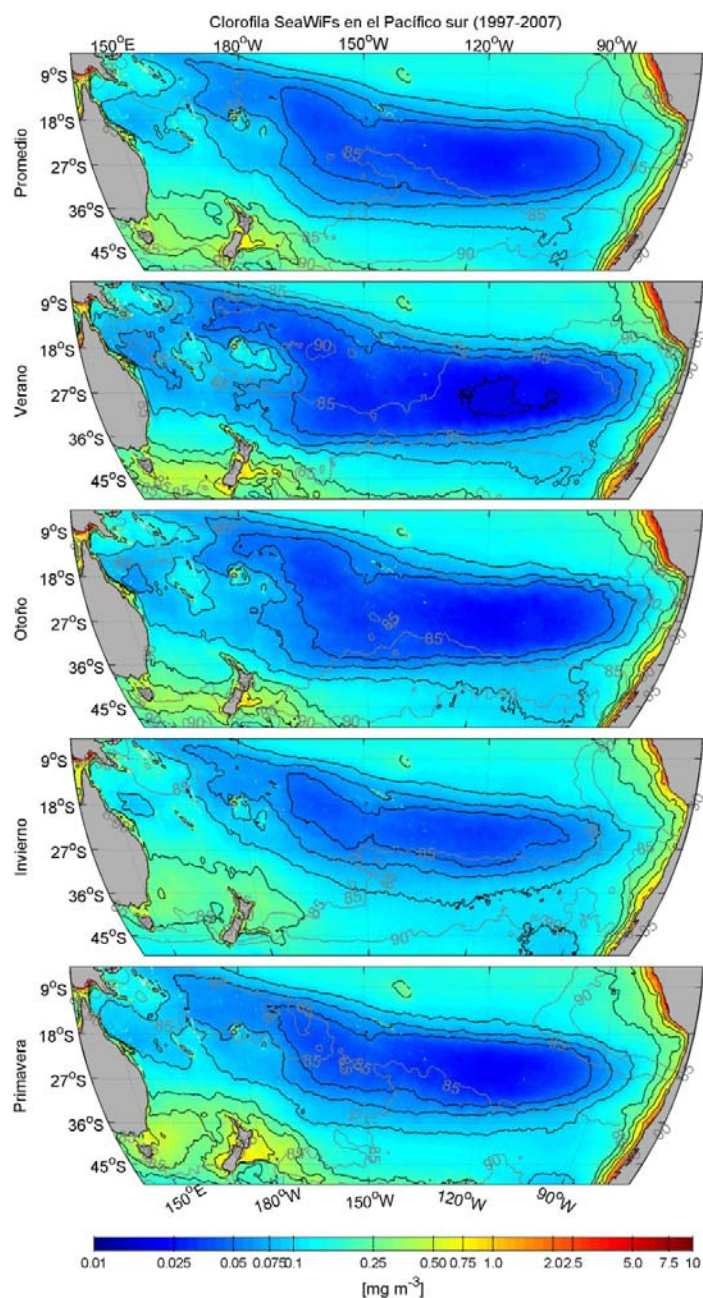


Figura D2.7.13. Concentración de clorofila-a satelital SeaWiFS en el Pacífico Sur durante el periodo 1997-2007; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Los contornos negros representan las concentraciones de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 y 1 mg m⁻³. Las líneas de contorno gris representan el porcentaje de datos faltantes, asociados principalmente a la cobertura nubosa.

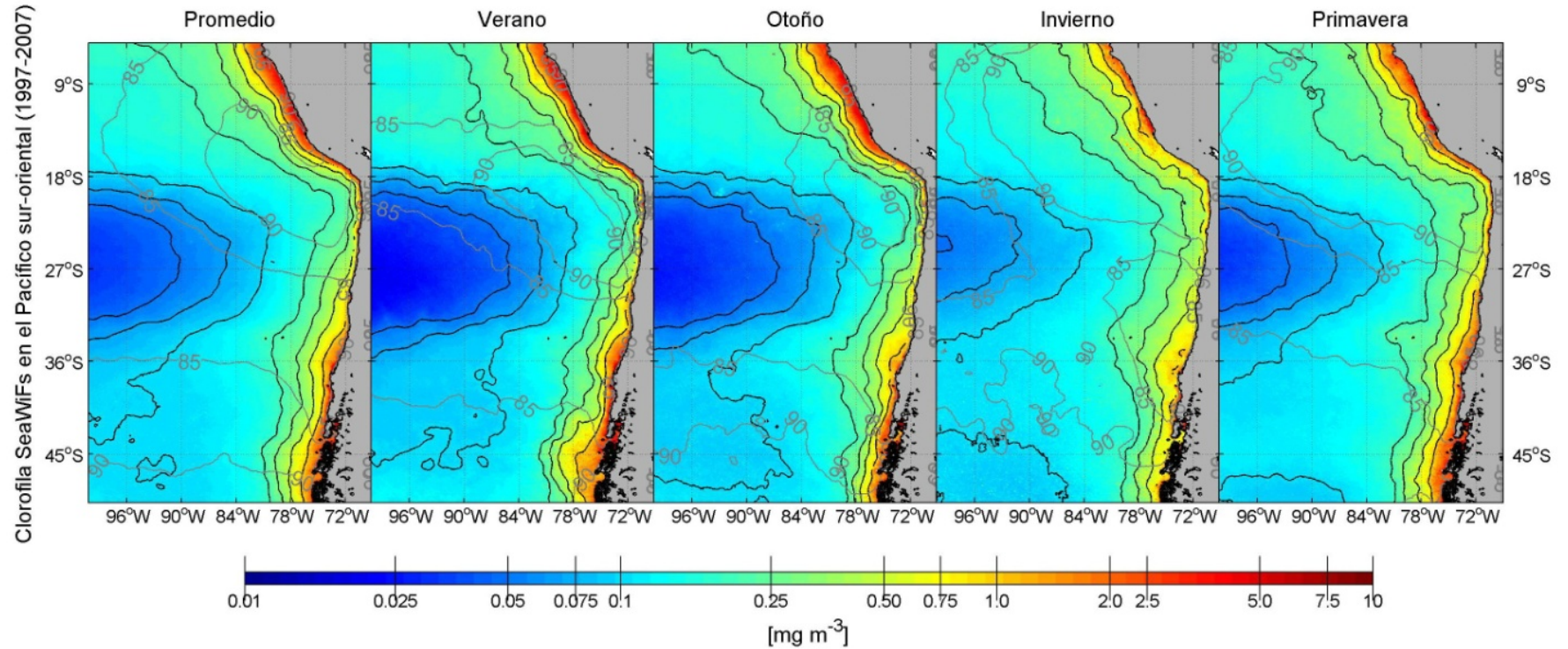


Figura D2.7.14. Concentración de clorofila-a satelital SeaWiFS en el Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1997-2007; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Los contornos negros representan las concentraciones de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 y 1 mg m^{-3} . Las líneas de contorno gris representan el porcentaje de datos faltantes, asociados principalmente a la cobertura nubosa.

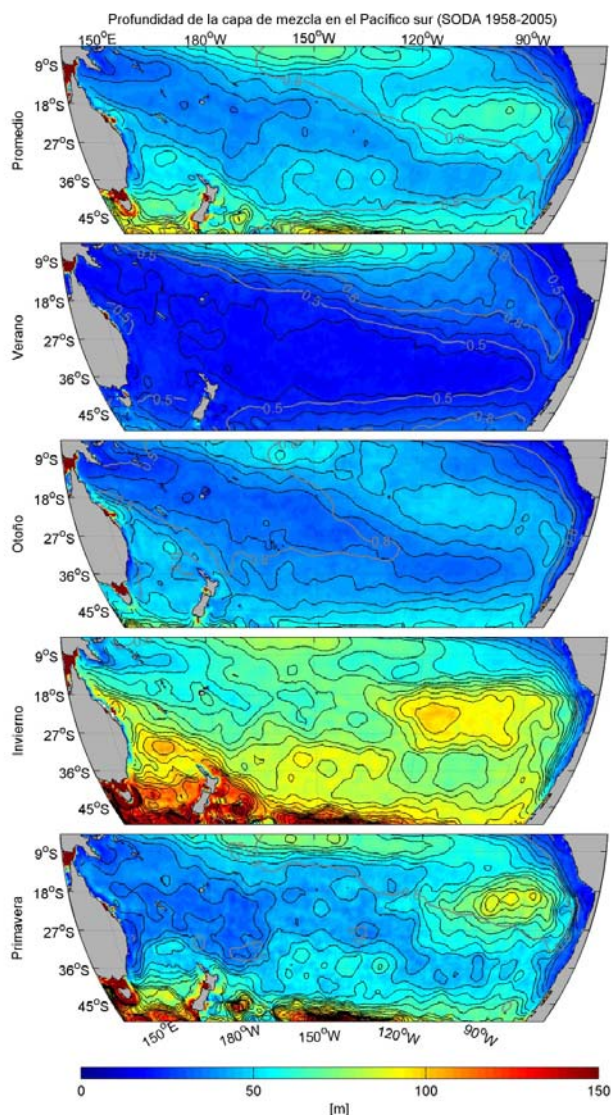


Figura D2.7.15. Profundidad de la capa de mezcla (H_{mix}) del Pacífico Sur durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel superior) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles inferiores). Este campo fue estimado con la metodología descrita por Lorbacher *et al.* (2005), empleando perfiles de temperatura generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3. Los contornos grises corresponden al promedio del índice de calidad de las estimaciones de H_{mix} : valores mayores que 0.8 indican que H_{mix} se encuentra bien definida; entre 0.5 y 0.8 H_{mix} posee un mayor grado de incertidumbre; valores menores a 0.5 indica que la variabilidad vertical en los perfiles considerados no hace posible una estimación apropiada de H_{mix} .

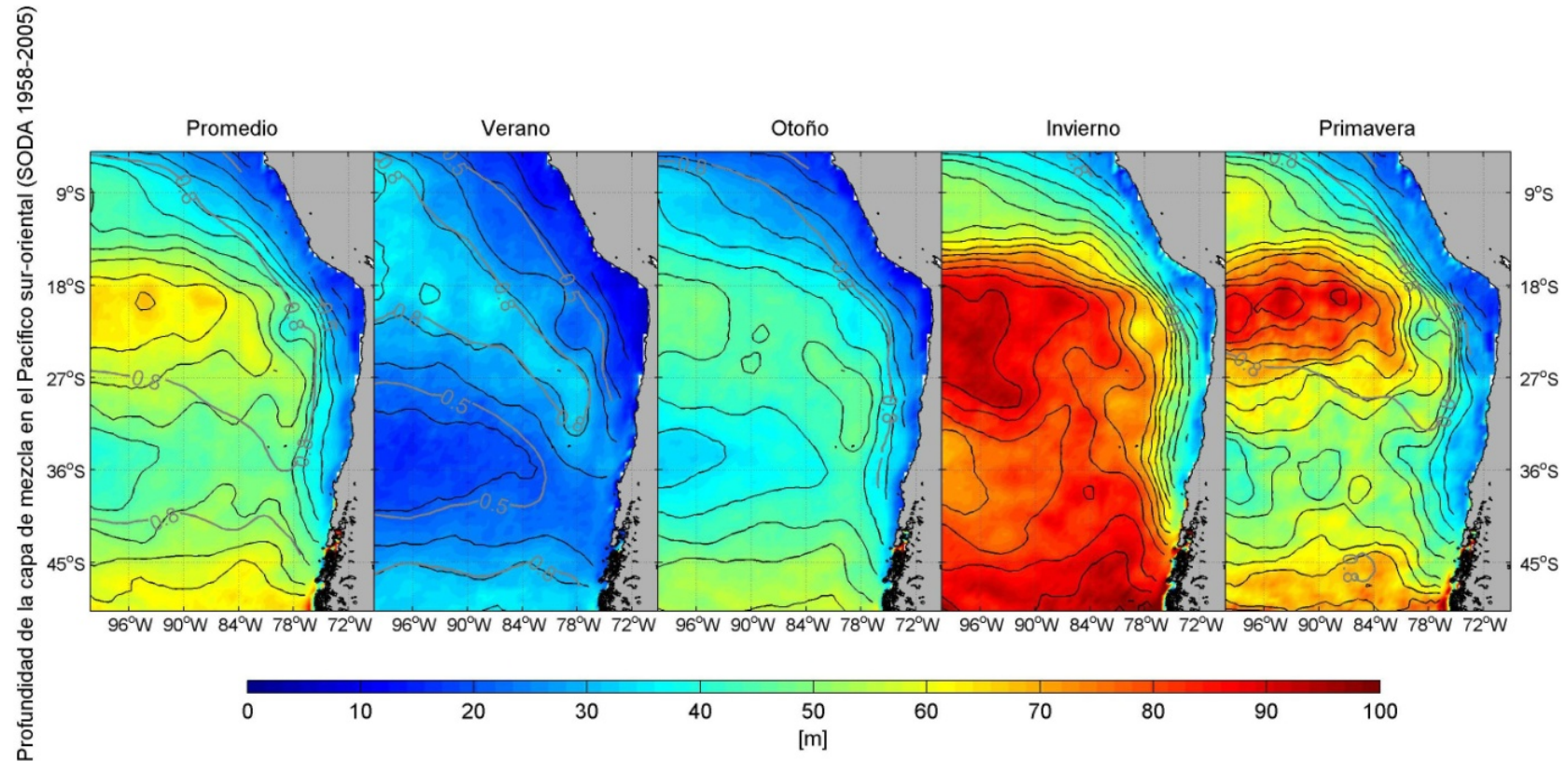


Figura D2.7.16. Profundidad de la capa de mezcla (H_{mix}) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1958-2005; campo promedio (panel 1) y promedios para los meses entre diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre, correspondientes a las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera austral (paneles 2-5). Este campo fue estimado con la metodología descrita por Lorbacher *et al.* (2005), empleando perfiles de temperatura generados por el modelo de asimilación de datos oceanográficos SODA 2.0.2-3.

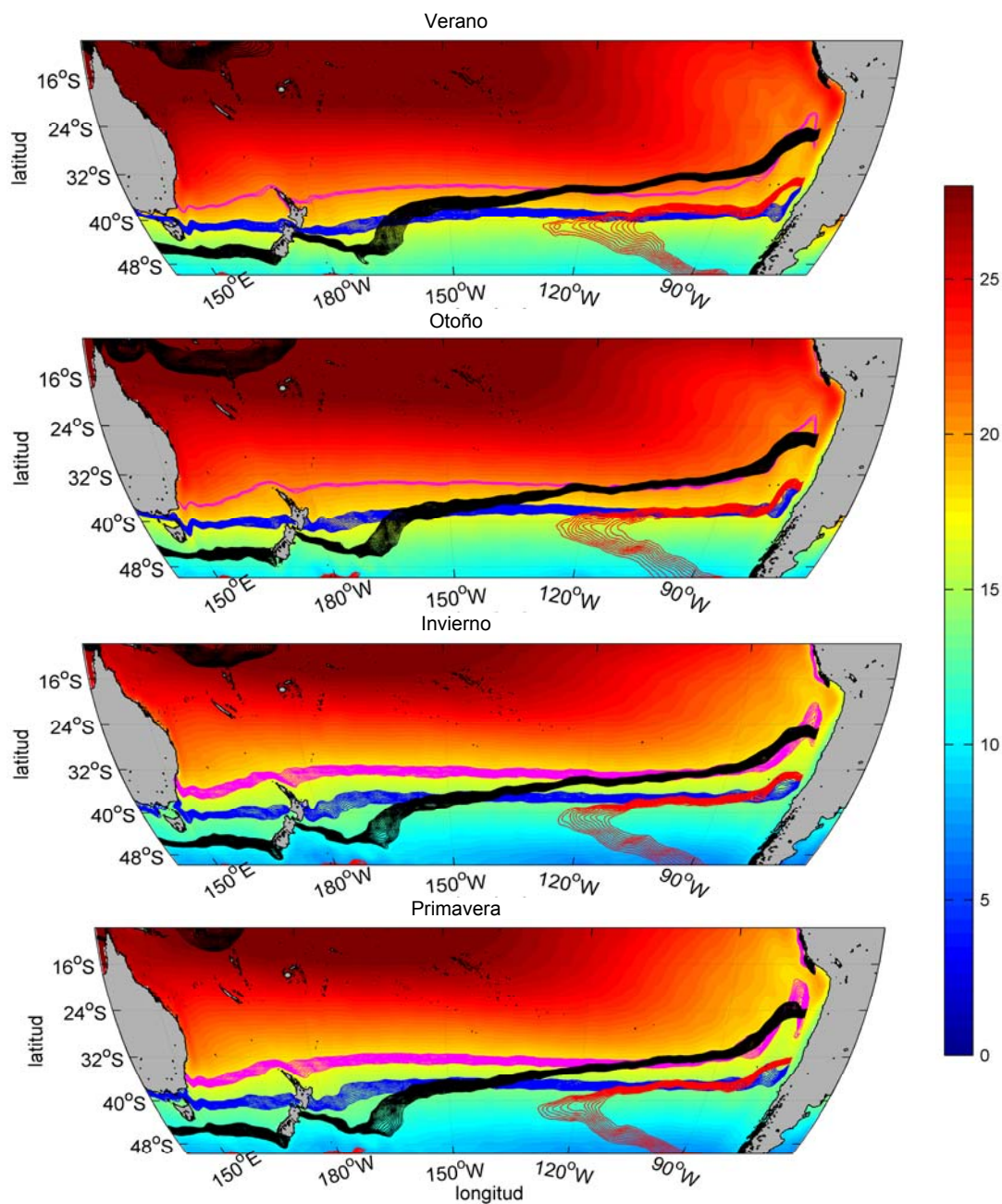


Figura D2.7.17. Temperatura superficial del mar promedio entre 1958-2005 obtenida de datos SODA con contornos de salinidad y temperatura que muestran la ubicación estacional del FST (negro-salinidad y magenta-temperatura) y FSA (rojo-salinidad y azul-temperatura). Cada uno de estos frentes se identificó con un rango de salinidad: FST (34,65 y 34,85 psu) y FSA (34,1 y 34,2 psu), cuyos valores de temperatura asociados variaron estacionalmente.

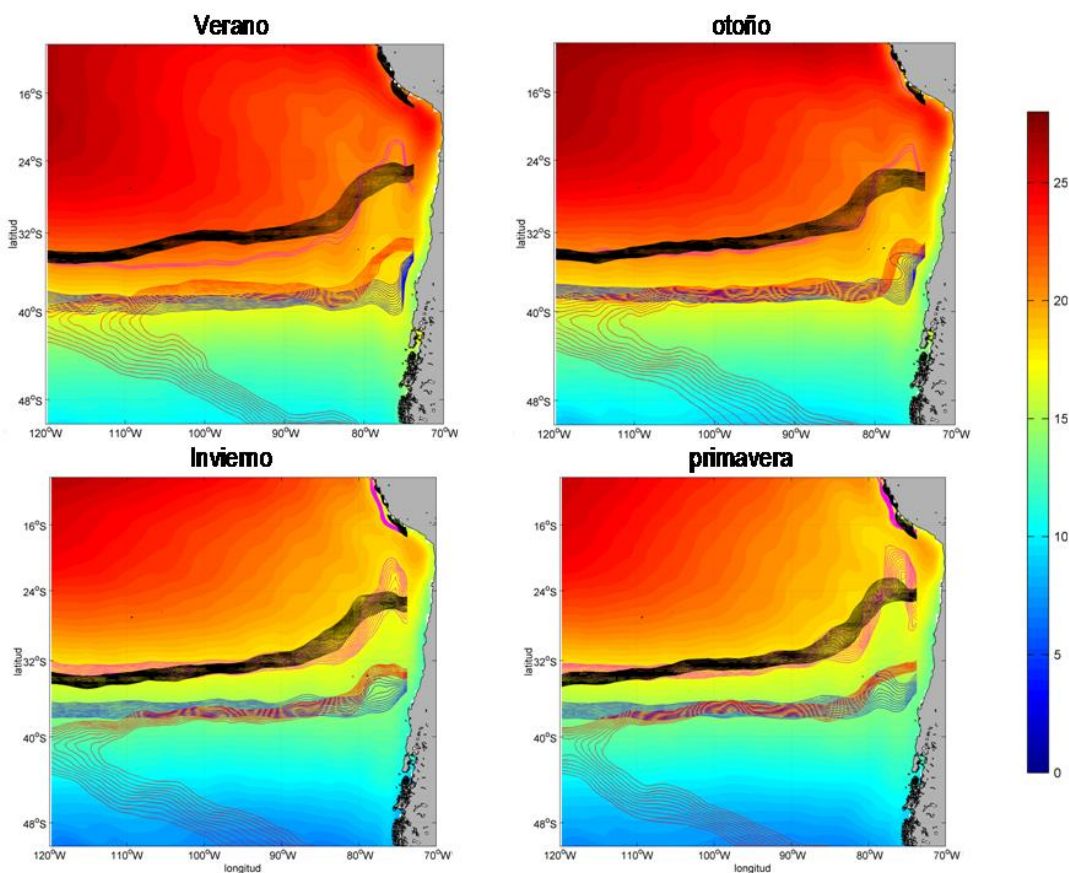


Figura D2.7.18. Temperatura superficial del mar promedio entre 1958-2005 en el PSO, obtenida de datos SODA con contornos de salinidad y temperatura que muestran la ubicación estacional del FST (negro-salinidad y magenta-temperatura) y FSA (rojo-salinidad y azul-temperatura). Cada uno de estos frentes se identificó con un rango de salinidad: FST (34,65 y 34,85 psu) y FSA (34,1 y 34,2 psu), cuyos valores de temperatura asociados variaron estacionalmente.

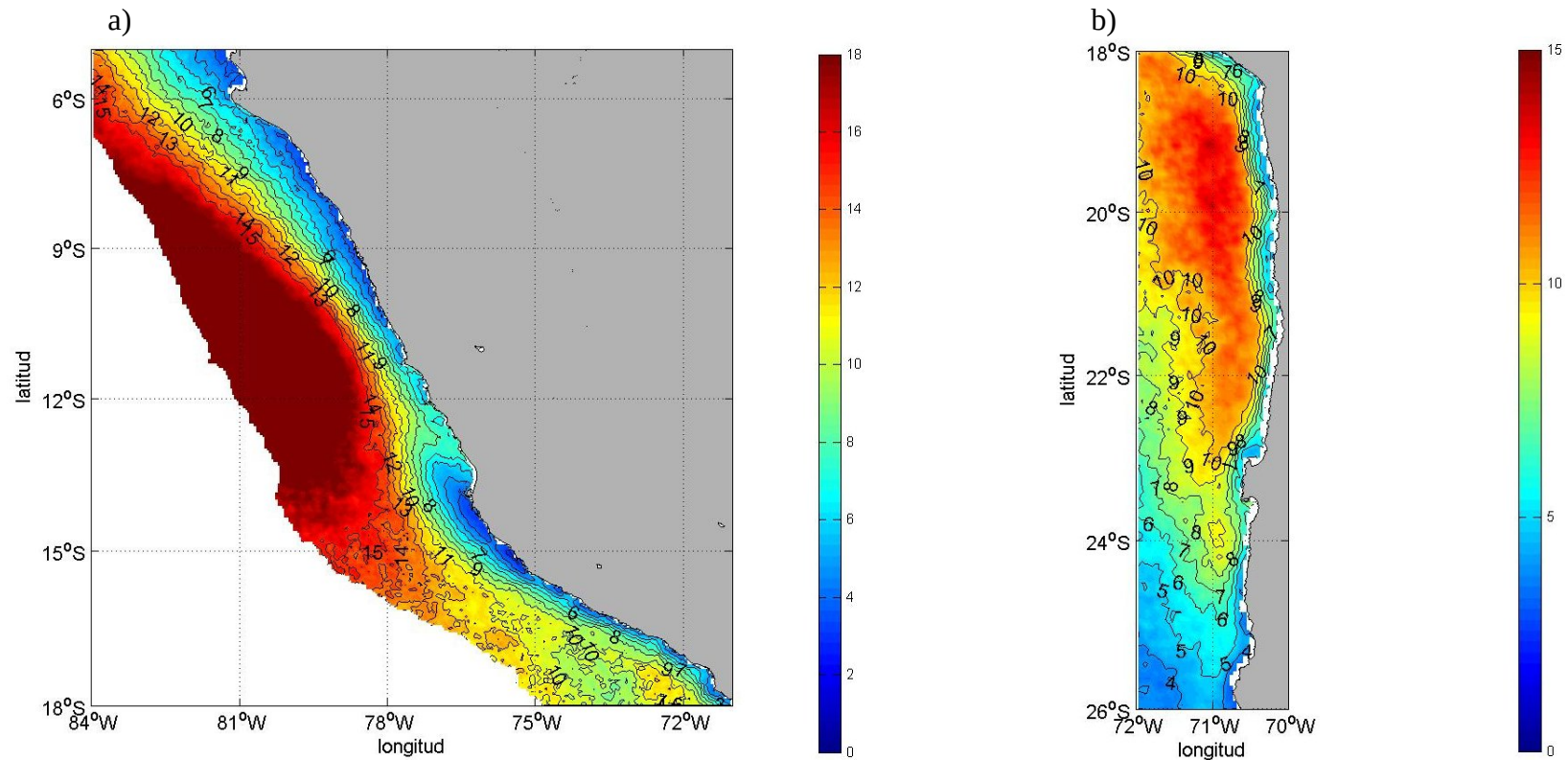


Figura D2.7.19. Distribuci3n espacial de la varianza total de la TSM del periodo 1985-2006, obtenida a partir de imágenes promedio semanales de 4 km del programa de reanálisis de informaci3n satelital PATHFINDER perteneciente a la PODAAC. Las figuras muestran la zona de Perú (a) y el norte de Chile (b).

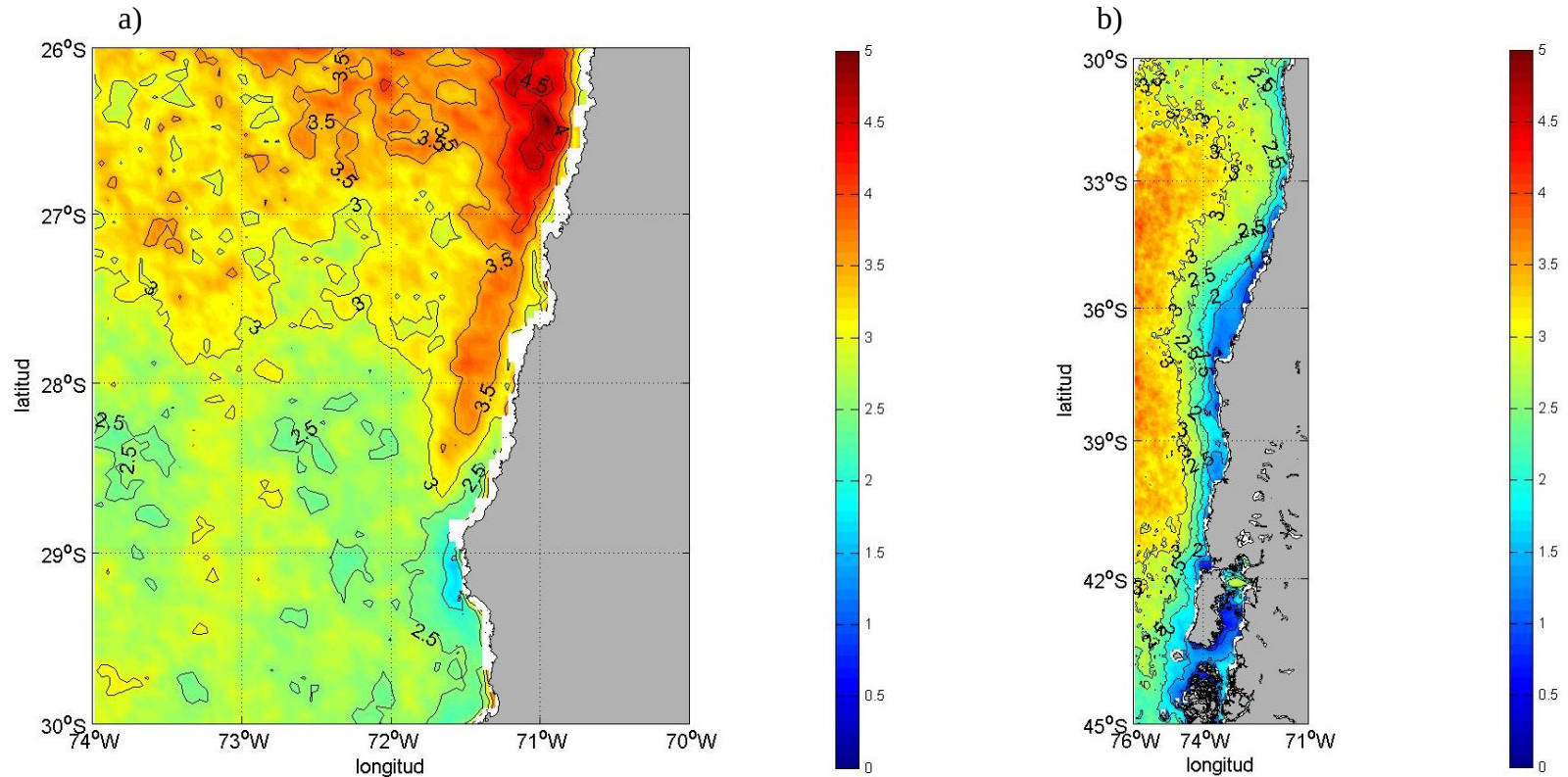


Figura D2.7.20. Distribución espacial de la varianza total de la TSM del periodo 1985-2006, obtenida a partir de imágenes promedio semanales de 4 km del programa de reanálisis de información satelital PATHFINDER perteneciente a la PODAAC. Las figuras muestran la zona central (a) y zona sur de Chile (b).

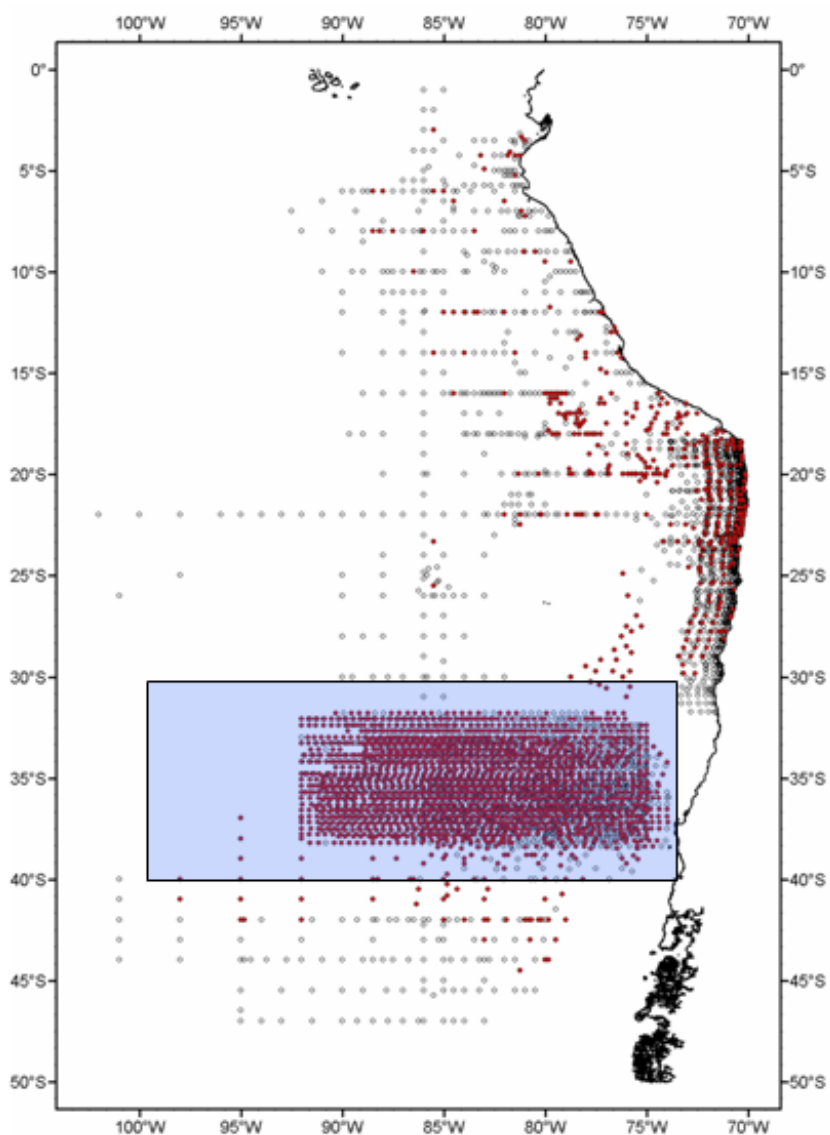


Figura D2.7.21. Estaciones de muestreo de la zona de desove de jurel y su proyecci3n hacia el oc3ano interior.

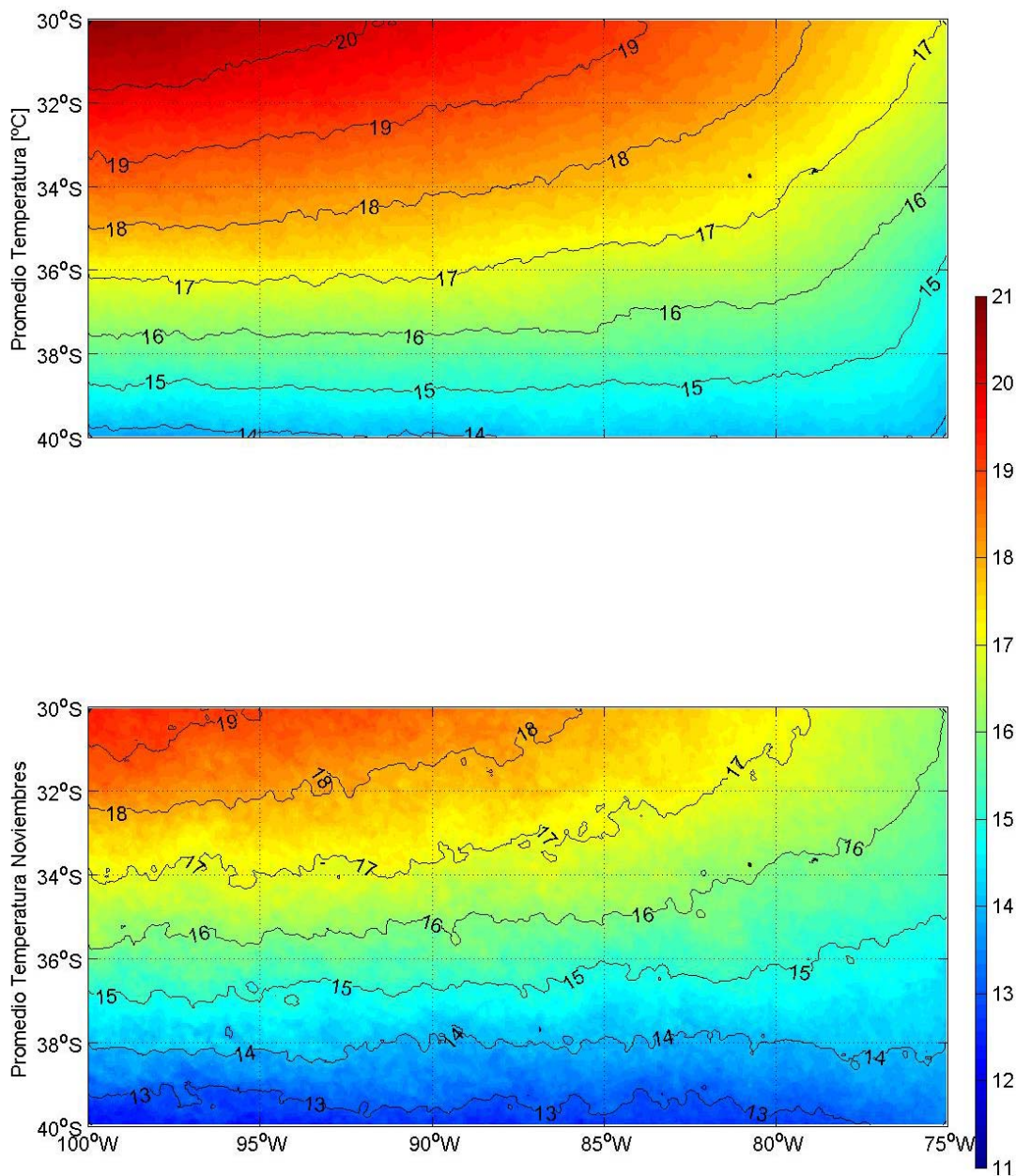


Figura D2.7.22. Distribución espacial promedio de la temperatura superficial del mar en el área de desove de jurel frente a Chile central. Período 1985-2007(Panel superior) y Noviembre de 1985-2007(Panel inferior).

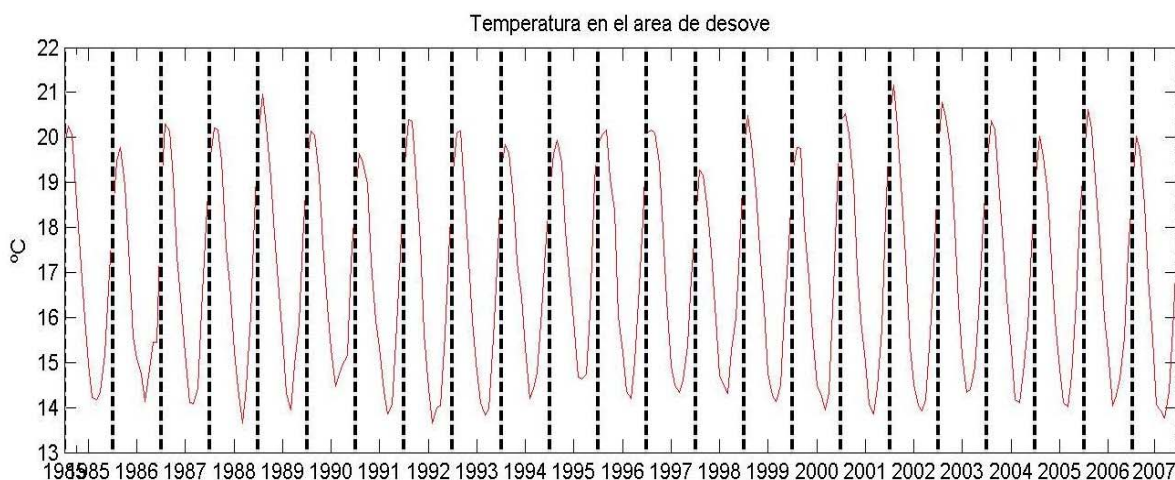


Figura D2.7.23. Variabilidad temporal de la temperatura superficial del mar en el 1rea de desove de jurel frente a Chile central.

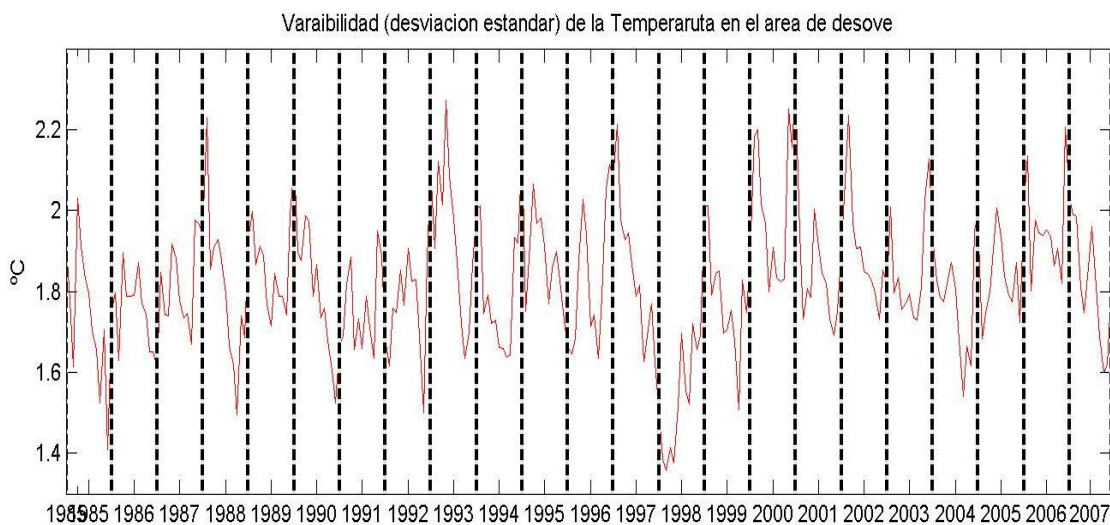


Figura D2.7.24. Variabilidad temporal de la desviaci3n est1ndar de la temperatura superficial del mar en el 1rea de desove de jurel frente a Chile central. Per3odo 1985-2007.

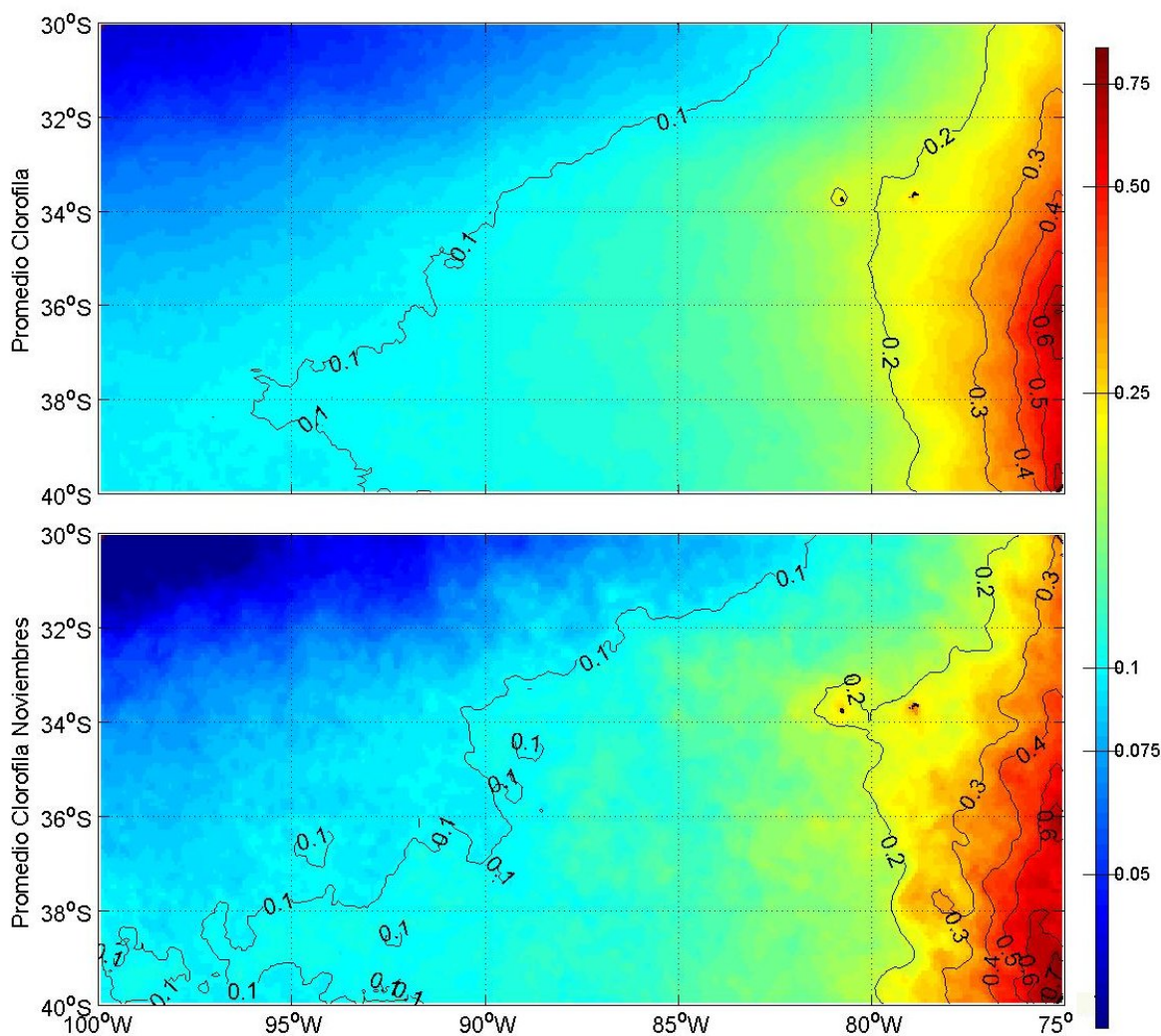


Figura D2.7.25. Distribución espacial promedio de la clorofila en el área de desove de jurel frente a Chile central. Período 1985-2007(Panel superior) y Noviembre de 1985-2007(Panel inferior).

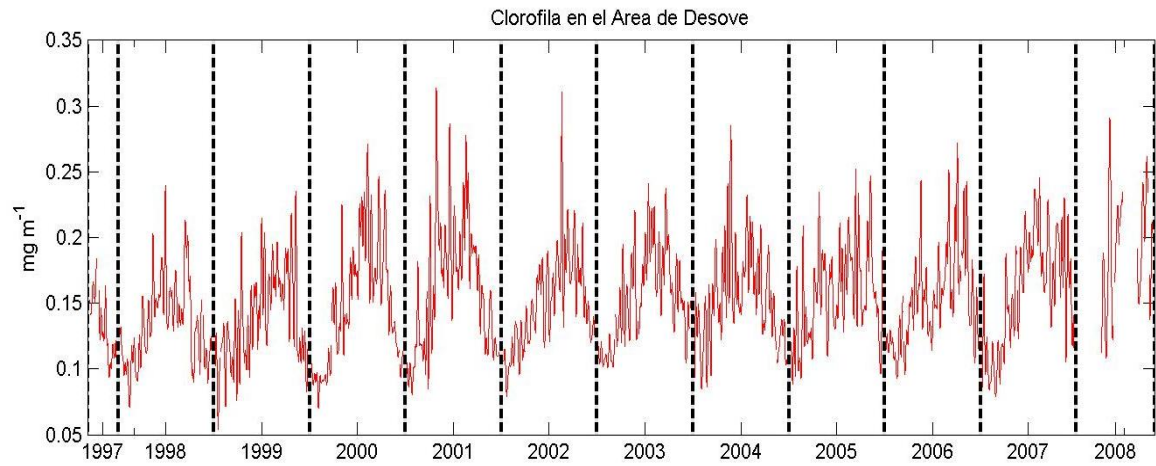


Figura D2.7.26. Variabilidad temporal de la clorofila en el 1rea de desove de jurel frente a Chile central para el perodo 1997-2008.

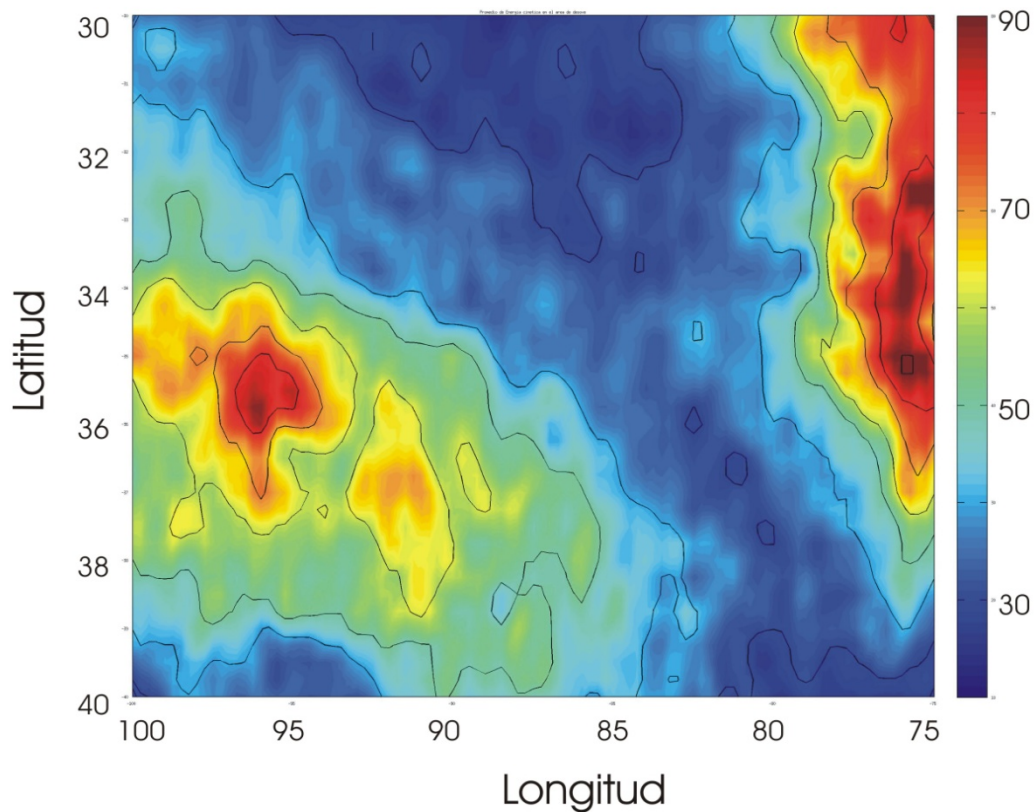


Figura D2.7.27. Campo promedio de la energa cinética (cm² s⁻²) para la regin comprendida entre 30-40°S y 75-100°W.

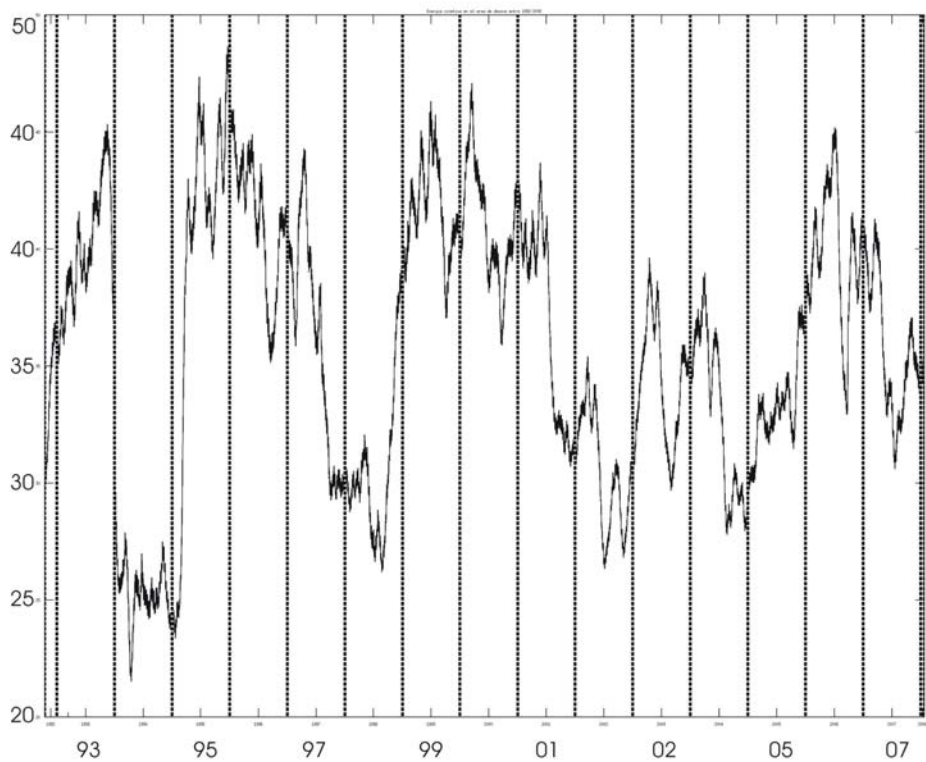


Figura D2.7.28. Serie promedio semanal de la anomalía de la energía cinética ($\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$) en la región comprendida entre $30\text{-}40^\circ\text{S}$ y $75\text{-}100^\circ\text{W}$, para el periodo octubre de 1992 – febrero de 2008.



D.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS SOBRE LA ESTRUCTURA POBLACIONAL DEL JUREL.

El jurel presenta una amplia distribución en el Pacífico Sur, desde Ecuador hasta el extremo sur de Chile y a lo largo de la corriente de Deriva del Oeste (Frente Subtropical y Frente Subantártico), alcanzando hasta Nueva Zelandia y Tasmania. Esta distribución corresponde a una distribución expandida, proceso que ocurrió desde principios de la década setenta; que a comienzos de los ochenta alcanzó hasta Nueva Zelandia (Serra, 1991, Elizarov *et al.* 1993, Taylor, 2002) y de acuerdo con resultados de este estudio continuó en los noventa.

Una característica importante del jurel es que desarrolla su ciclo de vida en la zona nerítica y en la oceánica, lo que llevó a que sea definido como un pez nerítico-oceánico (Parin, 1987). El jurel desova en la zona oceánica y se alimenta en la zona costera lo que determina migraciones estacionales que marcan a su vez la estacionalidad de las pesquerías costeras, particularmente de Chile. Asimismo, frente a la zona centro sur de Chile presenta migraciones en dirección sur al término del verano, hacia la zona oceánica entre 40 y 44°S, donde también existe una zona de alimentación (Vinogradov *et al.*, 1990). El jurel típicamente presenta concentraciones de biomasa en los meses de otoño en esta zona según se infiere del comportamiento espacio-temporal de la flota soviética (Parrish, 1989).

