

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



INFORME FINAL

**PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
Nº 2004-12**

**“EVALUACION DEL RECLUTAMIENTO DE MERLUZA DE COLA
ENTRE LA V Y X REGIONES: REVISIÓN METODOLÓGICA”**

**EJECUTOR: DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**

CONCEPCION, Septiembre de 2005

INFORME FINAL

**“EVALUACION DEL RECLUTAMIENTO DE MERLUZA
DE COLA ENTRE LA V Y X REGIONES: REVISIÓN
METODOLÓGICA”.**

FIP 2004-12

**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**

CONCEPCION, Septiembre de 2005

JEFE DE PROYECTO
BILLY ERNST ELIZALDE

AUTORES

BILLY ERNST
GUSTAVO AEDO
RUBEN ROA
LUIS CUBILLOS
PEDRO RUBILAR
ALEJANDRO ZULETA
LEONARDO CASTRO
MAURICIO LANDAETA

COLABORADORES

ANALIA GIUSSI
OTTO WÖHLER
RENATO QUIÑONES
STEPHANE GAUTHIER

CONCEPCION, Septiembre de 2005

RESUMEN EJECUTIVO

De la revisión bibliográfica se desprende que las especies de los géneros *Merluccius* y *Macruronus* comparten estrategias de historia de vida respecto de dinámica espacial y reproductiva. En general son grupos migradores durante alguno de sus estados ontogenéticos. Tanto de la revisión bibliográfica como del desarrollo de los talleres, se desprende que los factores abióticos de transporte debieran jugar un rol relevante en las fuerzas de las clases anuales. La Corriente de Deriva del Oeste se consideró un forzante físico de importancia, por su directa asociación con uno de los focos importantes de desove. Los resultados del análisis de la data existente sugieren que existe una significativa correlación negativa entre la fuerza de las clases anuales y la posición latitudinal anual promedio de la Corriente de Deriva del oeste (con un desfase de dos años).

Los análisis de la distribución espacio temporal de huevos y larvas señalan: i) no habría desove entre la V a X Región-exterior, ii) habría desoves en toda la zona de los canales entre la X Región (aguas interiores) y la XII Región (hasta casi la latitud 57°S), y iii) que también habría desove en la zona externa adyacente a los canales en la XI Región; iv) adicionalmente, se constata la existencia de al menos dos zonas importantes en términos de abundancia de huevos y larvas en la zona sur-austral: la XI Región (zonas internas y externa de los canales en Agosto) y una zona al norte del Estrecho de Magallanes (en Octubre, Lat. 53°S).

Los análisis de la distribución espacial de la frecuencias de longitudes no permitieron detectar un patrón claro de ingreso de los individuos de merluza de cola a la plataforma sudpatagónica Argentina, pero surgen algunas evidencias que indicarían que la incorporación de reclutas a la plataforma Argentina se produciría desde el sector más austral del Mar Argentino, en latitudes superiores a los 55°S.

Se revisa la hipótesis de migración hacia el norte de la fracción juvenil de merluza de cola en primavera. Para ello se considera que si la flota sigue el

comportamiento migratorio de la fracción juvenil, se espararía que los centroides o centros de gravedad de las capturas migrarían latitudinalmente desde el sur al norte conforme la estación de pesca progresa. No obstante, se encontró que tal comportamiento no es consistente interanualmente, observándose en muy pocos casos de las temporadas de pesca analizadas (1986-2002). Más bien, los centros de gravedad presentan una persistencia intra-estacional. A su vez, los cambios en la dimensión y estructura de la flota podrían estar afectando los resultados, de tal manera que esta información pesquería dependiente no daría cuenta del proceso.

El análisis espacio-temporal de los peces “maduros y en desove”, indica que el proceso de reproducción en merluza de cola ocurre a lo largo de la costa de Chile sobre el talud continental, formándose varias agregaciones de desove con diferencias temporales en su ocurrencia. Esto indica que no existe una sola gran área de desove como se ha postulado, si no que por el contrario se trataría de un proceso de mayor escala espacial, que ocurre en varias áreas a lo largo de su distribución en la costa de Chile. Los resultados encontrados indican que la hipótesis de una sola área reproductiva más que a una realidad obedece a una sobre simplificación del proceso y del ciclo de vida de merluza de cola en Chile. La importancia, relativa de cada una de estas agregaciones no está clara, y es una tarea que debe ser enfrentada con prontitud.

El estudio de la distribución espacio-temporal de la flota en la zona sur-austral encontró evidencia de un claro patrón migratorio de la flota de la PDA con una fuerte componente latitudinal de carácter estacional en torno al caladero de Guablín. Este patrón se observa tanto en la flota de AF como AH, siendo más marcado en la primera debido a la mayor autonomía de estas naves y mayor extensión de su área de operación. Los movimientos migratorios de la flota ocurren a dos escalas diferentes: macro y micro escala. En la macro escala los desplazamientos se relacionarían con factores que determinan la asignación del esfuerzo entre diferentes caladeros que visita la flota a través del año. En la micro escala, los movimientos convergentes y divergentes de la flotas en el cañón submarino de Guablín otorgan

mérito a la hipótesis alternativa de movimientos dispersivos direccionales de carácter local, en lugar del traslado masivo de stock adulto desde zonas alejadas, de la índole que se postula para merluza de tres aletas.

La revisión de enfoques metodológicos empleados para otras especies del género *Macruronus* (Nueva Zelanda, Australia, Chile y Argentina) y *Merluccius* (USA) indican una prevalencia de enfoques indirectos en la estimación de la fuerza de las clases anuales. La diversidad y cantidad de información disponible en cada uno de estos casos de estudio depende de la historia de cada pesquería, habiendo predominancia de evaluaciones hidroacústicas directas sobre el stock desovante, y método de área barrida para juveniles y adultos. Para cada uno de estos stocks se identifica una marcada estructura ontogenética espacial (especialmente para el hoki de Nueva Zelanda). Utilizando el método de área barrida bajo un diseño de muestreo aleatorio bi-etápico estratificado (aplicado en el área del Chatham rise, Nueva Zelanda) y una única plataforma de trabajo, investigadores neocelandeses han podido generar una serie de tiempo de biomasa consistente desde el año 1991 para las edades 1+, 2+ y 3 plus. La primera variable podría considerarse una estimación directa del reclutamiento, pero las tendencias históricas en las fuerzas de las clases anuales terminan siendo obtenidas a través de la integración de múltiples fuentes de información a través de un modelo integrado. Las evaluaciones de stock de la merluza del Pacífico norte (USA-Canada) incorporan una estimación directa del reclutamiento (juveniles 0+) en el área de crianza para esta especie a través de un muestreo de ictioplancton.

Por otra parte, de los análisis exploratorios de los cruceros hidroacústicos y de área barrida de varias especies de merluza (donde la merluza de cola es fauna acompañante u objetivo), podemos indicar que durante el período comprendido entre julio y septiembre encontramos individuos de merluza de cola entre los 34 y 52° S, con mayores proporciones en la captura de los lances exploratorios entre los 43 y 47° S. Por otra parte se indentificaron una gran cantidad de juveniles, tanto en invierno como en verano al interior de los canales de la X y XI región. Esta situación hace

poner en duda el modelo conceptual de una migración masiva de los reclutas hacia la zona centro-sur desde la zona sur-austral y por ende de la consistencia temporal de las evaluaciones directas de los juveniles en la zona centro-sur.

La revisión crítica de las evaluaciones hidroacústicas de 1999 y 2001 indican problemas o deficiencias en varios aspectos, siendo alguno de los más relevantes los siguientes puntos: (1) falta de una determinación apropiada de la zona de muestreo (“zona de reclutamiento”), (2) falta de una correcta caracterización de la disponibilidad del recurso, bajo la hipótesis de una migración trófica; (3) falta de un modelo de fuerza de blanco para la especie, (4) uso de múltiples plataformas de trabajo sin un debido proceso de inter-calibración.