La gran distribución del jurel, su peculiar biología y la ausencia de barreras físicas han incidido en que la identificación de las unidades de stock sea un proceso complejo. Diferentes autores (Serra, 1991, Eevsenko, 1987, Elizarov *et al.*, 1993, Oliva, 1999) han efectuado planteamientos al respecto, no obstante todavía existe controversia lo que justificó la presente investigación. Serra (1991) propuso la existencia de dos subpoblaciones autosustentadas en el Pacífico sur oriental: una esencialmente frente a Perú y la segunda frente a Chile. Asimismo indica que el



límite entre ambas era difícil de precisar pero que se ubicaría entre el norte de Chile y sur del Perú. Oliva (1999) plantea también la existencia de dos subpoblaciones, una se localizaría frente a Perú desde Callao al norte y la segunda frente Chile. Evsenko (1987) plantea la existencia de poblaciones de jurel en las regiones central y occidental del Pacífico sur, dependientes de la población costera frente a Chile. Elizarov *et al.* (1993) hipotetizan que dentro de la amplia distribución del jurel existirían dos subpoblaciones interdependientes, una costera y otra oceánica. Para estos autores la subpoblación oceánica se localizaría desde la alta mar frente a Chile hasta Nueva Zelanda. Kotenev *et al* (2006) plantean también la existencia de un stock “puramente oceánico”.

En este estudio el concepto utilizado de unidad de stock (o subpoblación) es el de una unidad autosustentada, que tiene su propia área de desove y eventualmente de alimentación y de crianza. Presenta un circuito migratorio propio entre la zona de desove y la de alimentación y las tasas de emigración e inmigración no son importantes de manera que los procesos de natalidad y mortalidad al interior de ella son los que esencialmente determinan su dinámica poblacional y producción biológica. Esta definición es similar a la de Ihssen *et al.* (1981), que es una de las más aceptadas, que define un stock como un grupo de individuos intra-específico que se aparean al azar (panmixis) y que tienen integridad espacio- temporal. Son estructuras que existen en la naturaleza y son unidades que tienen sentido biológico (Sinclair, 1988). Los modelos tradicionales de evaluación de stock suponen que los procesos de emigración e inmigración están balanceados y son poco importantes y por tanto suponen un stock cerrado. Es por tanto de fundamental importancia desde el punto de vista de la sustentabilidad determinar la estructura poblacional o de stock de una especie explotada comercialmente, con el fin de asegurar la eficacia del manejo pesquero.



El enfoque utilizado para investigar la estructura poblacional del jurel está basado en una aproximación metodológica múltiple (Begg y Waldman, 1999), a saber: genético (ADNmt, ADNms), parásitos como marcas biológicas, morfometría (cuerpo y otolitos), química de los otolitos y patrones de historia natural. Para el análisis conjunto de todos los resultados obtenidos con las diferentes técnicas, la escala de tiempo en la cual opera cada una necesariamente debe ser tomada en cuenta (Begg y Waldman, 1999). Por ejemplo la genética opera en la escala evolutiva y requiere además de un grado de aislamiento de algunos miles de años. Tasas de mezcla incluso del 1 % resulta en homogeneidad genética (Ward, 2000) y no permitirían identificar la estructura poblacional aún cuando dicha estructura exista en la naturaleza. La morfometría (cuerpo y otolito) son expresiones fenotípicas asociadas a componentes genéticos y ambientales, donde este último opera en los primeros estados de la ontogenia del individuo. Los otros métodos como fauna parasitaria y química del otolito se basan en marcas naturales asociadas con el área geográfica ocupada por los individuos (habitat) y operan en una escala temporal más corta. La parasitofauna opera en una escala temporal entre 3 y 6 meses y lo mismo la química del otolito. Ambas en realidad operan en una escala temporal prácticamente instantánea pero 3 meses sería el tiempo mínimo para distinguir cambios significativos en la parasitofauna; en el caso de la química del otolito depende de la resolución del láser y de la edad de los peces. En los peces jóvenes debido al mayor incremento entre anillos la resolución temporal puede ser de 2 meses y de hasta 6 meses en los de mayor edad (7 años y más). Consecuentemente, la integración de los resultados obtenidos con los diferentes métodos se hace sobre la base del contraste de estos resultados y su análisis crítico considerando las escalas temporales en que operan los marcadores asociados.



Los resultados de las diferentes técnicas se resumen a continuación:

- El análisis genético no encontró diferencias significativas en la distribución de *T. murphyi* con los cuatro loci microsatélites heterólogos (Kasapidis & Magoulas, 2008) y tres loci especie específicos (obtenidos en este estudio). El uso de un número mayor de microsatélites podría corroborar o revelar pequeñas diferencias entre poblaciones de jurel que pueden ser estadísticamente significativas. Además se podría corroborar el proceso demográfico de expansión descrito.
- El resultado del análisis de los parásitos sugiere que las muestras provenientes de Chiloé oceánico, así como aquellas de Nueva Zelandia y el norte de Perú (Isla Lobos de Afuera), podrían ser asignadas a unidades poblacionales discretas, en cambio las muestras del centro-sur del Perú (Parácas) y Chile corresponderían a una subpoblación única con un movimiento migratorio de norte a sur. También se indica que el sur del Perú y norte de Chile podría corresponder a una zona de mezcla.
- El análisis morfométrico del cuerpo no encuentra mayores diferencias entre las diferentes zonas y los resultados sugieren la existencia de mezcla.
- El análisis morfométrico de los otolitos, específicamente las medidas de distancias entre puntos del otolito, sugiere la existencia de dos grupos, el primero incluye a todas las localidades de Chile (costeras y oceánicas) junto con Nueva Zelandia, mientras que el segundo a la localidad de Isla Lobos de Afuera del norte del Perú; aunque este último resultado debe ser tomado con cautela teniendo en cuenta la debilidad que le otorga el bajo número de muestras efectivas para el Perú.
- Los resultados de la química del núcleo de los otolitos diferencian tres grupos: Islas de Lobos de Afuera en el norte de Perú; Parácas a Coquimbo; y desde Talcahuano a Chiloé. No diferencia Nueva Zelandia de los jureles de la costa chilena, no obstante que la química del borde si lo



hace. Este análisis registra importantes mezclas particularmente entre la zona central de Chile, la zona norte de Chile y el sur del Perú. En menor grado entre la zona central de Chile hacia el norte del Perú y no se registra al revés, es decir, desde el norte del Perú hacia la zona central de Chile.

- Los resultados del análisis de los patrones de historia de vida identifica una subpoblación de jurel autosustentada con un núcleo de mayor abundancia localizado frente a Chile central, que se extendería hacia la zona oceánica y probablemente hasta Parácas en el Perú. Se postula que otra subpoblación se localizaría al norte de 14° S.

El análisis de las características oceanográficas de la región del Pacífico Suroriental sugiere que esta región puede ser separada en tres grandes zonas. Una zona caracterizada por una banda longitudinal de alta energía cinética, con corrientes y vientos intensos hacia el oeste, al norte de los 8°S y que está gobernada principalmente por la dinámica ecuatorial. Una zona caracterizada por una banda longitudinal con un incremento relativo de energía cinética entre 34°-43°S, cuya parte oceánica (al oeste de los 80°W) está asociada a la dinámica del frente subtropical y posiblemente a la corriente de deriva de los vientos del oeste, mientras que a lo largo de la costa esta asociada a la proyección de la zona de surgencia mediante filamentos y lenguas que definen la zona de transición costera. Por último, se ubica una banda longitudinal de baja energía cinética, al sur de los 43°S. Entre las dos bandas longitudinales de mayor energía cinética (8-40°S), dentro de los primeros 800 km, desde la costa de Sudamérica hacia el oeste, se encuentra la Zona de Transición Costera (Hormazábal *et al.*, 2004), la cual posee dos máximos de energía cinética separados por un mínimo relativo en la zona norte de Chile (18°-25°S). La variabilidad de la energía cinética en esta zona ha sido vinculada a los vientos costeros, inestabilidades baroclinas de las corrientes costeras y al Niño y la Oscilación del Sur (Leth y Shaffer 2001; Hormazábal *et al.*, 2004; Correa-



Ramírez *et al.*, 2007). De hecho, la distribuci3n de las mayores magnitudes de corrientes, viento y transporte observados en este proyecto son coherentes espacialmente con la presencia de estas bandas longitudinales siguiendo la direcci3n del giro subtropical y el anticicl3n del Pacífico (Rojas y Silva, 1996). Mientras que al oeste de esta zona de transici3n costera, en la regi3n del giro del Pacífico Sudoriental, la energía cinética es mínima. Otro aspecto oceanográfico relevante de destacar es la manera como en términos promedio las corrientes conducidas por el viento y las geostroficas favorecen el transporte desde la zona de desove hacia la costa de Chile, como también hacia el norte de Chile y Perú siguiendo la línea de la costa.

De estos resultados se puede concluir que:

- La genética y la morfometría del cuerpo no detectan diferencia entre las diferentes localidades evaluadas.
- Las metodologías asociadas a parasito fauna, morfometría y química de los otolitos, así como los patrones de historia natural coinciden en distinguir una subpoblaci3n en el norte del Perú.
- Los resultados de parásito-fauna, morfometría y química de otolitos difieren para otras zonas estudiadas.
- Los resultados de la parasito fauna, morfometría y química de otolitos sugieren la existencia de niveles de mezcla entre las diferentes localidades.

Respecto del jurel en Nueva Zelandia y frente a Chile, la química del núcleo de los otolitos indica que tienen un origen común. Teniendo en consideraci3n que la edad de los jureles analizados en nueva Zelandia varía entre 11 y 16 años, este resultado confirma el proceso de emigraci3n desde la subpoblaci3n frente a Chile. Implica además la inexistencia de subpoblaciones enteramente oceánicas entre Chile y Nueva Zelandia como fue sugerido por Kotenev *et al.* (2006). Sin embargo,



los parásitos diferencian la agregación de jureles en Nueva Zelandia de los de Sudamérica, lo que se explicaría por un tiempo de residencia allí lo suficientemente largo para adquirir la fauna parasitaria local. Son peces que han emigrado de la población de origen. Como se indicó antes, un tiempo de residencia entre 3 y 6 meses permite incorporar los parásitos existentes en la nueva localidad. Sin embargo existe incertidumbre sobre la capacidad de autosustentación del jurel en esa región, interrogante levantada por investigadores locales, no obstante las evidencias de reproducción en esa zona y de algún grado de éxito reproductivo en términos de reclutas (Taylor, 2002).

De acuerdo con los marcadores naturales de parásitos, los jureles de Chiloé oceánico corresponderían a otra subpoblación. Sin embargo este resultado no concuerda con aquellos basados en la química del núcleo de los otolitos que no los diferencia de Talcahuano, pero si los diferencia la química del borde del otolito, lo cual sugiere migraciones estacionales. Una explicación alternativa es la factibilidad de la existencia de un stock exclusivamente oceánico, pero su localización cercana a la inmensa zona de desove del jurel frente a Chile central y la evidencia que el jurel habría continuado cruzando el Pacífico emigrando hacia Nueva Zelandia y en conjunto con los resultados del análisis de patrones de vida tampoco dan soporte a la existencia de otra área de desove importante al oeste de 120° O, tal que permita la autosustentación de un stock oceánico. Una hipótesis es que exista una fracción del stock desovante compuesta por ejemplares grandes que se movilizan esencialmente por la zona oceánica hacia la zona de alimentación localizada hacia el sur de 40° S, hipótesis que se sustenta por la condición del jurel de pez nerítico-oceánico del jurel, la extensión del desove en magnitud importante hasta aproximadamente 100° O y la diferencia en la química del borde el otolito. Esto al considerar que los jureles muestreados en Chiloé oceánico fueron en general ejemplares de tamaño mayor que los observados en las zonas de pesca al norte de 40°S, en la pesquería centro sur (**Fig. D.1.4**) y la



migración del jurel desde esta zona hacia la zona de desove frente a Talcahuano sugerida por los desplazamientos estacionales de las flotas pesquera nacional e internacional.

La falta de consistencia entre los resultados de la fauna parasitaria y la química del otolito para la región entre Parácas y el sur de Chile también requiere ser discutida. Si bien los resultados de la química de los otolitos distinguen los ejemplares originados en la gran zona de desove en la zona oceánica frente a Talcahuano y en la zona de desove costera desde Coquimbo al norte, siendo más importante el desove de Antofagasta al norte (M. Braun, com. pers.), esta diferenciación no se registra con los parásitos. Estas zonas de desove corresponden a zonas de baja energía cinética según lo encontrado por el análisis oceanográfico y que serían propicias para el desove del jurel. De hecho no se registra discontinuidad en el desove entre la gran zona de desove frente a Talcahuano y el que se extiende desde Coquimbo al norte más pegado a la zona costera (Serra, 1983), zonas que coinciden con la zona de baja energía cinética descrita en la revisión oceanográfica. Por tanto el desove hacia el norte puede ser considerado una proyección de la gran zona de desove frente a Talcahuano, aunque las diferencias en las masas de agua “marquen” de manera diferente los otolitos. Es importante recordar que la química de los otolitos registra la marca del hábitat. Los resultados también muestran la mayor proporción de mezcla de jureles en la zona norte de Chile y Parácas provenientes de la gran zona de desove del sur; esto se explicaría por la magnitud mucho mayor del desove frente a Talcahuano que el del norte, siendo su contribución en términos de reclutas mucho mayor, aspecto que es necesario considerar para ponderar el resultado obtenido por la química de los otolitos en términos del aporte de reclutas en la región de Talcahuano proveniente del desove de más al norte. Es importante destacar que los resultados de la química de otolitos también indican que la mezcla es intensa en esta región favoreciendo la panmixis y que la fauna



parasitaria sugiere una migración norte-sur, en la medida que los jureles van aumentando su tamaño. Cabe recordar que al jurel se le ha descrito una distribución diferenciada por talla; los ejemplares de mayor tamaño (edad) tienden a concentrarse hacia el sur de su distribución frente a Chile. Por tanto estos resultados permiten sostener que desde Parácas al sur el jurel constituiría una subpoblación autosustentada o unidad de stock. Asimismo, la intensa dinámica espacial que presenta el jurel da fundamento para que sea definido como una especie de alta movilidad, siguiendo el concepto de Meltzer (2005).

Finalmente, la falta de identificación de la estructura poblacional del jurel por la genética se puede explicar por las evidencias de mezcla en el Pacífico sur oriental indicadas por la fauna parasitaria, morfometría y química de los otolitos y asimismo por el proceso emigratorio hacia la zona de Nueva Zelandia, el que habría continuado al menos hasta los noventa, de acuerdo con las edades determinadas para los peces muestreados de esa zona para este trabajo. La ausencia de barreras físicas, la expansión de la distribución del jurel en función del aumento de su abundancia (Serra, 1991; Elizarov *et al.*, 1993); la ocurrencia de eventos ENOS que inciden en cambios en la distribución (Bertrand *et al.* 2004), son factores que inciden en que se confundan los límites entre subpoblaciones y que favorecen el proceso de mezcla necesario para producir homogeneidad ya que como se indicó antes un 1% de mezcla es suficiente para producir homogeneidad genética (Ward, 2000). La diferenciación genética requiere de un nivel de aislamiento casi absoluto y de un período que excede con creces la escala temporal ecológica y cae dentro de una escala temporal microevolutiva (10 – 100 generaciones según Selkoe y Toonen (2006) teniendo en cuenta el tamaño poblacional), condiciones que no se han cumplido. Cabe decir que esta complejidad es justamente lo que justifica el enfoque multimetodológico aplicado.



En conclusión, en este trabajo se identifican subpoblaciones localizadas en el norte de Perú; entre el sur del Perú y sur de Chile, dentro y fuera de la ZEE; y alrededor de Nueva Zelandia. La subpoblación de jurel en Nueva Zelandia está conformada por peces que emigraron desde Sudamérica y que desovan allí, no estando claro si dicha subpoblación es capaz de autosustentarse. Los resultados sugieren también que no existe otra subpoblación autosustentada entre aproximadamente los 120° O y Nueva Zelandia, es decir, una subpoblación puramente oceánica.



D.4. RECOMENDACIONES

Los resultados aquí obtenidos no pueden considerarse definitivos. El grupo de jureles localizado en la zona oceánica frente a Chiloé, diferenciado por la fauna parasitaria, amerita todavía de una explicación. De igual modo la diferenciación de las zonas entre Parácas y Coquimbo con la zona hacia el sur sugerida por la química de los otolitos; y la falta de muestras entre Isla Lobos de Afuera y Parácas también impide localizar el límite entre ambas subpoblaciones con mayor precisión. Asimismo la estabilidad de los marcadores utilizados, principalmente los parásitos y de la química de los otolitos requiere ser examinada.

Por tanto se recomienda un segundo estudio, basado también en un enfoque multi-metodológico, que considere un muestreo estacional (3 o 4 muestreos al año; uno en el período principal de desove)



E. IDENTIFICAR TIPOS DE MARCAS Y SU DESEMPEÑO EN EL JUREL A TRAVÉS DE EXPERIMENTOS CONTROLADOS

E.1. TIPOS DE MARCAS

E.1.1. Fundamentaci3n

La gran variedad de marcas o “tags” existentes en el mercado, han sido diseñadas para establecer un seguimiento de parámetros biológicos y ecológicos en diversos tipos de animales. En el caso de los animales marinos este seguimiento se torna más complejo, por ello se han desarrollado diversos tipos de “tags”, que implicaron en un principio la identificaci3n de cada ejemplar con un código alfanumérico, sin embargo, con el avance de la tecnología electr3nica, se desarrollaron “tags” que permitieron la emisi3n de señales de radio y acústicas con las cuales fue posible individualizar a cada ejemplar en el proceso de recaptura. Pero ante la necesidad de mejorar el conocimiento de la trayectoria y los ciclos migratorios de algunas especies marinas de gran interés científico, se desarrollaron los “tags de archivo” con la posibilidad de georreferenciaci3n de los datos registrada.

Estos tags de localizaci3n interna y externa han sido utilizados con gran éxito en programas de marcaje de atunes, tiburones, tortugas, ballenas, etc., en el Pacífico y Atlántico (CPPS-UACH, 2006, Boustany, *et al.* 2004, Ecklert, *et al.* 2000, ICCAT. 2007 (b), IEO. 2002), permitiendo registrar las trayectorias a través del ciclo anual. En este estudio se utilizarán cuatro tipos de marcas las cuales se identifican en la **tabla E1**:

Tabla E1.
Tipos de marcas a ser usadas.

Modelo	Tipo	Localizaci3n	Fabricante
T-Bar (TBA)	Externa	Base aleta dorsal	Hallprint (Australia)
Food-safe PIT	Externa	Base aleta dorsal	ENSID's (Nueva Zelanda)
LAT2510	Interna	Zona Ventral	LOTEK (Canadá)
X-Tag	Externa	Base aleta dorsal	Microwavetelemetry (USA)



Estas marcas se basan en modelos preexistentes que han tenido un buen resultado en muchos trabajos de investigaci3n, desarrollados en diversos recursos, y adem1s se ajustan a los requerimientos planteados en los TBR, en los cuales se enfatiza que dichas marcas permitan un seguimiento espacial y temporal de los patrones migratorios, idealmente privilegiando el sensoramiento remoto. Esto 3ltimo, no es aplicable al jurel, desde la perspectiva satelital, de manera continua como si lo es con algunos animales terrestres. Debido, principalmente, a la imposibilidad de enviar informaci3n desde un peque1o aparato, a trav3s de dos medios de distinta condici3n (agua y aire). Sin embargo, con las marcas LAT2510 y con X-Tag, es posible establecer la trayectoria espacial y temporal desarrollada por un ejemplar marcado, requiriendo para ello, la recaptura (marcas LAT2510) o sin ella, como es el caso de la marca X-Tag. En el caso del jurel chileno, ninguna de estas marcas ha sido probada, y de acuerdo a los trabajos existentes en el marcaje de tiburones, atunes, peces espada, meros, etc., es posible se1alar los puntos en los cuales estas marcas pueden ser instaladas en el cuerpo de cada ejemplar de jurel, tal como se indica en la **Tabla 1**. Sin embargo, es parte de los objetivos de este estudio determinar el lugar m1s apropiado en el cual instalar dichas marcas.

El uso de las marcas electr3nicas, en peces pel1gicos de mayor tama1o al del jurel, ha tenido un amplio y completo desarrollo. No obstante, los tama1os utilizados hasta el a1o 2006, correspondieron a tama1os a3n inadecuados para su uso en este recurso. El mejoramiento tecnol3gico implementado por las empresas LOTEK y Microwavetelemetry durante los 3ltimos a1os, les permiti3 lanzar al mercado durante el a1o 2007, dos tipos de marcas electr3nicas de archivo de tipo interna (LAT2510) y externa (X-Tag del tipo Pop-up), que tienen la particularidad de ser m1s peque1as que sus antecesoras y adem1s de poseer una mayor memoria de almacenamiento. Estas condiciones permitieron identificarlas como las marcas m1s apropiadas para el



uso en jurel o en especies de menor tamaño a los ya probados anteriormente, en comparación a las de su tipo existentes en el mercado.

Junto con el uso de estas marcas se ha establecido el uso de marcas del tipo “convencionales” como las marcas externas del tipo “T-Bar”, producidas por Hallprint, las cuales permitirán identificar a los ejemplares de jurel marcados con marcas internas y a su vez verificar el nivel de desprendimiento que se puede producir durante el período de liberación. Junto con ello, para facilitar la identificación en la línea de procesamiento una vez que el ejemplar marcado haya sido recapturado se utilizará un PIT tag, moldeado en la marca T-Bar y que permitirá reconocer electrónicamente al ejemplar marcado mediante un código alfanumérico, el cual será recepcionado por una antena que emite y recibe una señal electromagnética con el código alfanumérico.

En este sentido es necesario tener en consideración que la experiencia que se registra en el jurel chileno, utilizando marcas del tipo convencional, es poco exitosa. Estudios realizados en la zona norte de nuestro país hace algunas décadas atrás (Torres *et al.*, 1984), indicaron una recaptura menor al 1%, ocasionada en gran parte por el carácter transzonal de la distribución espacial del jurel y a la baja cobertura espacial que poseía la pesquería nacional de esta especie, durante el periodo de estudio. Por otro lado, experimentos realizados en pelágicos pequeños tales como la anchoveta (*Engraulis ringens*) (Martínez *et al.* 1998) y la sardina (*Clupea harengus*) (Corten, 2002) también evidenciaron un bajo nivel de recaptura, a pesar de ser especies principalmente costeras.

La cobertura espacial actual de la pesquería nacional de este recurso es distinta a la observada durante la década de los 80', logrando cubrir desde Arica hasta la cuadra de la Península de Taitao por el sur y extendiéndose hasta los 90°W, lo que representa una mayor probabilidad de recaptura de los ejemplares de jurel

marcados, en el ámbito de un futuro programa de marcaje y recaptura a implementar a partir de los resultados de estos estudios. Por ello, se utilizan marcas electrónicas y convencionales que consideran la recaptura del ejemplar marcado y se espera que la marca electrónica satelital (X-Tag) pueda permitir salvaguardar los resultados esperados, en relación a la descripción de los patrones migratorios de este recurso, si efectivamente los porcentajes de recaptura para los otros tipos de marcas fueran nuevamente bajísimos.

E.1.2. Antecedentes detallados de las marcas a utilizar en los experimentos de marcaje.

E.1.2.1. Marcas T-Bar (TBA) en combinación con PITs Tag.



Figura E1. PIT tags implantable de plástico distribuido por Hallprint's.



Figura E2. PIT tags en combinación con T-Bar (TBA) con pistola de inserción de T-Bar.

Hallprint distribuye una nueva marca del tipo PIT (Passive Integrated Transponder) (**Figuras E1 y E2**), que junto con tener un pequeño espiral electromagnético y el microchip, posee la particularidad de estar protegida en una cápsula de plástico, que en caso que esta marca sea utilizada inserta en la musculatura del pez, no ocasione problemas al consumir este ejemplar



marcado posteriormente, como puede ser probable en el caso de otros PIT que vienen encapsulados en vidrio. Esta tecnologíA ha sido desarrollada por ENSID Technologies Ltd's (ENSID's) y New Zealand's National Institute for Water and Atmospheric Research (NIWA), para su utilizaci3n en el marcaje del "roncador" o Snapper, en un proyecto de evaluaci3n de stock financiado por el gobierno de Nueva Zelandia durante los ańos 2002 y 2003. Es importante seńalar que la marca PIT se encuentra en estado inerte hasta que es activada inductivamente con un lector, el cual provee el poder para que la marca transmita un único c3digo alfanumérico. El sistema ofrece 34 billones de c3digos y opera entre 125 a 400 kHz, pero la detecci3n de este rango es muy baja y a corta distancia. Las marcas pueden ser decodificadas con un lector portable de 10-15 cm. Existen adem3s lectores autom3ticos que son tambi3n utilizados en un t3nel detector, con alcance m3ximo de 50 cm. El tamańo de la marca PIT a utilizar en los experimentos es de 11 mm de largo y 2,1 mm de diámetro.

Por otro lado, Hallprint ha desarrollado una combinaci3n de esta marca junto a una marca externa de anclaje del tipo T-Bar (TBA), la que permite mantener a la marca PIT al interior de la vaina de pl3stico, en forma externa y sin tener que introducirlo en el interior de la musculatura del pez. De esta combinaci3n, aÚn no existen resultados experimentales, pero la posibilidad de portar este tipo de marcas en forma externa, deberíA permitir una mejor recepci3n de la seńal electromagnética de rebote que trae la codificaci3n entregada por el microchip. Junto con ello, otra de las propiedades que permitieron incluir este tipo de marcas fue la posibilidad de poder instalarlas en peces con un amplio rango de tamańos desde 20 cm hasta los 50 cm, segÚn lo recomienda Hallprint; asÍ mismo, la inserci3n de esta marca combinada se realiza con una pistola de inserci3n de marcas T-Bar y causa un mÍnimo impacto en la musculatura del pez, lo que a su vez podrÍa reducir las posibles infecciones que pudieran manifestarse por la inserci3n de este tipo de marcas. Otro elemento importante



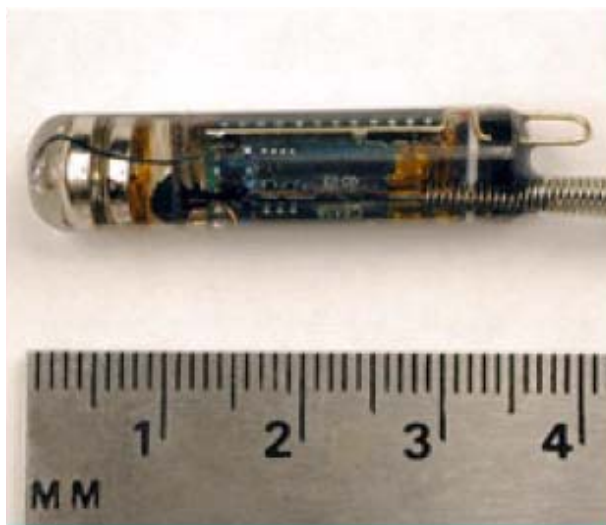
considerado en su elección fue su diseño el cual se caracteriza por ser de doble anclaje, que disminuye desprendimiento. Pero sin duda, que uno de los elementos que hace atractivo el uso de estas marcas en forma masiva a la hora de pensar en un programa de marcaje y recaptura, es su precio, que alcanza actualmente a los \$ 5,8 AU dólares por unidad.

E.1.2.2. Marca electrónica de archivo interna, con georreferenciación de datos.

Dentro de las empresas dedicadas a la producción de marcas electrónicas de archivo internas, la empresa LOTEK posee una gran variedad de productos para especies terrestres y marinas. En este sentido, durante el año 2007, ha lanzado al mercado el modelo LAT2510 (**Figura E3**), correspondiente a una marca de este tipo, de pequeño tamaño (8 mm de diámetro y 35 mm de largo), especialmente diseñada para especies de peces marinos de pequeño tamaño. Este tipo de marca incluye un data logger capaz de almacenar datos de profundidad, temperatura interna y externa, junto a la intensidad de luz, información con la cual posteriormente se puede estimar la posición geográfica, mediante un software de análisis de datos el cual se incluye en la compra de estas marcas. La recuperación de esta información se debe realizar mediante un LAT reader y requiere necesariamente de la recaptura del ejemplar marcado.

La posibilidad de poder utilizar esta marca en ejemplares de jurel de diferentes tamaños, desde juveniles hasta adultos, junto a la posibilidad de poder georreferenciar los datos y de esta forma describir la trayectoria de los peces marcados, fueron los argumentos que permitieron elegir este modelo de marca para ser incorporada a los experimentos. Sin embargo, es importante considerar que entre los aspectos negativos que posee la utilización de esta marca están la

recaptura obligatoria de los ejemplares marcados y su alto precio, que supera los \$1.300 CAD (D3lares canadienses).



LAT2510

Figura E3. Marca electr3nica de archivo LAT2510.

Para estas marcas, las mediciones de intensidad de luz bajo el agua, pueden ser utilizadas para estimar la hora del atardecer y anochecer, y as3 determinar la posici3n longitudinal. La temperatura superficial del mar registrada en la etiqueta (temperatura externa cuando la profundidad del pez es cero) puede ser comparada con los datos de temperatura superficial obtenida por sat3lites para calcular la posici3n latitudinal del pez. De este modo, es posible obtener una estimaci3n diaria de la geoposici3n del pez.



E.1.2.3. Marca electr3nica de archivo externas del tipo Pop-up o satellite tag, con descarga remota de datos georeferenciados.

El mayor desarrollo de estas marcas electr3nicas de archivo, que almacenan datos, es el env3o de esta informaci3n en forma remota hacia las estaciones de recepci3n, mediante la transmisi3n de datos hacia la red de sat3lites Argos y desde 3stos a estaciones ubicadas en tierra. Estas marcas satelitales se fijan en el pez de manera externa (**Figura E4**). Tras un tiempo predeterminado, la etiqueta se libera del pez y flota hacia la superficie y transmite un resumen de los datos almacenados, empleando los sat3lites de tr3nsito. Estas etiquetas tienen la ventaja, comparadas con las de archivo interna, que el pez no necesita ser recapturado para poder conseguir la informaci3n. Sin embargo, la resoluci3n de datos es menor que la de las etiquetas de archivo.



Figura E4. Posici3n de la marca satelital y marca convencional (amarilla) dispuestas sobre un Marlin blanco marcado en la regi3n central del Atl3ntico.

En este sentido, la empresa norteamericana Microwavetelemetry, ha presentado durante el a3o 2007, una nueva marca de este tipo, de menor tama3o a las

existentes en el mercado, dise1ada especialmente para su utilizaci3n en peces m1s peque1os a diferencia de las ya tradicionalmente en uso. El modelo X-Tag (**Figura E5**), con un tama1o de 12 cm de cuerpo y un peso de 40 g en el aire, lo convierte en la marca satelital m1s peque1a del mercado y por lo tanto, en la m1s apropiada de las existentes, para utilizar en los experimentos de marcaje, eso s1, solamente con ejemplares de jurel de tama1o superior a 40 cm LH, seg1n lo recomendado por los t1cnicos de la empresa Microwavetelemetry. A pesar de la importante disminuci3n de tama1o que este tipo de marca experiment3 con la aparici3n de este nuevo dise1o, a1n es bastante grande para ser utilizada en jureles juveniles y queda en duda si los ejemplares adultos mayores a 40 cm LH podr1n soportar su utilizaci3n, pero en este momento no existe una marca que disponga del mecanismo de autodesprendimiento que posee este tipo de marca y adem1s la capacidad de env1o en forma remota de la informaci3n a una estaci3n ubicada en tierra firme, no requiriendo la recaptura del ejemplar marcado.



Figura E5. Marca de archivo del tipo Pop-up modelo X-Tag.

Especificaciones f1sicas de las marcas:

- Tama1o 120 mm de largo x di1metro m1ximo. 32mm + 150mm largo antena
- Peso 40g
- Presi3n m1xima soportada 3500 psi (2500m)
- Fuerza de tiro m1xima soportada > 150 lbs.



E.2. ESTUDIOS PRELIMINARES DE INSERCIÓN DE MARCAS EN EJEMPLARES DE JUREL.

Las marcas T-bar y X-Tag son clasificadas como marcas externas, con un punto de fijación interno que normalmente es la musculatura del pez. El punto de anclaje para estas marcas, es generalmente la aleta dorsal, y es ampliamente usado por autores que han desarrollado estudios de marcaje en peces pelágicos (Lutcavage *et al.*, 1999, Pontual *et al.*, 2003; Domeier *et al.*, 2005). Un lugar no adecuado de inserción de marca puede traer como consecuencia, la pérdida de ésta, así como, cambios en el comportamiento natatorio y mortalidad atribuida a infecciones y/o estrés. Por este motivo, se realizaron actividades de laboratorio con la finalidad de obtener un punto de referencia externo idóneo, para la inserción de la marca T-bar en jurel, que presente un menor desprendimiento y cause el menor daño físico.

El proveedor de la marca T-bar, en sus notas técnicas hace referencia a la inserción de etiquetas en peces, indicando que para muchos peces, el mejor lugar para insertar la aguja es usualmente la base de la primera espina dorsal, en la región muscular debajo de la aleta dorsal, indicando además que el punto de inserción en el pescado debe ser realizado bajo el mayor control posible.

En el caso de las técnicas de inserción para la marca X-Tag, se realizaron contactos con la Dra Molly Lutcavage, con la finalidad de solicitar su apoyo en la implementación de esta metodología. Ella y su equipo de trabajo transfirieron sus experiencias y avances en los accesorios y metodología utilizados en la inserción de esta marca en el lomo de atunes y de otros pelágicos mayores. Esta información sirvió de base para la implementación de una metodología de inserción en jureles. (**Figura E6 y E7**).



Figura E6. X-Tag con sistema de inserción tipo “umbrella” (Gentileza Dra. Lutcavage, Larger Pelagics Research Center)



Figura E7. Método de inserción de X-Tag probado en atunes con sistema de inserción tipo “umbrella” (TenBruggencate, 2008).

Uno de los elementos importantes en el sistema de inserción de etiquetas satelitales X-tag, es la pequeña pieza de anclaje o dardo insertada en el músculo. Los actuales estudios de marcaje con marcas satelitales, son

dirigidos a especies de mayor tamaño que el jurel como atunes, tiburones, ballenas, etc. La pieza de anclaje es de tamaño apto para estas especies y existen variados tipos de diseños. Uno de estos tipos de anclaje más conocidos se denomina *umbrella Dart*, este dardo posee una estructura tipo “paraguas”, es de plástico y al ejercer fuerza en sentido contrario ofrece un buen agarre en la musculatura. Su creador es el Dr. Michael Domeier presidente de Marine Conservation Science Institute. Contactos establecidos con él, han permitido adquirir dardos de tamaño pequeño (15 mm) y tamaño medio (20 mm) (**Figura E8**). El Dr. Domeier ha indicado que estos moldes han sido elaborados poco tiempo atrás y no existen experiencias en el uso de “*umbrellas dart*” en peces de tamaño como el de jurel. También ha mostrado gran interés en los resultados de estos experimentos y nos ha ofrecido su apoyo en los resultados preliminares que se puedan obtener.



Figura E8. Umbrella Dart medium y small (blanco) elaborada por el Dr. Michael Domeier.



Por otro lado, en el 3mbito de las marcas internas, en este caso las marcas internas de archivo electr3nicas, normalmente se han asociado a la inserci3n en la cavidad abdominal, existiendo innumerables estudios en los cuales se ha realizado marcaje de atunes del Atl3ntico, Pacífico e Indico (Yamashita and Miyabe, 2001; Block *et al.* 2001; Block *et al.* 2003; Cosgrove *et al.* 2006; Delgado *et al.* 2007). En estos casos en forma predominante se ha utilizado la cavidad abdominal para la alojar este tipo de marcas, las cuales requieren, dejar en forma externa una l3nea que sostiene el sensor de luz, por ello, es m3s favorable utilizar la regi3n abdominal, sin embargo, en el caso del jurel es preciso definir el lugar preciso para insertar la marca LTD2510 para que le permita mantener el movimiento ondulatorio sin un perjuicio evidente.

E.2.1. Determinaci3n de los puntos de inserci3n.

E.2.1.1. Reconocimiento anatómico del cuerpo del jurel.

Con la finalidad de establecer la forma m3s apropiada de realizar la inserci3n de las marcas a utilizar en los experimentos de marcaje, considerando posibles lugares de instalaci3n, profundidad e inclinaci3n del anclaje de la marca, se determin3 realizar las siguientes actividades:

- Reconocimiento de la estructura externa (cabeza, tronco, cola) del jurel.
- Reconocimiento de la estructura b3sica interna 3sea del jurel, diferenciando las regiones del tronco (columna vertebral) y la regi3n apendicular. (esqueleto de aletas).
- Disecci3n y corte longitudinal del pez (vista lateral) para cuantificar la longitud de la inserci3n de los anclajes T-bar anchor, X-Tag y LAT2510.
- Disecci3n para determinar partes duras en que esta marca quedar3 anclada.

- Practicar las técnicas de inserción de las marcas TBA, X-Tag y LAT2510 en cadáveres de jurel.

Los ejemplares de jurel fueron descongelados (**Figura E9**) procurando que la tonicidad del pez sea la adecuada para la inserción de la marca.

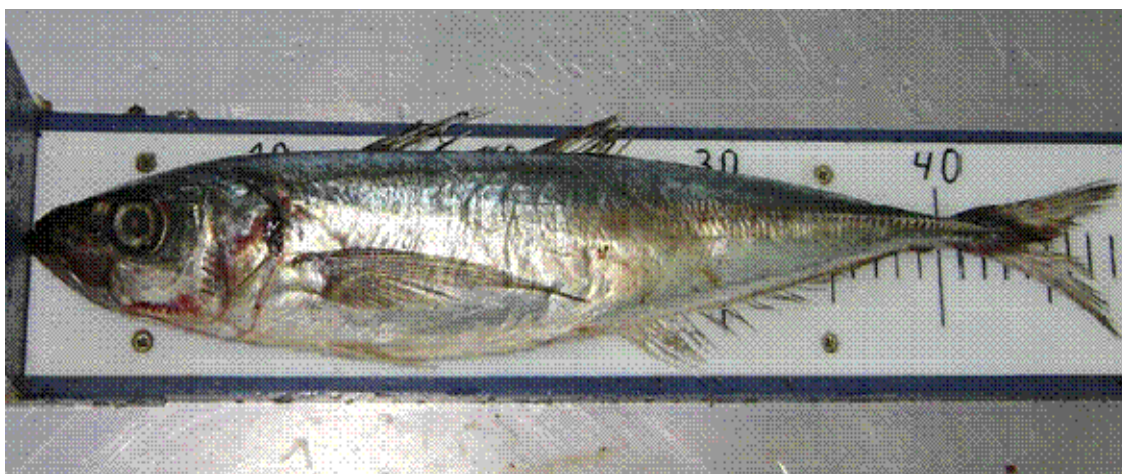


Figura E9. Ejemplar de jurel descongelado para disección y práctica de marcaje.

Técnicamente, el tronco es la zona comprendida entre la línea transversal posterior al opérculo y la línea transversal que pasa por el ano. Se determinó que las marcas externas (T-bar y X-Tag) debieran ser ubicadas solo en la parte del tronco, debido a que esta región es sometida a una menor actividad respecto de la región caudal, en la cual se supone una mayor pérdida de la marca, por ello se excluyó esta región para la inserción de estas marcas. En el caso de las marcas internas (LAT2510), se definió la región abdominal como una región apropiada para insertar la cápsula que recubre la marca, de acuerdo a trabajos realizados en atunes (Yamashita and Miyabe, 2001; Block *et al.* 2003; Cosgrove *et al.* 2006; Delgado de Molina *et al.* 2007).

E.2.1.2. Determinaci3n de regiones apropiadas para la inserci3n de la marca TBA.

El an3lisis de la regi3n interna muscular y esquel3tica, mediante la realizaci3n de un corte longitudinal realizado en ejemplares de jurel (**Figura E10**), permiti3 determinar con mayor precisi3n regiones espec3ficas que pudiesen ser apropiadas para la inserci3n de la T-bar, realizando un 3nfasis en los puntos en los cuales se puede anclar esta marca sin generar da1o en el ejemplar, adem3s de posibles dificultades en el nado. La profundizaci3n de la inserci3n es un elemento importante a considerar, por lo que, se realiz3 un n3mero abundante de inserciones con marcas de prueba que permitieron determinar el nivel de profundizaci3n y el lugar m3s apropiado a utilizar en cad3veres de jurel.

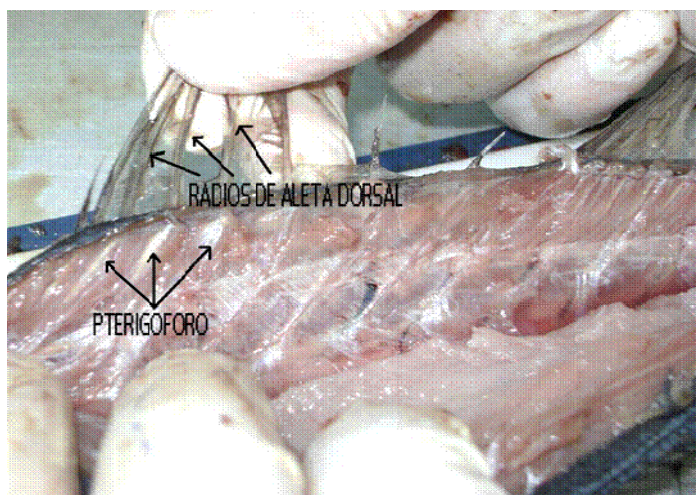


Figura E10. Aleta dorsal 1, pterig3foros y radios de aleta en jurel.

Se realizaron pruebas de inserci3n en la base de la aleta dorsal 1 y la base al aleta dorsal 2, considerando las experiencias en otros recursos con estas marcas (Uriarte *et al.* 2001; Jolivet *et al.* 2009). La marca T-bar que termina en forma de “T” queda anclada entre pterig3foros basales y el m3sculo. Idealmente la exposici3n de la marca debe ser reducida (**Figura E11**). Esto se consigui3 al

introducir con ángulo la aguja hacia la cabeza, de esta manera, la marca quedará menos expuesta. Dependiendo del tamaño del jurel y el ángulo de inserción, entre 30° y 45°, se estima que la etiqueta quedará inserta en el músculo entre 10 mm a 30 mm. La inserción de la marca, a fin de disminuir el trauma y el daño, debe ser limpia procurando que la aguja no cambie en el eje que se introdujo.



Figura E11. Corte longitudinal costado de la aleta dorsal 1, con presencia de una marca de prueba anclada entre pterigóforos y músculo (círculo rojo).

Para establecer la posición mas idónea a recomendar para la inserción de la marca T-bar se determinó el valor límite de la magnitud de la fuerza que debiera existir para producir el desprendimiento de ésta en ambas regiones (base aleta dorsal 1 y base aleta dorsal 2), se cuantificaron estos valores y se sometieron a una análisis estadístico para definir cual de las posiciones en las que se programaron las inserciones ofrece un mejor anclaje sobre condiciones de tracción

extremas. De este modo, se dise1aron actividades pr1cticas de laboratorio para determinar estos valores, para ello, se utilizaron 150 cad1veres de jurel, los cuales fueron sometidos a sesiones pr1cticas de laboratorio, de medici3n de fuerza de tracci3n o fuerza de resistencia, utilizando un dinam3metro de precisi3n 100 grs.

E.2.1.3. Determinaci3n de regiones apropiadas para la inserci3n de la marca X-Tag.

En el caso de la marca externa X-Tag, se disponían de dos tipos de dardos de inserci3n (dardos “S” y “M”) de diferente tama1o. Este tipo de dardos ha sido dise1ado para atunes principalmente (Domeier comp. pers. 2009) y utilizado con gran efectividad (De Metrio *et al.* 2004;), para el efecto de estos experimentos se trajeron unidades para su prueba en jureles. Al igual que ocurri3 con las T-bar, se probaron las regiones ubicadas bajo la aleta dorsal 1 y dorsal 2, determin1ndose posteriormente su correcta adhesi3n e inserci3n. **Figura E12.**



Figura E12. Etiqueta electr3nica X-tag, aparatos de inserci3n y dardos “M” y “S”. Para ello, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Cuantificación de la tracción de agarre de los dardos mediante un dinamómetro con precisión 100 g.
- Disección para verificar que la marca quedará bien anclada en las partes duras.
- Disección y corte longitudinal del pez (vista lateral) para cuantificar la longitud de inserción del dardo.

Para la realización de estas actividades se armó un sistema de anclaje similar al sugerido por la Dra. Lutcavage (comp. pers. 2009) que consistió principalmente, en unir al dardo un monofilamento de nylon recubierto con una vaina transparente y flexible de silicona, de un largo de 7 cm (**Figura E13 y E14**).

De la misma manera que las marcas T-bar Hallprint, el dardo fue insertado traspasando la musculatura dorsal quedando anclado entre los pterigofóros basales y el músculo adyacente. Esta ubicación permitió un buen anclaje debido a la estructura en forma de paraguas que exhibe el dardo, quedando anclada entre pterigofóros.

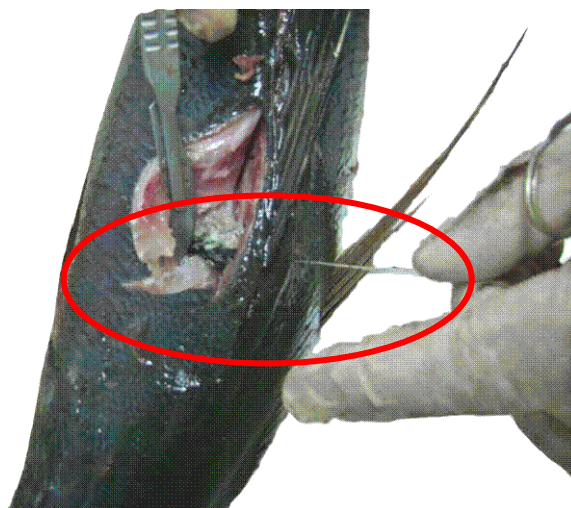


Figura E13. Revisión del lugar dorsal interno del ejemplar donde se ha anclado el dardo.



Figura E14. Dardo anclado donde se observa la exposición de la vaina que cubre el monofilamento.

Para establecer el tamaño de marca y posición mas idónea a recomendar para su inserción, se determinó el valor límite de la magnitud de la fuerza que debiera existir para producir el desprendimiento en ambas regiones (base aleta dorsal 1 y base aleta dorsal 2). Para ello, se cuantificó estos valores y se sometieron a un análisis estadístico, para así definir cual de los tamaños y posiciones en las cuales se programaron las inserciones ofrece un mejor anclaje sobre condiciones de tracción extremas. De este modo, se diseñaron actividades prácticas de laboratorio para determinar estos valores. Para ello, se utilizaron 200 cadáveres de jurel, los cuales fueron sometidos a sesiones prácticas de laboratorio, de medición de fuerza de tracción o fuerza de resistencia, utilizando un dinamómetro de precisión 100 grs.



E.2.2. Resultados y an3lisis estudios de inserci3n de marcas.

Los resultados de inserci3n de marca se presentan en la **tabla E2**.

Tabla E2.

Fuerza (kg) de resistencia promedio registrada en distintos puntos de inserci3n ensayados para anclajes de marcas T-bar y X-Tag.

Ubicaci3n TAG	Inserci3n	Media (Kgf)	Desvest	N
Aleta dorsal 1	Dardo Domeier M	3,20	0,70	50
Aleta dorsal 1	Dardo Domeier S	2,37	0,66	50
Aleta dorsal 2	Dardo Domeier M	2,57	0,53	50
Aleta dorsal 2	Dardo Domeier S	1,87	0,42	50
Aleta dorsal 1	TBA un poro	1,52	0,80	50
Aleta dorsal 1	TBA dos poros	1,62	0,69	50
Aleta dorsal 2	TBA un poro	1,60	0,75	50

E.2.2.1. An3lisis de las pruebas de inserci3n con marcas T-bar.

Para determinar si las diferencias de las magnitudes de las fuerzas de resistencia observadas (**Tabla E2**), para las diferentes posiciones del anclaje de 1 poro o 2 poros son estadisticamente significativos, se analizaron estos datos utilizando el programa SPSS Statistics 17.0.

Los datos de fuerza de resistencia de etiqueta T-bar fueron sometidos a un an3lisis de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov- Smirnov, indicando que los datos son normales con un valor $p = 0,075 (> 0,05)$



One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Fuerza
N		150
Normal Parameters ^{a, b}	Mean	1,5784
	Std. Deviation	,74440
Most Extreme Differences	Absolute	,105
	Positive	,105
	Negative	-,074
Kolmogorov-Smirnov Z		1,281
Asymp. Sig. (2-tailed)		,075

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Para comparar la fuerza de resistencia de la etiqueta T-bar a la tracción en las inserciones de la base de las aletas dorsal 1 y dorsal 2 se realizó la prueba estadística T de Student.

H0 = la fuerza de resistencia de la etiqueta TBA no es diferente entre las aletas

H1= la fuerza de resistencia de la etiqueta TBA es diferente entre las aletas

Group Statistics

Posición		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Fuerza	1	50	1,5162	,80241	,11348
	2	50	1,6008	,75239	,10640

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Fuerza	Equal variances assumed	1,247	,267	-,544	98	,588	-,08460	,15556	-,39330	,22410
	Equal variances not assumed			-,544	97,597	,588	-,08460	,15556	-,39332	,22412

El estadístico es t es -0,684; p = 0,15556; por lo tanto se acepta H0 no encontrándose diferencias significativas al realizar tracción de la marca insertada en la base de las aletas dorsal 1 y dorsal 2.

Considerando el resultado de este an3lisis, en el cual no existen diferencias significativas al instalar la marca en una u otra aleta, por lo tanto, se determin3 utilizar la base de la aleta dorsal 1 para el anclaje de esta marca, debido a que en esta regi3n del tronco la movilidad es menor que en la regi3n donde se ubica la aleta dorsal 2 (cercana a la aleta caudal).

Sobre los puntos de referencia externos a utilizar en un marcaje masivo, se utiliz3 la segunda l3nea lateral (l3nea accesoria), paralela al borde de las aletas dorsales y las espinas y primeros radios de la aleta dorsal 1. La marca debe ser insertada en el cruce del eje de la l3nea accesoria, por debajo de la aleta y el radio m3s largo de la aleta dorsal 1, con un 3ngulo de inclinaci3n entre 30° y 45° (**Figura E15**).

Por otro lado, el proveedor de las etiquetas Hallprint, indica que el tama1o apropiado de peces 3seos para la utilizaci3n de la marca T-bar, se encuentra entre 20 cm LT (Longitud total) y 50 cm LT. Todos los ejemplares analizados (N=30) estuvieron en este rango.

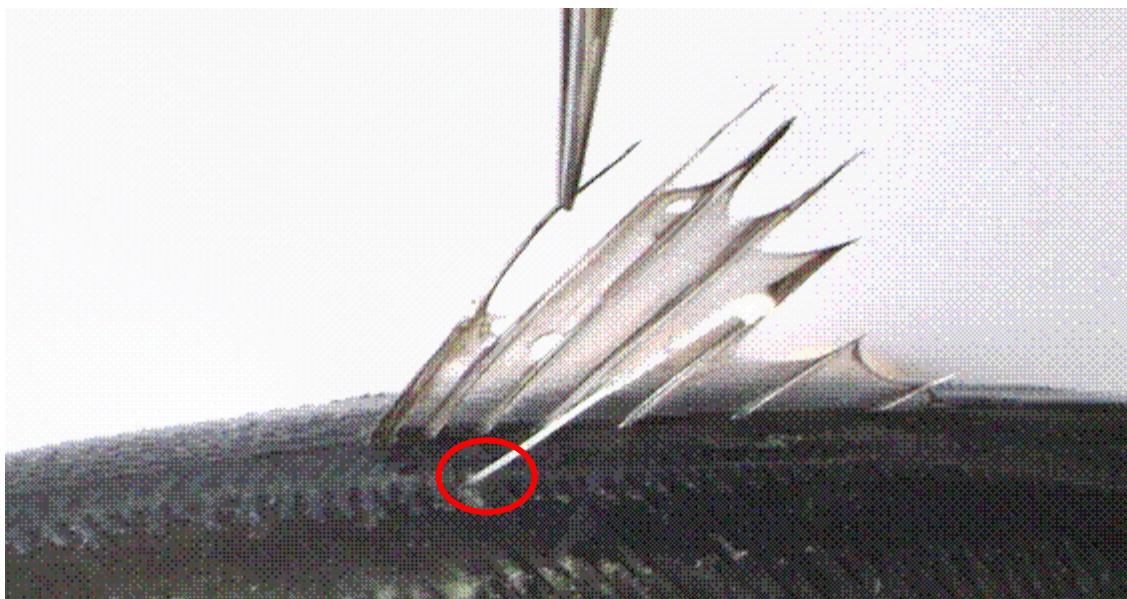


Figura E15.- Punto de referencia de inserci3n de la marca entre la l3nea accesoria y primeros radios de la aleta dorsal 1(c3rculo rojo).



E.2.2.2. Análisis de las pruebas de inserci3n con dardos S y M para X-Tag.

En primer lugar se realiz3 un análisis de normalidad de datos, por medio de la prueba estadística de Kolmogorov- Smirnov, que demostr3 que los datos no eran normales con un valor $p = 0,047$

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Fuerza real estimada (kgf)
N		200
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	2,5013
	Std. Deviation	,75492
Most Extreme Differences	Absolute	,097
	Positive	,097
	Negative	-,092
Kolmogorov-Smirnov Z		1,369
Asymp. Sig. (2-tailed)		,047

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

En segundo lugar se procedió a normalizar los datos, transformándolos con Logaritmo en base 10, y se volvió a aplicar esta prueba estadística para comprobar si los datos eran normales, observándose un valor $p = 0,192$

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Log
N		200
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,3784
	Std. Deviation	,13205
Most Extreme Differences	Absolute	,077
	Positive	,060
	Negative	-,077
Kolmogorov-Smirnov Z		1,083
Asymp. Sig. (2-tailed)		,192

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.



Una vez normalizados los datos, se aplicó una ANOVA factorial tomando en cuenta como variable dependiente la fuerza de resistencia y como factores fijos el tipo de dardo (M y S) y ubicación de la inserción (Aleta 1 y Aleta 2)

H0 = Las fuerzas de resistencia no son diferentes para la ubicación y los dardos.

H1 = Las fuerzas de resistencia son diferentes para la ubicación y los dardos.

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Ubicación anclaje	L1	Aleta Dorsal 1	100
	L2	Aleta Dorsal 2	100
Tipo de Dardo	M	Dardo mediano	100
	S	Dardo pequeño	100

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Log

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,370 ^a	3	,457	42,612	,000
Intercept	28,636	1	28,636	2672,499	,000
Ubicación	,448	1	,448	41,788	,000
Dardo	,921	1	,921	85,987	,000
Ubicación * Dardo	,001	1	,001	,060	,806
Error	2,100	196	,011		
Total	32,106	200			
Corrected Total	3,470	199			

a. R Squared = ,395 (Adjusted R Squared = ,385)

Según lo observado en la tabla se acepta H1, indicando que los valores de fuerza de resistencia a la tracción son significativamente distintos para los dardos y además para la ubicación en la base de las aletas dorsal 1 y dorsal 2.

Se realizó una prueba estadística T de Student para verificar diferencias de fuerza de resistencia a la tracción entre los tipos de dardos.



H0 = la fuerza de resistencia del dardo mediano no es diferente a la del dardo peque1o en la aleta 1

H1= la fuerza de resistencia del dardo mediano es diferente a la del dardo peque1o en la aleta 1

Group Statistics

Tipo de Dardo		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Log	Dardo mediano	50	,4918	,11401	,01612
	Dardo peque1o	50	,3596	,11434	,01617

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference		Lower	Upper
Log	Equal variances assumed	,049	,825	5,787	98	,000	,13215	,02284		,08684	,17747
	Equal variances not assumed			5,787	97,999	,000	,13215	,02284		,08684	,17747

El estadístico t es 5,787; p = 0,000; por lo tanto se acepta H1, indicando que los dardos presentan distinta fuerza de resistencia en la Aleta 1.

Para determinar si existían diferencias en la fuerza de resistencia a la tracci3n entre las inserciones realizadas en las aletas 1 y 2 para el dardo peque1o se realiz3 un test estadístico T de Student .

H0 = la fuerza de resistencia del dardo peque1o no es diferente en la aleta 1 y la aleta 2

H1= la fuerza de resistencia del dardo peque1o es diferente en la aleta 1 y la aleta 2

**Group Statistics**

VAR00004	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
VAR00008 L1	50	,3596	,11434	,01617
L2	50	,2614	,09308	,01316

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
										95% Confidence Interval of the Difference
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
VAR00008	Equal variances assumed	1,828	,179	4,711	98	,000	,09823	,02085	,05685	,13960
	Equal variances not assumed			4,711	94,124	,000	,09823	,02085	,05683	,13962

El estadístico t es 4,711; $p = 0,000$; por lo tanto se acepta H_1 , indicando que el dardo pequeño presenta diferente fuerza de resistencia entre la Aleta 1 y Aleta 2.

El análisis de estos resultados permitió determinar que la regi3n m3s apropiada a utilizar para anclar esta marca correspondi3 a la base de la aleta dorsal 1.

E.2.3. Determinaci3n y prueba de regiones apropiadas para la inserci3n de la marca de archivo electr3nica interna LAT2510.

Posteriormente, en el laboratorio se determin3 la posici3n id3nea y los puntos de referencia para introducir la marca interna LAT2510 en ejemplares de jurel, a pesar que algunos autores (Yamashita and Miyabe, 2001; Block *et al.* 2003; Cosgrove *et al.* 2006) han indicado que la posici3n correcta de inserci3n en atunes es abriendo la zona ventral e insertando la etiqueta dentro de la cavidad peritoneal, se estableci3 para el ensayo en jureles que la ubicaci3n intramuscular del abdomen planteaba una menor probabilidad de infecci3n que puede provocarse al insertar la etiqueta dentro de la cavidad peritoneal, evitando as3 un conducto de infecci3n hacia los 3rganos internos. Con esta premisa se realiz3 el reconocimiento muscular de la regi3n abdominal para determinar el punto m3s

idóneo para el anclaje de esta marca, que consideró la introducción en el músculo de esta región. Además se practicó el corte con un bisturí para no provocar daño en los órganos internos. En una primera parte se realizó un corte longitudinal en la zona ventral para identificar los órganos internos dentro de la cavidad peritoneal y la proporción de músculo cercana al punto de referencia anal. Se determinó realizar un corte con la hoja de bisturí en sentido longitudinal a un miótomo y abrir una herida para insertar la marca cilíndrica en sentido transversal al cuerpo del ejemplar a marcar, siguiendo la línea del miótomo para aminorar el trauma muscular, al momento del nado. Posteriormente para sellar la fisura de entrada se practicaron dos puntos quirúrgicos en los extremos anterior y posterior. (**Figuras E16 a,b,c y d**).

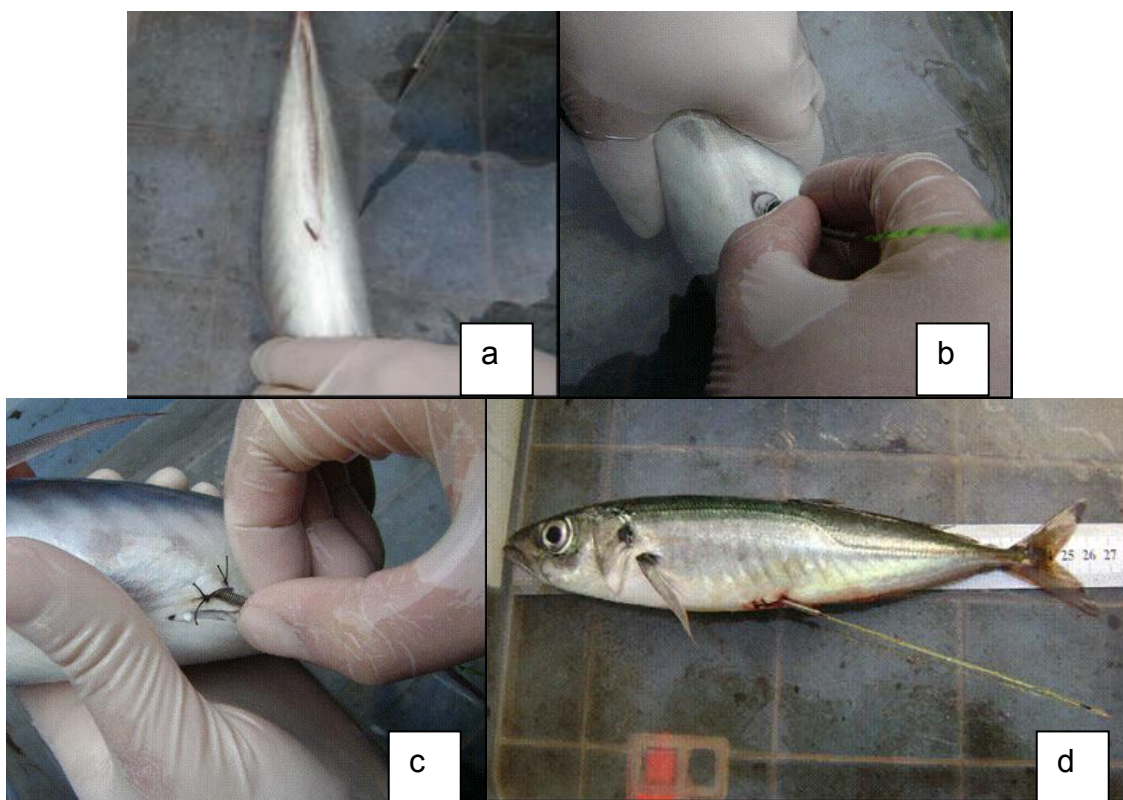


Figura E16. Secuencia de inserción de la marca interna LAT2510.

E.2.4. Conclusi3n estudios de inserci3n.

Finalmente, despu3s de realizar los an3lisis descritos anteriormente de determinaron las regiones apropiadas para realizar la inserci3n de las marcas externas (TBA y X-TAG) e internas (LAT2510) como se indica en la **Figura E17**, con la finalidad de generar un menor desprendimiento y un menor impacto en el pez a marcar.

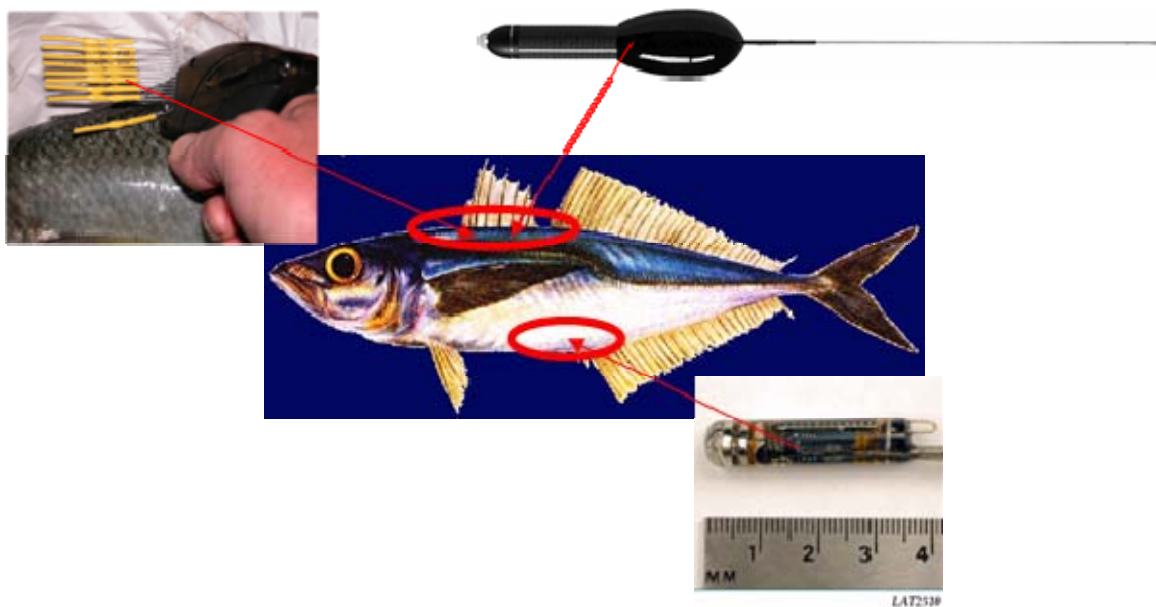


Figura E17 Posicionamiento de la inserci3n de las marcas en el cuerpo del jurel.



E.3. DESEMPEÑO DE LAS MARCAS SELECCIONADAS EN AMBIENTE CONTROLADO.

E.3.1. Estrategia 1: Cautiverio en balsa jaula.

Para el desarrollo de los experimentos se hizo un rediseño de la metodología planteada en la propuesta técnica, con la finalidad de mejorar la ejecuci3n de los experimentos y darle una mayor viabilidad al mantenimiento en cautiverio de los jureles, esto de acuerdo a experiencias negativas de prefactibilidad realizadas en nuestras instalaciones, en piscinas de pvc con aireaci3n y recambio de agua y teniendo en consideraci3n los resultados positivos obtenidos en estudios de experimentos de marcaje realizados en *Trachurus trachurus* (Abaunza, 2003) en los cuales se recomienda mantenerlos en cautiverio en el mar y no en cautiverio en sistemas de piscinas, que aumentan los problemas de enfermedades y por ende la mortalidad. Para ello, se instal3 un sistema de cautiverio en el mar, específicamente se implement3 una balsa jaula de cultivo para salmones para el acondicionamiento y ejecuci3n de los experimentos de marcaje.

E.3.1.1. Determinaci3n de lugar en el cual instalar la balsa jaula en la Bahía de Concepci3n.

Justificaci3n del lugar de instalaci3n

Las experiencias realizadas en el mantenimiento de áreas de manejo y en general de cultivo, en la Octava Regi3n, así como en otras regiones, han indicado la presencia de robos, tanto de materiales (boyas, cabos, redes, etc), como de las especies biológicas mantenidas en cautiverio. Esta es una variable que no es menor cuando se considera la posible p3rdida de las marcas y de los resultados de los experimentos, lo cual afectaría negativamente a este proyecto. Asimismo, es necesario considerar el alto costo de las marcas electr3nicas que van entre



1000 a 4000 dólares americanos. Es por ello, que se buscó un área dentro de la Octava Región con aguas de buena calidad (alejada de actividad portuaria e industrial) y que fuese el lugar más seguro y para instalar los experimentos de marcaje. De este modo, se concluyó como lugar adecuado a la porción de agua próxima a las instalaciones de la Base Naval, frente a la rada El Manzano, intentando con ello minimizar los riesgos de robo y por ende, maximizar la seguridad de las instalaciones y del desarrollo de los experimentos.

Una demora significativa tuvieron los trámites para concretar la instalación del centro de cautiverio **Tabla E3**. Estos se iniciaron con la solicitud formal a la autoridad marítima de la Segunda Zona Naval durante el mes de junio de 2008 y se concluyó con la instalación de la balsa jaula en la Bahía de Concepción al interior de la Base Naval en el mes de mayo de 2009. Durante este tiempo se desarrollaron reuniones con personeros de la Comandancia de la Segunda Zona Naval, la Capitanía de puerto de Talcahuano y además se realizó una solicitud de pesca de investigación a la Subsecretaría de Pesca, en la cual se informó a esta entidad de la instalación de esta balsa.



Tabla E3.

Cronología de trámites realizados en la implementación del centro de cautiverio de jurel al interior de la Segunda Zona Naval.

Gestión	Observación	Fecha
Solicitud formal al comandante de la Segunda Zona Naval.	Entrega de carta de solicitud formal. Entrega documento técnico sobre principales aspectos.	Junio 2008
Reunión comandancia Segunda Zona Naval.	Respuesta positiva a la petición. Traslado en 500 m. de la zona solicitada.	Julio 2008
Solicita permiso de Escasa Importancia	Inicio actividad pesquera	Diciembre 2008
Reunión con el capitán de puerto de Talcahuano.	Deniega autorización por contraorden de la dirección de intereses marítimos de la armada y Solicita autorización de Subsecretaría de Pesca.	Diciembre 2008
Solicitud de pesca de investigación.	Solicitud que contempla captura; traslado de ejemplares vivos; permiso de instalación de balsa jaula.	Enero 2009
Otorga la Subsecretaría de Pesca permiso de escasa importancia.	R.EX. N°1277	Abril 2009
Instalación de balsa jaula.		Mayo 2009

E.3.1.2. Descripción del sector de emplazamiento del proyecto.

Localización.

Tal como lo muestra la **Figura E18**, el lugar de emplazamiento quedó ubicado frente al espigón de la rada El Manzano al interior de la Base Naval. Las coordenadas geográficas de los vértices del área solicitada:

Vértice	Latitud	Longitud
A	36° 41' 06,783"S	73° 05' 48,514"W
B	36° 41' 06,783"S	73° 05' 46,112"W
C	36° 41' 08,412"S	73° 05' 48,514"W
D	36° 41' 08,412"S	73° 05' 46,112"W
Superficie poligonal (Há)		0,03
Número de carta SHOA referencia		6110

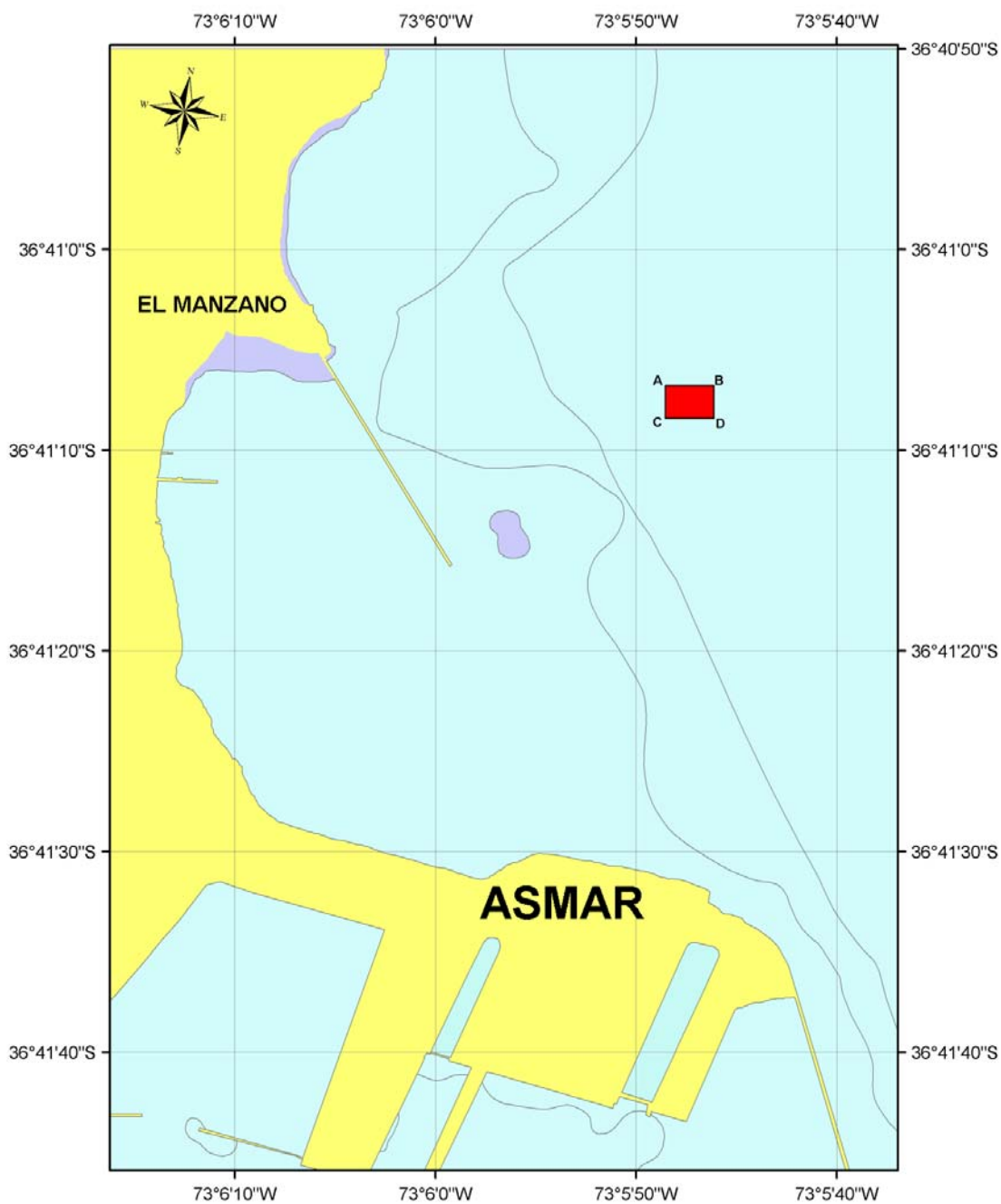


Figura E18. Esquema general área de emplazamiento del proyecto (delineado en color rojo). Rada El Manzano, Talcahuano. Extraído de Carta SHOA N° 6110 (Datum WGS 84).



E.3.1.2.1. Estudios para caracterizar el área de emplazamiento.

Considerando el objetivo y período de mantenimiento del centro de cautiverio (4 a 5 meses) se analizaron las siguientes variables ambientales, tales como: granulometría, materia orgánica, oxígeno en la columna de agua, registro visual y clorofila, las cuales se consideraron esenciales para el mantenimiento en cautiverio del jurel.

De este modo, la caracterización del lugar de emplazamiento fue realizada principalmente por dos motivos: a) presentar el estado natural del área, en la cual se instalaría el centro de cautiverio de jurel, caracterizando la porción de agua y el fondo marino y b) caracterizar los atributos relevantes de la hidrografía del área para asegurar la sustentabilidad de los ejemplares de jurel durante el transcurso de los experimentos.

La estación de estudio para caracterizar el área de emplazamiento fue ubicada en Latitud 36°41'11,8"S y Longitud 73°05'38,2"W, lugar en el cual quedó posteriormente ubicada la balsa jaula. Durante Julio de 2009, se realizaron perfiles hidrológicos de la columna de agua, junto a la recolección de una muestra de sedimento de fondo a 15 metros de profundidad, efectuada por buzo especialista, para realizar el análisis de la composición granulométrica y de materia orgánica total, paralelamente se recolectó una muestra de agua a 12 m de profundidad, mediante botellas oceanográficas tipo Van Dorn, de capacidad 5 litros, para la determinación de las siguientes variables: temperatura; oxígeno disuelto; pH, coliformes fecales; DBO; Fósforo total; nitrógeno total y sólidos suspendidos. Además de estas mediciones, se realizó la medición de transparencia del aguador medio de un disco Secchi. Para la determinación de pH se utilizó un peachímetro portátil (equipo, marca WPW mod. 330 I; electrodo, marca Sentix, mod. 41), previamente calibrado con buffer 7,0 y 10,0. La determinación de oxígeno disuelto



fue medido “in situ” con el instrumento YSI 55A para oxígeno disuelto y temperatura. Los sólidos suspendidos fueron determinados por el método de desecación a 103-105 °C. El análisis de nitrógeno total kjeldhal, se realizó según el método potenciométrico con digestión previa señalado en NCh 2313/28. of. 1998. La determinación de fósforo total se realizó según la metodología de digestión seguida de lectura por espectrofotometría visible señalada en NCh.2313/15 of. 97. Para la determinación de materia orgánica total en sedimentos, se utilizó la metodología reseñada por Buchanan (1971). Asimismo, por medio de una sonda oceanográfica (CTDO-F) SBE SeaBird 19plus, se realizaron perfiles verticales continuos en la columna de agua, para la determinación de estructura vertical de la temperatura, salinidad, densidad, concentración de oxígeno disuelto y fluorescencia.

E.3.1.2.1.1. Resultados de las principales mediciones.

a) Sedimentos

El análisis de la granulometría del sedimento marino indicó que el 15,02% del sedimento estaba compuesto por arenas medianas, un 23,64% por arenas finas, el mayor porcentaje por arenas muy finas (30,44%), un 20,06% correspondió a limo grueso y el 10,82% a limo arcilla. **Figura E19.** El análisis de sedimento indicó un porcentaje de materia orgánica total de un 16,1 %.

Composición Granulométrica del Sedimento

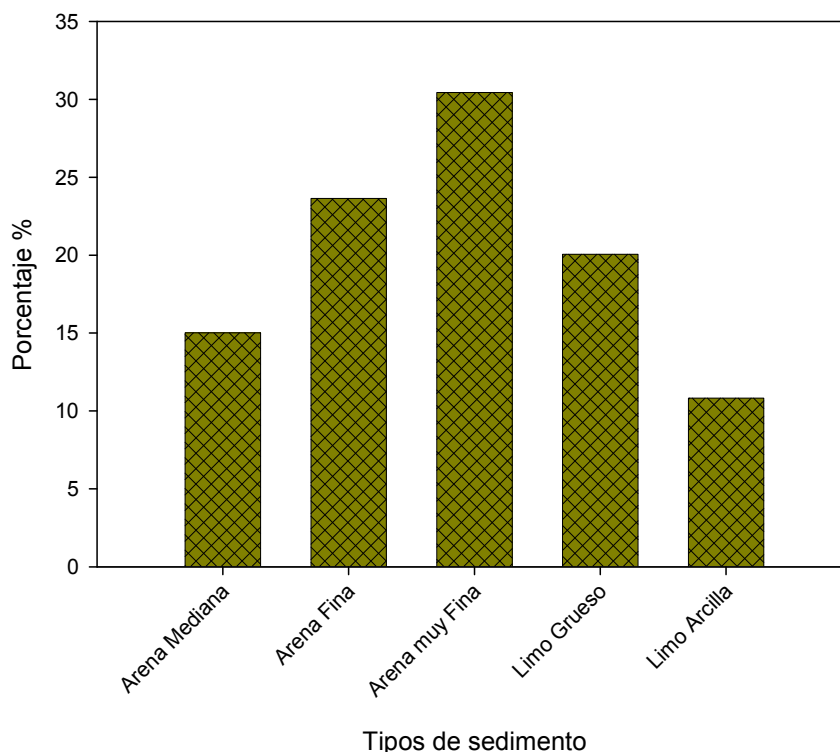


Figura E19. Porcentajes del tipo de sedimento para la muestra de sedimento.

b) Muestra de agua a profundidad.

La temperatura en el fondo de la columna de agua fue de 11,7 °C mientras que el oxígeno disuelto fue de 6,3 ml/L. El valor de pH fue de 7,7, mientras que los sólidos suspendidos fueron de 4 mg/L. El fósforo total en la muestra fue de 0,6 mg/L. El valor para el nitrógeno total fue menor al rango de detección (<0,01), al igual que los DBO₅ (<2). Las coliformes fecales revelaron un valor de 49 NMP/100 mL. Un resumen de los análisis realizados en laboratorio y sus respectivos resultados se muestran en la **Tabla E4**.

**Tabla E4.**

Resumen de los an3lisis realizados para la muestra de agua de fondo.

An3lisis	Valor	Observaci3n
Coliformes fecales (NMP/100ml)	49	Laboratorio
DBO ₅ (mg/L)	<2	Laboratorio
Fosforo Total (mg/L)	0,6	Laboratorio
Nitrogeno Total Kjendahl (mg/L)	<0,01	Laboratorio
S3lidos suspendidos (mg/L)	4,0	Laboratorio
Transparencia (mts)	1,9	In situ
Temperatura (°C)	11,7	In situ
Ox3geno disuelto (ml/L)	6,29	In situ
Ph	7,68	In situ

C) Columna de agua.

La temperatura, la salinidad y la densidad de la columna de agua indicaron tendencias levemente crecientes a profundidades mayores para ambos d3as de muestreo (**Figura E20**). El ox3geno disuelto registr3 mayores concentraciones en superficie (5,5 ml/L) con una disminuci3n progresiva hasta alcanzar valores de 4,42 ml/L en el primer d3a de muestreo. Durante el segundo d3a, se registr3 una condici3n m3s homog3nea en toda la columna de agua, del mismo modo, la concentraci3n promedio de ox3geno disuelto en la columna de agua fue $4,7 \pm 0,35$ ml/L y $5,4 \pm 0,07$ ml/L en forma respectiva. (**Figura E20**). La salinidad registr3 un promedio de $32,59 \pm 0,17$ psu. y $32,05 \pm 0,20$ psu., para los d3as de muestreo. La densidad de la columna de agua present3 un valor promedio de $24,80 \pm 0,12$ kg/m³ y $24,40 \pm 0,15$ kg/m³ respectivamente. La clorofila present3 un promedio de $3,15 \pm 0,15$ mg/m³ y $3,11 \pm 0,20$ mg/m³ respectivamente. La temperatura registr3 un valor promedio de $11,05 \pm 0,08^{\circ}\text{C}$ y $11,41 \pm 0,01^{\circ}\text{C}$ en forma respectiva. La transparencia medida desde la superficie alcanz3 los 1,9 mts.

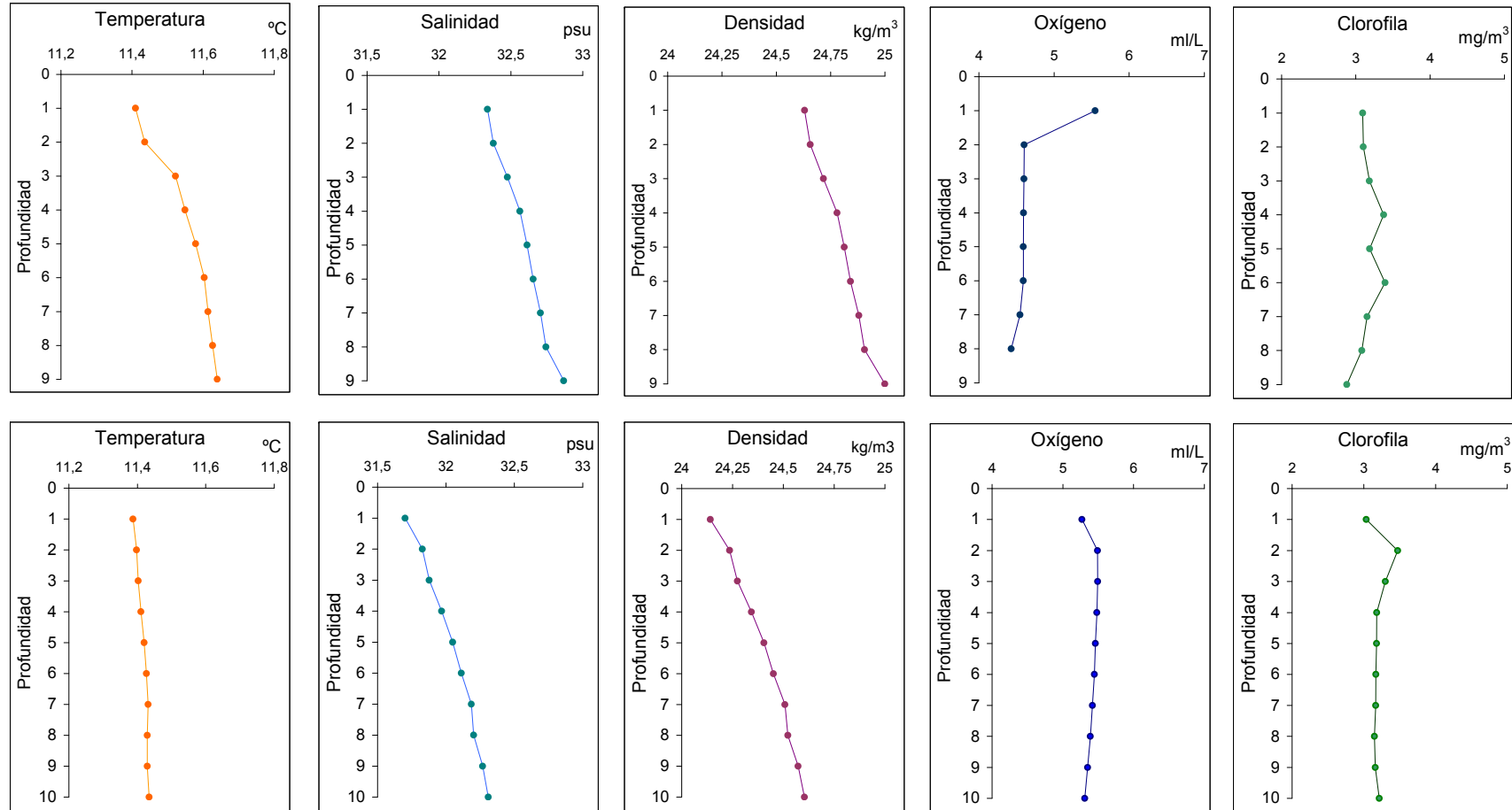


Figura E20. Perfiles realizados con CTDO-F el 1 de julio 2009 (arriba) y el 2 de julio de 2009 (abajo). a) Temperatura; b) Salinidad; c) Densidad; d) Oxígeno; e) Clorofila.



Las variables analizadas en la columna de agua no presentaron una estratificación clara. Esta condición pudo estar influenciada por los fuertes vientos que se evidenciaron los días de muestreo y por la profundidad somera (15 metros). Este aspecto fue favorable en lo que respecta el registro de la condición de mezcla de aguas intersticiales de fondo de condiciones anaeróbicas con aguas superficiales más oxigenadas que se produjo y que pudiesen revelar una condición inapropiada para la supervivencia del jurel mantenido en cautiverio. Sin embargo, los resultados indicaron que en la columna de agua no se evidenciaron concentraciones bajas de oxígeno (condición mínima de oxígeno) y a su vez los sólidos suspendidos en el fondo alcanzaron un valor de 4,0 mg/L, como condición extrema.

A mayor distancia entre la red pecera y el fondo, menor es el grado de vulnerabilidad, pues la posibilidad de intercambio de aguas bajas en oxígeno del fondo marino disminuye. De este modo y a manera de resguardo, la red pecera fue ubicada a 9 metros del fondo.

Los contenidos de materia orgánica (16,1%) encontrados en la zona de estudio, son concordantes con el tipo de sedimento del sustrato predominante en el área (arenas finas y fangosas). La muestra de fondo analizada de materia orgánica se encontró dentro de valores característicos en la Bahía de Concepción.

Debido a que no existen registros de cautiverio de jurel, y en consecuencia datos sobre los requerimientos fisiológicos, es que se consideró importante la información que se pueda obtener del hábitat natural y de los parámetros abióticos en los cuales se distribuye esta especie normalmente. Por ello, los valores obtenidos en este análisis fueron contrastados con valores de temperatura, oxígeno y salinidad obtenidos directamente de las zonas de pesca de la flota industrial y a profundidades de distribución del jurel (>50 m. < 200 m), durante el período de otoño. Se observó



que los niveles de m3ximo y m3nimo de ox3geno en los cuales el jurel es capturado pueden variar entre 6,4 y 5,3 ml/L de ox3geno; con una temperatura que fluct3a entre 13,4 y 7,7 3C y una salinidad que var3a entre 34,07 y 33,28 psu. (**Tabla E5**).

Tabla E5.

Valores de los principales par3metros abioticos en los cuales se distribuye el jurel en zona de pesca en oto3o de 2009

Estaci3n	Temperatura 3C	Ox3geno ml/l	Salinidad Psu
6	9,81	5,81	33,99
7	10,02	5,93	33,98
8	10,03	5,93	33,99
13	12,03	5,85	33,93
14	10,21	5,82	34,00
15	11,99	5,85	33,94
Valor m3ximo	13,49	6,39	34,07
Valor m3nimo	7,73	5,31	33,28

Fuente: INPESCA, datos obtenidos en 6 zonas de pesca de la flota dedicada al jurel desde marzo a abril 2009.

E.3.1.2.1.2. Conclusi3n respecto de las principales mediciones.

De esta manera, los perfiles de temperatura, ox3geno y salinidad realizados en el centro de experimentaci3n los d3as 1 y 2 de julio, muestran niveles tolerantes para el jurel para las variables analizadas, indicando adem3s que los valores de las variables en discusi3n son valores en los cuales se distribuye el jurel en condiciones naturales y por consecuencia deber3an ser valores aptos para el cautiverio de jurel. Bajo esta premisa el lugar escogido para el emplazamiento cumpl3a con condiciones apropiadas para el cautiverio de jurel.



E.3.1.3. Descripción de la balsa-jaula.

E.3.1.3.1. Etapa de construcción centro de cautiverio.

A continuación se entrega una descripción cualitativa y cuantitativa de la infraestructura marina que sirvió de soporte para el cautiverio de los jureles y apoyo (tales como, ensamblaje y construcción de balsas, fondeos, redes y loberas). La estructura flotante utilizada, en este caso, fue una balsa jaula en desuso de acero galvanizado, con pasillos laterales comprada en Puerto Montt y reacondicionada para la realización de los experimentos de marcaje. Las labores de armado e instalación fueron realizadas por una empresa local de servicios de buceo e instalación de equipamiento para balsas jaulas de nuestra región.

a) Balsa-jaula

Este proyecto consideró la instalación de una balsa-jaula de 10 m x 10 m, con una profundidad de 6 metros, según red pecera (Ver diseño **Figura E21**), en la cual se contendrían ejemplares de jurel en cautiverio, en densidades que no superarían una densidad de 1,25 ejemplares/m³, considerando para ello, el mantenimiento máximo de 1000 ejemplares adultos.

La balsa-jaula donde se llevó a cabo el cautiverio de los jureles, tuvo una superficie de 100 m², y estuvo instalada en un área de mar rectangular de aproximadamente 3.000 m² (**Figura E22**). La jaula estuvo conformada por estructuras metálicas galvanizadas (**Figura E23**).

El sistema de fondeo de esta estructura fue realizado conforme a lo establecido en la **Figura E21**. La jaula utilizó 8 muertos o estructuras sólidas de cemento de 1000 kilos cada uno. Por cada muerto se contempló una línea de fondeo hacia las jaulas la cual utilizó un cable de acero de 1 pulgada por 30 y 40 metros, los más largos



fueron orientados al norte para brindar mayor resistencia a las malas condiciones de tiempo. En términos generales, el centro contó con un sistema de fondeo adecuado considerando que se trata de costa protegida y de bajo fondo, aproximadamente 15 metros en promedio.

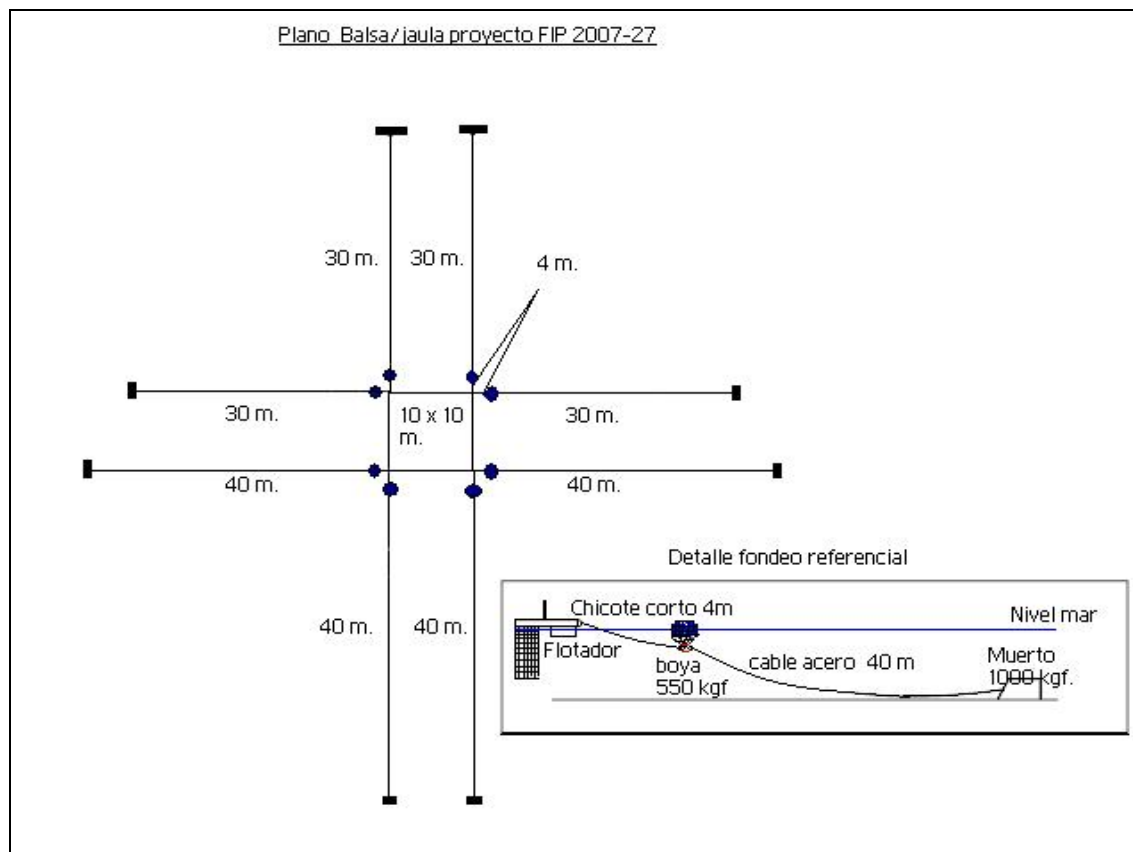


Figura E21. Diseño de tren de balsas jaulas y disposición de los fondeos.

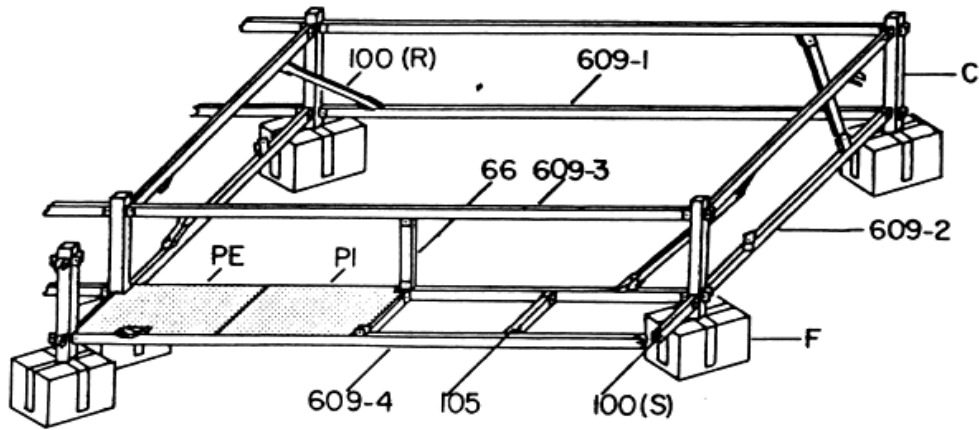


Figura E22. Elementos que integran la estructura de una jaula. F: flotador. C: columna. P.E: panel intermedio. 609-1 a 4: vigas (4 tipos). 66: Soporte intermedio. 100: cumple dos funciones (R): rigidizador y (S): viga soportadora del panel entre columnas. 105: viga de soporte de panel entre vigas.



Figura E23. Foto balsa jaula a utilizar en los experimentos de marcaje de jurel.



Redes

El proyecto contempló tres tipos de redes: de cultivo para engorda, de protección ante depredadores (redes loberas) y de protección contra aves (redes pajareras) y escape de peces:

- 1) Red pecera: Se usaron redes con mallas peceras de 2 pulgadas, fabricadas sin pinturas antifouling.
- 2) Red pajarera: Mallas que cubrieron la totalidad de la superficie de la balsa y la principal función de estas redes es evitar el ataque de las aves a los peces de cultivo. Su abertura de malla fue de 2 pulgadas.
- 3) Red lobera: Tuvieron una abertura de malla de 4 pulgadas sin impregnación “antifouling”.

E.3.1.4. Captura y traslado de ejemplares.

Para la captura de ejemplares vivos de jurel, necesarios para los experimentos, se utilizó la pesca de cerco industrial con jareta en zona de pesca. Para la implementación de esta actividad se solicitó a la Subsecretaría de Pesca la aprobación de una pesca de investigación, la cual se llevó a cabo, con una embarcación de cerco de la flota de la Octava Región. Con ella se obtuvieron ejemplares vivos de jurel desde zona de pesca. Sin duda, que este proceso revistió una gran importancia en relación a los efectos negativos que se pudiesen ocasionar en los ejemplares de jurel (comportamiento, mortalidad, etc). Claramente la captura de ejemplares de jurel debe ser realizada con los cuidados necesarios para evitar algún tipo de daño físico o biológico, que afecte la supervivencia posterior de estos ejemplares.



Se creó un protocolo de recolección, mantención y traslado de ejemplares de jurel para la guía de estas actividades a bordo. Sin embargo, considerando que los permisos de la Subsecretaría de Pesca, aún se encontraban en trámite, se procedió a planificar actividades de terreno que permitiesen definir de mejor manera algunos aspectos de la metodología (protocolo) diseñada, logrando de esta manera mejores resultados, una vez que estas actividades fueran realizadas en forma definitiva. De este modo, se planteó lo siguiente:

- a. Definir modos apropiados de colecta de ejemplares vivos desde el copo.
- b. Evaluar la supervivencia de los ejemplares colectados y mantenidos en bins en diferentes condiciones.

Estas actividades implicaron la realización de 3 mareas abordo del PAM Ventisquero de la empresa pesquera San José y 2 mareas a bordo del PAM Lonco entre los meses de Febrero y Julio de 2009, con personal de INPESCA capacitado para dicha labor.

E.3.1.4.1. Definición de modos apropiados de colecta de ejemplares vivos desde el copo.

Se planteó la recolección de los ejemplares de jurel desde el copo de la red en el momento del virado de la jareta para naves industriales y artesanales de cerco, con la finalidad de evitar el daño físico de los ejemplares que se seleccionarían (por ejemplo: pérdida de las escamas, magulladuras superficiales de la piel, daño mecánico en general). Para ello, la recolecta de ejemplares de jurel debía ser realizada con los cuidados necesarios para evitar algún tipo de daño físico o biológico que afecte la supervivencia posterior de estos ejemplares. Para el desarrollo de ésta, se propusieron tres modos para naves industriales y uno para naves artesanales:



- a.1. Recolecta desde el copo mediante una pangareta recubierta con tevinil perforado para evitar la pérdida excesiva de escamas por roce, con apoyo de una embarcación auxiliar ubicada al costado del copo, tal como lo realizado por Martínez *et al.* (1998) en el caso de la anchoveta. Esta opción fue desechada, durante la reunión realizada abordo con la tripulación del PAM Ventisquero al momento de plantear las alternativas a utilizar, debido a los tiempos involucrados en esta labor, la extracción de jureles con los cuidados debidos no permite con esta metodología la extracción de una gran cantidad de ejemplares, su traslado hacia el bins ubicado en la cubierta genera una manipulación mayor y con ello los tiempos aumentan generando que el resto de los ejemplares ubicados en el copo se mueran y eventualmente se puedan generar otras dificultades en la maniobra que hagan peligrar la integridad de las personas que participan en esta actividad, así como los materiales de pesca (rotura de copo).
- a.2. Recolecta utilizando la bomba centrífuga de succión del barco que extrae directamente los ejemplares de jurel desde el copo y los impulsa al circuito que los traslada a la bodega a través del secador (estructura de acero en la cual se produce la separación del agua de la pesca y esta se distribuye hacia las bodegas). El interior de este secador posee características favorables para la recepción de la pesca, este ha sido adaptado para darle una recepción que genera el mínimo daño mecánico (rasguños, magulladuras, etc.), no posee ángulos rectos, las barras de los filtros son de tipo cilíndrica y no posee paredes sobre las cuales se generen impactos en los peces que entran. Junto con ello, la succión se produce con abundante agua para evitar el aumento del daño mecánico producido por el contacto entre los ejemplares de jurel. Estas mejoras han sido desarrolladas en el marco de las investigaciones tecnológicas que la propia pesquera ha tenido que realizar para la obtención de una mejora efectiva en la calidad de la materia prima, tendientes a la producción de productos de



consumo humano directo. Esta opci3n fue utilizada a bordo del PAM Ventisquero, obteniendo ejemplares de jurel en buen estado para el traslado. Para la recolecci3n se utiliz3 un balde 20 litros en densidades de 1 a 3 ejemplares por extracci3n, para evitar el roce entre ellos.

- a.3. Recolecta usando un tacho recolector (100 L) antes del virado completo de la red para naves que usan la pesca de cerco con jareta. Una vez que la red ha sido virada casi en su totalidad, la captura se encuentra en el copo concentr3ndose y antes de instalar la yoma (bomba centrífuga de succi3n del barco que extrae directamente los ejemplares de jurel desde el copo hacia las bodegas de la embarcaci3n) y virar la jareta, se introdujo un tacho recolector, para extraer jureles, mediante una grúa de la embarcaci3n. De esta manera, con el copo distendido, los ejemplares de jurel recolectados tuvieron una menor posibilidad de daño interno y externo, el cual es producido por el contacto físico generado por el apriete entre ellos y la red del copo, adem3s del sometimiento a la succi3n de la yoma. El tacho colector poseía un volumen de $\pm 0,2 \text{ m}^3$ con una capacidad de captura de aproximadamente 50 ejemplares. Los peces capturados en el tacho fueron anestesiados r3pidamente y trasladados de 3 a 4 individuos por medio de baldes de 20 litros a los bins provistos de agua con circulaci3n constante para su recuperaci3n y traslado al centro de cautiverio. Esta metodología se empez3 a implementar a bordo del PAM LONCO disminuyendo la manipulaci3n de los ejemplares y entregando mejores resultados en la supervivencia de los ejemplares colectados.
- a.4. Al igual que en las naves industriales, en naves artesanales se utiliz3 la pesca de cerco. Se plante3 que la recolecta de los ejemplares de jurel debería ser realizada en el copo de la red antes de virar la jareta y cuando el cardumen no est3 demasiado comprimido, evitando el daño físico de los



ejemplares que se seleccionarán. En el caso de las naves artesanales, estas no poseen un brazo hidráulico y se determinó utilizar para la recolección de peces una pangareta, en este caso se innovó con la creación de un artefacto rebatible que utilizó en un extremo una vara de madera y en el otro extremo una balde 20 litros, con perforaciones para evacuar el agua y disminuir el peso y de tal manera que lo pudiese maniobrar a distancia una sola persona, desde la borda de la embarcación. El operador se acerca a la borda para colocar este artefacto en posición y poder tomar los peces uno a uno de la red de pesca. Los peces recolectados se mantienen en otro recipiente provisto con agua de mar, para luego trasladarlos a los bins de traslado al centro de cautiverio.

E.3.1.4.2. Evaluación de la supervivencia de los ejemplares de jurel colectados y mantenidos en bins en diferentes condiciones.

Para evaluar la supervivencia de los ejemplares de jurel recolectados en diferentes condiciones (en embarcaciones industriales y artesanales), se utilizó un bins de 0,6 m³, el cual permaneció con agua de mar, sin ningún tipo de aditivo. En este medio solo se controló, la temperatura del agua de mar, para determinar su posible efecto en el comportamiento de los ejemplares de jurel mantenidos en cautiverio. Y se probaron diferentes densidades de peces con flujos constantes de recambio de agua de mar y flujos programados a diferentes períodos de tiempo.

Durante la primera marea realizada en el PAM Ventisquero en Febrero de 2009, se puso énfasis en lograr obtener ejemplares vivos con un alto grado integridad, para ello, se realizaron recolecciones sucesivas al interior del secador para determinar la mejor posición a utilizar en dicha actividad, que permitiese extraer ejemplares en forma íntegra y con el menor daño posible, en esta actividad el personal embarcado, utilizó la técnica de ensayo y error, adaptándose a las



condiciones existentes y logrando obtener resultados favorables. En los diversos lances que se realizaron en esta marea se logró obtener un número de 28 ejemplares de jurel, para ello se utilizó un balde de plástico cilíndrico de 20 litros, en recolecciones de 1 ó 2 ejemplares, con resultados favorables, debido a que en estas recolecciones se evitó daños por roce entre los ejemplares de jurel. De esta manera, se determinó la condición idónea para extraer ejemplares de jurel íntegros, los cuales fueron depositados en forma inmediata en el interior de un bins de 0,6 m³, ubicado en la cubierta principal en forma cercana al secador, que contenía agua de mar a una temperatura similar a la del medio del cual fueron extraídos estos ejemplares.

El mantenimiento de los ejemplares de jurel en bins, se realizó en una condición de recambio constante de agua de mar, con rebalse, considerando para ello, el abastecimiento de agua desde el sistema de limpieza de cubierta, que utiliza agua de mar fresca, la cual es succionada desde la quilla del barco por una bomba de succión. Esto permitió la oxigenación apropiada del bins y el mantenimiento de la temperatura con niveles de fluctuación moderados, como se puede advertir en la **Figura E24**, sin embargo, problemas surgidos en el funcionamiento de la bomba de succión de agua de mar, determinaron que las 15 horas el sistema no siguiera funcionando y después de 2 horas los 13 ejemplares de jurel mantenidos en observación se murieron en su totalidad (**Tabla E6**). En una segunda etapa, dentro de esta marea, se colectaron 15 ejemplares de jurel, los cuales fueron mantenidos en cautiverio y con recambio de agua en forma constante, mediante una bomba auxiliar. Esta experiencia tuvo un magro resultado debido a que nuevamente existieron problemas con la bomba auxiliar, que a las 24 horas falló y dos horas después se terminaron muriendo todos los ejemplares de jurel.

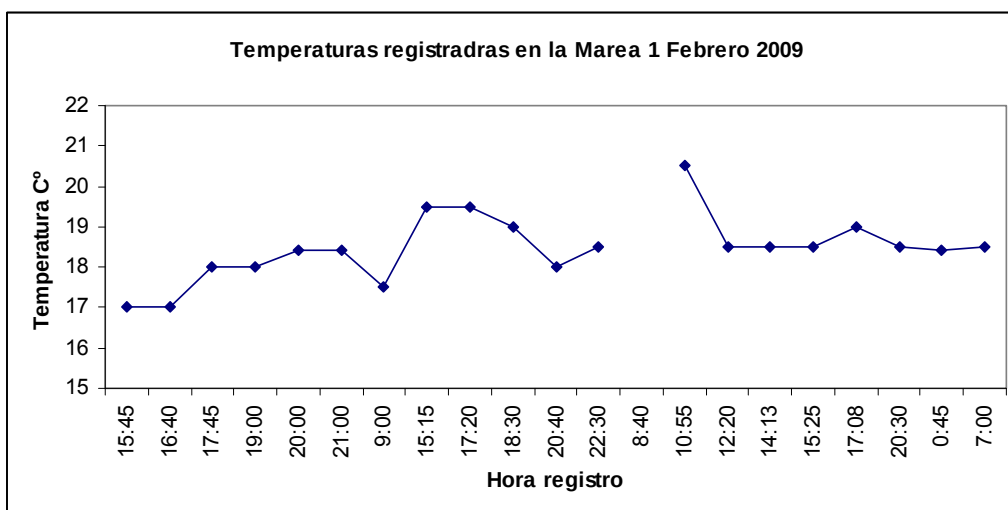


Figura E24. Registro de la temperatura del agua de mar, registradas en el bins, durante las experiencias realizadas durante la primera marea.