Por otra parte el reanálisis geoestadístico de las evaluaciones de 1999 y 2001, se realizó mediante el ajuste máximo verosímil con una función de correlación espacial Gaussiana. Un segundo reanálisis de la data existente y utilizando métodos tradicionales de estadística espacial (kriging), generan también grandes diferencias en las estimaciones puntuales y niveles de incertidumbre. Estas diferencias fluctúan aproximadamente en un orden de magnitud. Los motivos de tales diferencias son discutidos en la sección resultados.

El análisis comparativo entre las estimaciones directas de biomasa para juveniles (“reclutamiento”) y las provenientes de una calibración indirecta utilizando otras fuentes de información disponible para este recurso, sugiere que habría importantes diferencias entre las abundancias estimadas por estas metodologías. Estos resultados y la información disponible sobre la amplia distribución espacial de grupos juveniles a lo largo de la costa chilena indicarían la necesidad de tratar las estimaciones de biomasa juvenil como índices de abundancia relativa.

A la luz de los resultados de este proyecto se cuestiona fuertemente la utilidad de las estimaciones de biomasa de juveniles (“llamado reclutamiento”) en la zona centro-sur, tanto desde un punto de vista conceptual como técnico. En el plano

conceptual la incertidumbre asociada a la distribución espacio-temporal de los estados ontogenéticos tempranos de este recurso impiden asumir que estas estimaciones constituirán un índice confiable y consistente de abundancia absoluta o relativa. Si se tratase de un índice que requiere la estimación de múltiples selectividades y coeficientes de capturabilidad al interior del modelo de dinámica para su efectiva calibración (situación análoga a la utilizada por Paya et al. 2004), se pone fuertemente en duda su capacidad de entregar información al interior del análisis. Desde un punto de vista técnico quedaron en evidencia tanto problemas metodológicos desde el punto de vista hidroacústico como problemas estadísticos (ver resultados de objetivo 3).

Se plantea la necesidad de revisar la utilidad de las estimaciones del “reclutamiento” de la merluza cola en la zona centro-sur. En los términos básicos de referencia se planteó que la fracción que se hace disponible a la pesquería de cerco en los meses de noviembre y diciembre, representaría el reclutamiento de la merluza de cola, no especificándose si se trata de un reclutamiento biológico o pesquero. La data disponible indica que la fracción que se hace disponible en esa época en la zona centro sur representa una fracción juvenil del stock y con variabilidad interanual en las estructuras de edad. Por otra parte los antecedentes revisados no permiten apoyar directamente la hipótesis de una migración masiva de individuos juveniles de sur a norte en primavera y luego de norte a sur a fines de verano, ni tampoco de verificar la consistencia interanual de la proporción y composición de edades de los juveniles que migrarían desde el sur. En ausencia de esta vital información la utilización posterior de estas estimaciones, en las evaluaciones indirectas, será fuertemente cuestionable y se basará en grandes supuestos espacio-temporales, los cuales no serán validables con la información recolectada.

Teniendo esto en consideración, junto a la revisión bibliográfica de metodologías aplicadas para otras merluzas (especialmente Nueva Zelanda) y las discusiones del segundo taller, se plantea la necesidad de reformular la extensión geográfica de las evaluaciones directas y redirigirlas a múltiples grupos de edad.

Además se plantea la necesidad de considerar metodologías de área barrida en las estimaciones de abundancia para este recurso (metodología amplia y exitosamente utilizada en Nueva Zelanda para la estimación de abundancia de los stocks del Chatham rise y área subantártica, las cuales representan amplias zonas geográficas).