Tabla E6.

Registro de la supervivencia de los ejemplares de jurel, durante la marea 1.

Marea	Fecha	Hora Registro	Total de Peces vivos	Recambio de agua
I	14-02-2009	15:15	4	Presente
I	14-02-2009	17:20	9	Presente
I	14-02-2009	18:30	13	Presente
I	14-02-2009	20:40	13	Bomba deja de funcionar
I	14-02-2009	22:30	13	Bomba deja de funcionar
I	15-02-2009	8:40	0	Bomba deja de funcionar
I	15-02-2009	10:55	11	Presente
I	15-02-2009	12:20	11	Presente
I	15-02-2009	14:13	11	Presente
I	15-02-2009	15:25	11	Presente
I	15-02-2009	17:08	15	Presente
I	15-02-2009	20:30	15	Presente
I	16-02-2009	0:45	15	Presente
I	16-02-2009	7:00	15	Bomba deja de funcionar
I	16-02-2009	9:00	14	Bomba deja de funcionar
I	17-02-2009	16:00	0	Bomba deja de funcionar



En general, de esta marea fue posible determinar la viabilidad de recolectar ejemplares de jurel en forma íntegra en el secador: Los factores que ayudaron positivamente en esta labor fueron:

- la extracci3n se realizó con bastante agua de mar desde el copo lo que disminuyó el roce entre los ejemplares de jurel,
- la estructura del secador favoreció una colecta con bajo daño mecánico,
- los volúmenes de los lances desarrollados fueron menores a 100 ton. lo cual le otorgó un elemento favorable, según se describe en trabajos desarrollados para la empresa pesquera y publicados en documentos técnicos (González *et al*, 2006), en el cual se indica que las capturas idóneas para la extracci3n de ejemplares de jurel con un bajo daño mecánico corresponde a lances menores de 100 ton.

Asimismo, se logró mantener hasta 15 ejemplares de jurel en un bins de 0,6 m³, por más de 24 horas en cautiverio con recambio continuo de agua de mar y con un comportamiento que indicó un buen acondicionamiento al nuevo medio.

Durante la segunda marea, se mantuvo la colecta en el secador y se puso énfasis en el logro del mantenimiento de los ejemplares de jurel en condiciones más adversas, en este caso con recambios de agua de mar intermitentes, así de esta forma, lograr determinar los períodos apropiados para el recambio de agua, usando como verificador el comportamiento de los peces. En los diversos lances se logró obtener un número de 16 ejemplares de jurel, de igual manera a la utilizada en la marea 1, siendo depositados en forma inmediata en el interior de un bins de 0,6 m³, ubicado en la cubierta principal en forma cercana al secador, que contenía agua de mar a una temperatura similar a la del agua de mar de la cual fueron extraídos estos ejemplares (**Figura E25**).

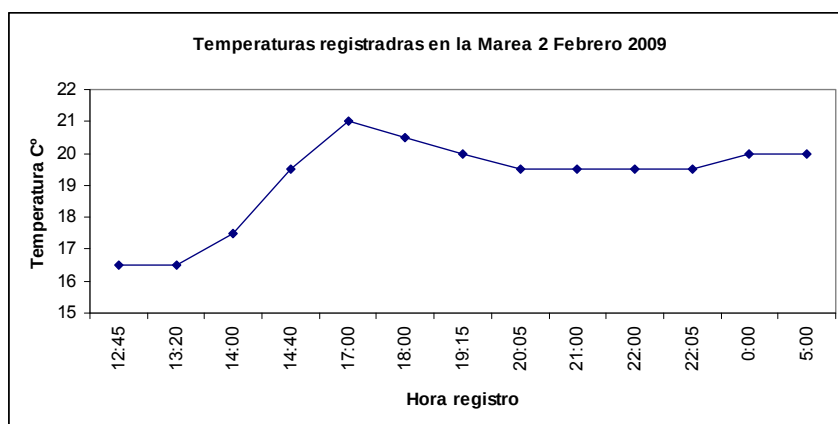


Figura E25. Registro de la temperatura del agua de mar, registradas en el bins, durante las experiencias realizadas en la segunda marea.

El mantenimiento de los ejemplares de jurel (bins), se realiz3 en una condici3n de recambio intermitente de agua de mar, con rebalse, que consider3 el desarrollo de 4 etapas, tal como se indican en la **Tabla E7**. En ella, es posible advertir un aumento progresivo de los tiempos entre recambios de agua y de los per3odos durante los cuales se produjeron estos recambios, indicando que el tiempo l3mite de recambio de agua correspondi3 a 3 horas. En este per3odo de tiempo, sin recambio de agua se produjeron los primeros signos de asfixia en los peces, por lo cual, se procedi3 a realizar un recambio de agua, con una duraci3n de 2 horas: sin embargo, a pesar de ello, se produjo la muerte de un ejemplar. Posteriormente, se mantuvo el recambio de agua y a las 5 horas, se registraron fallas en la bomba que determinaron la muerte de todos los ejemplares de jurel, por falta de oxigenaci3n del agua.

Tabla E7.
Registro de los recambios de agua realizados durante la marea 2.

Etapas	Per3odo de recambio de agua	Duraci3n de recambio de agua	Observaciones
1	40 minutos	35 minutos	
2	60 minutos	140 minutos	
3	75 minutos	60 minutos	
4	180 minutos	120 minutos	Se registra un pez muerto
5	Continuo	Continuo	A las 5 horas falla bomba



En general, en esta segunda marea se reafirmó la efectividad de la metodología de recolección de ejemplares de jurel desde el secador, determinando la obtención de ejemplares de jurel en forma íntegra. Así mismo, se logró identificar como tiempo límite de recambio de agua, al periodo de 3 horas, para esta marea, logrando almacenar hasta 16 ejemplares en un bins de $0,6 \text{ m}^3$.

Durante la tercera marea, se intentó un mayor énfasis en la capacidad de carga que podía soportar el bins. Para ello, se agregaron ejemplares hasta completar un número de 20 como máximo, superando en 5 ejemplares el propuesto en el protocolo. Este cálculo fue estimado a partir de lo descrito según bibliografía, para densidades de truchas mantenidas en cautiverio y el volumen del bins ($0,6 \text{ m}^3$). La recirculación se mantuvo constante, sin embargo, al cabo de 37 horas de mantenidos en cautiverio, se produjo una muerte masiva de los todos los ejemplares de jurel. La única anomalía detectada, correspondió a un intenso movimiento registrado en la proa, el cual fue ocasionado por marejadas, aparentemente este movimiento pudo haber generado un aumento del stress, en tanto, la succión de la pesca y la recolección en el secador, fueron las apropiadas de acuerdo a los ensayos realizados en las mareas anteriores.

Finalmente, los resultados obtenidos en estas tres mareas realizadas, han servido para determinar algunas mejoras al protocolo diseñado para la recolecta y mantenimiento de ejemplares vivos de jurel a bordo de un pesquero de alta mar, las cuales han permitido una mayor adaptación a las condiciones que se plantean en dicha nave. Lamentablemente, no es posible utilizar la bodega para el mantenimiento de estos ejemplares debido a que no es posible aislar la extracción de calor que poseen las bodegas contiguas, produciéndose un paulatino descenso de la temperatura que posteriormente afecta los procesos vitales del jurel, produciendo su muerte. En resumen se determinó que la capacidad máxima de traslado de ejemplares vivos hacia el centro de cautiverio correspondía a 50



ejemplares distribuidos en tres bins de 0,6 m³, lo cual implicaba la realizaci3n de un m3nimo de 10 mareas, para completar una cantidad de ejemplares apropiada para la realizaci3n de los experimentos de marcaje sugerida.

Durante el mes de mayo 2009 se accedi3 por medio de una petici3n formal de cooperaci3n a la empresa Southpacific Korp, para capturar, monitorear y trasladar abordo del PAM Lonco ejemplares vivos de jurel necesarios para los experimentos de marcaje. Debido a que el PAM Lonco no posee la misma estructura de secador que el PAM Ventisquero, y aunque se evidenci3 que los peces recolectados en el secador se encontraron en general en buen estado, adaptando la velocidad del flujo de agua de la centr3fuga, se advirti3 de igual manera la presencia de un grado de da3o menor. Por ello, con la finalidad de minimizar al m3ximo el da3o mec3nico y la posterior supervivencia de los ejemplares recolectados se modific3 3ste m3todo. Se determin3 la utilizaci3n de un recipiente de metal de aproximadamente 100 litros de capacidad, el cual fue introducido en el copo en lo posible antes del virado de la jareta. **(Figura E26)** Este tipo de recolecta mejor3 los tiempos de supervivencia de los ejemplares que se extrajeron por medio del secador. Con esta metodolog3a se logr3 mejorar la eficiencia de la recolecta de jureles vivos en zona de pesca, capturando m3s ejemplares de jurel en un menor tiempo (del orden de los 40 a 60 ejemplares por lanzada) y por sobre todo evitando pasar por el secador. **Tabla E8.**

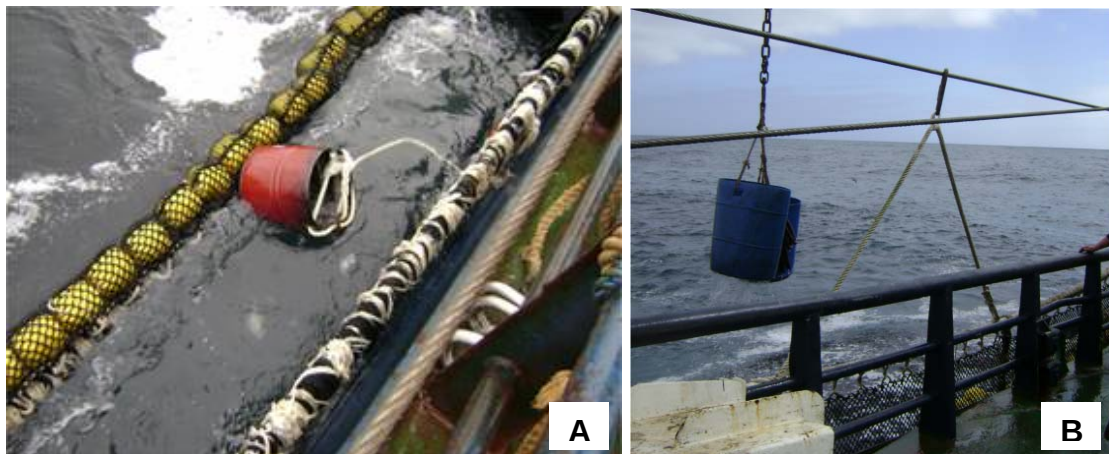


Figura E26. Tacho recolector de jureles vivos desde el copo de la red de pesca, utilizados en el PAM Lonco (A) y PAM Ventisquero (B)

Tabla E8.

Experiencias de traslado realizadas desde febrero a julio de 2009.

Fecha de Zarpe	Fecha de Recalada	PAM	Extracci3n	Avance	Ejemplares
12-02-2009	17-02-2009	Ventisquero	Secador	Pruebas de colecta	
19-02-2009	21-02-2009	Ventisquero	Secador	Pruebas de colecta	
22-02-2009	07-03-2009	Ventisquero	Secador	Pruebas de colecta	
24-05-2009	30-05-2009	Lonco	Colector	Transporte a balsa jaula	1
31-05-2009	11-06-2009	Lonco	Colector	Transporte a balsa jaula	12
12-06-2009	20-06-2009	Lonco	Colector	Transporte a balsa jaula	0
11-07-2009	14-07-2009	Ventisquero	Colector	Transporte a balsa jaula	52
15-07-2009	22-07-2009	Ventisquero	Colector	Transporte a balsa jaula	54

En la primera marea realizada en el PAM Lonco (24 de mayo a 30 de mayo de 2009) se trabaj3 para determinar la capacidad de carga para un bins de 1 m³. Se dispuso de 4 bins de 1 m³ con recambio de agua a los cuales se ingresaron entre 15 y 29 jureles que fueron muriendo en el transcurso de la marea (**Figura E27**). La zona de pesca estaba ubicada a tres d3as de puerto, esta situaci3n dificult3 el arribo a puerto Coronel en forma r3pida con jureles vivos. Por otro lado, a pesar de que se intent3 mantener una condici3n similar en la recolecta, no siempre pudo ser as3 y en algunos casos se produjo cuando ya se hab3a apretado la pesca en el copo, lo cual gener3 indudablemente una menor supervivencia de dichos ejemplares. Esto pudo



haber sido una de las causas que permitieron visualizar la no existencia de una tendencia en la supervivencia al interior de los bins, al considerar las distintas densidades (**Figura E27**). Finalmente, se recal3 en puerto Coronel sin la existencia de ejemplares vivos de jurel.

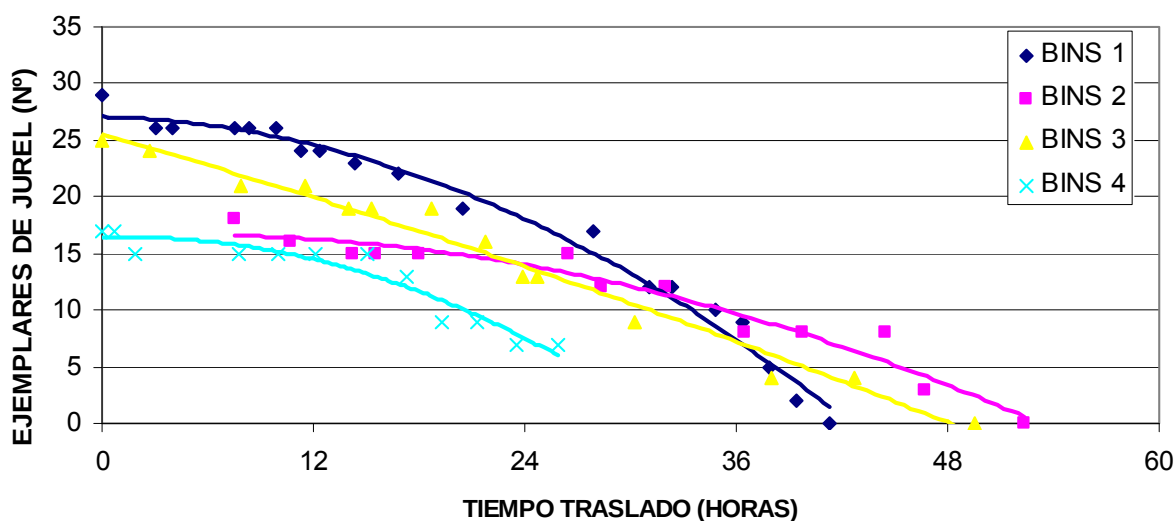


Figura E27. Variaci3n del n3mero de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 1 durante el regreso a puerto (PAM LONCO).

En esta marea se hicieron mediciones anexas de ox3geno, temperatura, pH, nitrato, nitrito, y amonio. El rango de ox3geno durante la marea se mantuvo entre 4,1 y 6,2. ml/L, a su vez la temperatura vari3 entre 12,7°C y 15,2 °C y el pH entre 7,5 y 8,5. Las mediciones de nitrato, nitrito y amonio se verificaron por debajo del rango del l3mite de detecci3n.

En general, se destacan las modificaciones metodol3gicas en la recolecci3n de jureles, realizadas durante la primera marea del PAM Lonco, logrando mejorar la supervivencia de los jureles en relaci3n a la extracci3n desde secador. Adem3s se observ3 que un menor n3mero de peces dentro de un bins para traslado no



repercute necesariamente en mayor tiempo de supervivencia de los jureles, según lo observado en el bins N°4.

En la marea 2 (PAM Lonco) realizada entre el 31 de mayo y el 11 de junio de 2009 se mantuvo la utilización de un tacho recolector, para la recolección de ejemplares vivos de jurel desde la red de pesca, de forma similar se realizó en la marea 1, logrando arribar a puerto con 12 jureles vivos, con un tiempo de cautiverio máximo cercano a las 88 horas y con un flujo continuo de recambio de agua.

Se realizaron 5 lances de pesca en los cuales se pudo recolectar jureles que fueron depositados en los bins en forma consecutiva, en número de 25 a 29 ejemplares principalmente. En total se registró una mortalidad alta correspondiente a un 98%. Claramente en todos los bins se registró una tendencia decreciente en el número de ejemplares vivos durante la navegación, se destaca que en los bins 4, 5 y 6 se produjeron altas mortalidades a las 24 horas de cautiverio cercanas al 40% (**Figura E28**).

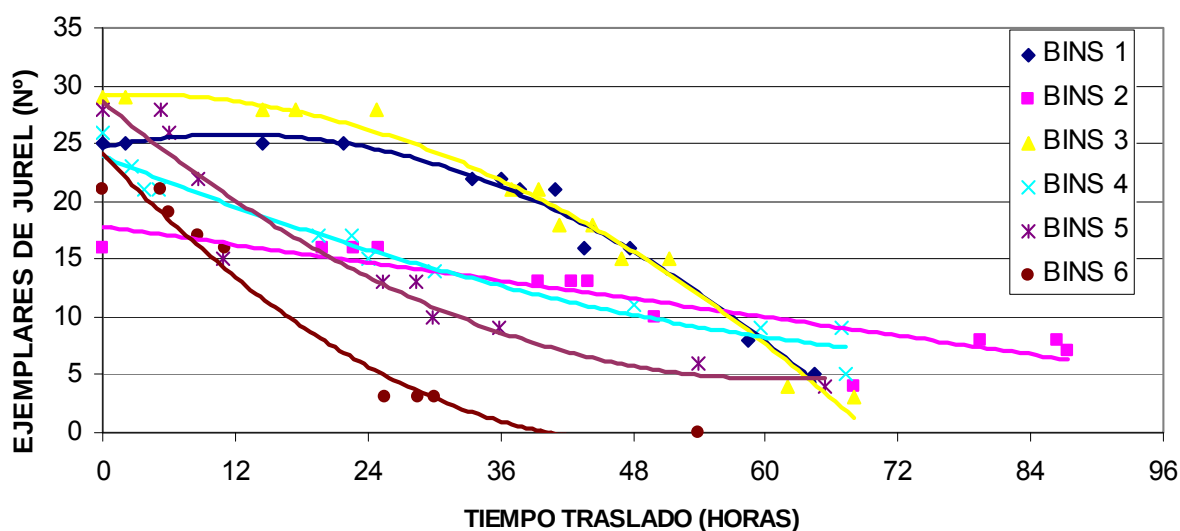


Figura E28. Variación del número de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 2 durante el regreso a puerto (PAM LONCO).



Se determinó que los parámetros monitoreados (pH, oxígeno y temperatura) se mantuvieron estables durante el transcurso de la marea, debido principalmente al recambio continuo de agua de mar. El pH se mantuvo en 8,5 y 8,2, a su vez el rango de oxígeno se registró entre 5,0 y 8,2 mg/L y la temperatura se mantuvo entre el rango 12,5°C y 14,5°C. Los resultados de las mediciones de nitrato, nitrito y amonio dieron bajo en rango de detección. A pesar de comportarse en forma estable el registro de estos parámetros, se pudo identificar que en los bins 4,5,y 6, se observó que el oxígeno presentó valores entre 5,0 y 6,0 mg/L, mientras tanto, en los demás bins se registraron valores superiores a 6,0 mg/L .

Se realizó una tercera marea en el PAM Lonco entre los días 12 y 20 de junio, sin resultados exitosos de pesca.

En general, en las mareas realizadas en el PAM Lonco se afianzó la metodología de extracción mediante un tacho recolector. Se obtuvieron los primeros ejemplares recalados en puerto de Coronel desde las zonas de pesca y se puede indicar que a pesar de registrar una baja oscilación de la temperatura, oxígeno y pH, las cuales se presentaron en rangos favorables para su mantenimiento durante el traslado en los bins, se registró una importante mortalidad que pudo estar influenciada por el apriete sufrido en el copo y el aparente alto nivel de stress que se evidenció en los ejemplares que se depositaron en los bins.

La cuarta marea de transporte de jureles al centro de cautiverio fue realizada en el PAM Ventisquero entre los días 11 y 14 de junio. En este embarque se utilizaron bins de 0,6 m³. El recambio de agua fue constante y la colecta se realizó con el tacho colector. Se realizaron 2 lances efectivos de pesca de los cuales se ingresaron a los bins 61 ejemplares de jurel y sobrevivió un 85% del total a la recalada (cercana a 33 horas). Estos presentaban un buen estado (piel brillante, nado circular y activos al estímulo). **Figura E29.**

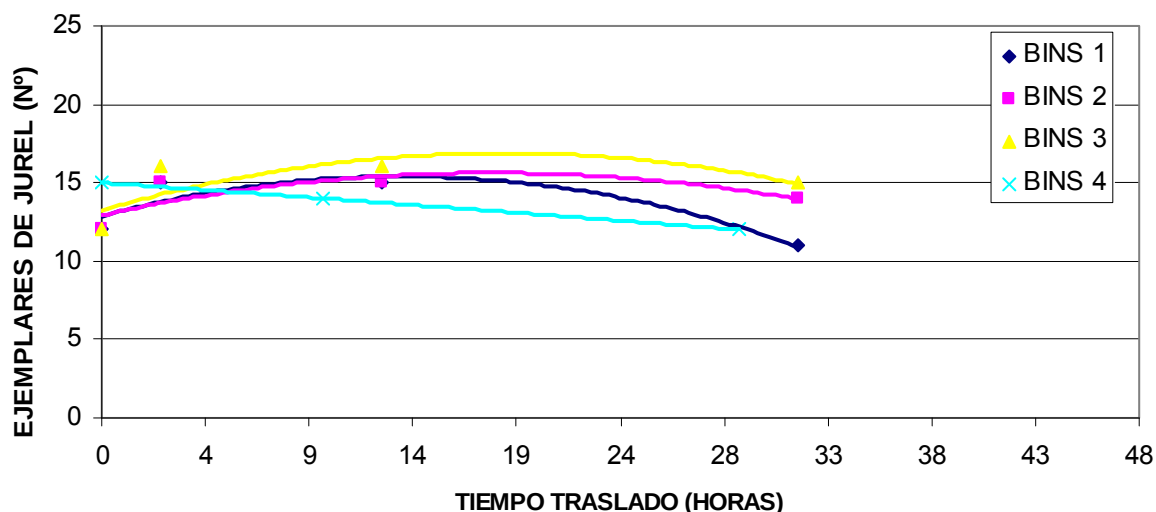


Figura E29. Variación del número de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 4 durante el regreso a puerto (PAM Ventisquero).

Se puede destacar de esta marea la alta supervivencia registrada en comparación a la marea anterior, en este caso jugó un rol importante la cercanía de las zonas de pesca de puerto, lo cual permitió un tiempo máximo de traslado cercano a 32 horas de viaje en condiciones de cautiverio. Así mismo, los parámetros (temperatura, oxígeno, pH, etc) mantuvieron registros similares a la marea anterior.

Se determinó que los parámetros monitoreados (pH, oxígeno y temperatura) se mantuvieron estables durante el transcurso de la marea, debido principalmente al recambio continuo de agua de mar. El pH se mantuvo en 8,5, a su vez el rango de oxígeno fluctuó entre 6,2 y 6,8 mg/L y la temperatura se mantuvo entre el rango 12,3°C y 13,3°C. Los resultados de las mediciones de nitrato, nitrito y amonio se verificaron bajo el límite de detección. Se destaca la baja fluctuación de estos parámetros lo que indica que las condiciones ambientales al interior de los bins fueron más estables en comparación a lo registrado en el PAM Lonco. Sin duda este factor influyó en la alta supervivencia registrada en este PAM a diferencia de lo registrado en el PAM Lonco.



La siguiente marea de transporte de jureles vivos (marea 5), se realiz3 en el PAM Ventisquero entre el 15 de julio y el 22 de julio de 2009. El traslado se realiz3 en bins de 0,6 m³. El recambio de agua fue continuo y se us3 el tacho colector para recolectar jureles desde el copo en dos lances de pesca. Se colectaron 62 jureles con una mortalidad de un 13% durante el viaje (con un cautiverio m3ximo de 42 horas). Se destaca la baja mortalidad registrada en cada bins que llev3 a registrar de 1 a 2 ejemplares muertos (**Figura E30**). Se registr3 el pH, ox3geno y temperatura del agua. Nuevamente los par3metros abi3ticos controlados indicaron una muy baja variaci3n, determinado una condici3n altamente estable en los bins, de tal modo, el pH se mantuvo en 8,5, a su vez, el ox3geno oscil3 levemente entre 6,2 y 6,8 ml/L y la temperatura entre 11,3°C y 13 °C.

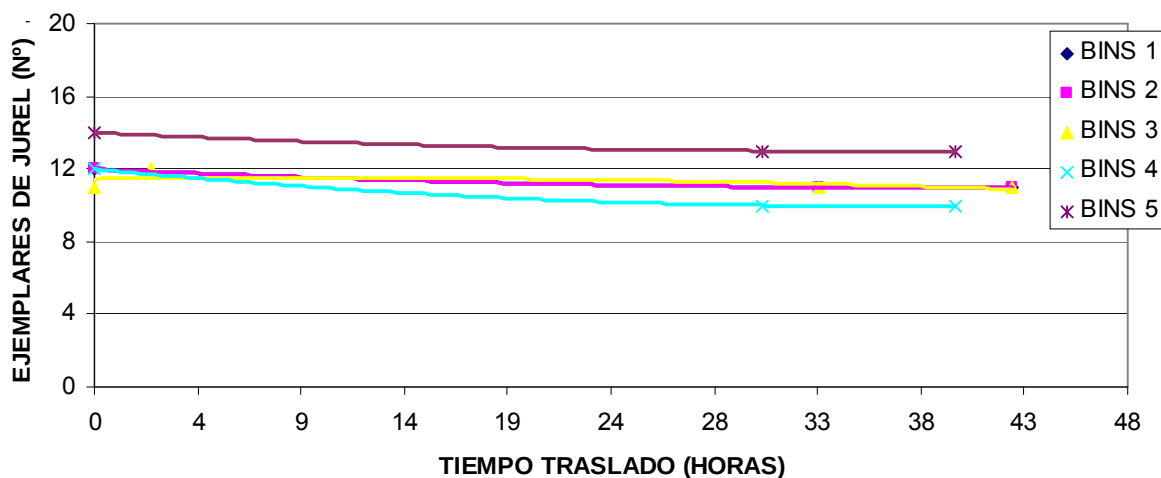


Figura E30. Variaci3n del n3mero de ejemplares vivos de jurel registrado en la marea 5 durante el regreso a puerto (PAM Ventisquero).

Los resultados de esta marea fueron nuevamente exitosos, logrando obtener un n3mero apropiado de ejemplares para trasladar al centro de cautiverio, que en este caso correspondi3 a 54 jureles vivos, que presentaron al momento de la recalada en buen estado (piel brillante, nado circular y activos al est3mulo).



Finalmente, al revisar los datos de las supervivencias de los jureles mantenidos en cautiverio en bins, considerando para ello la variación de la densidad (N° jureles vivos/ m^3) registrada durante el traslado a puerto de todas las mareas realizadas en el PAM Lonco y Ventisquero (**Figura E31**), se observa en el PAM Lonco una tendencia marcadamente negativa en la densidad, afectada por la mortalidad de los ejemplares de jurel, a iguales tiempos de traslado respecto del PAM Ventisquero. Lo anterior indica que a pesar de que los tiempos de traslado en el PAM Ventisquero fueron menores, igualmente se manifiesta una condición más favorable en la supervivencia de los jureles (**Tabla E9**), lo cual puede estar reforzado por las condiciones ambientales al interior de los bins, que se mantuvieron en forma muy estable y con niveles de oxigenación favorables para el cautiverio del jurel. La operación de pesca realizada en ambos PAM, también puede afectar los resultados, ya que a pesar que corresponde al mismo arte, posee algunas diferencias que se asocian al estilo de pesca de cada capitán y de la maniobra de pesca de la embarcación (tipo de red, tamaño, fuerza huinches, ruidos asociados, etc.); lo que puede provocar por ejemplo: que en el copo se apriete el cardumen capturado más en una embarcación que en otra, o se provoque más irritación al cardumen en uno que en otro.

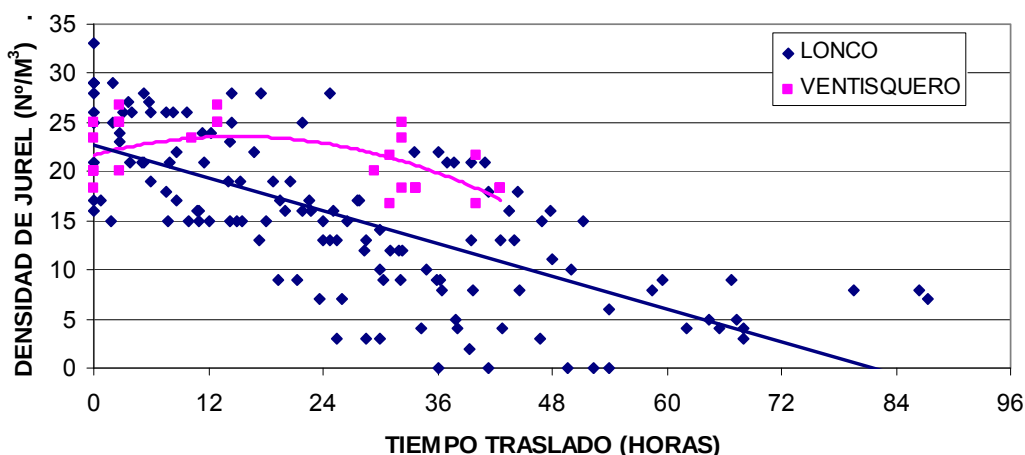


Figura E31. Curvas de mortalidad de los ejemplares de jurel, mantenidos en cautiverio en bins durante el traslado a puerto desde zona de pesca, registrado durante el invierno de 2009.

Tabla E9.

Supervivencia de los ejemplares de jurel registrada durante su traslado desde zona de pesca hasta puerto Coronel.

Mareas	Nº Jureles Recolectados	% Supervivencia	Tiempo máx. cautiverio
Lonco 1	104	0	52
Lonco 2	145	8%	88
Ventisquero 1	61	85%	32
Ventisquero 2	62	87%	42

E.3.1.5. Traslado de los ejemplares de jurel vivos al centro de cautiverio.

Una vez recaladas las embarcaciones con jureles vivos al interior de los bins, se procedió al traslado al centro de cautiverio. Para ello se utilizaron los mismos bins, los cuales fueron dirigidos desde la embarcación pesquera al muelle en una embarcación auxiliar (**Figura E32a**) y depositados en un camión que permitió desplazarlos por vía terrestre desde Coronel hasta Talcahuano y desde allí embarcados en una embarcación auxiliar que los llevó finalmente a la balsa-jaula (**Figura E32b**).



Figura E32. Desembarque de **A** desde el pesquero a la embarcación **B** en puerto Coronel (**a**) y embarque bins en embarcación auxiliar con dirección al centro de cautiverio en bahía de Concepción (**b**).



En el primer traslado de ejemplares de jurel al centro de cautiverio, no hubo aireaci3n externa, la falta de este elemento y la circulaci3n, junto al traslado, determin3 que empeorara notablemente el estado de salud de los peces, evidenciado por el comportamiento aletargado y p3rdida de la brillantez de la piel de 3stos; agua m3s turbia y gran cantidad de excretas en el fondo del bins, detectados una vez que se lleg3 a la balsa jaula, una condici3n claramente distinta a lo registrado cuando los bins se sacaron de la embarcaci3n y se detuvo la circulaci3n de agua de mar (2 a 3 horas antes). Esto indic3 la presencia de un punto cr3tico en el proceso de traslado de los jureles vivos desde zona de pesca hasta la balsa jaula. Los ejemplares que lograron ser desembarcados y trasladados por tierra a la balsa jaula fueron 12 ejemplares, de los cuales se descartaron 4 al llegar. Del grupo restante que finalmente se deposit3 en la jaula solamente el 12,5% no present3 signos de debilitamiento por traslado (**Tabla E10**).

En las siguientes dos mareas el incremento en la supervivencia en el traslado de los ejemplares vivos hacia puerto, permiti3 que se aumentara en cada oportunidad el n3mero de peces ingresados a la balsa jaula (**Tabla E10**), junto a la observaci3n de un mejor estado de salud de los peces relacionado con una disminuci3n en los tiempos de traslado por tierra y aparentemente por la incorporaci3n de oxigenaci3n externa en los bins. En la segunda marea el traslado a la jaula se debi3 realizar con una detenci3n en la cual los ejemplares de jurel fueron mantenidos con aireaci3n y un solo recambio de agua por casi 36 horas (**Tabla E10**), debido a problemas surgidos en la jaula por efectos del mal tiempo que imposibilitaron su utilizaci3n en el momento en que llegaron estos jureles a Coronel. De los 52 jureles que se bajaron desde la embarcaci3n, solamente 20 ejemplares vivos fueron ingresados a la jaula. De este grupo el 30% se mostraba en buenas condiciones sin signos de debilitamiento (**Tabla E10**). En la tercera marea se trasladaron 54 ejemplares al centro de cautiverio, donde s3lo 39 jureles



fueron efectivamente ingresados en la balsa-jaula y menos del 50% no presentaba signos de debilitamiento por traslado y cautiverio (**Tabla E10**).

Los tiempos de viaje en camión implicados en el traslado en las primeras dos mareas fluctuó entre 4 a 5 horas. En la última marea se disminuyó este tiempo de traslado a 3 horas (**Tabla E10**). Es importante señalar que a pesar de intentar desarrollar un recorrido con un cuidado extremo, se registraron sacudidas ocasionadas por el mal estado del pavimento y frenadas bruscas, que generaron pérdida de agua de los bins en algunos casos.

Tabla E10.

Transporte efectivos con entrada de jureles a la balsa jaula.

Fecha Traslado	Ejemplares trasladados (N°)	Entrada ejemplares balsa jaula (N°)	Aireaci3n	Tiempo traslado (Hrs.)	Apreciaci3n estado salud (%)
11-06-2009	12	8	Ausente	4:30	12.5%
14-07-2009	52	20	Presente	5:30	30%
23-07-2009	54	39	Presente	3:00	50%

Claramente el recambio constante de agua durante la trayectoria hasta llegar al centro de experimentaci3n es una condici3n ideal de traslado, permite mantener la temperatura, oxígeno y pH en forma relativamente homogénea, junto con disminuir el stress del traslado, brindando una condici3n favorable para su supervivencia. Esto es posible de lograr recalando en el centro de experimentaci3n con la misma embarcaci3n que realizó la recolecci3n.

En este sentido el equipo se planteó la estrategia de incorporar recolecciones de jurel con naves artesanales en forma paralela a lo realizado en las naves industriales, para desarrollar un mejor traslado al centro de cautiverio, sin embargo, sólo se lograron concretar 4 mareas en dos naves artesanales, sin éxito,



debido a problemas t3cnicos y adem3s de dificultades para realizar captura de jurel. (**Tabla E11**)

Tabla E11.

Mareas realizadas en naves artesanales para efectuar recolecci3n de ejemplares de jurel.

Fecha de Zarpe	Fecha de Recalada	Lancha	Observaci3n
XX-07-2009	XX-07-2010	Ver3nica Alejandra	pescado enmallado/falla toma fuerza
23-07-2009	24-07-2009	Ver3nica Alejandra	falla del sonar.
26-07-2009	27-07-2009	Ver3nica Alejandra	falla del sonar.
11-09-2009	12-09-2009	Antares V	Sin pesca.

E.3.1.6. Fase de mantenimiento de los ejemplares de jurel en las jaulas.

E.3.1.6.1. Densidad de cultivo

Las densidades m3ximas estimadas para desarrollar el acondicionamiento se platearon en torno a 2,0 kg/m³. Estas correspondieron a las densidades m3ximas que permitieran brindar una disminuci3n del stress de los peces enjaulados y el n3mero m3ximo estimado como de ejemplares por jaula fue de 1.000 ejemplares adultos de jurel.

E.3.1.6.2. Alimentaci3n

Operaci3n de alimentaci3n

Para la alimentaci3n de los peces se pens3 en utilizar alimentadores manuales, dosificando debidamente la cantidad apropiada a verter. La regulaci3n y t3rmino de alimentaci3n estar3an realizados por el empleo de c3maras submarinas.

Como el objetivo no era incrementar en peso la condici3n de los ejemplares de jurel se entregar3a una raci3n de alimento por d3a o d3a por medio.



Tipo y características del alimento.

La composici3n y atributos del alimento empleado, deberían satisfacer los altos requerimientos energéticos de estos peces. Esta dieta debería contener un valor energético que permita una tasa de crecimiento apropiada para su mantenimiento.

En este tema EWOS Innovation CHILE, a trav3s de su gerente general y su equipo de trabajo, habían sugerido un plan de transici3n de alimento fresco a pellets, que contempla el uso de dos dietas de calibres a evaluar de 600 y 1500 que cumplen con los requerimientos nutricionales de proteínas y lípidos para la supervivencia de los peces en el transcurso de la experimentaci3n con las marcas. Bajo donaci3n hicieron llegar raciones de estas dietas para ser utilizadas en forma experimental. Por otro lado, el alimento fresco a utilizar correspondió a juveniles (<10 cm) de sardina comúN (***Strangomera bentincki***). La sardina fue recolectada desde la flota artesanal y luego fue seleccionada escogiendo los individuos de pequeño tamaño, finalmente fueron congelados y mantenidos en una planta frigorífica de la regi3n, a la espera de ser utilizada.

La ingesta de alimento por los peces, es uno de los indicadores de superaci3n de la etapa de aclimatizaci3n. Para constatar esta conducta debido a los grandes volúmenes de la balsa-jaula se planteó reducir el volumen de la jaula, mediante el desplazamiento de una red móvil ubicada en la regi3n media que la dividiría en dos compartimentos, permitiendo así reunir a los peces en un sector y así lograr una menor p3rdida de alimento, visualizando de mejor manera la alimentaci3n.

E.3.1.6.3. Acondicionamiento de ejemplares de jurel

Los ejemplares recolectados que serían trasladados al centro de cautiverio y depositados en las jaulas se mantendrían en acondicionamiento en una densidad



que no superaría los 1.000 ejemplares por jaula, éste período estaría determinado por la estabilización de la supervivencia de los ejemplares, que en el caso de los experimentos de marcaje de anchoveta (Martínez *et al.* 1998) representaron un período de cinco días. Posteriormente, se utilizaría una submuestra de 200 ejemplares de jurel, de tamaños heterogéneos, que correspondería a los ejemplares mejor evaluados físicamente, en relación al equilibrio y forma de nado. Estos ejemplares serán traspasados al compartimiento de experimentación. En esta fase se realizaría un monitoreo durante las 24 horas para eliminar los ejemplares muertos, con signos de traumatismos o problemas de equilibrio. Sin embargo, en las tres oportunidades de ingreso de jureles al centro de cautiverio provenientes de las zonas de pesca de la flota industrial (**Tabla E12**), se observó que la mortalidad fue de un 100% al tercer día y en las dos primeras oportunidades aparentemente la muerte ocurrió a las pocas horas de haber sido liberados en la jaula, debido al estado de descomposición en que se encontraban al momento de ser sacados del fondo de la jaula (24 y 32 horas respectivamente).

Tabla E12.
Monitoreo de ejemplares ingresados al centro de cautiverio.

Fecha Ingreso	Primer monitoreo	Ejemplares vivos	Segundo monitoreo	Ejemplares vivos	Mortalidad
11-06-2009	24 horas	0	0	0	100%
15-07-2009	32 horas	0	0	0	100%
23-07-2009	24 horas	20	72 horas	0	100%

E.3.1.6.4. Finalización de actividades de la balsa jaula.

El retraso en las actividades experimentales, la proximidad del fin de la temporada de pesca y el alto nivel de mortalidad de los ejemplares de jurel ocasionado durante el transporte terrestre desde Coronel al Centro de cautiverio (**Tabla E12**), determinaron realizar cambios en la metodología que implicó abandonar el centro



de cautiverio y continuar los experimentos abordo de las embarcaciones en los bins después de realizar la recolección en zona de pesca. Estos acontecimientos se describen en mayor detalle a continuación:

- a.- Retraso del inicio de las actividades experimentales: Esto se vio afectado en gran medida con los trámites de instalación de balsa-jaula, la tramitación de la resolución de la Subsecretaría de Pesca y la disponibilidad de embarques en la flota pesquera industrial y artesanal, ocasionaron que el inicio de las actividades tendientes a llevar ejemplares de jurel al centro de cautiverio fuesen desarrolladas a partir del mes de mayo de 2009.
- b.- Proximidad del fin de la temporada de pesca: La duración más restringida de la temporada de pesca registrada durante los últimos años, que ha indicado que durante el mes de Agosto la actividad pesquera ha tendido a finalizar, junto a una baja presencia de jurel en la costa (pesquería artesanal) durante este año, permitió pensar que durante el 2009, se mantendría esta tendencia. Al aproximarse Agosto de 2009, la probabilidad de encontrar zonas de pesca comerciales era menor, y esto originó una gran incertidumbre en la continuación de la estrategia llevada hasta el momento. En la actualidad es posible indicar que esto efectivamente ocurrió y en Agosto de 2009 se logró desembarcar sólo 25.812 ton correspondiente a un 52% de lo capturado en el mismo mes el año 2008 y a un 19% de lo capturado el año 2007, evidenciando una tendencia negativa en los desembarques de estos años.
- c.- Alto nivel de mortalidad desarrollado durante el transporte terrestre desde Coronel al Centro de cautiverio (**Tabla E12**), lo cual llevó a registrar un 100% de mortalidad, impidiendo la obtención de ejemplares para desarrollar los experimentos en el periodo de operación (desde mayo hasta fines de julio de 2009).

E.3.2. Estrategia 2: Cautiverio en bins.

Las razones fundamentadas en los puntos anteriores, determinaron plantear un cambio en la metodologí3 propuesta para enfrentar los experimentos aún por desarrollar. Claramente, como lo indican las **Figuras E33 y E34**, el deterioro es evidente en tres o cuatro horas que involucró el traslado generándose un deterioro extremadamente alto en la condici3n de salud de los jureles que es evidenciado en esta figuras, aparentemente causado por el exceso de stress ocasionado en esta actividad, a partir de la transmisi3n de ruidos, golpes, movimientos bruscos directamente a los bins en los cuales se encontraban los jureles, y que generaron un alto nivel de irritabilidad. En relaci3n a este tema existen algunos autores que indican que en atunes, la manipulaci3n ocasionada a raíz del marcaje ocasiona un alza en el nivel de ácido láctico a partir del stress de la recolecta y manipulaci3n que puede llevar a aumentar la mortalidad (Bayliff and Holland, 1986).

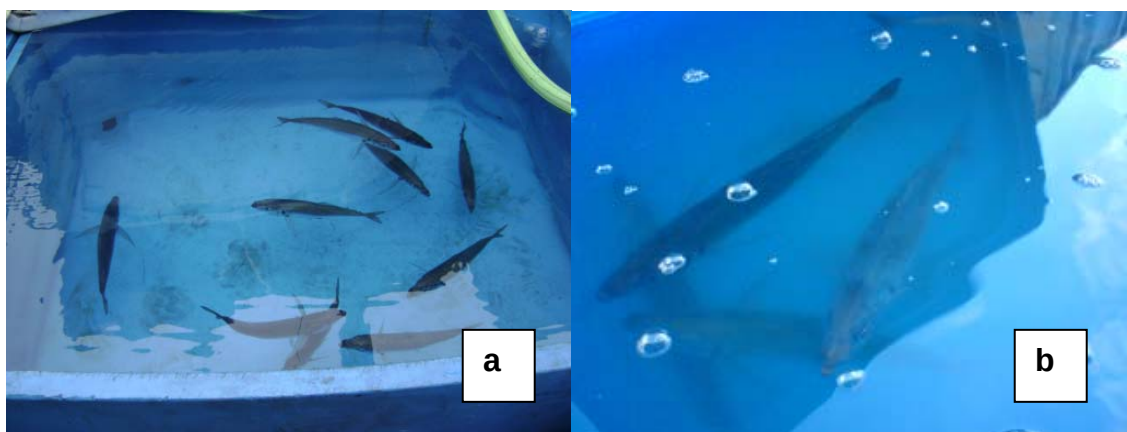


Figura E33. Estado inicial de los jureles traídos desde zona de pesca antes del traslado por tierra hacia el centro de cautiverio (a) y estado resultante del traslado antes de su introducci3n en la balsa jaula (b).

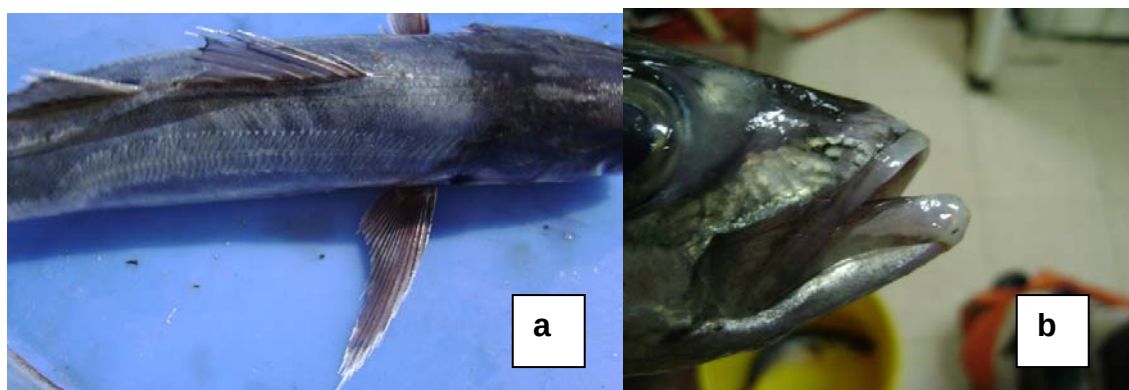


Figura E34. Deterioro de la piel observado en mayor detalle de los jureles después de ser trasladados desde el puerto de Coronel por tierra al centro de cautiverio (a) y deterioro de la piel de la boca (b).

Ante este resultado no esperado, junto con la imposibilidad de poder ubicar la jaula en puerto Coronel, por la reglamentación existente que implica solicitar una concesión marina para ello y además ante la imposibilidad de conseguir recolectar jureles con naves artesanales que recalán por puerto Talcahuano, (en estos casos ambas situaciones podrían haber facilitado el traslado, haciéndolo menos estresante para los jureles), se determinó continuar con los experimentos abordo de las embarcaciones industriales manteniendo en cautiverio los jureles en bins ($0,6$ a 1 m^3), desarrollando un experimento de “mesocosmos”. En este caso, los sistemas experimentales de “mesocosmos” han sido ampliamente utilizados en las áreas de la ecotoxicología, ecología, entre las más comunes, donde organismos vivos como invertebrados, algas, macrófitos y vertebrados como peces han sido los agentes naturales para evaluar sobre ellos procesos biogeoquímicos, la dinámica trófica y relaciones causa-efecto de xenobióticos entre otros. Comúnmente el diseño de esta herramienta experimental se ha implementado en estanques mayores a un metro cúbico y simulan condiciones cercanas a las naturales (sistemas semi-controlados al aire libre) siendo el intermedio entre las manipulaciones realizadas en ambientes naturales y de laboratorio (Boyle y Fairchild, 1997).



Esto implicó modificar parte de la estructura del diseño experimental originalmente establecido. En este caso uno de los principales argumentos utilizados para fortalecer esta decisión fueron los valiosos aportes realizados por la Dra. Molly Lutcavage directora del Large Pelagics Research Center de la Universidad de New Hampshire USA, que indica que la mortalidad post-liberación usualmente ocurre en las primeras 24 a 72 horas de marcado el pez (Lutcavage, comp. pers. 2009). De este modo, se pueden establecer las mortalidades generadas a partir de la aplicación de las marcas a los ejemplares mantenidos en cautiverio en los bins, considerando para ello, un período superior a tres días como mínimo, del mismo, se podría evaluar el desprendimiento de las marcas.

E.3.2.1. Implementación de los experimentos de “mesocosmos” abordo de embarcaciones pesqueras de cerco.

Se realizaron 5 mareas de experimentación con jureles vivos mantenidos en bins (“experimentos de mesocosmos”) a bordo de los pesqueros de alta mar, siendo recolectados directamente desde las zonas de pesca. Esto con el objetivo de probar la respuesta más instantánea de los efectos a corto plazo (horas, días) de las etiqueta sobre los jureles vivos. En el primer zarpe, llevado a cabo desde el 1 de junio hasta 6 de junio de 2009 en uno de los lances de pesca se recolectaron 53 ejemplares, sin embargo, las malas condiciones meteorológicas impidieron el trabajo experimental en el pozo de la red, lugar físico en el cual se instalaron los bins. A pesar de las malas condiciones de trabajo en ese lance se pudo etiquetar solo a un ejemplar con la etiqueta X-Tag. En una segunda marea de experimentos, entre el 9 del julio y el 22 de julio, se realizó solo un lance de pesca. En este lance se recolectaron 9 ejemplares, los cuales fueron etiquetados con la marca LAT2510. En las siguientes mareas, N°3 y N°4, efectuadas entre el 2 de octubre y el 9 de noviembre de 2009, no hubo lances exitosos de pesca, lo que estuvo asociado a la baja disponibilidad del recurso. En la marea N° 5,



correspondiente al lance N°1, se recolectaron exitosamente 52 ejemplares vivos de jurel, a los que se les insertaron las etiquetas T-bar y LAT2510 (**Tabla E13**).

Tabla E13.

Implementaci3n de los experimentos de “mesocosmos” realizados en los distintos PAM de la flota de cerco industrial.

Marea	Fecha Zarpe	Fecha Recalada	PAM	Prueba de etiqueta	Ejemplares recolectados	Ejemplares en Experimento
1	01/08/09	08/08/09	Ventisquero	X-tag	53	1
2	09/08/09	22/08/09	Ventisquero	LAT2510	9	9
3	02/10/09	09/10/09	Don Manuel	Sin pesca		
4	29/10/09	09/11/09	Don Julio	Sin pesca		
5	11/11/09	21/11/09	Don Julio	TBA y LAT2510	52	50
6	12/12/09	15/11/09	Don Julio	TBA y LAT2510	54	49
7	11/11/09	21/11/09	Don Julio	TBA y LAT2510	45	38
8	11/11/09	21/11/09	Don Julio	TBA y LAT2510	55	48
9	11/11/09	21/11/09	Don Julio	TBA y LAT2510	50	37

E.3.2.1.1. Proceso de anestesiado.

Cuando se realiza un proceso de anestesiado individual, los tiempos de anestesia pueden alterar los tiempos operacionales de trabajo a bordo, pudiendo afectar la supervivencia del individuo cuando 3ste no es regulado. Adem3s, un tiempo no adecuado de anestesia puede causar que los ejemplares recuperen su vitalidad antes de aplicar la marca afectando el proceso de marcado. Por este motivo, es necesario cuantificar los tiempos de anestesia y definir la sintomatolog3a del proceso de anestesiado.



Para la aplicaci3n de la anestesia en los jureles se utiliz3 de gui3 el trabajo de Mart3nez, *et al.* (1998), quienes, en una sedaci3n ligera, sugieren verificar como s3ntomas de respuesta la p3rdida del equilibrio parcial, la posici3n lateral (disminuci3n de la movilidad) y el grado de recuperaci3n de los ejemplares.

Para determinar tiempos y sintomatolog3a en el proceso de etiquetado, en la segunda marea (**Tabla E14**), primero se procedi3 a trabajar con distintas concentraciones de anestesia BZ20, siendo incorporada en un balde de 100 L junto a agua de mar, determin3ndose que con la concentraci3n de 20ml/50 L los individuos de jurel se encontraban completamente anestesiados (**Figura 35**), en un tiempo estimado de 4:20 min. (**Tabla E14**). El rango de tama3o de los jureles anestesiados fue de 36 cm hasta 42 cm. As3 mismo, como segundo paso de inter3s durante este proceso se evidenciaron los siguientes s3ntomas en orden correlativo:

- 1.- P3rdida inicial de equilibrio.
- 2.- Aleteo acelerado
- 3.- Nado lateral
- 4.- Nado invertido
- 5.- Disminuci3n de aleteo
- 6.- Espasmos branquiales
- 7.- Sin movimiento de branquias.

Tabla E14.

Concentraciones de aplicaci3n del anest3sico y tiempo efectivo de su efecto

Concentraci3n	Tiempo Final
7,5 ml/50 L	8:00 m
10 ml/50 L	5:50 m
15 ml/50 L	4:50 m
20 ml/50 L	4:20 m

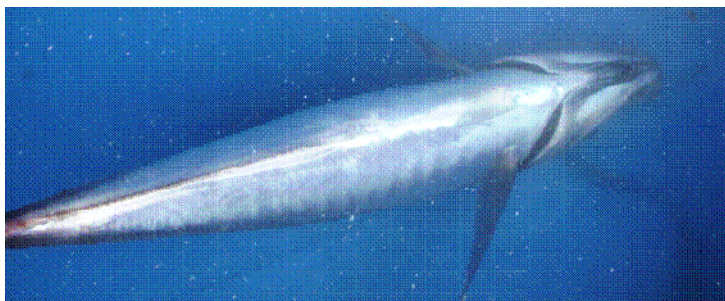


Figura E35. Estado del jurel, observado bajo la condici3n de sedaci3n.

Una vez definidos los sntomas y el tiempo para anestesiarse uno a uno los jureles, se procedi3 en la marea a anestesiarse 50 ejemplares de jurel en 2 rangos de tamaos (19-23 cm, N= 7; 24-27 cm N=43). Se identificaron 5 sntomas. Los tiempos (en minutos) en que los jureles alcanzaron dichos sntomas se muestran en la **Tabla E15**.

Tabla E15.

Sntomas y tiempos (min) de duraci3n de cada uno.

Sntomas	19-23 cm	24-27cm
Aleteo acelerado	1:22	1:29
Nado lateral	1:52	1:53
Nado invertido	2:22	2:25
Disminucion aleteo	2:49	2:59
Espasmos branquiales	3:15	3:48

Finalmente con las pruebas piloto de anestesiado realizadas, se procedi3 a estandarizar el procedimiento y a emplear en todos los experimentos de inserci3n de marcas. Este consider3 que cada ejemplar de jurel recolectado y sometido a la marcaci3n fue sometido a la inmersi3n en un recipiente que contenia 100 L. de agua de mar y BZ-20, en una dosis de 20 mL por cada 50 litros, logrando sedarlos en 3 a 4 minutos, considerando las variables de: sedaci3n ligera, p3rdida del equilibrio parcial, posici3n lateral e invertido y disminuci3n de la movilidad. De este modo, se facilit3 la inserci3n de la marca evitando traumatismos y p3rdida de escamas. El grupo control fue igualmente sometido a la anestesia.



E.3.2.1.2. Diseño experimental.

Con el objeto de observar respuestas funcionales y efectos inmediatos del jurel, cuando la etiqueta fue insertada, se realizaron experimentos de “mesocosmos” denominados de “respuesta inmediata” determinando además visualmente el daño traumático por inserción de la etiquetas. Todas estas evaluaciones fueron efectuadas después de ocurrida la captura y recoleta efectiva de ejemplares vivos mediante la metodología de “tacho recolector”.

El diseño experimental dependió básicamente de la disponibilidad de bins facilitados en cada oportunidad, de la moda existente en la captura y del número de ejemplares que fueron exitosamente capturados vivos desde el tacho colector. En el diseño experimental se consideró la utilización de una muestra de 10 ejemplares de jurel por tratamiento cuando el tamaño de los jureles fue menor a 30 cm y 5 jureles cuando el tamaño fue mayor a 30 cm, determinado básicamente para brindar una condición óptima de carga para cada bins. Se procuró que los jureles seleccionados, correspondieran a los ejemplares de mejor apariencia física (sin daño traumático), en relación al equilibrio y forma de nado. Si bien, el número de muestras es inferior al planteado en la propuesta técnica, se considera la posibilidad de repetir estos experimentos unas 10 veces para asegurar un número de datos apropiados que permitan robustecer los resultados.

Los variables independientes (factores independientes) que fueron evaluados en cada oportunidad sobre la respuesta inmediata que mostraron los jureles marcados correspondió al tipo de etiqueta (con 3 tratamientos, Marca T-Bar en combinación con PIT tag; Marca electrónica de archivo, LAT2510; Marca electrónica de archivo Pop-up (X-Tag) y el tamaño de los ejemplares (con 4 tratamientos; Grupo 1= < 30 cm; Grupo 2= 31-40 cm; Grupo 3= 41-50 cm; Grupo 4= > 50 cm). El tamaño seleccionado dependió finalmente de la estructura de tamaños



disponible a partir del lance de pesca. Sin embargo, para determinar la existencia de diferencias en la mortalidad por marcaje y en la tasa de desprendimiento de las marcas en jurel, se priorizaron los siguientes grupos de tamaño a marcar: Con la marca X-Tag, en primer lugar, individuos pertenecientes al grupo de tamaño 4, seguido en orden descendente por el grupo de tamaño 3 y 2, asumiendo la inviabilidad de marcar ejemplares de pequeño tamaño, por el volumen y peso de esta marca. Con la marca T-bar combinada con PIT tag y LAT2510 se determinó instalarlas en los 4 grupos de distintos tamaño.

En cada uno de estos tratamientos y control (ejemplares mantenidos en bins sin la aplicación de algún tratamiento) se mantuvo la entrada de agua constante, para mantener los parámetros de temperatura, oxígeno, pH, relativamente constantes. La tasa de recambio promedio de agua, en general, fue de 120 L/min. En esta fase y mientras se esperaba que los ejemplares se aclimatizarán fisiológicamente a su nuevo medio (bins) se realizaron monitoreos permanentes cada 1 hora durante 12 horas continuas. Una vez que los jureles fueron expuestos a los tratamientos del marcado, el monitoreo se continuó cada 3 horas y se extendió como límite hasta cuando se evidenció mortalidad total, durante este monitoreo se evaluaron las distintas respuestas de comportamiento y se eliminaron los ejemplares muertos.

Al comienzo de cada experimento se debió establecer la longitud horquilla para cada ejemplar de jurel a marcar. Luego del anestesiado y una vez determinados los tiempos de inserción de la marca, el marcaje se realizó en un medio acuoso limpio para luego dar comienzo a la recuperación dentro del bins de tratamiento. En cada caso se debió registrar el rótulo de la marca.

Los tipos de respuesta fueron determinados por el comportamiento visible inmediato o adverso que presentaron los jureles durante la experimentación con



los distintos tratamientos. Sin embargo, se detallan a continuación las respuestas de tipo funcional que se esperaron evidenciar

- **Natación lateral:** evidenciada como cambio en el comportamiento normal del jurel. Esta condición puede ser atribuida a la pérdida de equilibrio provocado por la inserción asimétrica de la marca a uno de los costados de la aleta dorsal uno.
- **Nado vertical y forzado:** definida como un cambio en el comportamiento normal del jurel. Se presenta como un nado brusco y vertical con posterior decaimiento de la actividad natatoria.
- **Mortalidad:** pérdida total de la actividad vital de jurel que puede ser atribuida, tanto a la inserción de la marca o como a factores externos no contemplados en su evaluación.
- **Respuesta al estímulo táctil:** signo del decaimiento o estrés en el pez, la respuesta negativa al estímulo representa un estado anterior al de la mortalidad.
- **Liberación de la etiqueta:** pérdida de la marca por el desprendimiento.
- **Evidencia de hemorragia:** sangramiento en el punto de inserción de la marca. Se puede monitorear para las marcas TBA y X-tag y es dependiente del grado de traumatismo por inserción.
- **Presencia de infección:** Luego de muerte observación de la existencia del algún grado de infección en el lugar de inserción la marca.
- **Pérdida escamas:** atribuible a un signo de estrés después de insertar la marca o por desprendimientos de escamas durante el proceso de captura.



E.3.2.1.3. Resultados de los experimentos de mesocosmos.

Marea N°1

En esta marea se obtuvieron 53 jureles para el experimento, los cuales fueron trasladados y distribuidos homogéneamente en 8 bins. Las condiciones meteorológicas no fueron adecuadas para trabajar y se debió suspender el trabajo. Sin embargo, se logró marcar un jurel de 42 cm. con el tipo de marca X-Tag luego de ser anestesiado durante 6 min y un tiempo de procedimiento de marcaje de 4 min. El jurel fue depositado en un bins junto a 3 jureles que serían marcados a continuación (**Figura 36**). Se hicieron monitoreos periódicos cuando fue permitido. Los jureles que acompañaron al jurel marcado en el mismo bins, fueron tomados como tratamiento control. El tiempo de vida del jurel etiquetado fue de 17 horas. Sin embargo, uno de los jureles control se encontró muerto antes de morir el jurel marcado.

Comportamiento del jurel marcado con X-Tag

El jurel marcado con la marca X-Tag, luego de recuperarse del proceso de anestesiado tendió a realizar movimientos bruscos. Luego de un tiempo el jurel se profundizó chocando con la base del bins. A continuación se visualizó una actitud pasiva con movimientos aletargados, similar a los ejemplares control, con repentinos decaimientos y asentamiento en el bins. El jurel tuvo una respuesta positiva ante los estímulos táctiles (**Figura 36**). Se comprobó la correcta inserción del dardo en la musculatura y su disposición en el agua no representa aparentemente una gran molestia para el jurel, al menos, así se puede desprender de la forma de su nado y de la respuesta al acercar la mano hacia él. No es evidente que el marcaje le haya provocado la muerte a este ejemplar de jurel, ya que se registró la muerte de un ejemplar control primero que éste. Se destacan las condiciones de mal tiempo

imperantes durante esta fase, las cuales causaron múltiples movimientos en los bins, inclusive las marejadas que entraron por la borda golpearon en muchas oportunidades estos bins y llegaron a dificultar la continuación del experimento, por lo tanto, se puede inferir que el nivel de estrés de los ejemplares mantenidos en cautiverio debió haberse elevado por este efecto y esto pudo provocar el colapso de algunos ejemplares antes de las 24 horas, incluyendo al ejemplar marcado.

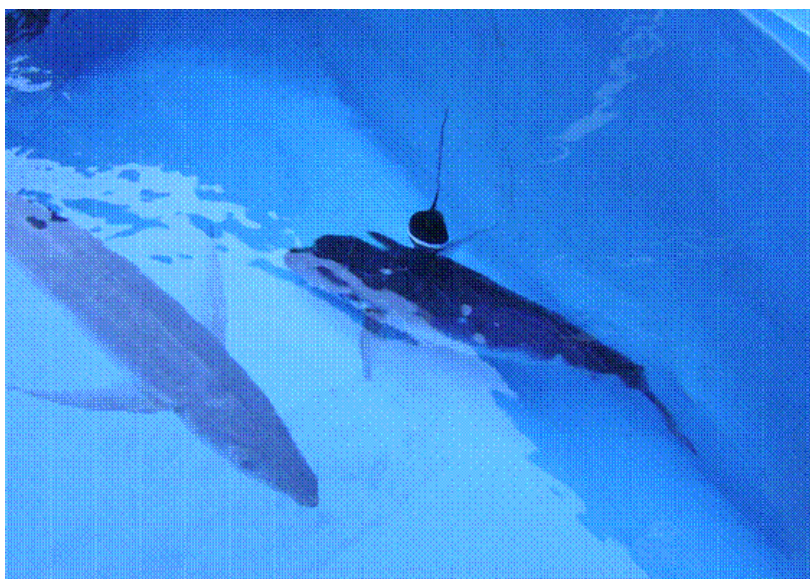


Figura E36. Registro fotográfico del único jurel marcado con X-Tag en el bins.

Marea N°2

En esta marea se obtuvieron 9 ejemplares de jurel, de los cuales 5 fueron marcados con marcas LAT2510, manteniendo un tratamiento control con 4 ejemplares. El rango de tallas de los ejemplares varió de 36 cm a 42 cm de LH. Tanto los jureles del tratamiento control como los del tratamiento LAT2510 fueron anestesiados. Los tiempos de marcaje con la etiqueta LAT2510 fueron de 9 min a 4 min. Disminuyendo progresivamente el tiempo de su aplicación desde el primer al último ejemplar.



Comportamiento del jurel etiquetado con LAT2510.

Una vez depositados los jureles uno a uno en los bins de experimentación, se identificaron los principales sucesos y comportamientos del jurel registrados en este monitoreo, los cuales se detallan en la **Tabla E16**.

Tabla E16.
Principales situaciones y sucesos ocurridos durante el monitoreo del experimento de la marea 2.

Fecha	Hora	H. acum.	Tratamiento Control	Tratamiento Lotek
16-08-2009	6:00	0	Se recolectan 4 ejemplares	Se recolectan 5 ejemplares
19-08-2009	19:55	76	Comportamiento normal en los ejemplares	Primeros cambios en el comportamiento normal.
20-08-2009	1:20	81	Primeros cambios en el Comp. normal	Sin respuesta al estímulo táctil de 1 ejemplar
20-08-2009	4:45	85	Cambios de Comp. normal de 2 ejemplares	Muere del primer ejemplar marcado
20-08-2009	8:00	88	Muere el primer ejemplar Control	Cambios de Comp. normal de en 2 ejemplares
20-08-2009	16:40	97	Sin respuesta al estímulo táctil de 2 ejemplares	Mueren 2 ejemplares marcado
20-08-2009	20:10	100	Mueren 2 ejemplares control	Comportamiento normal en los ejemplares restantes
21-08-2009	10:30	115	Muerte del último de ejemplar control	Cambios de Comp. normal de en 1 ejemplares
21-08-2009	16:30	121		Muere 1 ejemplar marcado
21-08-2009	20:00	124		Muerte del último de ejemplar marcado

Durante el desarrollo de este experimento no se evidenció el desprendimiento de ninguna marca (LAT2510) en los ejemplares de jurel, así como tampoco la presencia de hemorragias causadas por la inserción. Sin embargo, ocurrió descamación de los ejemplares, tanto en el tratamiento control como en el tratamiento LAT2510.

Una vez muertos, se les analizó internamente, realizándose un corte longitudinal en la zona ventral, para observar la proporción de músculo y dirección en donde quedó inserta la etiqueta. Se constató que algunas etiquetas no quedaron insertas en la capa muscular y que la etiqueta entró en la cavidad peritoneal quedando alojada entre el intestino medio y las gónadas (**Figura E37**).

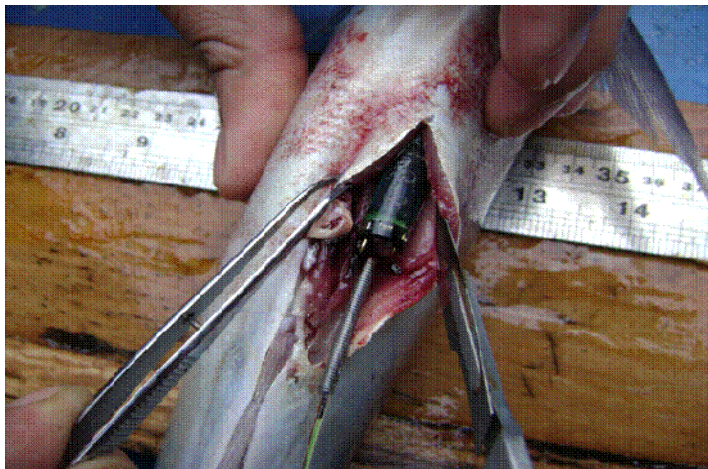


Figura E37. Etiqueta LAT2510 insertada en la cavidad peritoneal.

A continuación se señalan los sucesos más importantes obtenidos durante los experimentos de la marea 2:

- La experimentación con la marca LAT2510 en jureles vivos, se realizó satisfactoriamente. Cabe señalar que en este experimento los jureles del control murieron antes que los jureles marcados. Esto hace suponer que la causa de muerte de los ejemplares etiquetados no fue causada de forma inmediata y directa por la aplicación de la marca, si no que por efectos de otra índole.
- A diferencia de las experiencias pasadas, se observó un aumento del tiempo en que los jureles marcados prolongaron su supervivencia, superando las 120 horas.
- No existió diferencias de mortalidad por inserción, al menos en el corto plazo, entre jureles con la inserción de la marca localizada en el sector intramuscular y jureles con la marca albergada en la cavidad peritoneal.
- Se definió un comportamiento funcional normal y anómalo de los jureles mantenidos en los bins.



Marea N°5

Una vez realizado el lance de pesca, se recolectaron 50 ejemplares, seleccionando a los ejemplares más grandes y los mejor evaluados en su apariencia física. La estructura de tamaños de los jureles obtenidos en la muestra, se caracterizó por presentar ejemplares principalmente juveniles de moda 24 cm LH y un rango de 19 a 27 cm de LH (**Figura E38**). Esta distribución de tamaños planteó una oportunidad de marcar ejemplares de tamaño menor a lo registrado durante la temporada de pesca, por ello, se marcaron 10 ejemplares con marcas T-bar con réplica y un tratamiento control (**Figuras E39 y E40**); y 10 ejemplares con marcas LAT2510, manteniendo un tratamiento control con 10 ejemplares sin marcar (**Figuras E41 y E42**). Todos estos ejemplares pasaron por la fase de anestesia. Una vez marcados estos jureles se monitoreó visualmente el comportamiento de los jureles cada 3 horas hasta recalar en puerto de Coronel. Durante el monitoreo se registró la temperatura del agua, la salinidad y el pH. Los tiempos de marcaje de las etiquetas T-bar fluctuó entre 1 a 2 minutos. Los tiempos de marcaje con LAT2510 fueron entre 5 a 7 minutos.

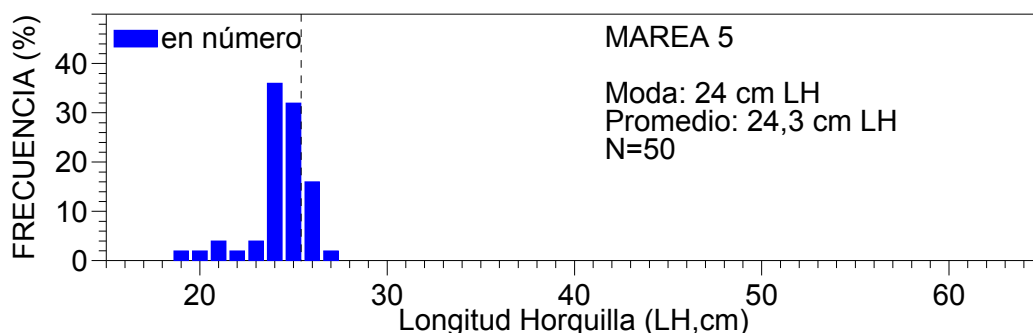


Figura E38. Estructura de tamaños de jurel obtenida en el lance de pesca N°1 de la marea N° 5.

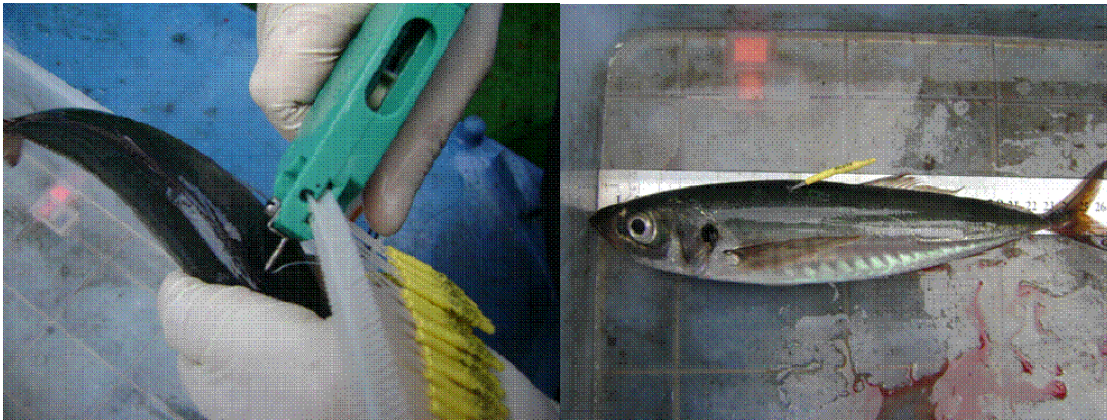


Figura E39. Inserci3n de la marca T-bar moldeada con una PIT, sobre un ejemplar juvenil de jurel vivo anestesiado.



Figura E40 Nado circular de ejemplares juveniles de jurel marcados con T-bar moldeada con una PIT, en un bins.



Figura E41 Marcaje de jurel juvenil con marca LAT2510.



Figura E42. Nado circular de ejemplares juveniles de jurel marcados con LAT2510, en un bins.

A las 50 horas de cautiverio se observ3 que las mortalidades empezaron a incrementarse en general en todos los tratamientos y los controles (**Figura E43**). En el caso del tratamiento con T-bar, sus dos r3plicas sobrevivieron m3s tiempo que el grupo control. Los 3ltimos ejemplares del tratamiento T-bar, murieron a las



98 horas y 118 horas respectivamente. En el tratamiento con LAT2510, los jureles marcados murieron entre las 60 y 90 horas de cautiverio mientras que el último ejemplar del grupo control de tratamiento murió a las 106 horas de cautiverio. Durante todo el tiempo que involucró el desarrollo del experimento no se evidenció pérdida de marcas para los tratamientos ejecutados.

Los parámetros abióticos dentro de los bins se mantuvieron estables con una temperatura que se mantuvo entre 15,9°C y 13,6°C, oxígeno entre 7,6 y 6,3 ml/L., y pH entre 8 y 8,5.

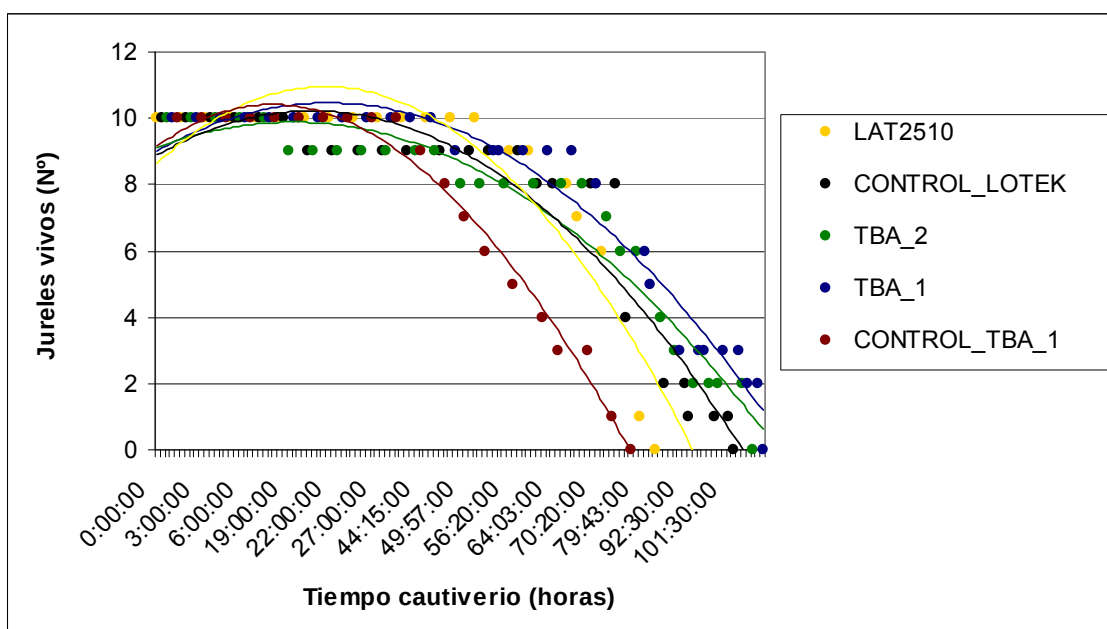


Figura E43. Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N°5.

Se evidencia una descamación notoria en los ejemplares que permanecen vivos en la etapa final del experimento, esto puede atribuirse a la pérdida gradual de las escamas por un proceso de estrés por cautiverio, por una remoción incompleta no

visible durante la captura, ya sea en el tacho colector o la red de cerco, lo que se infiere desde 2 ejemplares que no fueron anestesiados, ni marcados y se mantuvieron vivos hasta el final y sufrieron de igual manera la descamación (**Figura E44**). Esta descamación también fue observada en los experimentos pasados, (Marea 2).



Figura E44 Ejemplar de jurel juvenil marcado con T-bar moldeada con PIT, evidenciando pérdida de escamas.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la marea 5 de experimentación se puede indicar lo siguiente:

Se prueba con éxito los tratamientos T-bar moldeadas con PIT y LAT2510 en ejemplares juveniles de moda en 24 cm LH y un rango de 19 a 27 cm LH. Cabe señalar que los especimenes el grupo control del tratamiento T-bar murieron primero con una diferencia mínima de 10 horas. Esto hace suponer que la causa de muerte de los ejemplares marcados no fue causada de forma inmediata y directa por la aplicación de la marca, si no que por efectos de otra índole, uno de



los cuales puede estar asociado al estrés del cautiverio, no ha sido posible mantener por más de 4 o 5 días jureles vivos en cautiverio en estos bins que representan, a pesar de todo, un ambiente muy reducido en espacio y sobre los cuales se transmiten todos los ruidos originados al interior de la embarcación, por lo cual estos peces son mantenidos en constante tensión. En el caso del tratamiento con LAT2510, se evidenció una muerte anterior al control con una diferencia de 10 a 15 horas, lo que puede atribuirse en forma, al efecto que puede estar provocando este tipo de marca sobre la supervivencia de estos ejemplares juveniles. En todo caso la mitad de los ejemplares se murieron después de las 72 horas de cautiverio.

Marea N°6

Una vez realizado el lance de pesca, se recolectaron 50 ejemplares, seleccionando a los mejor evaluados en su apariencia física (sin daños en la piel, hemorragias, etc.). La estructura de tamaños de los jureles obtenidos en la muestra, se caracterizó por presentar ejemplares principalmente juveniles de moda 26 cm LH y un rango de 22 a 27 cm de LH (**Figura E45**). Se marcaron 10 ejemplares con marcas T-bar con réplica y un tratamiento control; y 10 ejemplares con marcas LAT2510, manteniendo un tratamiento control con 10 ejemplares sin marcar, para ambos tratamientos. Todos estos ejemplares pasaron por la fase de anestesia. Una vez marcados estos jureles se monitoreó visualmente el comportamiento de los jureles cada 3 horas hasta recalar en puerto de Coquimbo. Durante el monitoreo se registró la temperatura del agua, la salinidad y el pH. Los tiempos de marcaje de las etiquetas T-bar fluctuó entre 1 a 2 minutos. Los tiempos de marcaje con LAT2510 fueron entre 1 a 3 minutos. Con un tiempo de anestesiado de 4 a 7 minutos para ambos tratamientos.

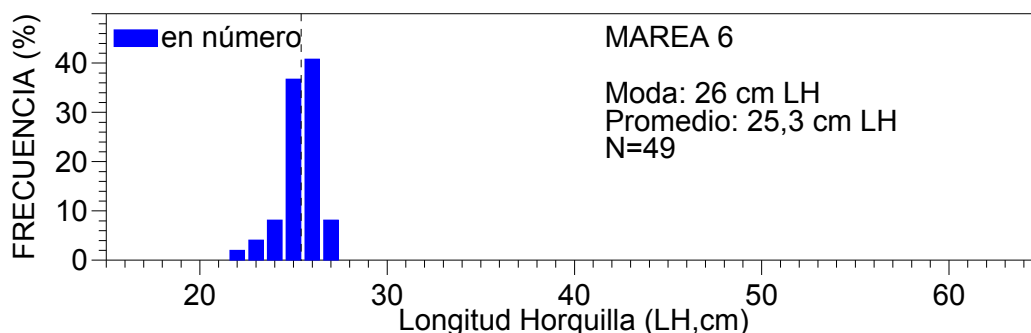


Figura E45 Estructura de tamaños de jurel obtenida en el lance de pesca N°1 de la marea N° 6.

Sobre las 50 horas de cautiverio se empezaron a registrar las primeras mortalidades en los tratamientos y controles, las cuales posteriormente empezaron a incrementarse (**Figura E46**). En el caso del tratamiento con T-bar, sus dos réplicas registraron las primeras mortalidades, no así en el grupo control. Caso contrario fue lo que se registró en el tratamiento con LAT2510, en el cual se observó el inicio de las mortalidades en los ejemplares del grupo control y no en los marcados. Este experimento se debió finalizar para dar inicio a uno nuevo, en este caso la duración total estuvo entre 93 y 96, hasta aquí, lograron sobrevivir el 15% TBA; 44% LAT2510; y 25% de los grupos control. Durante todo el tiempo que involucró el desarrollo del experimento no se evidenció pérdida de marcas para los tratamientos ejecutados.

Los parámetros abióticos dentro de los bins se mantuvieron estables con una temperatura que se mantuvo entre 16,1°C y 13,3°C, oxígeno entre 4,0 y 6,6 ml/L., y pH entre 8 y 8,5.

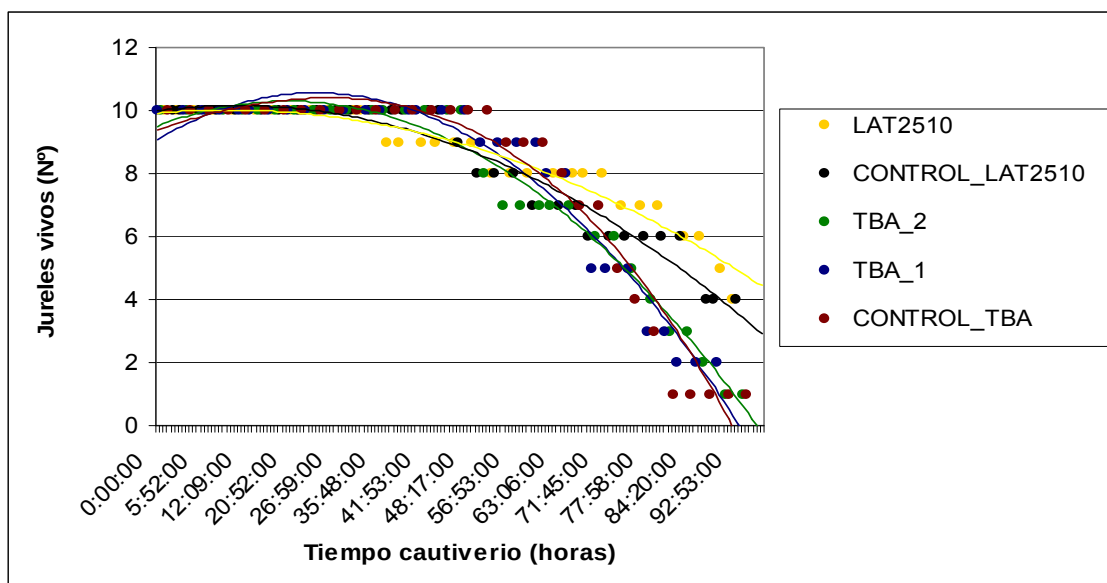


Figura E46 Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N°6.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la marea 6 de experimentación se puede indicar lo siguiente:

Nuevamente se prueban favorablemente los tratamientos T-bar moldeadas con PITT y LAT2510 en ejemplares juveniles de moda en 26 cm LH y un rango de 22 a 27 cm LH. La supervivencia de sólo el 25% de ejemplares del grupo control, sobre el 44% del grupo marcado con LAT2510, permite nuevamente plantear que la causa de muerte de los ejemplares marcados puede estar afectada por otras razones eventualmente asociadas al estrés del cautiverio. Así mismo, se destaca la disminución en el tiempo de marcaje involucrado en este tratamiento respecto de la marea anterior. Por otro lado, se evidencia una mayor supervivencia para este grupo sobre el 70% a las 80 horas de transcurrido el experimento superior al experimento anterior.

Marea N°7

Una vez realizado el lance de pesca, se recolectaron 38 ejemplares, seleccionando a los mejor evaluados en su apariencia física (sin daños en la piel, hemorragias, etc.). La estructura de tamaños de los jureles obtenidos en la muestra, se caracterizó por presentar ejemplares principalmente juveniles de moda 26 cm LH y un rango de 21 a 26 cm de LH (**Figura E47**). Se marcaron 10 ejemplares con marcas T-bar y un tratamiento control; y 9 ejemplares con marcas LAT2510, manteniendo un tratamiento control con 9 ejemplares sin marcar. Todos estos ejemplares pasaron por la fase de anestesia. Una vez marcados estos jureles se monitoreó visualmente el comportamiento de los jureles cada 3 horas hasta recalar en puerto de Coronel. Durante el monitoreo se registró la temperatura del agua, la salinidad y el pH. Los tiempos de marcaje de las etiquetas T-bar fluctuaron entre 45 segundos a 1 minuto. Los tiempos de marcaje con LAT2510 fueron entre 2 a 7 minutos. Con un tiempo de anestesiado de 3 a 5 minutos para ambos tratamientos.

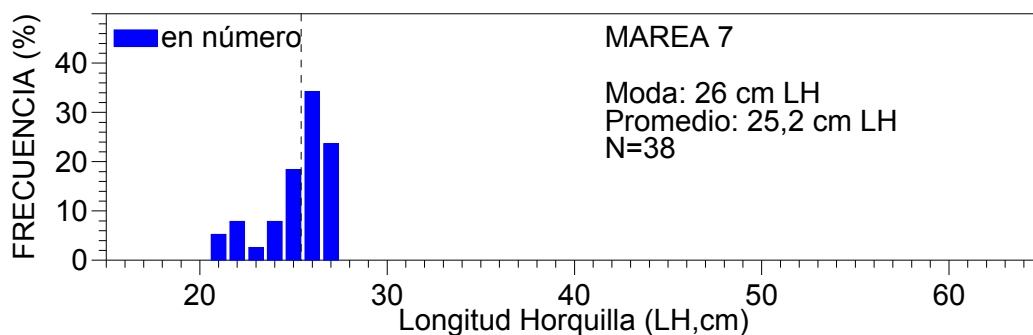


Figura E47. Estructura de tamaños de jurel obtenida en el lance de pesca N°1 de la marea N° 7.

A las 42 horas de cautiverio se debió finalizar este experimento observándose un 100% de supervivencia en ambos grupos control, un 90% en los ejemplares marcados con TBA y solo un 66,6% en los ejemplares marcados con LAT2510

(Figura E48). Durante todo el tiempo que involucró el desarrollo del experimento no se evidenció pérdida de marcas para los tratamientos ejecutados.

Los parámetros abióticos dentro de los bins se mantuvieron estables con una temperatura que se mantuvo entre 17,3°C y 14,4°C, oxígeno entre 6,4 y 6,1 ml/L., y pH en 8,5.

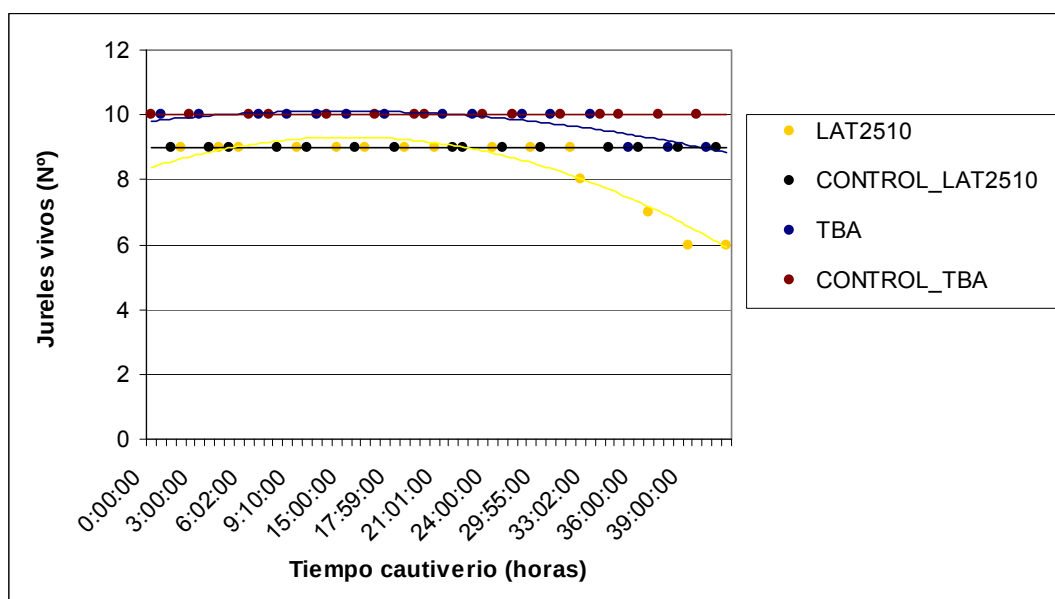


Figura E48 Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N°7.

Marea N°8

Una vez realizado el lance de pesca, se recolectaron 50 ejemplares, seleccionando a los ejemplares más grandes y los mejor evaluados en su apariencia física (sin daños en la piel, hemorragias, etc.). La estructura de tamaños de los jureles obtenidos en la muestra, se caracterizó por presentar ejemplares principalmente juveniles de moda 27 cm LH y un rango de 22 a 32 cm de LH (**Figura E49**). Se marcaron 10 ejemplares



con marcas T-bar con réplica y un tratamiento control y 9 ejemplares con marcas LAT2510, manteniendo un tratamiento control con 9 ejemplares sin marcar. Todos estos ejemplares pasaron por la fase de anestesia. Una vez marcados estos jureles se monitoreó visualmente el comportamiento de los jureles cada 3 horas hasta recalar en puerto de Coquimbo. Durante el monitoreo se registró la temperatura del agua, la salinidad y el pH. Los tiempos de marcaje de las etiquetas T-bar fluctuaron entre 45 segundos a 1 minuto. Los tiempos de marcaje con LAT2510 fueron entre 2 a 3 minutos. Con un tiempo de anestesiado de 3 a 5 minutos para ambos tratamientos.

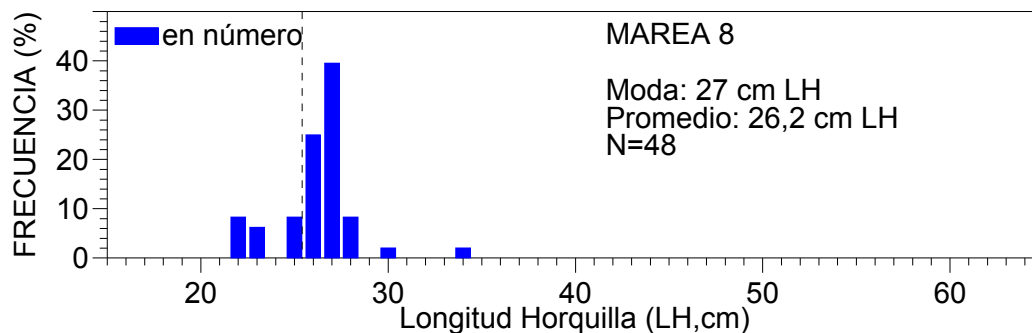


Figura E49. Estructura de tamaños de jurel obtenida en el lance de pesca N°1 de la marea N° 8.

A las 57 horas de cautiverio se observó el primer ejemplar muerto correspondiente a un ejemplar marcado con TBA, pasadas las 78 horas las mortalidades empezaron a incrementarse en general en todos los tratamientos y los controles (**Figura E50**). En el caso del tratamiento con T-bar, sus dos réplicas sobrevivieron menos tiempo que el grupo control. Sin embargo, al momento de finalizar este experimento alrededor de las 275 horas, sobrevivió en total el 50% de los ejemplares marcados en ambas réplicas, al igual que lo ocurrido en el grupo control. En el tratamiento con LAT2510, sobrevivió el 44,4% y el control solo el 11%. Durante todo el tiempo que involucró el desarrollo del experimento no se evidenció pérdida de marcas para los tratamientos ejecutados. Los ejemplares que



sobrevivieron presentaban una fuerte decoloraci3n en su piel y presencia de signos de deterioro de la piel. A pesar de ello, respondían activamente a los estímulos realizados en el agua.

Los parámetros abióticos dentro de los bins se mantuvieron con una temperatura que fluctuó entre 19,5°C y 15,4°C, oxígeno entre 7,8 y 5,1 ml/L., y pH entre 8 y 8,5.

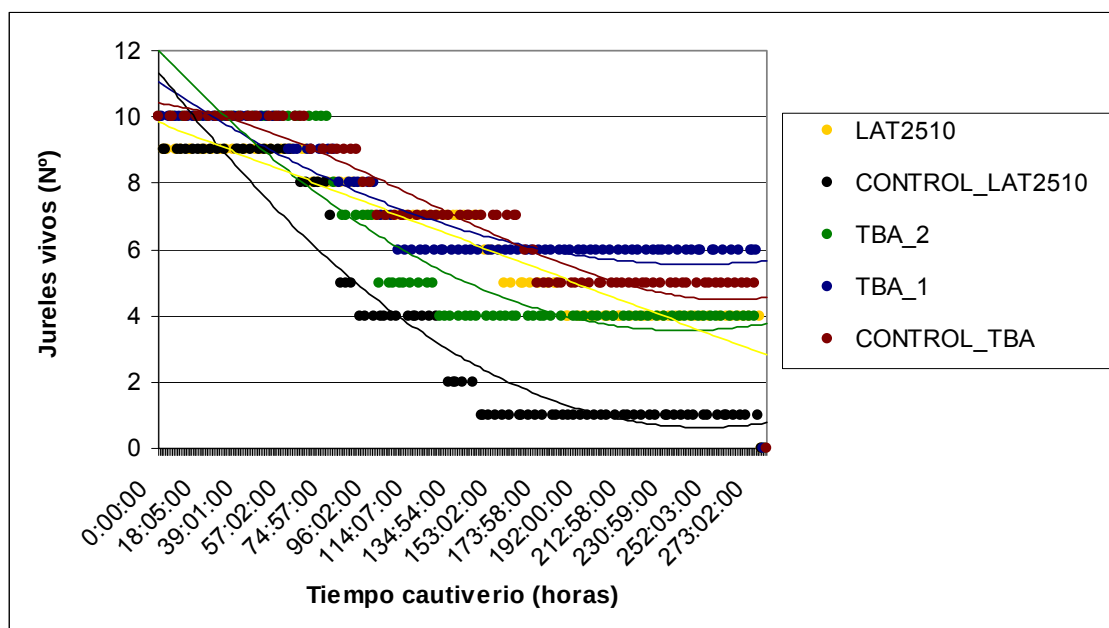


Figura E50 Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N°8.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la marea 8 de experimentaci3n se puede indicar lo siguiente:

Este experimento corresponde al m3s extenso en tiempo y permiti3 poder observar que los ejemplares de jurel pueden soportar una condici3n m3s



prolongada de cautiverio evidenciando claros signos de deterioro de la piel, que se desarrolló principalmente en los últimos días. Algo que no fue posible verificar en las mareas anteriores a pesar de que las condiciones del cautiverio fueron relativamente similares. Estas condiciones permitieron establecer que no existió desprendimiento de alguna marca y existió un grupo control que registró mayores mortalidades que el grupo con tratamiento, es el caso de los ejemplares marcados con LAT2510.

Marea N°9

Una vez realizado el lance de pesca, se recolectaron 38 ejemplares, seleccionando a los ejemplares más grandes y los mejor evaluados en su apariencia física (sin daños en la piel, hemorragias, etc.). La estructura de tamaños de los jureles obtenidos en la muestra, se caracterizó por presentar ejemplares de tamaño superior a lo registrado en las mareas anteriores con una moda 28 cm LH y un rango de 25 a 36 cm de LH (**Figura E51**). Se marcaron 10 ejemplares con marcas T-bar con réplica y un tratamiento control; y 9 ejemplares con marcas LAT2510, manteniendo un tratamiento control con 9 ejemplares sin marcar. Todos estos ejemplares pasaron por la fase de anestesia. Una vez marcados estos jureles se monitoreó visualmente el comportamiento de los jureles cada 3 horas hasta recalar en puerto de Coquimbo. Durante el monitoreo se registró la temperatura del agua, la salinidad y el pH. Los tiempos de marcaje de las etiquetas T-bar fluctuaron entre 45 segundos a 1 minuto. Los tiempos de marcaje con LAT2510 fueron entre 3 a 5 minutos. Con un tiempo de anestesiado de 4 a 5 minutos para ambos tratamientos.

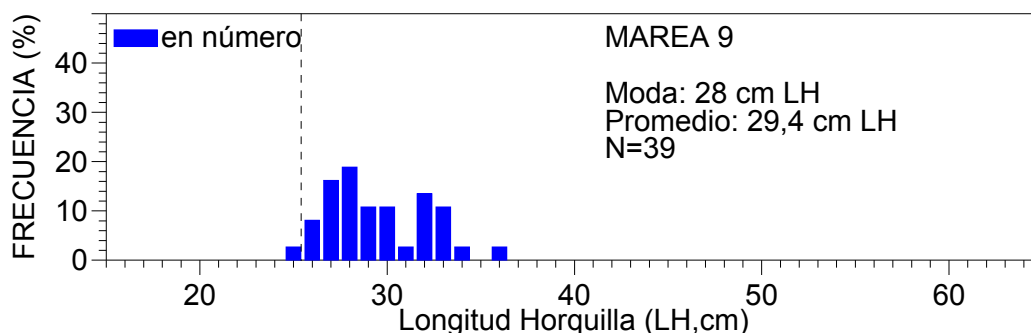


Figura E51. Estructura de tama3os de jurel obtenida en el lance de pesca N31 de la marea N39.

A las 60 horas de cautiverio se finaliz3 el experimento debido a la finalizaci3n de la marea. Observ3ndose que en ambos grupos control se obtuvo un alto nivel de supervivencia (100%), lo cual no ocurri3 en los grupos que fueron sometidos a los tratamientos de marcaje, en los cuales se registr3 un 90% (T-bar) y un 70% (LAT2510) (**Figura E52**). Durante todo el tiempo que involucr3 el desarrollo del experimento no se evidenci3 p3rdida de marcas para los tratamientos ejecutados.

Los par3metros abi3ticos dentro de los bins se mantuvieron estables con una temperatura que se mantuvo entre 17,43C y 13,93C, ox3geno entre 7,9 y 6,5 ml/L., y pH 8,5.

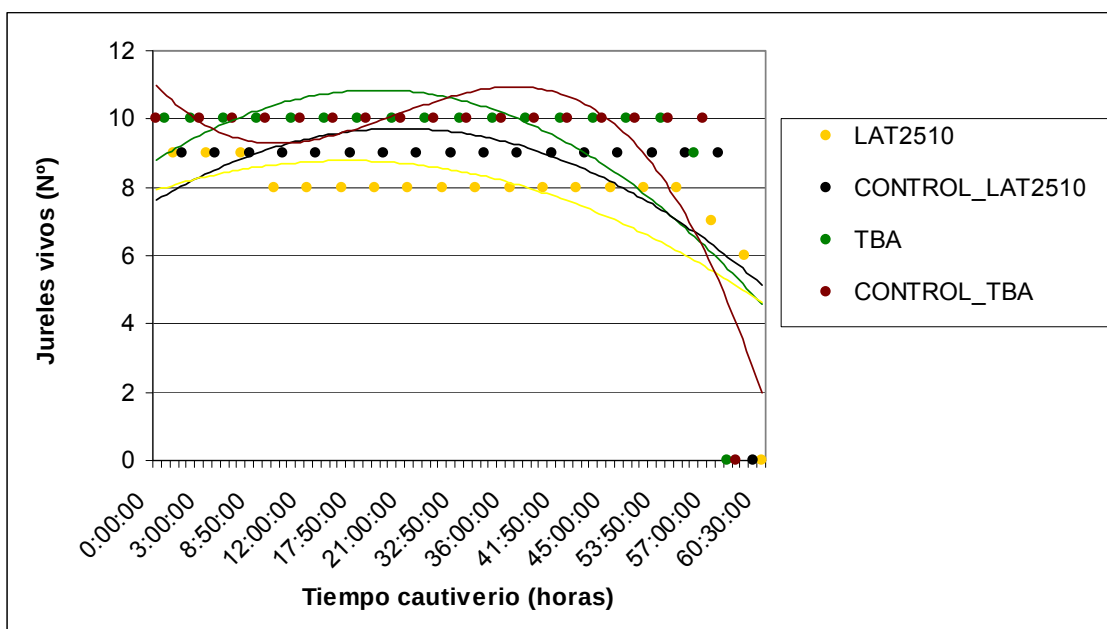


Figura E52 Supervivencia de ejemplares de jurel mantenidos en bins en los tratamientos de marcaje (T-bar y LAT2510,) y control, marea N°9.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la marea 9 de experimentaci3n se puede indicar lo siguiente:

Se prueba los tratamientos T-bar moldeadas con PIT y LAT2510 en ejemplares adultos de moda en 28 cm LH, obteniéndose resultados favorables. Para este caso, solo los ejemplares marcados con LAT2510 presentaron una menor supervivencia.



E.3.2.1.4. An3lisis de los resultados de los experimentos de mesocosmos

Con la finalidad de determinar estad3sticamente las diferencias en la mortalidad relativa de ejemplares de jurel producidas por la aplicaci3n de marcas de inserci3n (Lotek y TBA) con sus respectivos controles y de la interacci3n entre estos tipos de marcas y sus controles, en experimentos desarrollados en las 3ltimas 5 mareas, se aplic3 un an3lisis de varianza factorial de dos v3as con igual replicaci3n (ANOVA). Este an3lisis fue realizado, una vez que fueron cumplidos los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, requisitos m3nimos para la aplicaci3n de estadística paramétrica (Zar, 1996).

Las diferencias estadísticas en el comportamiento de la mortalidad total, observada en tratamientos controles y marcas de inserci3n (Lotek y TBA), fueron analizadas con la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras. Con esta prueba se realizaron comparaciones pareadas en intervalos de tiempo hasta completar 120 horas con marcas Lotek y TBA; controles Lotek y TBA; control Lotek y marca Lotek; y control TBA y marca TBA. Esta prueba es sensible a las diferencias en posici3n y forma de la distribuci3n de ambas muestras (Zar, 1996).

Todos estos an3lisis fueron realizados en el programa Statistica 6.0 y Statistix 9.0. El nivel de significancia cr3tico empleado fue un $p = 0,05$.

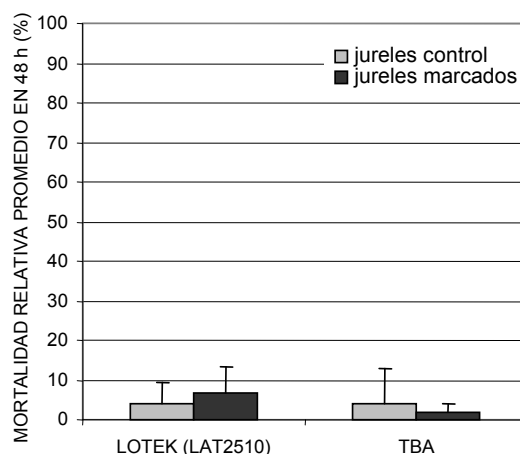


Figura E53 Mortalidad relativa promedio de ejemplares de jurel, observada en los tratamientos control y de marcas de inserción (marca Lotek y TBA), durante las 48 h de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 222 (jureles disponibles); n=5 (mareas); +/- desviación estándar.

Las mortalidades obtenidas a las 48 horas de cautiverio fueron bajas, logrando alcanzar un 3,6% del total que se obtuvo en los experimentos. El análisis indicó que las mortalidades relativas obtenidas al interior de los diferentes tratamientos probados y sus respectivos controles no presentan diferencias significativas (**Figura E53; Tabla E17**). Por otro lado, los entre tipos de marcas utilizados no presentaron diferencias significativas ($F_{1,19} = 0,30$; $p=0,59$) sobre la mortalidad, lo mismo, se registró cuando se contrastaron estos resultados con sus respectivos controles ($F_{1,19} = 0,30$; $p=0,59$) (**Tabla E17**).



Tabla E17.

Análisis factorial de varianza de dos vías, realizado para la mortalidad de jureles en 48 h de experimentación. V001 (tratamiento control); V002 (tratamiento con marcas de inserción); V001*V002 (interacción de ambos tratamientos). La significancia estadística se representa por P.

Source	DF	SS	MS	F	P
V001	1	0.45	0.4500	0.01	0.9435
V002	1	26.45	26.4500	0.30	0.5889
V001*V002	1	26.45	26.4500	0.30	0.5889
Error	16	1391.20	86.9500		
Total	19	1444.55			

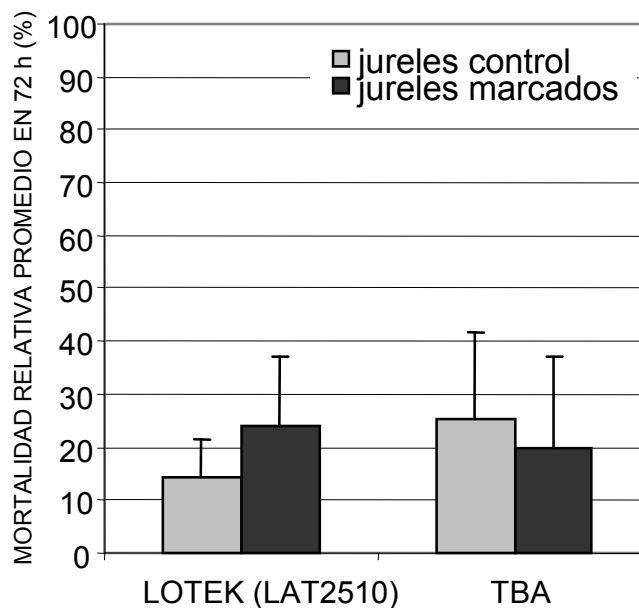


Figura E54

Mortalidad relativa promedio de ejemplares de jurel, observada en los tratamientos control y de marcas de inserción (marca Lotek y TBA), durante las 72 h de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 182 (jureles disponibles); n=4 (mareas); +/- desviación estándar.



Las mortalidades obtenidas a las 72 horas de cautiverio se incrementaron, logrando alcanzar un 26,3% del total que se obtuvo en los experimentos. A pesar de este incremento, el an3lisis indic3 que las mortalidades relativas obtenidas al interior de los diferentes tratamientos probados y sus respectivos controles no presentan diferencias significativas (**Figura E54; Tabla E18**). Entre los tipos de marcas utilizados no presentaron diferencias significativas ($F_{1,15} = 0,37$; $p=0,55$) sobre la mortalidad. Se obtuvo un resultado similar cuando se contrastaron estos resultados con sus respectivos controles ($F_{1,15} = 0,30$; $p=0,59$) (**Tabla E18**).

Tabla E18.

An3lisis factorial de varianza de dos v3as, realizado para la mortalidad de jureles en 72 h de experimentaci3n. V001 (tratamiento control); V002 (tratamiento con marcas de inserci3n); V001*V002 (interacci3n de ambos tratamientos). La significancia estadística se representa por P.