AGRADECIMIENTOS

Deseamos extender nuestros agradecimientos a todas las personas que participaron en los talleres de discusión, a los investigadores del departamento de Oceanografía de la UDEC, IFOP, INPESCA, UACH, FIP, Subpesca y en especial a los Drs. Ana Parma, Analía Giussi, Otto Woehler, Jim Ianelli, Gordon Swartzman y Stephane Gauthier por su su esfuerzo adicional en venir desde el extranjero. Agradecemos además a los señores Ruben Pinochet, Dario Rivas, Jorge Farías e Ignacio Payá por su colaboración en la obtención de la data. Se agradece además al Sr. Renato Quiñones por su colaboración en el análisis de la data de la CDO. Finalmente agradecemos a Luis Hückstädt, Marcelo Feltrim y Andrés Milessi por sus colaboraciones durante los talleres.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-------|
| RESUMEN EJECUTIVO | iv |
| AGRADECIMIENTOS..... | x |
| INDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| INDICE DE TABLAS | xxi |
| INDICE DE ANEXOS..... | xxiii |
| 1 OBJETIVO GENERAL..... | 1 |
| 2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 1 |
| 3 ANTECEDENTES | 2 |
| 4 METODOLOGÍA DE TRABAJO..... | 6 |
| 4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1..... | 6 |
| 4.1.1. Análisis de información del ciclo de vida y reclutamiento de merluza de cola y especies afines..... | 6 |
| 4.1.2. Análisis de hipótesis sobre la regulación del reclutamiento | 9 |
| 4.1.3. Identificación de factores bióticos y abióticos que influyen sobre el reclutamiento de <i>Macruronus</i> | 10 |
| 4.1.4. Relación entre ambiente y reclutamiento | 10 |
| Análisis Exploratorio de Posibles Relaciones entre la Posición Latitudinal de la Corriente de Deriva del Oeste y el Reclutamiento de la Merluza De Cola | 10 |
| 4.1.5. Análisis de la distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile | 13 |
| 4.1.6. Caracterización espacio temporal de la merluza de cola en la costa de Chile sobre la base de las evaluaciones hidroacusticas FIP | 17 |
| 4.1.7. Revisión de la hipótesis de migración estacional del stock adulto..... | 20 |
| 4.1.8. Revisión de la hipótesis de migración de juveniles de merluza de cola hacia el norte..... | 24 |
| 4.1.9. Revisión de la hipótesis de una sola área de desove en la merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i> , Lönnberg) en Chile | 27 |
| 4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2..... | 31 |
| 4.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3..... | 33 |
| 4.3.1. Estimación de densidad y abundancia por un modelo geoestadístico formal de correlación..... | 34 |
| 4.3.2. Estimación de densidad y abundancia utilizando geoestadística tradicional..... | 36 |
| 4.3.3. Diferencias metodológicas con los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21... | 37 |
| 4.3.4. Simulación de cardúmenes de merluza de cola juvenil y cruceros hidroacústicos | 39 |
| 4.3.5. Comparación de metodología directa con la indirecta en el caso de merluza de cola..... | 44 |
| 4.3.6. Aspectos hidroacústicos..... | 52 |
| 4.4. OBJETIVO ESPECIFICO 4..... | 53 |
| 4.5. OBJETIVO ESPECIFICO 5..... | 54 |
| 5 RESULTADOS..... | 55 |
| 5.1. OBJETIVO ESPECIFICO 1..... | 55 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.1.1. | Análisis de información del ciclo de vida y reclutamiento de merluza de cola y especies afines..... | 55 |
| 5.1.2. | Análisis de hipótesis sobre la regulación del reclutamiento | 82 |
| 5.1.3. | Identificación de factores bióticos y abióticos que influyen sobre el reclutamiento de <i>Macruronus</i> | 91 |
| 5.1.4. | Relación entre ambiente y reclutamiento | 96 |
| 5.1.5. | Análisis de la distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile | 97 |
| 5.1.6. | Caracterización espacio temporal de la merluza de cola en la costa de Chile sobre la base de las evaluaciones hidroacústicas FIP | 106 |
| 5.1.7. | Revisión de la hipótesis de migración estacional del stock | 108 |
| 5.1.8. | Revisión de la hipótesis de migración de juveniles de merluza de cola hacia el norte | 114 |
| 5.1.9. | Revisión de la hipótesis de una sola área de desove en la merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i> , Lönnberg) en Chile | 119 |
| 5.2. | OBJETIVO ESPECÍFICO 2..... | 122 |
| 5.3. | OBJETIVO ESPECÍFICO 3..... | 138 |
| 5.3.1. | Análisis geoestadístico basado en la función de verosimilitud | 138 |
| 5.3.2. | Análisis geoestadístico tradicional y comparación con los resultados obtenidos en FIP 1999-06 y FIP 2001-21 | 141 |
| 5.3.3. | Simulaciones de cardúmenes de merluza de cola juvenil y cruceros hidroacústicos | 143 |
| 5.3.4. | Estudio de la cantidad de lances de pesca identificatoria y estudio de la separación de los peces reclutas y reclutados | 144 |
| 5.3.5. | Identificación de las fuentes de incerteza y traslado hacia la estimación final de la biomasa..... | 145 |
| 5.3.6. | Comparación de metodología directa con la indirecta utilizada en el caso de la merluza de cola..... | 150 |
| 5.3.7. | Aspectos hidroacústicos..... | 152 |
| 5.4. | OBJETIVO ESPECÍFICO 4..... | 169 |
| 5.4.1. | Primer taller de trabajo y discusión proyecto FIP n° 2004-12..... | 175 |
| 5.4.2. | Segundo taller de trabajo y discusión proyecto FIP n° 2004-12..... | 190 |
| 5.5. | OBJETIVO ESPECÍFICO 5..... | 216 |
| 6 | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | 219 |
| 7 | CONCLUSIONES | 237 |
| 8 | BIBLIOGRAFÍA | 244 |
| 9 | ANEXOS | 271 |