Source	DF	SS	MS	F	P
V001	1	27.56	27.563	0.05	0.8315
V002	1	217.56	217.563	0.37	0.5527
V001*V002	1	175.56	175.563	0.30	0.5933
Error	12	6997.25	583.104		
Total	15	7417.94			

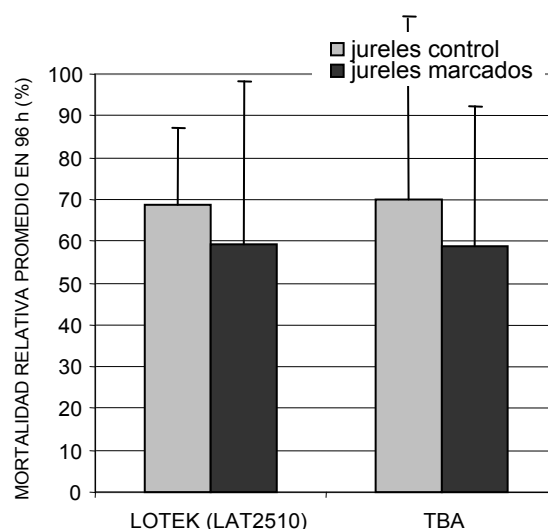


Figura E55

Mortalidad relativa promedio de ejemplares de jurel, observada en los tratamientos control y de marcas de inserci3n (marca Lotek y TBA), durante las 96 h de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 144 (jureles disponibles); n=3 (mareas); +/- desviaci3n est3andar.



Las mortalidades obtenidas a las 96 horas de cautiverio se incrementaron, logrando alcanzar un 63,1% del total que se obtuvo en los experimentos. A pesar de este incremento, el an3lisis no indic3 diferencias significativas en las mortalidades relativas obtenidas a interior de los diferentes tratamientos probados y sus respectivos controles (**Figura E55; Tabla E19**). Entre los tipos de marcas utilizados no presentaron diferencias significativas ($F_{1,11} = 0,14$; $p = 0,72$) sobre la mortalidad. Se obtuvo un resultado similar cuando se contrastaron estos resultados con sus respectivos controles ($F_{1,11} = 0,49$; $p = 0,50$) (**Tabla E19**).

Tabla E19.

An3lisis factorial de varianza de dos v3as, realizado para la mortalidad de jureles en 96 h de experimentaci3n. V001 (tratamiento control); V002 (tratamiento con marcas de inserci3n); V001*V002 (interacci3n de ambos tratamientos). La significancia estad3stica se representa por P.

Source	DF	SS	MS	F	P
V001	1	1700.59	1700.59	1.69	0.2299
V002	1	136.71	136.71	0.14	0.7221
V001*V002	1	492.59	492.59	0.49	0.5041
Error	8	8053.92	1006.74		
Total	11				

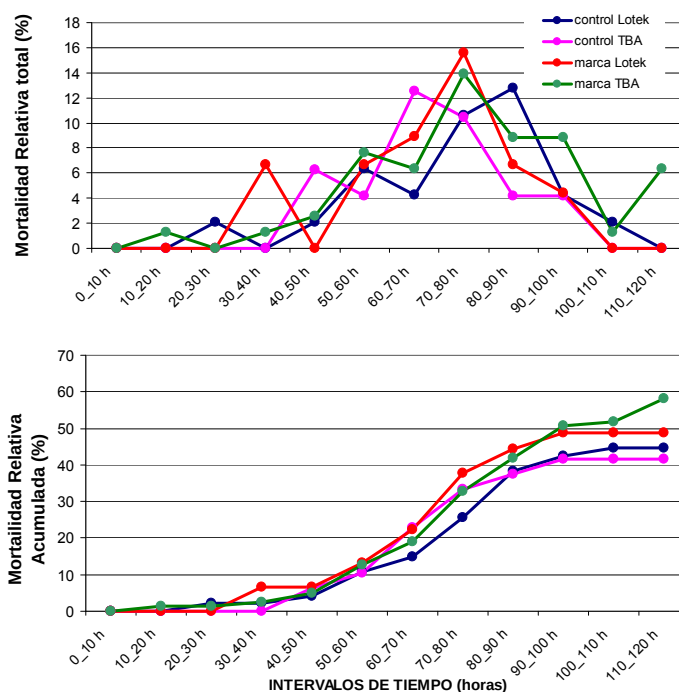


Figura E56 Comportamiento de la mortalidad relativa total (a) y acumulada (b) de ejemplares de jurel, que incluyeron todas las mareas (5), observada en los tratamientos control y de marcas de inserción (marca Loteck y TBA), durante las 120 horas de desarrollo de los experimentos de mesocosmos. N= 219 (jureles disponibles).

El análisis del comportamiento de la mortalidad relativa indicó en forma evidente la presencia de un patrón existente que señala un incremento generalizado en los distintos tratamientos y sus controles a partir de las 48 horas visualizándose valores máximos entre las 70 y 90 horas, mostrando una tendencia decreciente en las horas posteriores hasta la finalización de los experimentos (**Figura E56a**). Esto se reafirma desde la perspectiva de la mortalidad acumulada, donde se observó un fuerte incremento en la mortalidad (40%) pasadas las 48 horas en un intervalo de 20 horas (**Figura E56b**), representando de este modo, un periodo crítico dentro de los experimentos realizados y que abarcó en general a todos los tratamientos y sus controles de manera similar. Se debe señalar que la mortalidad acumulada a las 120 horas en los experimentos que tuvieron una mayor duración, correspondió al 49,7%.



El an3lisis de la distribuci3n y forma de las curvas de mortalidad de los diferentes tratamientos y sus respectivos controles, de acuerdo al patr3n mencionado anteriormente, indic3 que no hubo presencia de diferencias significativas en las interacciones pareadas, tales como: Control Lotek-control TBA (Kolmogorov-Smirnov=0,23; $p=0,2351$); Marca Lotek-marca TBA (Kolmogorov-Smirnov=0,21; $p=0,2256$); Control Lotek-marca Lotek (Kolmogorov-Smirnov=0,21; $p=0,3145$); Control TBA-marca TBA (Kolmogorov-Smirnov=0,23; $p=0,1649$).

E.3.3. Estudios de la qu3mica de la sangre de jurel.

Metab3licamente, en los peces se han reportado mediciones de las respuestas a los cambios en la adaptaci3n individual como indicadores de estr3s (Astete & Gonz3lez 1997, Ingram 1987, Canfield et al. 1994). Cuando la capacidad de respuesta es sobrepasada por estr3s, este ocasiona la muerte del individuo, pero cuando la respuesta no excede el rango homeost3tico (Stebbing 1981) el estr3s afecta el crecimiento de los individuos (McCormick et al. 1998), los predispone a enfermedades (Robertson et al. 1987, Kaatari & Tripp 1987) o imposibilitan la resistencia a nuevas condiciones ambientales (Quintana, 2002). No obstante, el efecto del estr3s a nivel de especies, como por ejemplo la alteraci3n del estado de salud de una poblaci3n, aunque dif3cil de comprobar, es el que tiene mayor relevancia dentro de la compleja red de interacciones de un ecosistema (Schreck *et al.* 2001).

En este contexto, destaca la utilizaci3n y eficacia de la actividad de LDH plasm3tica, enzima intracelular que se libera al torrente sangu3neo a medida que aumenta la lisis celular, como un promisorio marcador de da3o tisular en jureles expuestos a elevados rangos de estr3s, ya sea por captura o marcaje, puesto que si bien su uso ya es mencionado en bioqu3mica cl3nica de humanos como



marcador de infarto de miocardio, la utilizaci3n de este marcador de estr3s tisular en peces no esta documentada.

El objetivo de este estudio es caracterizar por primera vez el perfil bioquímico para esta especie en estado post captura y marcaje, junto con ello, determinar el grado de estr3s que adquieren los ejemplares de jurel en el proceso de marcaje y de esta manera indicar un posible efecto de este tratamiento que pudiese ocasionar un deterioro de la salud y por ende facilitar la mortalidad de dichos ejemplares. De esta manera, este estudio pretende a aportar al conocimiento de la bioquímica sanguínea y de las actividades enzimáticas catabólicas de esta especie tan relevante. La realizaci3n de este trabajo se desarroll3 en conjunto con la Unidad de Biotecnología Marina de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepci3n, dirigido por el Dr. Rodrigo Gonz3lez.

E.3.3.1. Determinaci3n del perfil bioquímico sanguíneo.

Para la realizaci3n de este estudio se utilizaron 50 ejemplares sometidos a las pruebas de marcaje correspondientes a la marea N°5. Para ello, se registr3 talla, peso y sexo de cada organismo, posteriormente se cuantificaron los siguientes parámetros bioquímico-sanguíneos: Proteínas totales, Albúmina, Colesterol, Glucosa, Lactato, Urea, Calcio y F3sforo mediante kits colorimétricos clínicos, además de la determinaci3n de la actividad la Lactato dehidrogenasa plasmática. Las muestras de sangre fueron obtenidas al momento de la captura por punción con jeringas heparinizadas, en peces previamente anestesiados con benzocaína. El plasma se obtuvo por centrifugaci3n a 2000 g por 10 min y congelado a -20 °C hasta su posterior análisis.

1. Proteínas totales (PT): Se utiliz3 la prueba colorimétrica fotométrica por proteínas totales seg3n el método de Biuret. Los iones cúprico con las



proteínas y peptidas en soluci3n alcalina forman un complejo púrpura. La absorbancia de este complejo es proporcional a la concentraci3n de proteínas en la muestra. La determinaci3n se realiz3 segú el protocolo de análisis clínic de proteínas totales (Total protein licuicolor, Human®).

2. Albúmina: Se utiliz3 la prueba fotométrica colorimétrica para determinaci3n de albúmina segú método BCG. El verde de bromocresol forma con la albúmina en buffer de citrato un complejo coloreado. La absorbancia de este complejo es directamente proporcional a la concentraci3n de la albúmina en la muestra. La determinaci3n se realiz3 segú el protocolo de análisis clínic de albúmina (Albumin licuicolor, Human®).
3. Colesterol: Se utiliz3 el método CHOD-PAP, prueba enzimática colorimétrica para colesterol con factor acelerante de lípidos (LCF). El colesterol se determina después de la hidrólisis enzimática y la oxidaci3n. El indicador es la quinoneimina formada por el peróxido de hidrógeno y 4-aminoantiprina en presencia de fenol y peroxidasa. La determinaci3n se realiz3 segú el protocolo de análisis clínic de colesterol (Cholesterol licuicolor, Human®).
4. Glucosa: Se utiliz3 el método GOD-PAP, prueba enzimática colorimétrica por glucosa, método sin desproteinizaci3n. La glucosa se determina después de la oxidaci3n enzimática en presencia de glucosa oxidada. El peróxido de hidrógeno formado reacciona bajo la catálisis de peroxidasa con fenol y 4-aminofenazona formando un complejo rojo-violeta usando la quinoneimina como indicador. La determinaci3n se realiz3 segú el protocolo de análisis clínic semi-micro de glucosa (Glucose licuicolor, Human®).
5. Lactato: Se determin3 mediante un método enzimático colorimétrico, en el cual el lactato es oxidado por la lactato oxidasa a piruvato y peróxido de hidrógeno,



los que en presencia de peroxidasa (POD) reaccionan con N-ethyl-N-(2-hydroxy-3-sulfopropyl)-3-methylalanina (TOOS) para formar un compuesto coloreado cuya intensidad es proporcional a la concentración de lactato en la muestra. La determinación se realizó según el protocolo de análisis clínico de lactato (Lactate Dry-Fast, Sentinel[®]).

6. Urea: Se realizó el análisis enzimático colorimétrico para urea, donde, ésta se hidroliza por acción de la ureasa en presencia de agua para producir amoníaco y dióxido de carbono. En una reacción de Berthelot modificada los iones amonio reaccionan con hipoclorito y salicilato para formar un complejo verde. El aumento de la absorbancia a 578 nm es proporcional a la concentración de urea en la muestra. La determinación se realizó según el protocolo de análisis clínico de urea (Urea licuicolor, Human[®]).
7. Calcio: Se realizó la prueba fotométrica colorimétrica para calcio según el método CPC, donde los iones de calcio reaccionan con o-cresolftaleína-complexona en un medio alcalino, para formar un complejo de color púrpura. La absorbancia de este complejo es directamente proporcional a la concentración de calcio en la muestra. La determinación se realizó según el protocolo de análisis clínico de calcio (Calcium licuicolor, Human[®]).
8. Fósforo: El fósforo reacciona con molibdato en un medio fuertemente ácido para la formación de un complejo. La absorbancia de este complejo leído en UV cercano es directamente proporcional a la concentración de fósforo. La determinación se realizó según el protocolo de análisis clínico de fósforo (Phosphorus licuirapid, Human[®]).



E.3.3.2. Determinaci3n actividades enzimáticas

Las enzimas analizadas fueron las siguientes: lactato dehidrogenasa (LDH, EC 1.1.1.27), malato dehidrogenasa (MDH, EC 1.1.1.37) y la actividad de la cadena transportadora de electrones (ETS). Las actividades potenciales son expresadas como actividades específicas aparentes.

El tamp3n de homogenizaci3n contenía 200 mM tamp3n fosfato (K_2HPO_4), pH 7.9, 1 mM ditioneitol (DTT), 0.3% (peso/vol) polivinil pirrolidona (PVP), 5mM EDTA, 0.1% (vol/vol) Triton X-100, 3% (peso/vol) Sero Albúmina de Bovino (BSA). Las muestras fueron homogenizadas en Ultra-Turrax y los homogenizados fueron centrifugados a 5000 x g, 5 minutos a 4°C. Las actividades enzimáticas fueron determinadas en los sobrenadantes de la centrifugaci3n anterior.

Las actividad de la LDH fue medida utilizando una mezcla de reacci3n modificada desde el m3todo de Schiedek (1997) que contendrá tamp3n 80 mM K_2HPO_4 pH 7.9 a 20°C, 0.1 mM NADH. agregando 3.2 mM de piruvato para LDH. Las reacciones se iniciaron con la adici3n de una alícuota de sobrenadante y se midi3 el decaimiento de la absorci3n de NADH a 340 nm. Todas las actividades enzimáticas fueron corregidas por la oxidaci3n inespecífica de NADH.

La actividad de L-malato dehidrogenasa (MDH), fue determinada utilizando el m3todo modificado descrito por Childress y Somero (1979) y Vetter *et al.* (1994). La mezcla de reacci3n contendrá 50 mM imidazol/HCl pH 8.0 a 20° C, 1.5 mM $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, 0.1 mM de NADH y 0.2 mM oxalacetato. Las reacciones se iniciaron con la adici3n de una alícuota de sobrenadante y se midi3 el decaimiento de la absorci3n de NADH a 340 nm. La actividad de MDH fue corregida por la oxidaci3n inespecífica de NADH.



La actividad potencial de la cadena transportadora de electrones fue determinada mediante la t3cnica ETS seg3n Packard (1969, 1985) y Packard *et al.* (1971).

Estas actividades enzimáticas catabólicas fueron determinadas en 4 diferentes tejidos: músculo blanco, músculo rojo, hígado y gónadas. Las diferentes muestras fueron almacenadas en nitrógeno líquido hasta el posterior análisis en laboratorio.

Se utilizó el programa “Statistica 8.0” para esclarecer la existencia de diferencias significativas se realizó una prueba a posteriori de comparaciones múltiples (Prueba de Tukey) para detectar diferencias significativas entre los distintos niveles del factor a estudiar.

E.3.3.3. Resultados de los análisis

Las altas concentraciones de glucosa obtenidas para el perfil bioquímico plasmático del jurel al inicio de los experimentos, indica que tanto controles, como tratamientos se encuentran en un grado de estrés por sobre el basal, por cuanto no presentan diferencias significativas para ningún tratamiento (LAT, TBA exp-1 y TBA exp-2; **Fig. 1**) ni respecto a los controles. En el caso de las concentraciones plasmáticas de Colesterol, se aprecia un aumento significativo ($p < 0.05$) de su concentración en el caso del tratamiento TBA exp-1 (**Figura E57**), indicando estrés por captura (Larsson & Fänge 1977). Las concentraciones de lactato plasmático no presentan diferencias significativas respecto de los controles para ninguno de los tratamientos realizados (**Figura E57**), no obstante, al igual que la glucosa se encuentra elevado en controles y tratamientos evidenciando una deuda de oxígeno por incremento de la actividad muscular (estrés metabólico; Astete & González 1997; Wood *et al.* 1983).



El calcio plasmático no presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto de los controles utilizados para ninguno de los tratamientos (**Figura E58**). A diferencia del comportamiento apreciable con las concentraciones de fósforo plasmático, las cuales son significativamente mayores en el caso de los tratamientos LAT y TBA exp-1 (**Figura E59**). Las concentraciones de urea no presentaron diferencias significativas (**Figura E59**).

Las concentraciones plasmáticas de Proteínas totales y albúmina se encuentran elevadas respecto de otros peces similares. TBA exp-1 corresponde al único tratamiento que muestra diferencias significativas con el resto de los tratamientos estudiados, siendo las concentraciones de proteínas totales y albúmina significativamente distintas respecto de los controles (**Figura E60**).

La actividad de LDH plasmática (indicador de daño tisular) muestra un aumento significativo en el tratamiento TBA exp-1. Por el contrario, el tratamiento LAT2510 presenta la menor actividad para esta enzima (**Figura E61**). La LDH es una enzima intracelular que se libera al torrente sanguíneo cuando existe daño tisular, por lo tanto, el incremento de la actividad de LDH plasmática se hace máximo en los organismos muertos muestreados, donde también se espera el máximo daño tisular que produce la descompensación metabólica y finalmente la muerte (Wood *et al.* 1983)

La utilización de estos parámetros indicadores de estrés, es de gran utilidad al realizar un seguimiento del comportamiento del jurel en el tiempo. Así, las variaciones en las concentraciones de glucosa y colesterol, desde el inicio del experimento hasta su fin, señala que respecto de los grupos control, es el grupo TBA exp-1 el que se comporta atípicamente (**Figura E62 y E63**), denotando nuevamente niveles de estrés asociado al estado fisiológico post captura. Por otro lado, las concentraciones de lactato plasmático en el tiempo sólo presentan una



disminuci3n significativa en el experimento LAT-48h (**Figura E64**). El calcio plasmático muestra disminuciones significativas en su concentraci3n a partir de las 48h en los experimentos TBA exp-1 y TBA exp-2, indicando un posible desbalance hidrosalino (**Figura E65**). Un comportamiento similar describen las variaciones en la concentraci3n plasmática de f3sforo y urea, siendo significativamente menores en TBA exp-1 48h respecto del mismo a tiempo inicial y final (**Figura E66 y E67**).

Las variaciones en el tiempo de las proteínas totales y la albúmina (indicadores de estrés nutricional y síntesis de proteína principalmente), denotan un comportamiento atípico respecto de los controles, aumentando significativamente las concentraciones de proteínas totales en el tiempo para el caso del grupo TBA exp-1 y por el contrario, disminuyendo significativamente la concentraci3n de albúmina (**Figura E68 y 69**).

La actividad de LDH plasmática en el tiempo para cada grupo experimental indica un incremento significativo de su actividad medido al momento de la muerte, esto producto de la acidosis metab3lica post-mortem (**Figura E70**).

Las actividades enzimáticas catab3licas determinadas en los diferentes tejidos nos indican que para el caso de la actividad específica de MDH, indicadora del balance redox intracelular, todos los tejidos reaccionan al estrés del marcaje, siendo los grupos TBA exp-1 y TBA exp-2 los que sistémicamente se encuentran más afectados (**Figura E71**).

La actividad tisular de la LDH en el músculo blanco registra actividades significativamente mayores, respecto de los controles, en todos los experimentos de marcaje (LAT, TBA exp-1 y TBA exp-2; **Figura E72**). Éste resultado nos permite afirmar que el músculo blanco fue sometido a estrés metab3lico por deuda de oxígeno durante los tratamientos.



La actividad de la cadena transportadora de electrones (ETS), indicadora de estrés aeróbico, no muestra diferencias significativas respecto de los controles para ninguno de los tejidos analizados en este estudio (**Figura E73**).

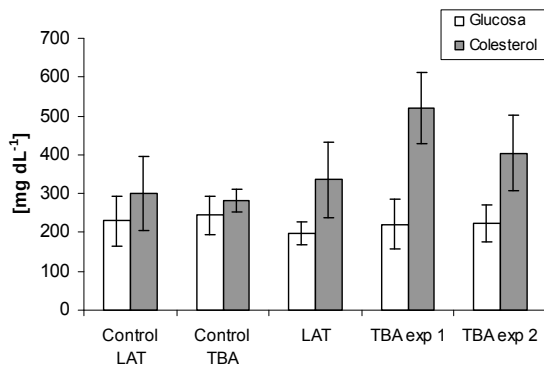


Figura E57. Concentración de glucosa y colesterol plasmático en Jurel.

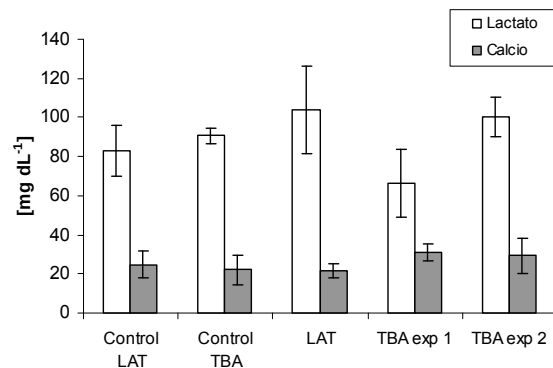


Figura E58. Concentración de lactato y calcio plasmático en Jurel.

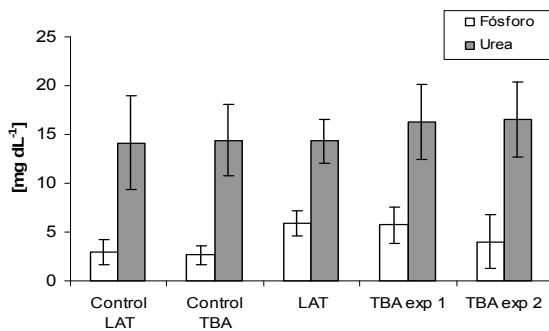


Figura E59. Concentración de fósforo y urea plasmática en Jurel.

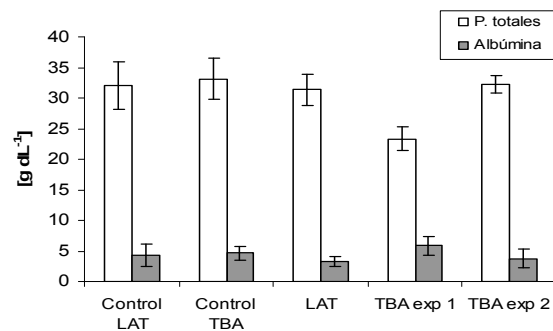


Figura E60. Concentración de proteínas totales y albúmina plasmática en Jurel.

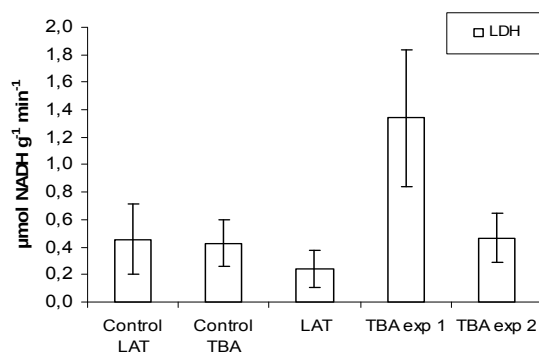


Figura E61. Actividad de LDH plasmática en Jurel para los distintos experimentos.

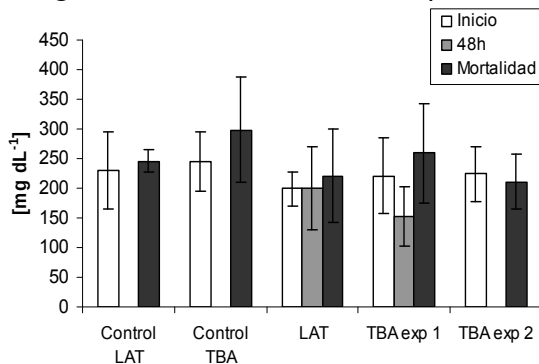


Figura E62. Variación en la concentración de glucosa plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

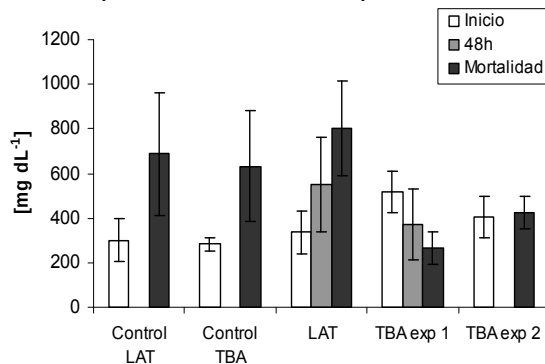


Figura E63. Variación en la concentración de colesterol plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

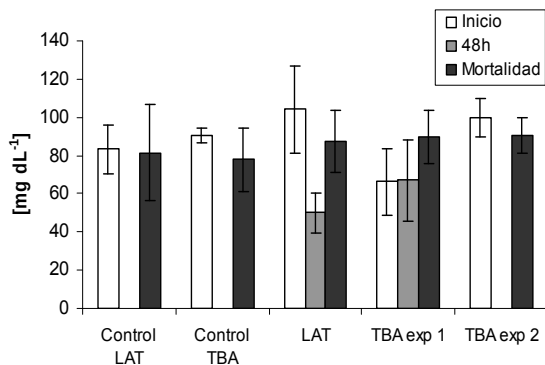


Figura E64. Variación en la concentración de lactato plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

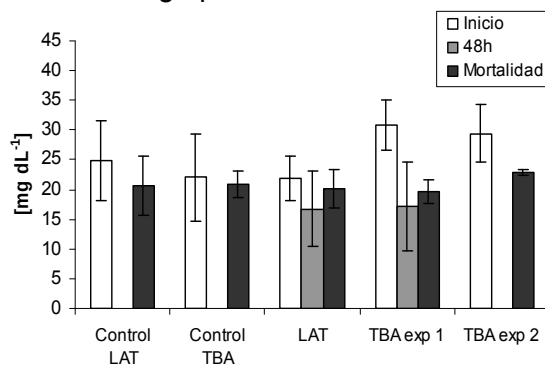


Figura E65. Variación en la concentración de calcio plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

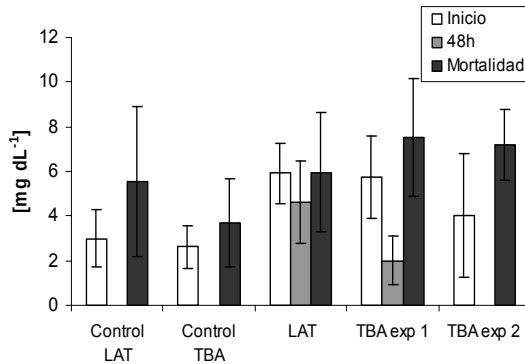


Figura E66. Variación en la concentración de fósforo plasmático durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

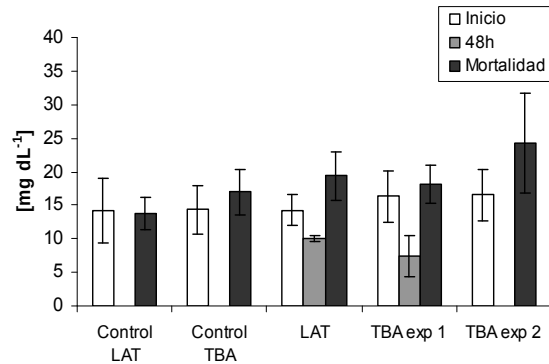


Figura E67. Variación en la concentración de urea plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

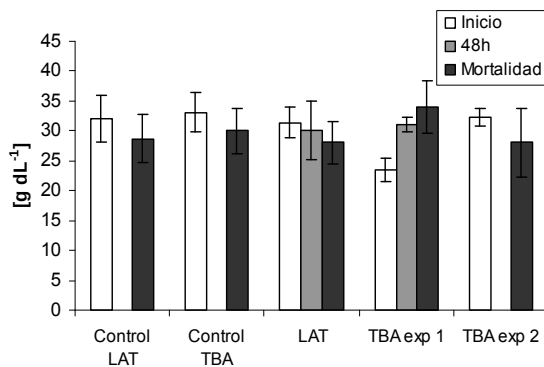


Figura E68. Variación en la concentración de proteínas totales plasmáticas durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

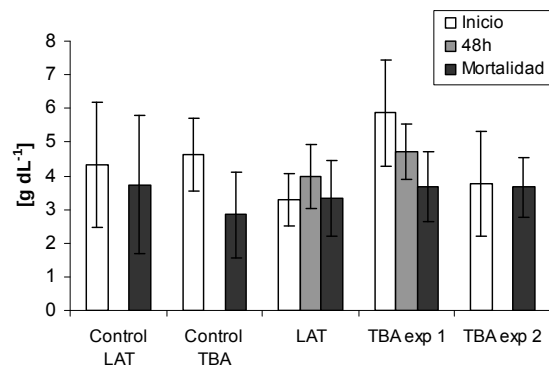


Figura E69 Variación en la concentración de albúmina plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

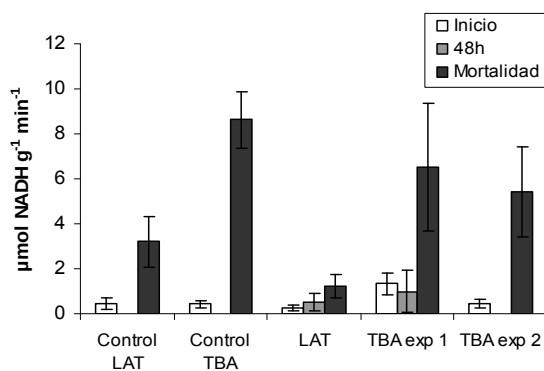


Figura E70. Variación en la actividad de LDH plasmática durante el transcurso del experimento para los distintos grupos.

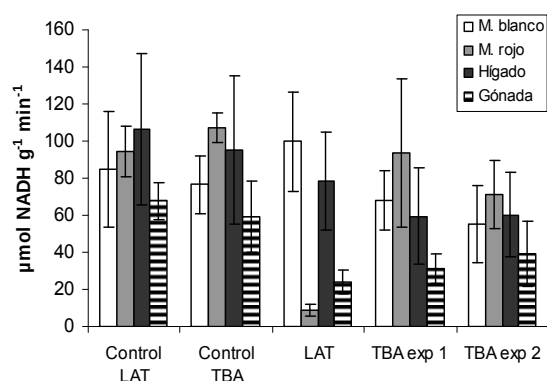


Figura E71. Actividad de MDH en músculo blanco, músculo rojo, hígado y gónada de Jurel para los distintos experimentos.

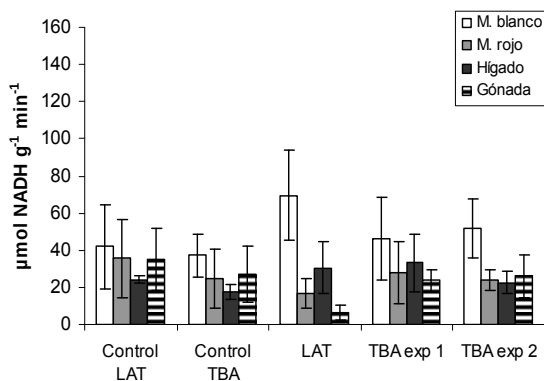


Figura E72. Actividad de LDH en músculo blanco, músculo rojo, hígado y gónada de Jurel para los distintos experimentos.

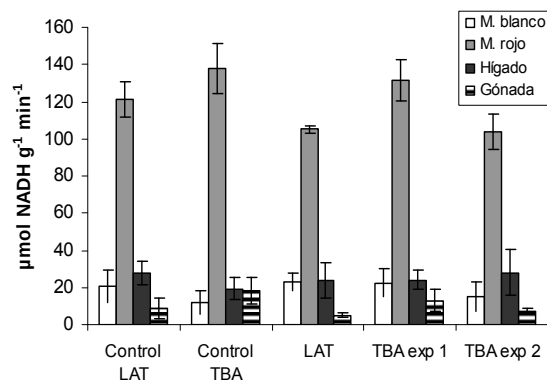


Figura E73. Actividad de ETS en músculo blanco, músculo rojo, hígado y gónada de Jurel para los distintos experimentos.

E.3.3.4. Principales conclusiones de los análisis

En su conjunto los resultados señalan que los tres sistemas de marcaje utilizados, provocan distintos grados de estrés en los organismos, junto al estrés adquirido producto de las metodologías de captura y transporte (cautiverio). De éstos, el que produce el menor grado de estrés es el denominado LAT y por el contrario, el



sistema denominado TBA exp-1 es el que produjo el mayor grado de estr3s fisiol3gico en los organismos.

Finalmente se propone utilizar la actividad de LDH plasmática para monitorear el estado fisiol3gico de los diferentes grupos de organismos frente a futuros experimentos de marcaje, transporte y/o cualquier actividad que involucre manipulaci3n de 3stos y que redunden en un potencial desequilibrio metab3lico y finalmente su muerte.

E.3.4. Principales conclusiones obtenidas desde los experimentos de marcaje.

Luego del fallido intento por mantener en cautiverio a los ejemplares de jurel en una balsa jaula en la Bahía de Concepci3n, se logr3 consolidar una metodología de recolecci3n y traslado que permiti3 desarrollar los experimentos de mesocosmos. Mediante esta metodología fue posible establecer la respuesta de los ejemplares de jurel al marcaje utilizando principalmente dos tipos de marcas una de tipo convencional externa TBA, a la cual se le ados3 una PITT y la marca de archivo de inserci3n interna LAT2510, debido a la falta de ejemplares con tamaño superior a 40 cm LH en 8 de las 9 mareas realizadas, no se logr3 implementar un experimento completo para la marca de archivo de inserci3n externa X-tag, obteniendo s3lo el resultado de 1 ejemplar marcado con dicha marca. Los estudios indicaron que no existen diferencias significativas entre estas marcas en t3rminos de la evaluaci3n de la mortalidad, determinando que los efectos producidos son de carácter similar.

Los estudios bioquímicos realizados indicaron que en general se registr3 un alto nivel de estr3s en todos los jureles mantenidos en cautiverio y que el marcaje agudiz3 esta condici3n en algunos casos. Las mortalidades obtenidas, sin



embargo, no son más importantes en los ejemplares marcados, sino más bien, se observa un comportamiento balanceado entre éstos y los ejemplares sin marca, indicando claramente que el estrés por captura y cautiverio, el cual se agudizó por la inanición en la que se mantuvieron, terminó por generar mortalidades importantes. Por lo tanto, no fue posible determinar cuantitativamente un valor de mortalidad asociado directamente al marcaje con dichas marcas. Solo fue posible realizar una aproximación a dicho valor, considerando la mortalidad alcanzada a las 96 horas de mantenidos con las marcas en comparación a lo observado en los grupos de control (sin marca). Haciendo esta consideración se puede indicar que la tasa aparente de mortalidad para ejemplares marcados con la marca TBA fue de un 20% y de un 8% para ejemplares marcados con LAT2510. En este sentido y de acuerdo a lo planteado por la Dra Lutcavage que indica que la mortalidad post-liberación de ejemplares marcados con marcas electrónicas de inserción externa, usualmente ocurre en las primeras 24 a 72 horas de marcado el pez (Lutcavage, comp. pers. 2009), se podría indicar que estos resultados son favorables para la realización de un programa de marcaje masivo, considerando en éste una reevaluación de estos resultados.

Respecto del desprendimiento de marcas es posible indicar que no se observó en ninguno de los ejemplares marcados desprendimiento de alguna marca, ni además algún debilitamiento de la zona de inserción o algún tipo de infección, indicando que los estudios realizados en laboratorio para determinar el lugar apropiado de inserción y el aprendizaje de esta técnica en ejemplares muertos permitió otorgar una gran eficacia en su aplicación en ejemplares vivos.

Los tiempos de marcaje se redujeron en forma progresiva logrando alcanzar valores de 45 segundos a 1 minuto para el marcaje con TBA y de 3 a 5 minutos en LAT2510, lo que se encuentra entre los estándares de otros grupos de trabajo en marcaje de atunes a nivel internacional (Yamashita and Miyabe, 2001; Block *et*



al. 2001; Block *et al.* 2003; Cosgrove *et al.* 2006; Delgado *et al.* 2007; Uriarte *et al.* 2001; Jolivet *et al.* 2009).

Considerando que en la realizaci3n de un programa de marcaje solo se considera la captura, marcaje y posterior liberaci3n, la obtenci3n de estos tiempos favorece significativamente la disminuci3n del estr3s de los ejemplares marcados, garantizando un mayor 3xito en la realizaci3n de un programa de marcaje.

Finalmente, es posible recomendar el uso de marcas convencionales del tipo TBA (adossada una PITT) y de marcas electr3nicas de archivo del tipo LAT2510, para su uso en un programa de marcaje a desarrollar en el futuro en jurel.



E.4. EVALUAR EN TÉRMINOS ESTADÍSTICOS EL NÚMERO DE MARCAS REQUERIDAS PARA ESTUDIAR DESPLAZAMIENTOS EN EL JUREL Y ELABORAR UN DISEÑO TÉCNICO-OPERACIONAL DEL PROGRAMA DE MARCAJE.

Los diversos objetivos con los cuales se han desarrollado algunos programas de marcaje en especies pelágicas y demersales desarrollados en el Pacífico y Atlántico (Atunes, tiburones, merluza, etc), han sido determinantes para establecer el tipo de marca que se requiere utilizar y a partir de ello estimar el número de marcas a utilizar para obtener resultados robustos. En estos casos se han utilizado marcas convencionales (Floydtag, Tbar, discos Petersen, spaguetti, etc) para estimar tasas de: mortalidad natural, mortalidad por pesca, crecimiento y en algunos casos movimiento entre distintas localidades (Cadrin, 2006, Uriarte et al. 2001; Delgado de Molina *et al.* 2005; Winter *et al.* 2007; De la Serna *et al.* 2008). El desarrollo de marcas del tipo electrónicas de archivo que permiten georreferenciar los datos ambientales registrados durante el tiempo que permanece adherido al cuerpo del pez, ha sido un gran aporte en la descripción de los patrones de movimiento de los ejemplares marcados (Boustany and Block, 2004; Saito *et al.* 2004; Saito and Yokawa, 2006), de los cuales es posible estimar tasas de intercambio entre distintas regiones, sin embargo, el alto costo individual que estas poseen no permite un uso más masivo, como puede ser en el caso de su utilización en un programa de marcaje y recaptura realizado, por ejemplo, con la finalidad de determinar la tasa de mortalidad natural o por pesca.



E.4.1. Marco conceptual

Desde la perspectiva del ciclo de vida del jurel, la visión nacional indica la existencia de tres regiones importantes que lo representan en la región costera y oceánica. Las cuales están representadas por una gran región de desove ubicada en la región oceánica, frente a la zona Centro-Sur de nuestro país, principalmente fuera de las 200 millas náuticas, una región de crianza de los juveniles ubicadas al sur de Perú y norte de Chile y una región de engorda para los adultos ubicada frente a la región Centro-Sur de Chile, tanto al interior del límite de la ZEE, como fuera de éste (Arcos *et al.*, 2001).

Al interior de las discusiones desarrolladas en la South Pacific Regional Fisheries Management Organization (SPRFMO), durante los últimos años, no se ha logrado consensuar una definición de stock, por lo cual existen visiones particulares sobre este tema y algunas diferencias que indican aparentemente la presencia de más de un stock de jurel en el Pacífico Sur. El planteamiento de esta controversia al interior de la SPRFMO, genera una situación idónea para diseñar un programa de marcaje que busque entregar respuestas a la incógnita de las rutas de desplazamiento y/o eventuales movimientos del jurel y el grado de conectividad que existen entre las localidades en las cuales se estarían generando sectores de agregación de este recurso por efecto de la “contracción” en la que se encontraría (Canales y Serra, 2008) y contribuir con mayores antecedentes que permitan mejorar el conocimiento sobre la estructura espacial que este recurso posee en el Pacífico Sur, su tasa de mortalidad natural, mortalidad por pesca, comportamiento asociado a los parámetros ambientales en los cuales se distribuye, etc.



E.4.2. Planteamiento de hipótesis Programa Marcaje.

De lo antes expuesto, queda en evidencia que es necesario realizar otros estudios que permitan determinar tasas de movimiento del jurel entre las localidades y determinar si efectivamente existe algún grado de aislamiento entre ellas, que indique la existencia de más de un stock, en este caso experimentos de marcaje y recaptura o marcaje con marcas electrónicas de archivo y satelitales pueden permitir establecer tasas de desplazamiento entre las localidades, junto a rutas de migración y así abordar la controversia generada en relación a la existencia de un stock o varios stock de jurel en el Pacífico Sur Oriental.

En este caso las hipótesis abordadas en el taller de trabajo de la SPRFMO (Junio 2008) dejan de manifiesto esta controversia y entregan un escenario apropiado para ser abordado como hipótesis de trabajo en el marco de un futuro programa de marcaje:

Hipótesis 1: El jurel capturado frente a las costas de Chile y Perú constituyen stocks separados que se extienden hacia alta mar.

Hipotesis 2: El jurel capturado frente a las costas de Chile y Perú constituyen un solo stock que se extiende hacia alta mar.

Hipotesis 3: El jurel capturado frente al área chilena constituye un solo stock tranzonal que se extiende desde la costa hasta los 120°W.

Hipotesis 4: El jurel capturado frente al área chilena constituye stocks separados tranzonal y de alta mar.



E.4.3. Aspectos metodológicos de la estadística aplicada a diseños de programa de marcaje y recaptura utilizando marcas convencionales en jurel.

Según Graham *et al.* (2006), toda planificación de un programa de marcaje debe tener una idea del tamaño del “stock”, la amplitud de su distribución geográfica y sobre las posibles tasas de recuperación de marcas. Estos factores son importantes para estimar cuantos peces deben marcarse, dónde y cuándo, a fin de obtener un resultado sólido desde el punto de vista estadístico. Es igualmente importante saber quienes tienen probabilidades de pescar esos peces, saber también si son adecuados para efectuar el marcado o bien si es preciso realizar pesca experimental para marcar un número suficiente de peces en el lugar o lugares apropiados.

En este sentido, conocemos mediante los modelos de evaluación de stock, el tamaño de la población de jurel. Asimismo, mediante diversos estudios rusos, desarrollados en la década de los ochenta y en el 2002 y 2003 (Kotenev *et al.*, 2006), se ha descrito la amplitud de la distribución espacial de este recurso, pero tasas de recuperación de marcas, actualmente no existen. Estudios de marcaje y recaptura realizados en la década de los 80' (Torres *et al.*, 1984) han perdido validez en el contexto actual, debido a que se registra una pesquería costero-oceánica de gran cobertura espacial, a diferencia de lo principalmente costera que se presentaba la pesquería en aquella década. Por ello, existe una mayor probabilidad de recaptura de ejemplares marcados.

Para verificar esta hipótesis es necesario estimar tasas de movimiento de este recurso entre las localidades referidas, para ello el marcaje y recaptura utilizando marcas convencionales es un método que puede ser utilizado, considerando el escenario actual en el cual se desarrolla la pesquería nacional del jurel, con una



operaci3n que posee una mayor distribuci3n espacial en comparaci3n a lo registrado en la d3cada de los 80'. Precisamente en el estudio desarrollado entre 1982 y 1984 por Torres *et al.* (1984), se llev3 a cabo un programa de marcaje de jurel con marcas convencionales, logrando marcar 16.082 ejemplares, de los cuales se recuperaron solo 81 ejemplares marcados, represent3 una tasa de recaptura muy baja (0,5%), sin embargo, en aquella 3poca la operaci3n pesquera sobre este recurso era principalmente costera, (norte de Chile) donde se realiz3 este marcaje, al compararlo con el presente (operaci3n flota nacional y extranjera) existe una mayor probabilidad de visitar las localidades en las cuales se distribuye el jurel en el Pac3fico Sur oriental y por ende en el presente, parece ser m3s viable la realizaci3n de una programa de marcaje con marcas convencionales.

Existen estudios realizados en atunes rojos (*Thunnus thynnus*) en el Atl3ntico (Arregui *et al.*, 2006), at3n aleta amarilla en el oc3ano Indico (Bertignac, 1996) y tibur3n azul (*Prionace glauca*) en el Atl3ntico (Aires-Da-Silva *et al.*, 2005) en los cuales se han desarrollado dise1os de simulaci3n estadística para mejorar los dise1os de programas experimentales de marcaje y otorgarles una mayor exactitud y precisi3n en la estimaci3n de los par3metros (mortalidad natural, mortalidad por pesca y patrones de movimiento), y desde este an3lisis determinar el n3mero de ejemplares necesarios a marcar con un menor error asociado. En estos trabajos se realiz3 una modelaci3n considerando combinaciones en las cuales se mantuvo constante o variable alguno de los par3metros (tasas de mortalidad natural, de reporte o recuperaci3n, instant3neas de desprendimiento y de migraci3n anual, constantes o variables para la obtenci3n de diferentes modelos). Para ello, se utilizaron datos de programas de marcaje y recaptura realizados con anterioridad y que se encuentran disponibles en la base de datos del ICCAT y de la FAO.



Se estableció que con estos trabajos de base se realizaría la propuesta de una simulación de un programa de marcaje de jurel, abordado en este proyecto, en este caso, se utilizarían los resultados obtenidos en los distintos programas de marcaje de atunes en el Atlántico, Pacífico y de los resultados entregados de los experimentos desarrollados abordo de embarcaciones de la flota jurelera, con el propósito de establecer tasas de desprendimiento de la marca y además las tasas de recaptura; debiendo utilizar además la tasa de mortalidad natural y por pesca utilizado en el modelo de evaluación del stock de jurel realizado por investigadores nacionales. Esta propuesta pretendía estimar el número aproximado de peces que sería necesario marcar en un experimento para estimar las tasas de movimiento del jurel, con un bajo error asociado. Con este fin se simularían y ajustarían diferentes escenarios de marcaje y recaptura utilizando para ello, modelos basados en pérdidas de marcas espacialmente estructurados. Se construiría una función de probabilidad para estimar los parámetros del modelo. Las simulaciones obtenidas desde diferentes modelos permitirían obtener un rango de ejemplares a marcar para desarrollar un programa de marcaje en jurel. Cabe señalar, que este tipo de metodologías ha sido mejorada durante la última década con la finalidad de otorgar una mayor exactitud y precisión a los resultados de los nuevos diseños de marcaje y recaptura en atún y otras especies pelágicas como tiburones, sobre la base de datos preexistentes que poseen cierta incertidumbre (Arregui *et al.*, 2006; Xiao, 1996; Aires-da-Silva *et al.*, 2005; Gaertner *et al.*, 2004).

De este modo, se utilizaría el modelo de máxima verosimilitud basado en el diseño de Hilborn (1990) para estimar tasas de movimiento desde marcas recuperadas. En este caso se utilizaría la dinámica poblacional de Hilborn y el modelo de movimiento revisado por Xiao (1996) que explícitamente incluye términos para la mortalidad natural instantánea (M) y la pérdida de marcas (λ). El modelo se define de la siguiente manera:



$$N'_{i,a,t+1} = \sum_{j=1}^n N'_{i,j,t} (1 - q_j F_{j,t}) e - (M + \lambda) P_{j,a} + T_{i,a,t} \quad (\text{ecuación 1})$$

$N'_{i,a,t+1}$ = El número predicho de ejemplares a marcar de un grupo i presente en una localidad a en un tiempo t .

q_j = Coeficiente de capturabilidad en la localidad j .

$E_{j,t}$ = Esfuerzo de pesca en la localidad j , y tiempo t .

$P_{j,a}$ = Probabilidad de movimiento desde la localidad j hacia a .

$T_{i,a,t}$ = El número de marcas liberadas desde el grupo i , localidad a , en un tiempo t .

Una observación del modelo debe especificar la relación existente entre el número de jureles marcados presentes en una localidad bajo la ecuación 1 y las marcas que son capturadas actualmente y reportadas ($\bar{R}_{i,a,t}$). Hilborn (1990) indicó que su modelo fue hecho con mayor flexibilidad para agregar un parámetro de reporte de marca.

$$\bar{R}_{i,a,t} = \bar{N}_{i,a,t} q_a E_{a,t} \psi_{a,t}$$

Donde $\bar{R}_{i,a,t}$ es el número predicho de marcas recuperadas desde un grupo marcado i , de la localidad a , en un tiempo t ; ψ es la tasa de recuperación de la marca de la localidad a , en un tiempo t . Las estimaciones de ψ no se encuentran disponibles. Este parámetro se fijó en 0,10 (10% de tasa de recuperación) para el análisis experimental, siendo más bien optimista y considerando resultados de estudios realizados en el patudo (Delgado de Molina *et al.*, 2005) y el atún rojo (Block *et al.*, 2001), los cuales estuvieron entre un 16,5% y un 4,1%, respectivamente.

Finalmente, fue necesario un modelo de probabilidad estadística para calcular la probabilidad del número de marcas recuperadas entregadas desde los modelos de dinámica de población y observación. El multinomial fue aproximado a la función



de probabilidad de Poisson considerando que la recuperaci3n de los peces marcados en alg3n espacio y tiempo es un evento raro. La distribuci3n de Poisson para peces desde el grupo marcado i , en la localidad a , en un tiempo t , se escribe de la siguiente manera:

$$L\left(R_{i,a,t} \middle| \hat{R}_{i,a,t}\right) = \frac{e^{-\hat{R}_{i,a,t}} \hat{R}_{i,a,t}^{R_{i,a,t}}}{R_{i,a,t}!}$$

Donde $R_{i,a,t}$ es el n3mero actual de marcas recuperadas desde un grupo marcado i , en la localidad a , en un tiempo t .

Sin embargo, el ensayo de esta metodolog3a propuesta registr3 algunas dificultades, tal como, el c3lculo de la probabilidad de desplazamiento entre una localidad y otra, que ante la falta de datos de campo elevan demasiado la incerteza de estas pruebas. A pesar de ello, se deja planteada esta metodolog3a como una alternativa a utilizar, en forma posterior a la aplicaci3n de un programa piloto de marcaje. Para dar cumplimiento a este objetivo, se desarroll3 un planteamiento metodol3gico alternativo al antes se3alado, correspondiente a la aplicaci3n de modelos de marcaje multianuales, los cuales est3n dise3ados en casos en donde el marcaje se realiza m3s de una vez al a3o.

De este modo y de acuerdo a lo expuesto anteriormente la estimaci3n del n3mero de ejemplares a marcar en un programa de marcaje, se realiz3 sobre la base de modelos de marcaje multianuales propuesto por Brownie *et al* (1985) y reparametrizados por Hoening *et al* (1998). Estos modelos asumen que una vez realizado el marcaje de los peces, el n3mero de peces recapturados ser3 producto del n3mero de peces marcados, la fracci3n que sobrevivi3 entre el per3odo de marcaje y recaptura y la fracci3n de marcas recuperadas y reportadas durante el per3odo de captura.



B3asicamente, estos modelos consisten en expresar la sobrevivencia de los ejemplares en t3erminos de tres par3ametros: la tasa instant3anea de mortalidad natural (M), la tasa instant3anea de mortalidad por pesca (F) y la tasa de recaptura (λ).

Este 3ultimo, es un par3ametro compuesto y representa la probabilidad conjunta de tres eventos:

1. La probabilidad de que un pez marcado sea recapturado y reportado a la entidad encargada del programa de marcaje.
2. La probabilidad de que un pez marcado no muera en el proceso de marcaje.
3. La probabilidad de que una vez marcado el pez, esta marca no se salga.

Aplicando estos criterios en el caso de jurel, uno puede suponer una pesquer3a continua desde el comienzo del a3no (0) hasta un tiempo T (no opera todo el a3no) y suponer dos campa3nas de marcaje por a3no, con un tiempo de marcaje 0 (antes de la temporada de pesca) y uno T (despu3s de la temporada de pesca). Bas3ndose en ello, se puede dise3nar un programa de marcaje que dure tres a3nos con cinco campa3nas de marcaje y tres per3odos de recaptura (**Tabla E20**).

Tabla E20.

Ejemplo de la matriz de recapturas para un modelo de marcaje en jurel.

A3no	Per3odo de Marcaje	N3mero de peces marcados	A3no de Recaptura		
			1	2	3
1	Pre- Pesca	5.000	1.000	650	350
	Post-Pesca	5.000		700	450
2	Pre- Pesca	5.000		850	400
	Post-Pesca	5.000			540
3	Pre- Pesca	5.000			900



Del mismo modo, la matriz que permite estimar el número de marcas a capturadas por período se define como:

Año	Período de marcaje	Número de peces marcados	Año de recaptura		
			1	2	3
	Número estimado de peces con marcas capturadas				
1	Pre- Pesca	N_1	$N_1 f_1$	$N_1 h_1 n_1 f_2$	$N_1 h_1 n_1 h_2 n_2 f_3$
	Post-Pesca	N_1^*		$N_1^* n_1 f_2$	$N_1^* n_1 h_2 n_2 f_3$
2	Pre- Pesca	N_2		$N_2 f_2$	$N_2 h_2 n_2 f_3$
	Post-Pesca	N_2^*			$N_2^* n_2 f_3$
3	Pre- Pesca	N_3			$N_3 f_3$
	Número observado de peces con marcas capturadas				
1	Pre- Pesca	N_1	R_{11}	R_{12}	R_{13}
	Post-Pesca	N_1^*		R_{12}^*	R_{13}^*
2	Pre- Pesca	N_2		R_{22}	R_{23}
	Post-Pesca	N_2^*			R_{23}^*
3	Pre- Pesca	N_3			R_{33}

En donde:

$f_i = \lambda_i \mu_i$ Probabilidad de que un pez marcado sea recapturado y reportado durante el año i

λ_i = Tasa de recaptura

μ_i = Tasa de explotación anual

h_i = Tasa de supervivencia antes del primer marcaje en el año

n_i = Tasa de supervivencia después del primer marcaje en el año

Las estimaciones de los parámetros se realizaron mediante el método de máxima verosimilitud (multinomial), siguiendo la metodología propuesta por Brownie et al (1985, p.11). Se realizaron simulaciones con distintos N (número de peces a marcar) con la finalidad de distinguir con que N las estimaciones de los parámetros antes reseñados eran más precisos. Todos los análisis se realizaron en el programa SURVIV (White, 1983).