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Representación esquemática del sistema de corrientes del Pacífico Sur.
- Figura 2. Gráfico de las isolíneas de temperatura superficial. Línea vertical corresponde a los 78°W.
- Figura 3. Distribución de las agregaciones reproductivas y área de desove principal.
- Figura 4. Distribución de tallas en la captura de merluza de cola de la serie 2000-2004.
- Figura 5. Estacionalidad de los desembarques de merluza de cola en la unidad de pesquería pelágica de la zona centro-sur de Chile (promedio del período 1989-2003).
- Figura 6. Distribución de la merluza de cola en aguas del cono sur de América.
- Figura 7. Distribución de los patrones de migración sugeridos para merluza de cola en aguas chilenas, basados principalmente en información de la pesquería sur austral, las zonas de color rojo indican áreas de desove.
- Figura 8. Variación espacial y temporal de los distintos estadios de madurez en hembras de merluza de cola, en las unidades de pesquería V-X y XI-XII.
- Figura 9. Ejemplo de simulaciones de cardúmenes de merluza de cola juvenil.
- Figura 10. Serie histórica de proporciones a la edad en la capturas de las pesquerías CCS y DCS. Diámetro de la circunferencia linealmente dependiente de la proporción a la edad.
- Figura 11. Serie histórica de proporciones a la edad en la capturas de la pesquería DSA. Diámetro de la circunferencia linealmente dependiente de la proporción a la edad.
- Figura 12. Índices relativos utilizados en la calibración del modelo edad estructurado.
- Figura 13. Composición por grupo de edad de las capturas de merluza de cola registradas en la pesquería demersal sur-austral.
- Figura 14. Composición por grupo de edad de las capturas de merluza de cola registradas en la pesquería de cerco centro-sur, durante la temporada de pesca 1989/90 y 1992/93 y en las evaluaciones directas de 1999 y 2001.
- Figura 15. Desembarque mensual de merluza de cola registrado para la pesquería demersal sur-austral y cerco centro-sur durante el período 1985-2002.
- Figura 16. Representación esquemática de la dinámica espacial de merluza de cola en el Pacífico Sur Oriental.
- Figura 17. Composición de la abundancia (línea) y porcentaje (barras) por grupos de edad de merluza de cola (machos) en las evaluaciones directas realizadas en 1999 y 2001.
- Figura 18. Distribución relativa y acumulada de la talla de merluza de cola por sexo