E.4.3.1. Marcas de archivo electrónicas.

En el caso de las marcas electrónicas de archivo es necesario indicar que la mayor parte de los programas de marcaje registrados en el Atlántico, el Pacífico y el Indico en especies como el atún rojo, patudo, marlín, atún blanco, atún aleta amarilla y aguja azul (Block *et al.* 2001; Yamashita and Miyabe, 2001; Block *et al.* 2005; Cosgrove *et al.* 2006; Walli *et al.* 2009), han sido implementados sobre la base del marcaje en un reducido número de marcas del orden de los 17 a 220 ejemplares desarrollados en forma anual, por distintos centros dedicados al estudio de estas especies de Estados Unidos, Australia y Europa, en el marco de proyectos financiados por Organizaciones Regionales de Ordenación Pesquera de Túnidos tales como el ICCAT, IATTC y CCSBT. A pesar de que estas marcas consideran su recaptura para efectuar el análisis de la información contenida en su memoria, se han implementado programas de marcaje en los cuales no se ha estimado estadísticamente el número apropiado de marcas, sino más bien se han estado desarrollando en un principio experiencias piloto, con la liberación de 10 a 50 peces con éstas marcas, en forma anual y por ende al cabo de 2 a 3 años han permitido establecer un número superior a 100 ejemplares en algunos casos, con los cuales se ha permitido robustecer los resultados. Una de las razones por las cuales se han implementado con bajos números de marcas en un principio, ha estado determinado por su alto costo (la mayor parte superan los 1.000 dólares). Por otro lado, mediante la posibilidad de georreferenciar los datos de la trayectoria que desarrolló el pez en el cual se hospedó, junto a la obtención de información ambiental es posible definir en mayor detalle, por ejemplo el movimiento que desarrolla efectivamente el pez marcado entre distintas localidades y así de este modo, definir localidades de residencia o de tránsito, permitiendo establecer en mejor forma la tasa de migración entre diferentes localidades, lo cual plantea un resultado de mayor definición que se puede establecer con un bajo número de marcas.



Algunos ejemplos de programas de marcaje desarrollados en la 3ltima d3cada se presentan a continuaci3n:

a.- *Proyecto de marcado de t3nidos tropicales del Instituto de Oceanograf3a (IEO).*

En 2005 se realiz3 un experimento inicial de marcado con marcas archivo. Se marcaron 17 patudos con marcas archivo, fabricadas por la empresa Wildlife Computers, modelo MK9. De estos ejemplares, cinco han sido ya recapturados (SCRS/2006/054) (Informe ICCAT, 2007).

b.- *CPPS- Universidad Austral de Chile*

En 2006, la CPPS en conjunto con la UACH, elaboraron una propuesta de un programa de marcaje en tiburones del Pac3fico Sur, en el cual consideraron el marcaje en una primera etapa de 92 tiburones con marcas de archivo del tipo PAT. (CPPS-UACH, 2006)

c.- *Proyecto programa de marcaje del at3n rojo. ICCAT*

En el 2000, en una campaa se marcaron 62 ejemplares de at3n rojo con un tipo de marca de archivo de la empresa Lotek. (Yamashita and Miyabe, 2001)

d.- *Estudio piloto de marcado del at3n blanco. ICCAT*

En 2005, se liberaron 199 ejemplares de at3n blanco marcados con la marca de archivo Lotek LTD2410 (Cosgrove *et al.*, 2006).

E.4.3.2. Estudio del desplazamiento del jurel utilizando marcas de archivo electr3nicas satelitales.

Como ya se ha indicado, el diseo de un programa de marcaje para el jurel, debido a su condici3n altamente migratoria y transzonal, se dificulta con la utilizaci3n de marcas convencionales y de archivo internas, debido a la incertidumbre que posee la recaptura de ejemplares marcados en este recurso.



En este sentido la utilizaci3n de marcas satelitales del tipo pop-up, presenta una excelente oportunidad de obtener informaci3n georreferenciada de la trayectoria de los ejemplares marcados al cabo de un per3odo de tiempo, los estudios realizados pelágicos mayores y en cetáceos, en general, indican un alto grado de éxito, en la obtenci3n de este tipo de informaci3n la cual ha permitido robustecer los resultados obtenidos desde programas de marcaje convencionales en la determinaci3n de tasa de movimiento entre distintas localidades, en recursos en los cuales se dificulta su recaptura. En este caso los estudios realizados en atunes en forma general indican un alto desempeño, buen registro de la informaci3n y una alta tasa de env3o de la informaci3n vía satélite. Las experiencias realizadas por nuestro equipo de trabajo, con la finalidad de generar un protocolo de marcaje eficiente y eficaz, así como para evitar la mortalidad post marcaje y además el desprendimiento de ésta, han indicado como resultado que el desprendimiento es cero y que la mortalidad no estaría influenciada por la marca. A pesar de ello, de acuerdo a los antecedentes que existen de los diversos programas de marcaje realizados en túnidos en el Atlántico, Indico y Pacífico se verifica que los programas pilotos implementados en estos recursos han liberado ejemplares marcados en valores bajos durante los primeros años de implementaci3n, aludiendo al alto valor que alcanzan estas marcas, y a la determinaci3n de la eficacia de este sistema en las distintas especies de túnidos. En este caso la marca adquirida para la experimentaci3n supera los 4.200 US dólares.

E.4.4. Resultados de las estimaciones.

E.4.4.1. Estimaci3n del número de marcas convencionales a utilizar en un futuro programa de marcaje.

Se realizaron 3 simulaciones con N iniciales de 5.000 – 10.000 y 15.000 marcas. Los resultados se presentan en la **Tabla E21**, en donde se verifica que las estimaciones, tanto de la tasa de recaptura como de las estimaciones de F anual, no difieren significativamente al aumentar el número de marcas. Lo que si se



mejora levemente es la precisi3n de las estimaciones. Por lo tanto, se plantea un programa de 30.000 marcas anuales por tres a1os, lo que entrega un total de 90.000 marcas para dicho programa.

Tabla E21.

Estimaciones de λ y F anual con su respectivo error estandar (ES) y coeficiente de variaci3n (CV). La mortalidad natural se dej3 fija por a1o con un valor de $M=0.3$.

N	5000		
Parámetro	Valor	ES	CV
λ	0.567	0.029	5.078
F a1o 1	0.550	0.034	6.274
F a1o 2	0.564	0.033	5.891
F a1o 3	0.410	0.032	7.690
N	10000		
Parámetro	Valor	ES	CV
λ	0.568	0.020	3.594
F a1o 1	0.549	0.024	4.439
F a1o 2	0.563	0.023	4.167
F a1o 3	0.409	0.022	5.437
N	15000		
Parámetro	Valor	ES	CV
λ	0.568	0.017	2.933
F a1o 1	0.550	0.020	3.624
F a1o 2	0.563	0.019	3.402
F a1o 3	0.410	0.018	4.439

E.4.4.2. Estimaci3n del n1mero de marcas electr3nicas de archivo internas (LAT2510) a utilizar en un futuro programa de marcaje.

Sin duda la variabilidad con la que enfrentan estos programas de marcaje el n1mero de ejemplares a marcar va estar relacionado con los objetivos que estos poseen. En este caso considerando el jurel en el contexto actual (amplia



distribución de la operación pesquera en el Pacífico Sur Oriental), se abordará nuestra hipótesis de trabajo con un programa de marcaje piloto con marcas electrónicas de archivo, que considere la liberación de un número de 100 ejemplares de jurel, dispuestas en estratos de diferentes tamaños, durante la temporada de pesca (otoño), de esta manera será posible estimar una tasa de recaptura para este tipo de marca. Este número combina la viabilidad de adquirir estas marcas debido al alto costo que éstas poseen y una mayor probabilidad de recaptura por la operación de la flota nacional y extranjera que opera sobre este recurso en forma más amplia, alcanzando hasta los 120°W.

E.4.4.3. Estimación del número de marcas electrónicas satelitales de archivo externas (X-TAG) a utilizar en un futuro programa de marcaje.

De este modo, se propone inicializar este programa de marcaje con marcas de archivo satelitales en un número de 20 unidades X-Tag anuales, de acuerdo a lo recomendado por la Dra. Molly Lutcavage (com. pers. 2009). Lutcavage indica que durante el año 1997 inicializaron el marcaje de atunes con 20 marcas pop-up y durante los años posteriores hasta la fecha han mantenido un programa de marcaje con relativa continuidad y además con la incorporación de nuevas marcas pop-up como la X-Tag, en este caso 30 unidades anuales, También indica que es razonable partir con un número bajo de marcas para establecer si el funcionamiento de ésta en la especie que se utilizará otorgará una eficacia apropiada, sus resultados, muestran que para el primer programa implementado con marcas pop-up iniciado en 1997, lograron obtener una tasa de reporte de un 90% (comp. pers. 2009). Para los objetivos planteados en su programa de marcaje, orientados a definir patrones de migración, junto con la información ambiental este número de marcas han permitido aportar importantes resultados al estudio de la dinámica espacial de estos pelágicos.



E.5. DISEÑO TÉCNICO-OPERACIONAL DEL PROGRAMA DE MARCAJE DE JUREL.

Marco Conceptual

El alto desarrollo de programas de marcaje exitosos, efectuado para peces en el Pacífico y Atlántico, ha implicado la existencia de algunas consideraciones que se deben tener en cuenta ante el diseño de programas de marcaje, estos son: Implementar una buena planificación, estableciendo objetivos claros, definiendo el uso de las marcas adecuadas y el número. Así mismo, la asesoría técnica extranjera es sin duda un elemento importante a la hora de considerar las metodologías de marcaje. Por otro lado, un programa de marcaje que utilice marcas convencionales y electrónicas de archivo, para que sea realmente exitoso, deberá llevar a cabo un programa de difusión, acompañado de formas de estímulo en la recaptura, las cuales pueden ser de tipo económico. Estas consideraciones deberán ser utilizadas en la propuesta de un programa de marcaje que se realizará en este estudio.

El escenario actual en el cual se encuentra el jurel según el último reporte de la SPRFMO, 2009 (disminución de su biomasa y debilitamiento de procesos biológicos, favorecen la urgencia del desarrollo de estudios complementarios a los ya existentes, que permitan mejorar el diagnóstico del estado de este recurso en Pacífico Sur y mejorar de esta manera su manejo en el marco de la SPRFMO.

En este contexto y de acuerdo a la hipótesis planteada se diseña un programa de marcaje apuntando además hacia la disminución de la incertidumbre que existe en algunos supuestos (por ejemplo: distribución espacial, patrones migratorios, etc.) y en la estimación de algunos parámetros que se desprenden de la evaluación de



stock (por ejemplo: mortalidad natural y por pesca). Un programa de marcaje permite mejorar la confianza en la evaluaci3n de la poblaci3n y ayudaría además a cuantificar el grado de interacci3n entre las pesquerías de cerco de alta mar realizada por naves extranjeras y la flota nacional, y permitiría una mejoría en la toma de decisiones de manejo y conservaci3n de este recurso.

Es importante seálalar que debido al alto costo que estos programas poseen, cuando se consideran condiciones ideales de operaci3n (arriendo de naves por largos períodos, utilizaci3n mixta de marcas convencionales y de archivo internas o externas, recompensas importantes que garanticen un retorno apropiado de la marca) como se muestra en la **Tabla E22**, es muy difícil enfrentar este tipo de proyectos como país en forma individual, por ello, en el caso de programas realizados en tñidos se han realizado esfuerzos entre países en forma conjunta, que sostienen un interés comñn comercial sobre estos recursos, como ocurre en Europa, por esta raz3n, el programa de marcaje a proponer debiera insertarse en el marco de la SPRFMO, la cual entrará en funcionamiento el 2010.



Tabla E22.

Propuesta para un programa regional de marcado de Atunes 2010-2012.

Buques		US\$
Buque cañero dedicado para el marcado, capitán, tripulación, y todos los gastos operacionales	240 días @ \$3,000/día	720,000
Buque cañero dedicado para el marcado, capitán, tripulación, y todos los gastos operacionales	120 días @ \$2,000/día	240,000
Miscelánea (cuotas portuarias, etc)		15,000
Personal		
Científicos auxiliares	2 @ \$46,100/año	92,200
Sueldo de mar		62,000
Equipo		
Marcas de dardo	35,000 @ \$0.60/unidad	21,000
Marcas archivadoras	150 @ \$850/unidad	127,500
Archivadoras marcas	75 @ \$1,000/unidad	75,000
Marcas acústicas	54 @ \$600/unidad	32,400
Boyas satelitales para plantados		54,000
Miscelánea		15,000
Recompensas		
Marcas de dardo (patudo)	40% de recuperación @ \$5	26,666
Marcas archivadoras (patudo)	40% de recuperación @ \$250	7,500
Marcas de dardo (barrilete)	20% de recuperación @ \$5	6,666
Marcas archivadoras (barrilete)	20% de recuperación @ \$250	3,750
Marcas de dardo (aleta amarilla)	30% de recuperación @ \$5	20,000
Marcas archivadoras (aleta amarilla)	30% de recuperación @ \$250	5,625
Lotería	\$5,000/año	5,000
COSTO ANUAL		US\$1,529,307
COSTO TOTAL PARA LOS 3 AÑOS		US\$4,587,921

(Tomada del documento IATTC-78-08c)

E.5.1. Diseño del programa de marcaje.

Considerando la hipótesis de trabajo planteada se indican los siguientes objetivos del programa de marcaje:

E.5.1.1. Objetivos

Objetivo General

Establecer las rutas migratorias del jurel en el Pacífico Sur Oriental.



Objetivos Específicos

- 1.- Realizar un programa de marcaje con marcas convencionales del tipo TBA moldeadas con una marca PIT a gran escala, a nivel costero y oceánico, por tres años.
- 2.- Realizar un programa de marcaje con marcas electrónicas de archivo del tipo internas y satelitales, considerando el diseño de un plan piloto por tres años.
- 3.- A través de la información proporcionada por las marcas de archivo, analizar las condiciones ambientales en las cuales se distribuye este recurso espacialmente en el plano horizontal y en la columna de agua.

E.5.1.2. Marcas a utilizar

Para el desarrollo de este programa se deberán adquirir las marcas señaladas según las estimaciones realizadas, en el modelo de simulación, desde el cual se determinará un número de ejemplares a marcar con marcas convencionales, que otorgará una mayor precisión y exactitud, en este caso 90.000 marcas, considerando un periodo de tres años, para ello, se deberá realizar campañas de marcaje que permitirán la liberación de 30.000 jureles marcados anualmente, para los estratos de tamaños (20 a 29 cm LH; 31 a 40 cm LH y 41 a 50 cm LH).

De acuerdo a los resultados de los experimentos de marcaje realizados en bins, que indican una baja mortalidad inducida por el marcaje de las marcas de archivo internas del tipo LAT2510, realizadas en ejemplares adultos (30 cm LH a 40 cm LH) y juveniles (20 a 26 cm LH), considerará la utilización de 100 marcas de este tipo, distribuidas en campañas de marcaje anuales que implicarán la liberación de 33 ejemplares.



Para el caso de las marcas de archivo satelitales del tipo X-tag, los escasos resultados obtenidos hasta el momento, no permiten indicar si esta marca es apropiada para el jurel adulto, sin embargo, el resultados observado en un ejemplar sobre 40 cm LH, ha indicado que es viable este tipo de marcaje en jureles adultos. Es imperioso obtener m1s r3plicas de este tipo de experimentos para validar esta apreciaci3n, en este sentido y asumiendo la viabilidad de su uso en ejemplares adultos se asumirá un n1mero de 60 ejemplares a marcaje durante los tres a1os de duraci3n del programa de marcaje, que considerará la liberaci3n de 20 ejemplares marcados anualmente en la regi3n oce1nica y costera.

E.5.1.3. Per3odo de marcaje.

El per3odo m1s apropiado para realizar el marcaje corresponde al per3odo de oto1o, per3odo en el cual es posible encontrar al jurel formando agregaciones abundantes y en forma relativamente m1s cercana a la l3nea de la ZEE, coincidente con el per3odo de engorda Sin embargo, se plantea un segundo momento para realizar esta actividad, correspondiente a los meses de enero y febrero, meses en los cuales se registra en forma eventual el ingreso de agregaciones comerciales compactas a regiones m1s cercanas a la costa, facilitando así el marcaje.

E.5.1.4. Lugar del marcaje.

Se realizar1n principalmente en las zonas de pesca de la regi3n centro sur, sin embargo, debido a los resultados obtenidos con marcas TBA moldeadas con PIT y de archivo internas LAT2510 en ejemplares juveniles (20 a 26 cm LH), es posible proponer campa1as en el norte para marcar ejemplares juveniles en las zonas de pesca de esta zona.



E.5.1.5. Campañas de marcaje.

Si bien es cierto, las experiencias realizadas en el marco de este proyecto han sido realizadas con embarcaciones pesqueras de oportunidad, con un excelente apoyo de la tripulación de las embarcaciones en las cuales se han realizado estos experimentos, es apropiado plantearse el arriendo de al menos una embarcación, que pudiese operar en forma conjunta con una embarcación pesquera, sólo para la realización de los marcajes. En este caso se plantea la opción de operar en forma conjunta con una nave pesquera comercial, la cual deberá capturar un cardumen de jurel, desde el cual se proveerán los ejemplares a marcar en la nave de apoyo y en que se encontrará el personal científico.

Se plantean 5 meses de operación considerando dos períodos: enero a febrero y mayo a julio, en forma anual, lo que implica una operación total de 15 meses.

Al momento de realizar la actividad de marcaje se deberá llevar un inventario que identifique el tipo de marca, N°, zona, arte, fecha, especie y talla.

E.5.1.6. Difusión del programa de marcaje.

Un elemento muy importante vinculado al éxito en un programa de marcaje, está asociado a una adecuada difusión del programa. En este sentido la recuperación de las marcas convencionales y las de archivo principalmente las internas dependen del reporte que pescadores u operadores de planta de productos pesqueros debieran realizar una vez que las identifiquen (nombre, número de contacto) por lo que es relevante considerar una campaña publicitaria a nivel científico, industrial (división extractiva y de producción de productos pesqueros generados a partir del recurso a marcar), asociaciones gremiales de pescadores artesanales, agrupaciones sociales comunitarias costeras, municipalidades,



Servicio Nacional de Pesca, Colegios, etc., Asimismo , en el marco de la SPRFMO, debiera también establecerse esta difusión. Para la difusión de este programa, se deberán confeccionar afiches con la indicación de las principales actividades de este programa, que involucraron el marcaje de jurel, así mismo, se deberá traducir este tipo de afiches a diferentes idiomas, haciendo hincapié en los idiomas de las tripulaciones pertenecientes a las embarcaciones pesquero-industriales internacionales que se encuentran capturando jurel fuera de la ZEE de nuestro país y de Perú. Para una buena canalización de este programa de difusión se deberá enviar a la SPRFMO, esta información para su difusión al interior de los países participantes.

E.5.1.7. Recompensa por la recuperación de las marcas.

Para estimular la recuperación de las marcas, junto a la difusión del programa de marcaje, se deberá establecer un incentivo monetario. Esta actividad, ha tenido muy buenos resultados en la recuperación de las etiquetas electrónicas de archivo, utilizadas en los programas de marcaje del atún rojo del atlántico y del atún aleta azul del Pacífico, con valores que fluctúan entre los 1000 US y 500 US dólares, por marca electrónica recibida. Para este caso se ofrecerá una recompensa de 1000 US dólares para las marcas de archivo satelitales X-Tag, de 500 US dólares para las marcas de archivo internas LAT2510 y 10 US dólares para marcas convencionales T-bar moldeadas con una marca PIT.

**E.5.2. Resultados del ensayo presupuestario preliminar de un programa de marcaje de jurel.****Tabla E23.**

Descripción de los costos involucrados en el programa de marcaje de jurel a implementar por 3 años.

Equipamiento marcas	Equipamiento total 3 años	Valor anual en USD
TBA	90.000 marcas*5,33 USD	159.900
Pistola de inserción	4 pistolas*86,8 USD	116
X-Tag	60 marcas*4.000 USD	80.000
Dardos inserción	70 dardos*10 USD	700
LAT2510	100 marcas*1222,7 USD	40.755
Lat reader	4 Lectores*490,7 USD	654
Arriendo barco	450 días*5983.2 USD/día	897.487
Grupo Científico	4 investigadores*15 meses*1.994 USD/mes	39.888
Recompensa TBA	Recuperación 10%*10 USD	40.000
Recompensa X-Tag	Recuperación 90%*10 USD	18.000
Recompensa LAT2510	Recuperación 30%*10 USD	5.000
Valor total anual en USD		1.282.500
Valor total 3 años en USD		3.847.500

Tabla E24.

Descripción de los costos involucrados en el programa de marcaje de jurel a implementar por 3 años.

Equipamiento marcas	Equipamiento total 3 años	Valor anual en USD
TBA	90.000 marcas*5,33 USD	159.900
Pistola de inserción	4 pistolas*86,8 USD	116
X-Tag	60 marcas*4.000 USD	80.000
Dardos inserción	70 dardos*10 USD	700
Grupo Científico	4 investigadores*15 meses*1.994 USD/mes	39.888
Recompensa TBA	Recuperación 10%*10 USD	40.000
Recompensa X-Tag	Recuperación 90%*10 USD	18.000
Recompensa LAT2510	Recuperación 30%*10 USD	5.000
Valor total anual en USD		343.604
Valor total 3 años en USD		1.030.812



E.5.3. Principales conclusiones del ensayo presupuestario.

Este cálculo es ambicioso (**Tabla E23**), sin embargo, está en concordancia con las propuestas en Europa con atunes. No obstante este planteamiento, está lejos del alcance de una propuesta nacional, por lo que, la realización de este programa en el marco de la SPRFMO podría ser un camino viable para su desarrollo con este presupuesto, a pesar de ello, este programa de marcaje puede ser más austero y se puede transformar en un programa piloto con un equipamiento menor, sin afectar el desarrollo de los objetivos trazados. En este caso, si se desestima la utilización de las marcas de archivo y además no se considera la utilización de un barco de arriendo y se continúa utilizando el marcaje en barcos de oportunidad, se puede correr el riesgo de afectar en alguna medida la liberación de los ejemplares marcados, situación que no ha sido ensayada a bordo de los PAM de oportunidad y que habría que determinar para evitar este posible error, considerando estas condiciones se podría llegar a un presupuesto más austero que ascendería a un valor anual de 432.413 USD (**Tabla E24**) y a un valor total del programa de marcaje de 1.294.240 USD, claramente menor al valor anteriormente señalado que puede ser abordado eventualmente con fondos nacionales.



F. REFERENCIAS

- Abaunza P. (Coordinador). 2003. A multidisciplinary approach using genetic markers and biological tags in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) stock structure analysis. Homsir Project Final Report. P294.
- Abramov, A.A., Kotlyar, A.N. 1980. Some Biological Features of the peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. J. Ichth. 20(1):25-31.
- Aires-Da-Silva, A., Taylor, I., Punt, A., Gallucci, V., Kohler, N., Turner, P., Briggs, R. y J. Hoey. 2005. A framework for estimating movement and fishing mortality rates of the blue shark, *Prionace glauca*, in the north Atlantic from tag-recapture data. Col.Vol.Sci.Pap. ICCAT, 58(3):1073-1088.
- Aldana, M. Oyarzun J. y M. George_Nascimento. 1995. Isópodos parásitos como indicadores poblacionales del jurel *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols, 1920) (Pisces: Carangidae) frente a las costas de Chile. Biología Pesquera (Chile) 24:23-32.
- Alekseev, E.I. 1986. Comparative data on maturation and spawning of horse mackerels of the genus *Trachurus* from the Atlantic and Pacific oceans. Tikhogo Okeanov. 47-59.
- Alheit, J., Ñiquen, M. 2004. Regime shifts in the Humboldt current ecosystem. Progress in Oceanography 60, 201–222.
- Alheit, J., Bakun, A. 2009. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical–biological linkage mechanisms, J. Mar. Syst. (2009), doi:10.1016/j.jmarsys.2008.11.029.



- Arancibia, H., L. Cubillos, A. Grechina, D. Arcos & L. Vilugrón 1995. The fishery of horse mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) in the south Pacific Ocean, with notes on the fishery off central-southern Chile. *Scientia Marina* 59(3/4), 589-596.
- Arancibia, H., Cubillos, L., Alay, F., González, F., Gavilán, J., Hernández, A., Alarcón, R., Núñez, S., Miranda, L., George-Nascimento, M. 1996. Unidades de stock en el recurso jurel de la I a XI Regiones. Informe Final Proyecto FIP 1994-19: 165 pp.
- Araya, M., Cubillos, L.A., Guzmán, M., Peñailillo, J., Sepúlveda, A. 2001. Evidence of a relationship between age and otolith weight in the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols). *Fish. Res.* 51:17-26.
- Arcos, D.F., & A.S. Grechina (eds.), 1994. *Biología y pesca comercial del jurel en el Pacífico Sur*. Editorial Aníbal Pinto, Concepción, Chile, 203 p.
- Arcos, D., Cubillos, L., Sepúlveda, A., Grechina, A., Peña, H., Alarcón, R., Hernández, A., Miranda, L., Vilugrón, L. 1995. Evaluación del stock de jurel a nivel subregional. Informe Técnico Fondo de Investigación Pesquera. Proyecto FIP 95-09. 219 p.
- Arcos, D.F., L. Cubillos & S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-1998 effects off Chile. *Progress and Oceanography*, 49:597-617.
- Arregui, I. Arrizabalaga, H. y J.M de la Sierra. 2006. Preliminary approach to the experimental design of tagging campaigns for movement rates estimation of east Atlantic Bluefin Tuna. *Col.Vol.Sci.Pap. ICCAT*,59(3):769-788.

Artículo: "Monitoring Fish and Wildlife in Freshwater Habitats"



Artículo: “¿Qué es el marcaje y recaptura?”

Artículo: “Fish species in experiments with DST’s”

Artículo: “Programa de Marcaje y Genética de Tiburones del Pacífico Sur”: en Reunión Técnico Científica para la elaboración de un Plan de Acción para la protección de Tiburones en el Pacífico Sudeste. 2006.

Artículo: “PTT-100 Archival Pop-up Tag”

Artículo: “PTT-100 High Rate Archival Pop-up Tag”

Artículo: “The Pop-up Archival Transmitting (Mk10-PAT) Tag”

Artículo: T-Bar anchor (TBF and TBA)

Ashford J.R., Jones C.M., Hofmann E.E., Everson I, Duhamel G., Moreno C. and Williams R. 2005. Can otolith elemental signatures record the capture site of a fully marine fish, *Dissostichus eleginoides*, in the Southern Ocean? Can. J. Fish. Aquat. Sci. **62**(12): 2832-2840.

Ashford, J.R., Arkhipkin, A.I., and Jones, C.M. 2006. Can the chemistry of otolith nuclei determine population structure of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*)? J. Fish Biol. **69**: 708-721.

Ashford J.R., Arkhipkin A., and Jones, C.M. 2007a. Otolith chemistry reflects frontal systems in the Antarctic Circumpolar Current.’ Mar. Ecol. Prog. Ser. 351: 249-260.

Ashford, J.R., and Jones, C.M. 2007b. Oxygen and carbon stable isotopes in otoliths record spatial isolation of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*). Geochim. et Cosmochim. Acta **71**: 87-94.



- Ashford J.R., Jones C.M., Hofmann E.E., Everson I, Duhamel G., Moreno C. and Williams R. 2008. Otolith chemistry indicates population structuring by the Antarctic Circumpolar Current. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **65**: 135-146.
- Astete L, RR Gonz3lez. 1997. Determinaci3n de estr3s a trav3s de par3metros qu3mico sangu3neos y hematol3gicos en ejemplares del g3nero *Paralichthys* que habitan bah3a de Concepci3n. *Gayana Oceanol.* 5(1): 13-19.
- Bailey, K. 1989. Description and surface distribution of juvenile Peruvian jack mackerel, *Trachurus murphyi*, Nichols from the Subtropical Convergence Zone of Central South Pacific. *Fishery Bulletin, U.S.* 87,273-278.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean. Ocean process and population dynamics. California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Administration in cooperation with Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste (1996), Roma, Italia.323 pp.
- Bakun, A. & C. S. Nelson. 1991. The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography.* 21: 1815 - 1834.
- Baldwin R.E., Miller, T.W., Brodeur D. and K.C: Jacobson. 2008 Expanding the foraging history of juvenile Pacific salmon: combining stomach-content and macroparasite-community analyses for studying marine diets. *Journal Fish Biology* 72: 1268-1294.
- Barbieri, M. A., J. C3rdova., V. Correa., S. Lillo., M. Espejo y M. Rojas. 1998. An3lisis de la estructura del jurel fuera de las aguas jurisdiccionales. Informe final FIP 97-05b. IFOP, Chile. 108 p + anexos y figs.



- Batteen, M., P. Hu, J. Bacon & C. Nelson. 1995. A numerical study of effects of wind forcing on the Chile counter current system. *Journal Oceanography Society of Japan*. 51: 585-614.
- Bayliff, W y K. Holland. 1986. Materials and methods for tagging tuna and billfishes, recovering the tags and handling the recapture data. *FAO Fish. Tech. Pap.* (279): 36 p.
- Becerra, V & M. Paredes. 1999. Uso de los marcadores bioquímicos y moleculares en estudios de diversidad genética. *Agricultura Técnica*. Volumen 60: 270 – 279.
- Begg, G.A. 2005. Life history parameters. In: *Stock identification methods, applications in Fishery Science*, Cadrin, S.X., Friedland, K.D., Waldman, J.R. (Ed.), Academic Press, San Diego, p. 119-159.
- Begg, G. A. and J. R. Waldman. 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fish. Res.* 43: 35-44.
- Begg, G. A., K. D. Friedland and J. B. Pearce. 1999. Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview. *Fisheries Research* 43: 1-8.
- Begg, G.A., Hare, J.A., Sheehan, D.D. 1999. The rol of life history parameters as indicators of stock structure. *Fish. Res.* 43: 141-163
- Begg, G. A. and R. W. Brown. 2000. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank based on otolith shape analysis. *Trans. Am. Fish. Soc.* 129: 935-945.
- Bergenius, M. A. J., B. D. Mapstone, G. A. Begg and C. D. Murchie. 2005. The use of otolith chemistry to determine stock structure of three epinepheline



- serranid coral reef fishes on the Great Barrier Reef, Australia. *Fisheries Res.* 72: 253-270.
- Berland, B. 1961. Nematodes from some Norwegian marine fishes. *Sarsia* 2, 1–50.
- Berry, F. H., Cohen, L. 1974. Synopsis of the species of *Trachurus* (Pisces, Carangidae). *Quart. J. Florida Acad. Sci.*, 35(4): 177-211.
- Bertignac, M. 1996. A simulation model of tagging experiments for yellowfin tuna in the western Indian Ocean. Proceeding of the Second FAO Expert Consultation on Interactions of Pacific Tuna Fisheries Shimizu, Japan 23 to 31 January 1995 En Status of Interactions of Pacific Tuna Fisheries in 1995. FAO Fisheries Technical Paper-T365. 612 pg.
- Bertrand, A., Segura, M., Guti3rrez, M., V3squez, L. 2004. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish and Fisheries* 5: 296 - 316.
- Bessert ML. & G. Ort3. 2003. Microsatellite loci for paternity analysis in the fathead minnow, *Pimephales promelas* (Teleostei: Cyprinidae). *Molecular Ecology Notes*. 3: 532-534
- Bird, J. L., D. T. Eppler and D. M. Checkley. 1986. Comparisons of herring otoliths using Fourier series shape analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1228-1234.
- Block, A., Dewar, H., Blackwell, S., Williams, T., Prince, E., Farwell, C., Boustany, A., Teo, S., Seitz, A., Walli, A., y D. Fudge. 2001. Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic Bluefin Tuna. *Rev. Sci.* Vol 293:1310-1314.



- Block B., Boustany A., Teo T., Walli A., Farwell C., Williams T., Prince E., Stokesbury M., Dewar H., Seitz A., & K. Weng. 2003. Distribution of western tagged Atlantic Bluefin Tuna determined from archival and pop-up satellite tags . Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 55(3): 1127-1139.
- Block B., Teo T., Walli A., Boustany A., Stokesbury M., Farwell C., Weng K., Dewar H. & T. Williams. 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. Nature Vol.434: 1121-1127.
- Bolles, K. and G. A. Begg. 2000. Distinction between silver hake (*Merluccius bilinearis*) stocks in U. S. waters of the Northwest Atlantic based on whole otolith morphometrics. *Fish. Bull.* 98: 451-462.
- Boustany A. y B. Block. 2004. Tras aleta del atún de Aleta Azul en el Pacífico. Boletín de la Cuenca. Número 8, 2004. p 5-7
- Boyle T. & J. Fairchild 1997. The role of mesocosm studies in ecological risk analysis. *Ecological Applications*. 7: (4) 1099-1102.
- Brownie, C., D.R. Anderson, K.P. Burnham, y D.S. Robson. (1985): Statistical inference from band recovery data - a handbook. US. Fish and Wildlife Service Resource Publication. Núm. 156. 305p.
- Buchanan J.B. 1971. Sediments. In: Methods for the study of marine benthos. I.B.P. Handbook N°16, 16, pp. 30-52. N.A. Holme y A.D. McIntyre (ed.), Blacwell, Oxford y Edinburgh
- Bush, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J.M. & Shostak, A.W. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *Journal of Parasitology* **83**, 575-583.



- Cadrin S. 2006. Yellowtail flounder tagging study. Northeast Consortium Interim Final Report. 14 pg
- Cadrin, S.X. & K.D. Friedland. 1999. Advances in morphometric analysis of fish stock structure. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 10: 91 - 112.
- Cadrin, S. X. and K. D. Freidland. 2005. Morphometric outlines. In S. X. Cadrin, K. D. Freidland and J. R. Waldman. Stock (eds.), *Identification Methods Applications in Fisheries Science*. *Elsiever Academic Press*. pp. 173-183.
- Campana, S. E., and J. M. Casselman. 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1062-1083.
- Canales Aguirre, C. B. (2006) Variabilidad genética y estructuración poblacional del congrio dorado, *Genypterus blacodes* (Schneider, 1801) en la zona sur de Chile (41°28,6'LS; 57°00'LS), mediante el uso de marcadores microsatélites. Lic. thesis, Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Canales, C. y R. Serra. 2008. Chilean jack mackerel stock assessment model. Chilean Jack Mackerel Workshop. 30 June – 04 July 2008. SPRFMO-FAO. Santiago. Chile . 12 pág.
- Canfield PJ, N Quartararo, DL Griffin, GN Tsoukalas & SE Cocaro. 1994. Hematological and biochemical reference values for captive Australian snapper, *Pagrus auratus*. *J. Fish Biol.* 44: 849-856.
- Cárdenas L, Silva AX, Magoulas A, Cabezas J, Poulin E, Ojeda FP (2009) Genetic structure in the Chilean jack mackerel, *Trachurus murphyi* (Nichols) across the South-eastern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 100, 109-115.



- Cardinale, M., Doering-Arjes, P., Kastowsky, M., Mosegaard, H., 2004. Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61, 158–167.
- Castillo, J. 2008. Jack mackerel (*Trachurus murphyi*) spatial distribution and seasonal acoustic biomass estimated in the north of Chile. 1981 - 1990. Chilean Jack Mackerel Workshop. Santiago – Chile, 30 Junio al 4 Julio. CHJMWS pap #9.
- Castillo, J., Guzmán, O., Lillo, S., Pineda, P., Rodriguez, L. 1984(a). Estado de situación de las pesquerías pelágicas – 1983. Cuantificación de la abundancia de recursos pelágicos. I. Zona Norte, Arica-Huasco (18°30' – 28°30'S). CORFO, IFOP, 31 p. + anexos
- Castillo, J., Guzmán, O., Lillo, S., Pineda, P. 1984(b). Cuantificación de la abundancia del recurso sardina española y fauna acompañante en la zona Arica-Huasco. CORFO, IFOP, 23 p. + anexos.
- Castillo, J. y Briones, P. 1987. Distribución y abundancia de sardina española, jurel y anchoveta en invierno de 1987. Programa Investigaciones Pesqueras de Recursos Pelágicos - Zona Norte. Inst. Fom. Pesq. Santiago, Chile, pp. 62-90.
- Castillo, J., Braun, M., Blanco, J.L. 1992. Cuantificación estacional de la biomasa de los recursos pelágicos y vigilancia bio-oceanográfica, zona norte. Septiembre 1992. Investigaciones Pesqueras de Recursos Pelágicos – Zona Norte. Inst. Fom. Pesq. (Santiago).
- Castillo, J., Braun, M., Blanco, J.L. 1993. Cuantificación estacional de la biomasa de los recursos pelágicos y vigilancia bio-oceanográfica, zona norte.



Programa Investigaciones Pesqueras de Recursos Pelágicos – Zona Norte. Inst. Fom. Pesq. (Santiago), 58 p. + anexos

Castillo, J., Blanco, J.L., Braun, M., Reyes, H., Robotham, H. 1994. Evaluación directa del stock de sardina española, anchoveta y jurel (Regiones I a IV). Informe Final Proyecto FIP, Inst. Fom. Pesq. (Santiago).

Castillo, J., Barbieri, M.A., Paillamán, A., Parker, U. 1995. Componente evaluación y distribución de recursos. En: Evaluación hidroacústica de los stocks de sardina española, anchoveta y jurel en la zona norte, I a IV Regiones. Informe FIP, Inst. Fom. Pesq. 152 p. + anexos.

Castillo, J., Barbieri, M.A., Córdova, J., Lillo, S., Parker, U., Blanco, J.L., Braun, M., Osses, J. 1996. Evaluación hidroacústica de los recursos anchoveta, jurel y sardina española de las Regiones I a IV. Informe Final FIP 95-03, 307 p.

Castillo, R., Gutiérrez, M., Ganoza, F., Aliaga, A. 1998(a). Biomosas de especies pelágicas en el mar peruano a comienzos de otoño 1998. Crucero BIC Humboldt 9803-05. Tumbes - Tacna. Inf. Inst. Mar Perú N° 135: 91-102.

Castillo, R., Gutiérrez, M., Gonzáles, A. 1998(b). Biomosas de especies pelágicas en el mar peruano a fines de otoño 1998. Crucero BIC José Olaya Balandra 9805-06. Tacna - Mancora. Inf. Inst. Mar Perú N° 137:7-19.

Castillo, R., Gutiérrez, M., Peraltillo, S., Herrera, N. 1998(c).. Biomosas de recursos pesqueros a finales del invierno 1998. Crucero BIC Humboldt y BIC José Olaya Balandra 9808-09. Paita - Tacna. Inf. Inst. Mar Perú N° 141:136-155.

Castillo, R., Gutiérrez, M., Peraltillo, S., Herrera, N. 1999(a). Biomasa de los principales recursos pesqueros durante el verano 1999. Crucero BIC



José Olaya Balandra 9902-03. Tumbes – Tacna. . Inf. Inst. Mar Perú N° 147:31-45.

Castillo, R., Gutiérrez, M., Peraltilla, S. 1999(b). Biotas de los principales recursos pesqueros a finales de otoño 1999. Crucero BIC Humboldt y BIC José Olaya Balandra 9906. Paita - Punta Infiernillos. Inf. Inst. Mar Perú N° 149:19-34.

Castillo, R., Gutiérrez, M. 2000(a). Biomasa de las especies pelágicas de mayor abundancia en primavera 1999. Crucero BIC José Olaya Balandra y SNP-2 9911-12. Punta Aguja - Punta Caballas. Inf. Inst. Mar Perú N° 157:7-22.

Castillo, R., Gutiérrez, M. 2000(b). Biomasa de las once especies pesqueras mas abundantes en el mar peruano durante el verano 2000. Inf. Progr. Inst. Mar Perú N° 159: 23-37.

Chad, W. T. 2009. *Lernanthropinus* Ho & Do, 1985. In: Walter, T.C., Boxshall, G. (Eds) (2009). World Copepoda Database. Accessed through the World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=347401> on 2009-04-01.

Chaigneau, A. y O. Pizarro. 2005. Surface circulation and fronts of the South Pacific Ocean, east of 120° W. Geophysical Research Letters. 32: L08605, doi: 10. 1029/2004GL022070.

Chavez R, I. Valdivia, y M E. Oliva. 2007. Local variability in metazoan parasites of the pelagic fish species, *Engraulis ringens*: implications for fish stock assesment using parasites as biological tags Journal of Helminthology 81: 113-116.



- Chen, Z., Canil, D., and Longerich, H.P. 2000. Automated in situ trace element analysis of silicate materials by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Fresenius' J. Anal. Chem.* 368: 73-78.
- Childress J & G Somero. 1979. Depth-related enzymatic activities in muscle, brain and heart of deep-living pelagic marine teleost. *Marine Biology* 52: 273-283.
- Córdova, J., Lillo, S., Espejo, M. 1991(a). Distribución y abundancia de jurel en la zona centro-sur de Chile. En: Estimación de la biomasa del recurso jurel y caracterización de las condiciones bio-oceanográficas, junio-julio 1991. Programa Investigaciones Pesqueras de Recursos Pelágicos – Zona Centro-Sur. ASIPES, IFOP, p. 16-57.
- Córdova, J., Prats, M., Leiva, B. 1991(b). Distribución y abundancia de jurel en la zona centro-sur de Chile, en noviembre y diciembre de 1991. En: Estimación de la biomasa del recurso jurel y caracterización de las condiciones bio-oceanográficas, noviembre-diciembre 1991. Programa Investigaciones Pesqueras de Recursos Pelágicos – Zona Centro-Sur. ASIPES, IFOP, p. 13-29.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, H. Miranda, M. Espejo, M. Rojas, S. Núñez, J. Ortíz, D. Arcos, V. Valenzuela, M. Braun, H. Miles, L. Miranda, C. Cuevas y H. Rebolledo. 1998. Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones. Informe Final FIP N° 96-13. 162 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, H. Miranda, M. Espejo, M. Rojas, V. Valenzuela, M. Braun, S. Núñez, J. Ortíz, L. Miranda, C. Cuevas y H. Rebolledo. 1999. Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la ZEE de Chile. Informe Final FIP N° 98-11. 200 pp + figuras y anexos.



- Córdova, J, M. A. Barbieri, H. Miranda, M. Espejo, M. Rojas, S. Núñez, V. Catasti, V. Valenzuela, M. Braun, G. Galindo, J. Ortíz, L. Miranda, C. Cuevas y H. Rebolledo. 2000. Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la ZEE de Chile. Informe Final FIP N° 99-03. 201 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, M. Espejo, S. Núñez, J. Ortiz, V. Catasti, V. Valenzuela, M. Braun, H. Rebolledo, L. Cubillos y G. Galindo. 2001. Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE de Chile, año 2000. Informe Final FIP 2000-03. 221 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, M. Espejo, S. Núñez, J. Ortíz, V. Catasti, M. Braun, V. Valenzuela, P. Torres y A. Saavedra. 2002. Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE, en marzo 2001. Informe Final FIP N° 2001-02. 204 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, M. Espejo, S. Núñez, J. Ortíz, F. Vejar, L. Bustos, V. Catasti, V. Valenzuela, H. Rebolledo y P. Torres. 2003. Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE, año 2002. Informe Final FIP N° 2002-02. 198 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, M. Espejo, S. Núñez, J. Ortíz, F. Vejar, L. Bustos, V. Catasti, V. Valenzuela, H. Rebolledo y P. Torres. 2004. Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2003. Informe Final FIP N° 2003-02. 198 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, M. Espejo, S. Núñez, J. Ortíz, P. Torres, F. Vejar, V. Catasti, V. Valenzuela, 2005. Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, invierno año 2004. Informe Final FIP N° 2004-06. 196 pp + figuras y anexos.



- Córdova, J, C Hernández, V. Correa, S. Núñez, E Navarro, M Reyes, P Torres, J Ortiz, J Saavedra, V. Catasti, V. Valenzuela, V Bocic. 2006. Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Region, verano, año 2005. Informe Final FIP N° 2006-02. 175 + figuras y anexos.
- Córdova, J, M. A. Barbieri, C. Lang, S. Núñez, J. Ortiz, P Torres, F. Vejar, V. Catasti, V. Valenzuela, 2006. Investigación Evaluación directa de jurel V y X Regiones, año 2005. Informe Final BIP N° 30033968-0. 129 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, C. Lang, S. Núñez, E Navarro, M Reyes, J. Saavedra, V. Catasti, V. Valenzuela, 2007. Investigación Evaluación hidroacústica jurel V-X, 2006. Informe Final BIP N° 30043859-0. 125 pp + figuras y anexos.
- Córdova, J, F. Leiva, C Hernandez, S. Núñez, E Navarro, M Reyes, J Saavedra, V. Catasti, V. Valenzuela, 2008. Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2007. Informe Final FIP N° 2007-07. 173 + figuras y anexos.
- Correa-Ramirez M., S. Hormazabal and G. Yuras. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°–39°S). *Geophysical Research Letters* 34, L12604, doi: 10.1029/2007gl029541.
- Corten A. 2002. The role of “conservatism” in herring migrations. *Netherlands Institute for Fisheries Research RIVO. Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11: 339-361.
- Cosgrove, R. Arregui, I y H. Arrizabalaga. 2006. Archival tagging of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) in the North Atlantic, a pilot study. *Col.Vol.Sci.Pap. ICCAT*, 59(3):923-927.



- CPPS-UACH. 2006. Programa de marcaje y genética de tiburones del Pacífico Sur. Informe final: Taller técnico científico sobre elaboración de planes de acción para la protección de tiburones en el pacifico sudeste. Valdivia. Octubre 2006: 36 pp
- Crampton, J. S. (1995). Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: some practical considerations. *Lethaia* 28, 179–186.
- Cruz P., Mejia-Ruiz C.H., Perez-Enriquez R., Ibarra A.M. 2002. Isolation and characterization of microsatellites in Pacific white shrimp *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei*. *Molecular Ecology Notes* 2 (3): 239-241.
- Cubillos, L., S. Núñez & D. Arcos. 2002. Relating Chilean jack mackerel recruitment to sea surface temperature (SST): looking for spatial spawning pattern and SST indexes. WG Product 4. Report of the Second meeting of the SPACC/IOC study group on “Use of environmental indices in the management of pelagic fish populations”. 9-11 November 2002, Paris, France. GLOBEC Special Contribution N°6. GLOBEC Report Series. 156 p.
- Cubillos, L.A., J. Páramo, P. Ruíz, S. Núñez & A. Sepúlveda. 2008. The spatial structure in the oceanic spawning of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off central Chile (1998-2001). *Fisheries Research* 90:261-270.
- D'amato ME., DH. Lunt & GR. Carvalho. 1999. Microsatellite markers for the hake *Macruronus magellanicus* amplify other gadoid fish. *Molecular Ecology*. 8:1075–1092.
- De la Serna J., Ortiz de Urbina J., García S., y D. Espino. 2008. Primera recaptura en el Atlántico de un pez espada (*Xiphias gladius*) marcado en el Mediterráneo. *Col.Vol.Sci.Pap. ICCAT*, 62(4):1058-1069.



- De Woody J. & Avise J. 2000. Microsatellite variation in marine freshwater and anadromous fishes compared with other animals. *Journal of fish biology*. 56: 461-473.
- Delgado de Molina, A., Ariz, J., Delgado de Molina, R., Santana, J. y P. Pallarés. 2005. Análisis de los datos de marcado de Patudo en las Islas Canarias. *Col.Vol.Sci.Pap. ICCAT*, 57(1):100-115.
- Delgado de Molina, A., Santana J., Ariz, J., Delgado de Molina, R., y F. Abascal. 2007. Estudio de las pautas de comportamiento del Patudo (*Thynnus obesus* (Lowe, 1839)). *Col.Vol.Sci.Pap. ICCAT*, 60(1):117-142.
- De Metrio G., Oray I., Arnold G.P., Lutcavage M., Deflorio M., Cort J.L., Karakulak S., Anbar N., y M. Ultanur. 2004. Joint Turkish-Italian research in the Eastern Mediterranean: Bluefin tuna tagging with pop-up satellite tags. *Col. Vol. Pap. ICCAT*, 56(3): 1163-1167.
- Domeier M., Kiefer D., Nasby-Lucas N., Wagschal A., O'brien F. 2005. Tracking Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) in the northeastern Pacific with an automated algorithm that estimates latitude by matching sea-surface-temperature data from satellites with temperature data from tags on fish. *Fishery Bulletin* 103:292-306.
- Durzhinin, A.D., Konchina, Y.V., Kotlyar, A.N., Kvitchenko, A.V. 1973. Investigaciones científico-pesqueras en las aguas del Océano Pacífico aledañas a la costa del Perú durante primavera de 1972. Tercer crucero del barco de exploración científica Prof. Mesiatsev (VNIRO). 24 octubre – 6 diciembre 1972. *Inf. Especial Inst. Mar Perú* N° 129.



- 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 Ichthyology*, 33(3), 86-104.
- Evseenko, S.A. 1987. On the reproduction of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), in the southern part of the Pacific Ocean. *Voprosy Ikhtiologii* 27(2), 264-273.
- Fedorov, K. N. 1985. The physical nature and structure of oceanic fronts. Springer-Verlag, Berlin, New York, London, Paris, Tokyo. 333 pp.
- Ferrada S, Hernández K, Montoya R, Galleguillos R (2002) Estudio poblacional del recurso anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns 1842) (Clupeiformes, Engraulidae), mediante análisis de ADN. *Gayana (Concepción)*, 66, 243-248.
- Ferreira, M & D. Grattapaglia. 1989. Introducción al uso de marcadores moleculares en el análisis genético. Embrapa, Brasilia. 221 pp.
- Ferson, S., Rohlf, F. J. & Koehn, R. K. (1985). Measuring shape variation of twodimensional outlines. *Systematic Zoology* 34, 59–68.
- Francis, R.I.C.C. y Campana, S. 2004. Inferring age from otolith measurement: a review and a new approach. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61: 1269-1284.
- Fuenzalida, R., Schneider, W., Garcés-Vargas, J., Bravo, L. 2008. Satellite altimetry data reveal jet-like dynamics of the Humboldt Current. *Journal of Geophysical Research* 113, C07043. DOI 10.1029/2007JC004684.
- Gaemers, P. M. 1984. Taxonomic position of the Cichlidae (Pisces, Perciformes) as demonstrated by the morphology of their otoliths. *Netherlands Journal of Zoology* 34: 91-98.



- Gaertner D., Hallier J., y Maunder M. 2004. A tag-attribution as a means to estimate the efficiency of two types of tags used in tropical tuna fisheries. *Fisheries Research* 69:171-180.
- Gaevskaya, A.V., Kovaleva, A.A., 1980. The reasons for the similarities and differences between the parasite faunas of two subspecies of horse mackerel of the Atlantic Ocean. *Biol. Nauk. Zool.* (6), 52–56 (in Russian).
- Galleguillos R, Troncoso L, Oyarzún C (1997) Diferenciación poblacional en la sardina chilena *Strangomera bentincki* (Pisces: Clupeidae) análisis genético de variabilidad proteínica. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70, 351-361.
- Galleguillos, R. y A. Torres. 1988. Identificación de unidades poblacionales pelágicas. Tercera etapa. Informe Final. SUBPESCA. 67 p.
- Galleguillos R, Astete S (2003) Caracterización genética de *D. eleginoides* y comparación de las poblaciones presentes entre la VIII y XI Regiones. In: Monitoreo de la pesquería artesanal de bacalao de profundidad entre la VIII y XI Regiones. Oyarzún et al. (Eds). Informe Final Proyecto FIP N° 2001-16, 225 pp.
- Galleguillos R, Ferrada S, Hernández CE, Canales-Aguirre C, Aedo G, San Martín M, Astete S (2008) Unidades Poblacionales del Bacalao de Profundidad. Informe Final FIP-2006-41. Available from www.fip.cl
- Ganoza, F. 1998. Abundancia y comportamiento del jurel (*Trachurus picturatus murphyi*) a través de prospecciones acústicas de 1983 a 1994. Informe del Instituto del Mar del Perú No. 136, 23–47.



- Garreaud R. and R. Muñoz. 2005. Dynamics of the Low-Level Jet off the West Coast of Subtropical South America. *Monthly weather review* 133: 3661-3677.
- George -Nascimento, M. 1996. Populations and assemblages of metazoan parasites in the hake *Merluccius gayi* (Guichenot) (Gadiformes: Merluccidae) from the southeastern Pacific Ocean: Stock implications. *Journal of Fish Biology* 48:557-568.
- George-Nascimento, M. 2000. Geographical variations in the jack mackerel *Trachurus symmetricus murphyi* populations in the southeastern Pacific Ocean as evidenced from the associated parasite communities. *J. Parasitol.* 86(5):929-932.
- George-Nascimento, M. & H. Arancibia. 1992. Stock ecológicos del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* Nichols) en tres zonas de pesca frente a Chile, detectados mediante comparación de su fauna parasitaria y morfometría. *Revista Chilena de Historia Natural* 65, 453-470.
- Gili, R., Cid, L., Bocic, V., Alegría, V., Miranda, H., Torres, H. 1995. Determinación de la estructura de edad del recurso jurel. In: Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona centro-sur, V a IX Regiones. Informes Técnicos FIP/IT-93-18. (www.fip.cl)
- González L and J. Carvajal, 1994. Estudio parasitologico de *Merluccius australis* (Hutton, 1872) del mar interior de Aysén. *Invest. PEsq. (Chile)* 38:75-85.
- González C., Stagno N., Sepúlveda A., y L. Bustos 2006. Análisis del deterioro de la calidad de la materia prima jurel, desde su captura hasta su elaboración en planta, Pesquera Foodcorp. Informe Final Proyecto Foodcorp. Instituto de Investigación Pesquera. p 128.



- Gorbunova, N.N., Evseenko S.A., Garetovskiy, S.V. 1985. Distribution of Ichthyoplankton in the Frontal Zones of the Peruvian Waters. J. Ichth. 25(6): 67-79.
- Graham. M., Pilling A., Cotter J. y J. Metcalfe 2006. Capítulo 4. Datos para evaluación e investigación. En Manual de operaciones ICCAT. CEFAS, Lowestoft, U.K.:1-105 pp.
- Grechina, A. 1992. Historia de investigación y aspectos básicos de la ecología del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en alta mar del Pacífico Sur. En: H. Arancibia y L. Cubillos (eds). Documento Técnico. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, 1(2):1-47.
- Grechina, A. y Arcos, D. 1995. Distribución y migración del jurel, *Trachurus symmetricus* Murphy (Nichols), en el Pacífico suroriental. Gayana Oceanol. 3(1): 3-27.
- Gretchina, A., Núñez, S. y D. Arcos. 1998. El desove del recurso jurel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), en el Océano Pacífico Sur. En: Biología y ecología del jurel en aguas chilenas (D.Arcos, Ed). pp:116-140.
- Guo SW. & Thompson EA 1992. Performing the Exact Test of Hardy-Weinberg Proportion for Multiple Alleles, *Biometrics* 48, 361-372.
- Gutiérrez, M. 1996. Distribución y concentración de los principales recursos pelágicos peruanos durante el invierno 1995. Crucero BIC Humboldt 9508-09. Inf. Inst. Mar Perú N° 119: 43-54.
- Gutiérrez, M., Castillo, R., Chipollini, A., Vásquez, L. 1997(a). Distribución, concentración y biomasa de los principales recursos pelágicos peruanos entre noviembre y diciembre 1996. Crucero BIC SNP-1 9611-12. . Inf. Progr. Inst. Mar Perú N° 65: 3-22.



- Guti3rrez, M., Mor3n, O., Echevarria, A. 1997(b). Distribuci3n, concentraci3n y biomasa de los principales recursos pel3gicos peruanos a principios del otoño 1997. Crucero BIC Humboldt 9704. Callao - Paita. Inf. Inst. Mar Per3 N3 127: 13-23.
- Guti3rrez, M., V3squez, L., Castillo, R., Dioses, T., Mor3, J., Perea, M. 1997 (c). Distribuci3n, concentraci3n y biomasa de los principales recursos pel3gicos finales del invierno e inicios de primavera 1997. Crucero BIC Humboldt 9709-10. Matarani - Paita. Inf. Inst. Mar Per3 N3 130: 13-44.
- Guti3rrez, M., Castillo, R., Peraltila, S. 1999. Biomasa de recursos pesqueros a finales de la primavera 1998. Crucero BIC Jos3 Olaya Balandra 9811-12. Inf. Inst. Mar Per3 N3 146: 11-18.
- Guzm3n, O., Castillo, J., Lillo, S., Pineda, P., Rodr3guez, L., Giakoni, I. 1983. Estudio de recursos pel3gicos. Programa Monitoreo de los recursos pel3gicos. I. Prospecci3n zona Arica-Coquimbo (18330'-30300'S). CORFO, IFOP (AP 83-82), 48 p. + anexos
- Hancock J. 1999. Microsatellites and other simple sequences: genomic context and mutational mechanisms. In Microsatellites evolution and applications (Goldstein D. & C. Schl3tterer, Eds). Oxford University Press, New York. pp 1-6.
- Hanson, R. B. and H. K. Lowery, 1985. Spatial distribution, structure, biomass and physiology of microbial assemblages across the Southern Ocean frontal zones during the late austral winter. Appl. envir. Microbiol. 49: 1029-1039.
- Harden Jones, F. R. 1968. Fish Migration. Edward Arnold, London, UK. 325 pp.



- Hecht, T. and S. Appelbaum. 1982. Morphology and taxonomic significance of the otoliths of some bathypelagic Anguilloidei and saccopharyngoidei from the Sargasso Sea. *Helgoländer Meeresunters.*, 35: 301-308.
- Hernández, A., A. Sepúlveda y L. Miranda. 1998. Morfometría y merística del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) a lo largo de Chile. En Arcos, D (ed). Biología y ecología del jurel en aguas chilenas. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, 47-63 pp.
- Herrington W.C, Bearse, H.M. and Firth E.E. 1939. Observations on the life history, occurrence and distribution of the redfish parasite *Sphyrion lumpi*. United States Bureau of Fisheries, Special Report 5:1-18.
- Hilborn, R. 1990. Determination of fish movement patterns from tag recoveries using maximum likelihood estimators. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47:635-643.
- Hoenig, J.M., Barrowman, N.J., Hearn, W.S., Pollock, K.H., 1998. Multiyear tagging studies incorporating fishing effort data. *Can.J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 1465–1466.
- Hormazabal, S., S. Núñez y D. Arcos. 2004a. Mesoscale eddies and pelagic fishery off central Chile (33-40°). *Gayana (Concepción)*, 68 (2): 291-296.
- Hormazabal, S., G. Shaffer & O. Leth. 2004b. The coastal transition zone off Chile. *Journal of Geophysical Research.* 109 (C01021): doi:10.1029/2003JC001956.

http://microwavetelemetry.com/Fish_PTTs/archival.php

http://microwavetelemetry.com/Fish_PTTs/HRarchival_specs.php



<http://www.cpps-int.org/spanish/cientifico/reunion/proteccion Tiburones.htm>

http://www.elanzuelo.com/pesca_basica/marcaje_recaptura.htm

<http://www.hallprint.com/1327/1354.html>

<http://www.lotek.com/freshwater.htm>

http://www.star-oddi.com/Sectors/Fish_and_Marine_Animal_Tagging/Tagging/Fish/

<http://www.wildlifecomputers.com/Satellite%20Tags/PAT.htm>

Hurlbut T. & D. Clay, 1998. Morphometric and meristic differences between shallow- and deep-water populations of white hake (*Urophycis tenuis*) in the southern Gulf of St. Lawrence. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 55 (10): 2274–2282.

Hüssy, K. 2008. Otolith shape in juvenile cod (*Gadus morhua*): Ontogenetic and environmental effects. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 364:35-41.

ICCAT. 2007 (a). Programa año del Atún Rojo (BYP). Resumen ejecutivo. Informe ICCAT 2006-2007:1-5 pp.

ICCAT. 2007 (b). Informe de la reunión de 2007 del grupo de trabajo *ad hoc* de coordinación de marcado. Madrid, 15-16 de marzo de 2007:12 pp

Ihaka, R., Gentleman, R. 1996. R: A language for data analysis and graphics. J. Comput. Graph. Stat. 5, 299-314.

Ihssen, P.E., Booke, H.E., Casselman, J.M., McGlade, J.M., Payne, N.R., Utter, F.M., 1981. Stock identification: materials and methods. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 1838-1855.



- IMARPE. 1980. Informe de evaluación de los recursos pesqueros anchoveta, sardina, jurel y caballa a julio 1980. Inf. Inst. Mar Perú N° 78.
- IMARPE. 1986. Informe del crucero BIC SNP-1 8604-05 y diagnostico de la situación de los recursos pelágicos. Inf. Especial Inst. Mar Perú N° 193.
- IMARPE. 1988. Informe del crucero de evaluación Acústica BIC SNP-1 y BIC Humboldt 8805-06 y diagnostico de la situación de los recursos pelágicos a julio 1988. . Inf. Especial Inst. Mar Perú N° 194
- IMARPE. 1989. Informe del crucero de evaluación Acústica BIC SNP-1 y BIC Humboldt 8907-09 y situación actual de los recursos pelágicos a setiembre 1989. Inf. Especial Inst. Mar Perú N° 195
- Ingram GA. 1987. Haemolytic activity in the serum of trout, *Salmo trutta*. J. Fish Biol. 31(A): 9-17.
- Instituto de Español de Oceanografía. 2002. Boletín informativo N° 62. Artículo: Proyecto TUNASAT: Estudio de las migraciones de Atún Rojo en el Atlántico este y Mediterráneo mediante marcas "Pop-up satellite tags". 4 pp.
- Jolivet A., Pontual H., Garrent F. and M.L. Begout. 2009. Effects of T-bar and DST Tagging on Survival and Growth of European Hake. In Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices. Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries Ed Springer. Vol 9. 181-194.
- Jones, C.M., and Chen, Z. 2003. New techniques for sampling larval and juvenile fish otoliths for trace-element analysis with laser-ablation sector-field inductively-coupled plasma mass spectrometry (SF-ICP-MS). In The Big Fish Bang: Proceedings of the 26th Annual Larval Fish Conference.



Edited by H.I. Browman, and A.B. Skiftesvik. Institute of Marine Research, Bergen, Norway. pp. 431-443.

Jordan, R., Csirke, J., Tsukayama, I. 1978. Situación de los recursos anchoveta, sardina, jurel y caballa a junio 1978. Inf. Inst. Mar Perú N° 56.

Kalchugin, P.V. 1992. The population structure of the peruvian jack mackerel. Soviet Journal of Marine Biology 17: 95-100.

Kasapidis P. & Magoulas A. 2008. Development and application of microsatellite markers to address the population structure of the horse mackerel *Trachurus trachurus*. Fisheries Research 89: 132–135.

Kaatari S & R Tripp. 1987. Cellular mechanisms of glucocorticoid immunosuppression in salmon. J. Fish Biol. 31(A): 129-132.

Khattree, R, and Naik, D.N. 1999. Applied multivariate statistics with SAS® software, second edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

Khattree, R, and Naik, D.N. 2000. Multivariate data reduction and discrimination with SAS® software. SAS Institute Inc, Cary, North Carolina.

Kotenev, B.N., Kukhorenko, K.G., Glubokov, A.I. (2006). Main results of the Russian multidisciplinary ecosystem research, and exploratory fish-finding of concentrations of hydrobionts and their fisheries development in the south Pacific. Moscow: VNIRO. 37 p.

Koval, L.I., 1984. Intraspecific differentiation of the jack mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) by esterase phenotype. In: Batalyants, K.Ya. (Ed.) Infra-specific differentiation of commercially valuable marine fish and invertebrates. Atlantic Research Institute of Fisheries & Oceanography, Kaliningrad: 1-109.



- Koval, L.I., Gordev, V.A. 1987. Intraspecific structure of the jack mackerel, *Trachurus murphyi* Nichols, in open waters of the southeastern part of the Pacific Oceans. In: Parasitology and pathology of marine organism. Atlantic Research Institute of Fisheries & Oceanography, Kaliningrad:87-89.
- Kruskal JB, Wish M (1978) Multidimensional scaling. Sage Publications, Beverley Hills
- Kuehl, R. O. 1994. Statistical principles of research design and analysis. Duxbury Press, Belmont, California.
- Kuznetsov, A.N. 1994. Pesca comercial del jurel peruano y su efectividad económica. En: Biología y pesca comercial del jurel en el Pacifico Sur. (Eds) D. Arcos y A. Grechina. 1994: 195-202.
- Larsson A & R Fänge. 1977. Cholesterol and free fatty acids (FFA) in the blood of marine fish. Comparative Biochemistry and Physiology 57B:191-196.
- Leth, O y G Shaffer 2001. A numerical study of seasonal variability in the circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. 106 (C10): 22229-22248.
- Lillo, S., Guzmán, O., Pineda, P., Castillo, J., Rodríguez, L. 1983. Estudio de los recursos pelágicos zona norte – 1983. CORFO. Gerencia de Desarrollo. IFOP. 46 p + anexos.
- Lillo, S., Guzmán, O., Pineda, P., Rodríguez, L. 1984. Estado de situación de las pesquerías pelágicas 1983. Cuantificación de la abundancia de recursos pelágicos. II zona centro sur (Coquimbo – Pta. Nugurne). CORFO, IFOP, 21 p. + anexos



- Lillo S. y Espejo, M. 1991. Distribución y abundancia de sardina, jurel, anchoveta y caballa en primavera de 1991. En: Evaluación directa de recursos pelágicos y Vigilancia Bio-oceanográfica. Zona Norte. Informe de Proyecto. Inst. Fom. Pesq. Santiago, Chile, pp. 57-81.
- Litt, M. & A. Luty. 1989. A hypervariable microsatellite revealed by in vitro amplification of a dinucleotide repeat within the cardiac muscle actin gene. *Am. J. Hum. Genet.* 44: 397 – 401.
- Lorbacher K., Dommenget D., Niiler P.P., Köhl A. (2005) Ocean mixed layer depth: A subsurface proxy of ocean-atmosphere variability. The ECCO Report Series. Report Number 38, May 22, 2005, 60 p.
- Luikart, G. L., W. B. Sherwin, B. M. Steele, and F. W. Allendorf. 1998. Usefulness of molecular markers for detecting population bottlenecks via monitoring genetic change. *Molecular Ecology* 7, 963-974.
- Lutcavage M., Brill R., Skomal G., Chase B., and Howey P. 1999. Results of pop-up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: do North Atlantic bluefin tuna spawn in the mid-Atlantic?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 56(2): 173-177.
- MacKenzie K. and P. Abaunza (2005) Parasites as biological tags in (Cadrin, Friedland & Waldman eds) Stock identification methods: applications in fisheries science. 211-226.
- MacKenzie, K. Campbell, P., Mattiucci, S., Ramos, P., Pinto, A.L. & P. Abaunza 2008. Parasites as biological tags for stock identification of Atlantic horse mackerel *Trachurus trachurus* L. *Fisheries Research* 89: 136–145.



- Martínez C., Baros V., Cortés M., Böhm G., Barría P., Blanco J.L., Oliva J., y A. Aranís. 1998. Programa Marcaje de Anchoveta Fase 1: Marcación. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Técnico Fip 96-04: 271 pp.
- Mattiucci S & G. Nascetti 2008. Advances and Trends in the Molecular Systematics of Anisakid Nematodes, with Implications for their Evolutionary Ecology and Host-Parasite Co-evolutionary Processes. *Adv Parasitology* 66:46:148.
- McDaniel, D. 1975. Procedures for the detection and identification of certain fish pathogens. Fish Health Section American Fisheries Society 118 pp.
- McCormick S, J Shrimpton, J Carey, M O'Dea, K Sloan, S Moriyama & B Björnson. 1998. Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma levels of growth hormone, insulin-like growth factor I and cortisol. *Aquaculture* 168: 221-235.
- McGoldrick D. J., Hedgecock D., English L. J., Baoprasertkul P. & Wars R. D. 2000. The transmission of microsatellite alleles in Australian and North American stocks of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): selection and null alleles. *Journal of Shellfish Research*. 19: 779-788.
- Meltzer, E. 2005. Global Overview of Straddling and Highly Migratory Fish Stocks. Conference on the Governance of High Seas Fisheries and the United Nations Agreement. St. John's, Newfoundland and Labrador. May 1-5, 2005.cias.
- Menz, A. 1986. Biomasa y su distribución en el espacio y tiempo. Ecuador. En: Bases Biológicas y Marco Conceptual para el Manejo de los Recursos Pelágicos en el Pacífico Suroriental. Convenio de Cooperación BID/SELA. Doc. De Pesca N° 001. OLDEPESCA. Julio 1986.



- Muck, P., Sanchez, G. 1987. The importance of mackerel and horse mackerel predation for the Peruvian anchoveta stock (a population and feeding model). In: The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change (eds D. Pauly and I. Tsukayama), No. 15. ICLARM Studies and Reviews, Manila, pp. 276–293.
- Muck, P., Sandoval de Castillo, O., Carrasco, S. 1987. Abundance of sardine, mackerel and horse mackerel eggs and larvae and their relationship to temperature, turbulence and anchoveta biomass off Perú, p. 268-275. In D. Pauly and I. Tsukayama (ed.) The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM Studies and Reviews 15, 351 p. Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.
- Murta, A. G., A. Pinto & P. Abaunza 2008. Stock identification of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) through the analysis of body shape. Fisheries Research 89: 152-158.
- Neilson, J. D., G. H. Geen and B. Chan. 1985. Variability in dimensions of salmonid otolith nuclei: implications for stock identification and microstructure interpretation. *Fishery Bulletin* 83: 81-89.
- Nekrasov, V.V., Chur, V.N., Kashirin, K.V., Nesterov, A.A., Nazarov, N.A., Torsomov, D.D. 1994. Distribuci3n del jurel peruano. In D. Arcos, & A. Grechina (Eds.), Biología y Pesca Comercial del Jurel en el Pacífico Sur (pp. 169–173). Concepci3n, Chile: Editorial Aníbal Pinto.
- Nesterov, A. A. & V. N. Church. 2006. El-Niño and distribution Horse mackerel (*Trachurus murphyi*) in the open part (outside 200-mile zone) of the



- south-eastern Pacific Ocean. En: The Humbolt Current System. Climate, Ocean Dynamics, Ecosystem Process and Fisheries. November 27-December 1, Lima, Peru. pp. 216.
- Noble E. & Noble G. 1982. Parasitology “ The Biology of Animal Parasites”. Lea & Febiger. 5ta Edici3n. Filadelfia. 522 pp.
- Núñez, S., J. Letelier, D. Donoso, A. Sepúlveda & D. Arcos. 2004. Relating spatial distribution of Chilean jack mackerel and environmental factors in the oceanic waters off Chile. Pan Ocean Remote Sensing Conference-2004. Remote Sensing of Oceans, Coasts and the Atmosphere: Developments and Applications. Gayana, Vol. 68(2):444-449.
- Núñez, S., Vásquez, S., Ruiz, P., Sepúlveda, A. 2008. Distribution of early developmental stages of jack mackerel in the Southeastern Pacific ocean. Chilean Jack Mackerel Workshop. Santiago – Chile, 30 Junio al 4 Julio. CHJMWS pap #2
- Ñiquen, M. y Peña, C. 2008. Distribution and Concentration of Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*) Related to Oceanographical Features between North Peru to North Chile. Chilean Jack Mackerel Workshop. Santiago – Chile, 30 Junio al 4 Julio. CHJMWS pap #5.
- O’ Connell M. & Wrigth J. 1997. Microsatellite DNA in fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 7: 331-363.
- Oke CS., YC. Crozier, RH. Crozier & RD. Ward. 1999. Microsatellites from a teleost, orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*), and their potential for determining population structure. *Molecular Ecology*, 8: 2141–2152.



- Ojeda P., Poulin E., 2002. Identificación de unidades de stock del jurel (*Trachurus murphyi* Nichols) en el Pacífico Sudoriental mediante análisis de marcadores moleculares. Informe final PUC.
- OLDEPESCA. 1984. Informe Regional Final. Evaluación de los recursos anchoveta, sardina, jurel y caballa en el Pacífico Suroriental. Séptima Reunión del Grupo Técnico Científico. Cooperación Técnica N°ATN/SF-2001-RE, SELA-BID. Informe Regional Final. Perú. 184.
- Oliva M. 1999. Metazoan parasites of the jack mackerel *Trachurus murphyi* Nichols, 1920 (Teleostei, Carangidae) in a latitudinal gradient from South America (Chile and Perú). *Parasites* 6 (3): 223-230.
- Oliva M.E. 2001 Metazoan parasites of *Macruronus magellanicus* from southern Chile as Biological tags. *Journal Fish Biology*. 58: 1617-1622.
- Oliva M y Ballón I. 2002. Parasites of the Chilean hake *Merluccius gayi* as a tool for stocks discrimination. *Fisheries Research* 56: 313-320.
- Oliva M.E., Gonzalez M.T & E. Acuña. 2004 Metazoan Parasite Fauna as Biological Tag for the Habitat of the Flounder *Hippoglossina macrops* from Northern Chile, in a Depth Gradient. *Journal of Parasitology* 90:1374-1377.
- Oliva, M.E. & M. T Gonzalez 2004 Metazoan parasites of *Sebastes capensis* from two localities in northern Chile as tools for stock identification. *Journal Fish Biology* 64:170-175.
- Oliva M.E & M. Sánchez 2005 Metazoan parasites and commensals of the northern Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) as tools for stock identification. *Fisheries Research* 71: 71-77.



- Oliva M.E., González MT y R Castro. 2007 Biodiversity of metazoan parasites in teleost from the Humboldt Current System. 7th International Symposium on Fish parasites Viterbo-Italia. 24-28 septiembre 2007.
- Orrego, H., Machii, T. 1989. Preliminary determination of the spawning season of the Peruvian jack mackerel. J. Tokyo. Univ. Fish. 76(1/2):29-35.
- Orsi, A.O., Whitworth, T., and Nowlin, W.D. 1995. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. Deep-Sea Research 42(5): 641-673.
- Oyarzún, C., Chong, J., Malagueño, M. 1998. Fenología reproductiva en el jurel *Trachurus symmetricus* (Ayres 1855) (Perciformes, Carangidae) en el área de Talcahuano, Chile: 1982-1984. In: Arcos, D. (ed.) Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, p. 67-75.
- Oyarzún, C., J. Chong & M. Malagueño. 1998. Fenología reproductiva en el jurel *Trachurus symmetricus* (Ayres 1855) (Perciformes, Carangidae) en el área de Talcahuano, Chile: 1982-1984. In: Arcos, D. (ed.) Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, p. 67-75.
- Packard TT. 1969. The estimation of the oxygen utilization rate in the seawater from the activity of the respiratory electron transport system in plankton. Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle 155 pp.
- Packard TT. 1985. Measurement of electron transport activity of microplankton. In: Jannasch HW & PLeB Williams (eds.), Advances in Aquatic Microbiology (3). Academic Press, 207-261 pp.



- Packard TT, ML Healy & FA Richards. 1971. Vertical distribution of the activity of the respiratory electron transport system in marine plankton. *Limnol. Oceanogr.* 16: 60-70.
- Parin, N.V. 1984. Oceanic ichthyogeography: an attempt to review the distribution and origin of pelagic and bottom fishes outside continental shelves and neritic zones. *Arch. Fishwiss.* 35:5-41.
- Parin, N. V. 1987. Soviet Oceanic Ichthyology: Achievements and Prospects. *J. Ichth.* 27(6): 39-46
- Parisi-Baradad, V., A. Lombarte, E. García-Ladona, J. Cabestany, J. Piera and Ò. Chic. 2005. Otolith shape contour analysis using affine transformation invariant wavelet transforms and curvature scale space representation. *Marine Freshwater Research* 56: 795-804.
- Parrish, R.H. 1989. The South Pacific oceanic horse mackerel [*Trachurus picturatus murphyi*] fishery. En: Pauly, D, P Muck, J Mende & I Tsukayama (eds). The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18: 321-331. Instituto del Mar del Perú (IMARPE) Callao. Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn. Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.
- Peakall R., y Smouse P.E. 2006. GenAlEx 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*. 6, 288–295.
- Pépin, L., Amigues, Y., Lépingle, A., Berthier, J.L., Bensaïd, A. & Vaiman, D. (1995). Sequence conservation of microsatellites between *Bos Taurus*



(cattle), *Capra hircus* (goat), and related species. Examples of use in parentage testing and phylogeny analysis. *Heredity* 74, 53-61.

Pimentel, R. 1978. Morphometrics: the multivariate analysis of biological data. Ken Vertrees Printer. Santa Maria California, USA. 150 p.

Pizarro, O. 1999. Low frequency fluctuations in the eastern boundary current off south america: Remote and local forcing. Tesis para optar al grado de Ph. D. Earth Sciences Centre, Göteborg, Sweden. 36 pp.

Pontual H., Bertignac M., Battaglia A., Bavouzet G., Moguedet P., Groison A., 2003. A pilot tagging experiment on European hake (*Merluccius merluccius*): methodology and preliminary results Evaluation of Visible Implant Elastomer tags for tagging juvenile gilthead seabream *Sparus auratus* L.; effects on growth, mortality, handling time and tag loss. *Journal of Marine Science* 60: 1318-1327.

Pothin, K., C. Gonzalez-Salas, P. Chabanet and R. Lecomte-Finiger. 2006. Distinction between *Mulloidichthys flavolineatus* juveniles from Reunion Island and Mauritius Island (south-west Indian Ocean) based on otolith morphometrics. *Journal of Fish Biology* 69: 38-53.

Poulin, E., Cardenas, L., Hernández, C.E., Kornfield, I., Ojeda, F.P. 2004. Resolution of the taxonomic status of Chilean and Californian jack mackerels using mitochondrial DNA sequence. *Journal of Fish Biology*, 65: 1160-1164.

Pressa. P; M. Pérez & A. Díaz. 2002. Polymorphic microsatellite markers for blue mussels (*Mytilus* spp.) *Conservation Genetics*. 3: 441- 443.

Quintana CF. 2002. Respuestas neuroendocrinas al estrés en peces teleósteos. *Rev. ictiol.* 10 (1/2): 57-78.



- Quiñones, R., H. Muñoz, R. Serra, S. Nuñez, J. Córdoba y D. Figueroa. 1995. Evaluaci3n hidroacústica de jurel en la zona centro-sur, V a IX Regiones. Informe Final Proyecto FIP-IT/ 94-12
- Rice WR (1989) Analyzing tables of statistical test. *Evolution*, 43, 223-225.
- Ricker, W. E. 1973. Linear regressions in fishery research. *J. Fish. Res. Board Can.* 30: 409-434.
- Rico C., I. Rico & G. Hewitt. 1996. 470 million years of conservation of microsatellite loci among fish species. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 263:549-557.
- Robertson L, P Thomas, C Arnold & J Trant. 1987. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and a disease outbreak. *The Progressive Fish Culturist* 49: 1-12.
- Rodríguez, L., Guzmán, O., Pineda, P. 1983. Estudio de recursos pelágicos. II Prospecci3n zona Constituci3n – Isla Mocha (32°22'S). CORFO, IFOP, 25 p. + anexos
- Roedel, P.M., Fitch, J.E. 1952. The status of the carangid fishes *Trachurus* and *Decapterus* on the Pacific coast of Canada and the United Stated. *Copeia* 1: 4-6
- Rohlf, F. J. and F. J. Bookstein (Eds). 1990. Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop. Ann Arbor, MI: University of Michigan Museums.
- Rojas, R. & N. Silva. 1996. Atlas Oceanográfico de Chile (18°21' S a 50°00' S). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, Valparaíso. 224 pp.



- Saito H., Takeuchi Y. y K. Yokawa. 2004. Vertical Distribution of Atlantic Blue Marlin obtained from pop-up archival tags in the Tropical Atlantic Ocean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 56(1): 201-211.
- Saito, H y K. Yokawa. 2006. Use of pop-up tags to estimate vertical distribution of Atlantic Blue Marlin (*Makaira nigricans*) released from the commercial and research longline cruise during 2002 and 2003. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 59(1): 252-264.
- Sambrook, J.; Fritsch, EF. and Maniatis, T. Molecular Cloning: a laboratory manual. 2nd ed. N.Y., Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. 1659 p. ISBN 0-87969-309-6.
- Sandwell, D. T. & W. H. F. Smith. 1996. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry. Journal of Geophysical Research. 102 (B5): 10039-10054.
- Sankurathri, C.S., Kabata, Z., Whitaker, D.J., 1983. Parasites of the Pacific hake, *Merluccius productus* (Ayres, 1855) in the Strait of Georgia, in 1974–1975. Syesis 16, 5–22.
- Santander, H., Flores, R. 1983. Los desoves y distribución larval de cuatro especies pelágicas y sus relaciones con las variaciones del ambiente marino frente a Perú, 835-867. In: G.D. Sharp and J. Csirke (eds.) Proceeding of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species of Neritic Fish Resources, 18-29 April 1983, San Jose, Costa Rica. FAO Fish Report. N° 291 Vol.3. Rome.
- Schaefer, K. 1991. Geographic variation in morphometric characters and gill-raker counts of yellowfin tuna *Thunnus albacares* from the Pacific Ocean. Fishery Bulletin 89:289-297.



- Schiedek D. 1997. *Marenzelleria viridis* (Verril, 1873) (Polychaeta), a new benthic species within European costal waters. Some metabolic features. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 211: 85-101.
- Schiffman, S.S., Reynolds, M.L., and Young, F.W. 1981. Introduction to multidimensional scaling: Theory, methods, and applications. Academic Press, New York.
- Schneider S., D. Roessli & L. Excoffier. 2000. A software for population genetics data analysis. University of Geneva, Switzerland.
- Schreck C, W Contreras-Sánchez & M Fitzpatrick. 2001. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. *Aquaculture* 197: 3-24.
- Schwartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S., Vasquez, L. 2008. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983-2005. *Progress in Oceanography* 79, 228–237.
- Segura, M., Gutiérrez, M., Castillo, R. 1996. Distribución, concentración y biomasa de los principales recursos pelágicos durante el verano 1996. *Crucero BIC SNP-11 9602-04. Inf. Inst. Mar Perú N° 122*: 9-26.
- Sepulveda A., L. Cubillos, A. Grechina, H. Peña, L. Vilugron, A. Hernandez, L. Miranda, P. Sobarzo, R. Serra, M. Braun, G. Bohm, V. Valenzuela, R. Galleguillos, R. Montoya y R. Quiñones. 1996. Migracion de jurel desde y hacia la ZEE de Chile central. *Informes Tecnicos. FIP/IT N°96-15*, 273.
- 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., 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. Pre-informe Final FIP 2002-12, Instituto de Investigación Pesquera – Instituto de Fomento Pesquero, 176 pp.

Serra, J.R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: G.D. Sharp and J. Csirke (Eds.) Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18 - 29 April 1983. FAO Fish. Rep. 291 (2): 255 - 284.

Serra, J.R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Investigación Pesqueras (Chile), 36: 67-83.

Serra, R., Arancibia, H., Arcos, D., Córdova, J., Muñoz, H., Núñez, S., Olea, J., Paillamán, A., Quiñones, R., Sobarzo, M. 1994(a). Programa para la evaluación del recurso jurel e investigación asociada, años 1991-1992. IFOP-INPESCA, ASIPEs, 110 p. + anexos.

Serra, R., Arancibia, H., Arcos, D., Barbieri, M.A., Blanco, J.L., Córdova, J., Muñoz, H., Núñez, S., Osses, J., Quiñones, R., Robotham, H. 1994(b). Evaluación directa del stock de jurel en la zona centro-sur. FIP 93-02, 148 p. +anexos.

Sievers, H. & N. Silva. 1982. Masas de agua y circulación geostrófica frente a la costa de Chile entre las latitudes 18°S-33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE VII). Ciencia y Tecnología del Mar, CONA. 6: 61-99.



- Silva, N. 1983. Masas de agua y circulación de la región norte de Chile. Latitudes 18°S-32°S. (Operación Oceanográfica MARCHILE XI - ERFEN II). Ciencia y Tecnología del Mar, CONA. 7: 47-84.
- Silva, N. & D. Konow. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición krill. Crucero 3-4. Julio-Agosto 1974. Revista Comisión Permanente Pacífico Sur. 3: 63-75.
- Silva, N. & S. Neshyba. 1979. Masas de agua y circulación geostrófica frente a la costa de Chile austral. Serie Científica, Instituto Antártico Chileno. 25: 5-32.
- Sinclair, M. 1988. Marine Populations. An Essay on Population Regulation and Speciation. Washington Sea Grant Program. Univ. Washington Press, Seattle, Washington, USA. 252 pp.
- Sinclair, M., Illes, T. 1989. Population regulation and speciation in the oceans. ICES J. Mar. Sci., 45: 165–175.
- Smith, K. M. 1992. Regional differences in otolith morphology of the deep slope red snapper *Etelis carbunculus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 795-804.
- Somarakis, S., Palomera, I., Garcia, A., Quintanilla, L., Koutsikopoulos, C., Uriarte, A., Motos, L. 2004. Daily egg production of anchovy in European waters. ICES Journal of Marine Science 61, 944–958.
- SPRFMO 2009. Report of the Science Working Group, Eighth International Meeting. Auckland, New Zealand 2 – 6 November 2009. 62 pág.
- Stebbing ARD. 1981. Stress, Ealth, and homeostasis. Marine Pollution Bulletin 12: 326-329.



- Stepien, C.A., Rosenblatt, R.H. 1996. Genetic divergence in antitropical pelagic marine fishes (*Trachurus*, *Merluccius* and *Scomber*) between North and South America. *Copeia*, 1996(3) 586-598.
- Stramma, L., R. Peterson & M. Tomczak. 1995. The south Pacific current. *Journal Physical Oceanography*. 25: 77-91.
- Stransky C., A. Murta, J. Schlickeisen and C. Zimmermann. 2008. Otolith shape analysis as a tool for stock separation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Northeast Atlantic and Mediterranean. *Fisheries Research* 89, 159–166.
- Strub, P.T., J. Mesías., V. Montecino., J. Rutlland & S. Salinas. 1998. Coastal Ocean Circulation off Western South America, in *The Sea*, Vol. 10, part B. edited by A.R. Robinson and K.H. Brink, 273-314 pp. John Wiley, New York.
- Sun, C., and D. R. Watts, 2002: Heat flux carried by the Antarctic Circumpolar Current mean flow. *J. Geophys. Res.*, 107, 3119, doi:10.1029/2001JC001187
- Tautz D. 1989. Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers. *Nucleic Acids Res.* 17: 6463-6471.
- Taylor, P. 2002. Stock structure and population biology of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. New Zealand Fisheries Assessment Report 2002/21. 78 p.
- TenBruggencate J. 2008. Bluefin. Filling in the blanks. *Tide magazine*. Coastal Conservation Association. Vol. September 2008: 14-19 p.



- Tomczak, M. & J. S. Godfrey. 1994. Regional Oceanography: An introduction. Pergamon Press., London. 422 pp.
- Torres A., Martínez C., Oliva J., y M. Reyes. 1984. Marcación de los recursos sardina española y jurel. Corporación de Fomento de la Producción (Ap 84-40). Instituto Fomento Pesquero. Chile. 35 p + Anexos.
- Torres, G. J., A. M. Lombarte and B. Morales-Nin. 2000. Sagittal otolith size and shape variability to identify geographical intraespecific differences in tree species of the genus *Merluccius*. *Journal Marine Biology*. 80, 333-342.
- Tracey, S. R., J. M. Lyle and G. Duhamel. 2006. Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification. *Fisheries Research* 77: 138-147.
- Trotsenko, B., N. Kukharev & E. Romanov. 2006. Database on ukrainian research of Chilean jack mackerel, *Trachurus murphyi*, in the high seas of the southern Pacific. En: The Humbolt Current System. Climate, Ocean Dynamics, Ecosystem Process and Fisheries. November 27- December 1, Lima, Peru. pp. 216.
- Turan, C. 2000. Otolith shape and meristic analysis of herring (*Clupea harengus*) in the North-East Atlantic. *Arch. Fish. Mar. Res.* 48: 213-225.
- Turan, C. 2004. Stock identification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *ICES J. Mar. Sci.*, 61: 774-781.
- Turan, C., M. Oral, B. Öztürk and E. Düzgüneş. 2006. Morphometrics and meristic variation between stocks of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) in the Black,



Marmara, Aegean and northeastern Mediterranean Seas. Fisheries Research 79: 139-147.

Uriarte A. y P. Lucio 2001. Migration of adult Mackerel along the Atlantic European shelf edge from a tagging experimet in the south of the Bay of Biscay in 1994. Fish. Res. 50: 129-139.

Valdivia, I, Chavez R and M E. Oliva 2007 Metazoan Parasites of *Engraulis ringens* as tools for stock discrimination along the chilean coast. Journal Fish Biology 70: 1504-1511.

Valdivia, J., Zuzunaga, J., Benites, C. 1983. Informe de la operación EUREKA XLIV. 23-26 setiembre 1980. Inf. Inst. Mar Perú N° 80.

Van Oosterhout, C., W.F. Hutchinson, D.P.M. Wills, and P. Shipley. 2004. MICRO-CHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. Mol. Ecol. Notes 4: 535–538.

Venables, W.N. y Ripley, B.D., 2002. Modern Applied Statistics with S, 4th ed. Springer-Verlag, New York.

Vetter R, E Lynn, M Garza & A Costa. 1994. Depth zonation and metabolic adaptation in Dover sole *Microstomus pacificus*, and other deep-living flatfishes: factors that affect the sole. Marine Biology 120:145-159.

Vilchez, R., Zuzunaga, J., Peña, N., Calienes, R., Cárdenas, G., Ñiquen, M., Antonietti, E., Carrasco, S., Sánchez, G. 1991. Evaluación de los recursos pelágicos en la costa peruana. Cruc. Eval. Acus. BIC Humboldt 9002-04. Inf. Inst. Mar Perú N° 101.

Vinogradov M.E., Shushkina, E. A. and S.A. Evseyenko 1990. Plankton Biomass and Potential Stocks of the Peruvian Jack Mackerel in tije Southeastern



Pacific Subantarctic Zone originally published in Voprosy ikhtiologii 30(6): 1036-1040. transl Scripta Technica, inc.

Von Ihering H. V. 1891. On the ancient relations between NewZeland and South America. Transactions and proceedings of the New Zealand Institute, 24: 431-445.

Walli A., Teo,S., Boustany, A., Farwell, C., Williams, T., Dewar, H., Prince, E. y B. Block. 2009. Seasonal movements, aggregations and diving behavior of Atlantic Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) revelead with archival tags. PLoS ONE 4(7): e6151.doi:10.1371/journal. Pone.0006151.

Ward, R. D. 2000. Genetics in fisheries management. Hydrobiologia 420: 191-201.

Ward, R. D., M. Woodwark & D. O. F. Skibinski, 1994. A comparison of genetic diversity levels in marine, freshwater and anadromous fish. J. Fish Biol. 44: 213–232.

Ward, R., A. Appleyard, K. Daley & A. Reilly. 2001. Population structure of pink ling (*Genypterus blacodes*) from south–eastern Australian waters, inferred from allozyme and microsatellite analyses. Mar. Freshwater Res. 52: 965–973.

White, G.C. 1983. Numerical estimation of survival rates from bandrecovery and biotelemetry data. J. Wildl. Manage. 47: 716-728.

Winter A., Foy R. and M. Trussell. 2007. Factors influencing the mortality of tagged walleye pollock captured using a trawl net. NPRB Project 506 Final Report Fishery Industrial Technology Center, SFOS, University of Alaska-Fairbanks. P 23.



- Williamson KS., JF. Cordes & B. May. 2002. Characterization of microsatellite loci in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and cross-species amplification in other salmonids. *Molecular Ecology Notes* 2:17-19.
- Winans, G. 1987. Using morphometric and meristic characters for identifying stocks of fish. National Marine Fisheries Service Northwest and Alaska Fisheries Center. NOAA Technical Memorandum NMIS- SEFC. 199: 25-62.
- Wood CM, JD Turner & MS Graham. 1983. Why do fish die after severe exercise?. *J. Fish. Biol.* 22: 189-201.
- Xiao, Y. 1996. A framework for evaluating experimental designs for estimating rates of fish movement from tag recoveries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 1272-1280.
- Yamashita, H. and N. Miyabe. 2001 Report of bluefin tuna archival tagging conducted by japan in 1999 in the adriatic sea. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.* 52(2):809-823.
- Zane L., Bargelloni L. & Patarnello T. 2002. Strategies for microsatellite isolation. A review *Molecular Ecology.* 11: 1-16.
- Zar J. 1996. Biostatistical analysis. 3rd edition . Prentice Hall EE.UU , New Jersey, 662 pp + 205 app.
- Zuzunaga, J., Vilchez, R., Peña, N., Calienes, R., Cárdenas, G., Ñiquen, M., Carrasco, S., Gómez, O., Sánchez, G. 1991. Evaluación de los recursos pelágicos: anchoveta, sardina, jurel y caballa en primavera 1989. *Cruc. Eval. Acus. BIC Humboldt* 8911-12. *Inf. Inst. Mar Perú* N° 100.

A N E X O S

A N E X O 1

Isolation and characterization of microsatellite loci for the jackmackerel (*Trachurus murphyi* Nichols, 1920)

Cristian B. Canales-Aguirre Æ Sandra Ferrada Æ

Ricardo Galleguillos

TECHNICAL NOTE

Received: 4 February 2009 / Accepted: 15 April 2009

_ Springer Science+Business Media B.V. 2009

Isolation and characterization of microsatellite loci for the jack mackerel (*Trachurus murphyi* Nichols, 1920)

Cristian B. Canales-Aguirre · Sandra Ferrada ·
Ricardo Galleguillos

Received: 4 February 2009 / Accepted: 15 April 2009
© Springer Science+Business Media B.V. 2009

Abstract Eight microsatellite loci were developed for the jack mackerel (*Trachurus murphyi*), a fish of significant commercial importance in the Southeast Pacific. Genetic variation at these loci was examined in 15 samples from the locality of Talcahuano (Chile). All eight were highly polymorphic, with a number of alleles per locus ranging from 4 to 22 and an observed heterozygosity from 0.429 to 1. These markers will be useful to address issues of population genetics, ecology, conservation and fisheries management related to that species.

Keywords Population genetics · Fishery management · Jurel · *Trachurus murphyi* · Southeast Pacific

Due to its economical importance, the jack mackerel (*Trachurus murphyi*; Nichols 1920) represents one of the most significant resources in the Southeastern Pacific. *T. murphyi* is transzonal. Its distribution ranges from the coasts of Ecuador to the end of Chile in the Southeastern Pacific, and along the New Zealand coasts in the Southwestern Pacific (Serra 1991). Previous genetic studies using allozymes (González et al. 1996) and RFLP (Sepúlveda et al. 1996) have not showed any differentiation across its geographical distribution. In the present study,

we report the isolation and characterization of eighth polymorphic loci for *T. murphyi*. These loci were developed as a study tool useful for the estimation of genetic diversity and population genetic structure in this species, with the goal of providing baseline information for management plans aiming to protect that resource.

High molecular weight DNA was extracted from muscle tissue of ten individuals from both sexes using a phenol/chloroform method (Sambrook et al. 1989). Microsatellite loci were isolated using an enrichment procedure involving magnetic beads (Jones et al. 2002). Briefly, the DNA was partially digested with a cocktail of seven blunt-end restriction enzymes (*Hae*III, *Stu*I, *Eco* RV, *Sca*I, *Bsr* BI, *Pvu*II, *Hiu* CII). Fragments between 300 and 700 bp were selected by gel extraction and ligated to a 20 bp oligonucleotide adaptor containing a *Hind* III restriction site at the 5' end. Microsatellite enrichment was achieved using streptavidin-coated magnetic beads and 5'-biotinylated CA₁₅, ATG₁₂ and CATC₈ oligonucleotide probes. The captured molecules were amplified by PCR using a primer complementary to the adaptor, digested with *Hind* III to remove the adaptor, and ligated into the *Hind* III site of the pUC19 vector. The plasmids were then electroporated into *Escherichia coli* DH5. Recombinant clones, identified by blue-white selection, were chosen arbitrarily for sequencing on an ABI 377 using the Big Dye Terminator Cycle Sequencing methodology (Applied Biosystems). Specific primers flanking the identified microsatellite sequences were designed using Designer PCR version 1.03 (Research Genetics) (Table 1). The microsatellite loci were amplified in 10 µl reactions containing 1 × PCR buffer, 2 mM MgCl₂, 0.2 mM forward primer (fluorescently labeled), 0.2 mM reverse primer, 200 mM dNTPs, 0.03 U/µl Taq DNA polymerase (Invitrogen®), and 20 ng of genomic DNA template. PCR was performed in a PTC-200 (MJ Research)

C. B. Canales-Aguirre (✉) · S. Ferrada · R. Galleguillos
Laboratorio de Genética y Acuicultura, Departamento de
Oceanografía, Universidad de Concepción, Casilla 160-C,
Concepción, Chile
e-mail: cristiancanales@udec.cl

C. B. Canales-Aguirre · S. Ferrada
Programa de Doctorado en Sistemática y Biodiversidad,
Departamento de Zoología, Universidad de Concepción,
Casilla 160-C, Concepción, Chile

Table 1 Characteristics of the microsatellite loci isolated for the jack mackerel (*Trachurus murphyi*)

Locus	Primer sequence (5'–3')	Repeat unit	Size range	N_a	H_o	H_e	F	H & W	Genbank
TmurA101	F: ACTCCAGAGATAAAGGCAACAC R: TGGGTAATAGTCAGTTCACAGC	CA ₍₄₅₎	158–198	14	0.733	0.891	0.177	0.152	FJ666131
TmurA104	F: ACCTGAGGGAGCAGAAAC R: TGCCATCTAACATTACTGTCAC	TG ₍₂₃₎	159–203	17	1.000	0.929	–0.077	1.000	FJ668657
TmurA115	F: GTCAGTGGAGCAATCAATAGAC R: TGCAATGTTACATGACTCAGAG	TG ₍₂₈₎	157–227	22	0.857	0.946	0.094	0.050	FJ668658
TmurB2	F: AATCTTCACGTCACATAAACAC R: TCGACACTGTTGAGTCATC	TG ₍₅₎ AG ₍₂₎ TG ₍₅₎	139–151	5	0.429	0.702	0.389	0.083	FJ668659
TmurB6	F: CAACGGCTCCAGTCAGAG R: GAGGCTCAATGAAGGGTAGC	CA ₍₁₃₎	163–208	9	0.786	0.852	0.078	0.354	FJ668660
TmurB104	F: TGAAGCACAAGTTTCCAAATC R: AAAGGTCAGAGAGAGAACAACG	ATC ₍₁₄₎	147–168	7	0.467	0.724	0.356	0.044	FJ668661
TmurB116	F: CTCTCGTCTTCATTGAGGTCAC R: AAGTCGTCTGACTCATCTGTGC	ATC ₍₇₎	127–142	4	0.533	0.429	–0.244	1.000	FJ668662
TmurC4	F: TGAATGCTCTCCAGATGAATAC R: GCAAACACTTTCTCCTCAGATT	CATC ₍₉₎	225–281	9	0.867	0.811	–0.068	0.987	FJ688270

The values reported for each marker are the allele size range (in bp), the number of alleles (N_a), the observed (H_o) and the expected (H_e) heterozygosity, the fixation index (F), the P value from the exact test for Hardy–Weinberg equilibrium (H & W) and the Genbank accession number. Values in bold show homozygote excess

thermal cycler with the following parameters: 94°C for 3 min, followed by 35 cycles of 94°C for 40 s, 57°C for 30 s, 72°C for 30 s, and a final extension at 72°C for 5 min. All loci successfully amplified under the same conditions. The PCR products were analysed on an ABI 3330 DNA sequencer. Alleles were scored using Peak Scanner v1.0 (Applied Biosystems), with GS500 (Applied Biosystems) as the internal size standard.

We characterized the polymorphism of each marker in a sample of 15 individuals from the locality of Talcahuano, Chile. We first checked for the potential presence of null alleles using MicroChecker v2.2.3 (Van Oosterhout et al. 2004). The number of alleles (N_a), the expected (H_e) and observed (H_o) levels of heterozygosity were obtained using GENALEX v6 (Peakall and Smouse 2006). Deviations from Hardy–Weinberg equilibrium and gametic disequilibrium between markers were tested using Arlequin v3.01 (Schneider et al. 2000).

Null alleles may be present at four loci, TmurA101, TmurA115, TmurB2 and TmurB104, as suggested by the general excess of homozygotes (Table 1). The number of alleles per locus ranged from 4 to 22, corresponding to markers TmurB116 and TmurA115, respectively, and observed heterozygosity values from 0.429 to 1, for TmurB2 and TmurA104, respectively. Only TmurA115 and TmurB104 showed significant deviation from Hardy–Weinberg equilibrium ($P \leq 0.05$). No pair of loci was found to be in linkage disequilibrium.

These eight microsatellite loci are the first developed for *T. murphyi*. They will be useful in studies related to population genetics, ecology, conservation and fisheries management in that species.

Acknowledgments We thank Claudio Díaz, Andrea Barrera, Mariem Dib, Maritza Seguel for technical support, and Nicolas Gouin for helpful comments and reviewing the English. This work forms part of the FIP 2007-27 project.

References

- González F, Alay F, Cabello J, Chávez R (1996) Definición de unidad de stock desde el punto de vista genético en el recurso jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) Nichols, 1920 (Carangidae, Perciforme). *Gayana (Zool)* 4:183–196
- Jones KC, Levine KF, Banks JD (2002) Characterization of 11 polymorphic tetranucleotide microsatellites for forensic applications in California elk (*Cervus elaphus canadensis*). *Mol Ecol Notes* 2:425–427. doi:10.1046/j.1471-8286.2002.00264.x
- Peakall R, Smouse PE (2006) GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population software for teaching and research. *Mol Ecol Notes* 6:288–295. doi:10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x
- Sambrook J, Fritsch E, Maniatis T (1989) Molecular cloning: a laboratory manual, 2nd edn. Cold Spring Harbor Laboratory Press, USA
- Schneider S, Roessli D, Excoffier L (2000) ARLEQUIN, Version 2.000: software for population genetics data analysis. Genetics and Biometry Laboratory University of Geneva, Geneva
- Sepúlveda A, Cubillos L, Grechina A, Peña H, Vilugron L, Hernández A, Miranda L, Sobarzo P, Serra R, Braun M, Bohm G, Valenzuela V, Galleguillos R, Montoya R, Quiñones R (1996)

- Migración del jurel desde y hacia la ZEE de Chile central. Grant FIP/IT 96-15 (www.fip.cl)
- Serra JR (1991) Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Investig Pesq 36: 67–83
- Van Oosterhout C, Hutchinson WF, Wills DPM, Shipley P (2004) MICRO-CHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. Mol Ecol Notes 4:535–538. doi:[10.1111/j.1471-8286.2004.00684.x](https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00684.x)

A N E X O 2

**Personal participante por actividad
Proyecto FIP N° 2007-27**



PARTE 1: INVESTIGACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE STOCK

COORDINACIÓN DEL ESTUDIO Y OTROS

Personal	Coordinación	Muestreo	Informe
R. Serra	250	90	170

MARCADORES GENÉTICOS

Personal	Coordinación	Procesamiento muestras	Estandarización ADN	Datos microsatélites	Análisis de datos	Informe	Total
Profesionales							
R. Galleguillos	20	0	0	0	25	30	75
S. Ferrada	0	6	6	6	50	15	83
C. Hernández	0	0	0	0	42	16	58
C. Canales	0	100	100	150	50	10	460
Técnicos							
A. Barrera	0	100	200	150	0	0	450

MARCADORES PARÁSITOS

Personal	ACTIVIDAD				Total
	Implementación	Muestreo Chile	Muestreo Perú	Laboratorio	
Marcelo Oliva	10	25	85	110	230
María T. González	10	25	85	80	200
Técnico NN 1	5	105	40	350	500
Técnico NN 2	5	105	40	350	500

MORFOMETRÍA DEL CUERPO

PERSONAL	ACTIVIDADES				Total
	Preparación	Procesamiento	Análisis	Informe	
A. Sepúlveda	40	40	30	16	126
J. Giácaman		145	80	60	285
C. Oyarzún			60	8	68
TOTAL	40	185	170	84	479



MORFOMETRÍA DE OTOLITOS

PERSONAL	Análisis Laboratorio	Análisis información	Informes		Total
F. Cerna	15	95	40		150
V Bocic	22	13	9		44
L. Muñoz	236	64	22		322
A. Villalón	125				125
J.C. Quiroz		29			29
Total	398	201	61		670

PATRONES DE HISTORIA NATURAL

Personal	Recopilación Datos	Análisis	Informe	Total
Profesional				
L. Cubillos	20	72	55	147
M. Pedraza	12	103	5	120
C. Castillo	12	120	5	137
S. Cahuín	66	0	0	66
Técnico				
Técnico NN	351	0	0	351

MARCO OCEANOGRÁFICO

Personal	Recopilación antecedentes	Confección Base Datos	Procesamiento	Informe	TOTAL
Profesionales					
S. Núñez	15	20	35	10	80
S. Hormazábal	30	15	40	20	105
O. Pizarro	15	15	30	10	70
J. Letelier	15	40	40	15	110
Técnicos					
E. Navarro	30	70	60		160
G. Yura	15	30	40		85
Técnico NN		30	40		70
Técnico NN		120	90		210
Total	120	340	375	55	890



PARTE 2: IDENTIFICAR TIPOS DE MARCAS Y EVALUAR SU DESEMPEÑO EN EL JUREL A TRAVÉS DE EXPERIMENTOS CONTROLADOS.

Personal	ACTIVIDADES					Total
	Preparación	Experimentos	Procesamiento	Análisis	Informe	
Profesional						
C. González	165	33	66	132	264	660
C. Gatica					5	5
R. San Martín	20	6	4	20	40	90
P. González	528	704	176	264	88	1760
H. Rebolledo	20					20
Técnico						0
Técnico NN	50	400				450
Técnico NN	50	400				450
TOTAL	833	1543	246	416	397	3435

A N E X O 3

**Fotografías de jurel
morfometría y marcaje
(en CD)**



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



Para visualizar el contenido haga clic sobre la etiqueta

A N E X O 4

**Base de datos
Proyecto FIP N° 2007-27
(en CD)**



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
Sección Ediciones y Producción
Blanco 839, Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl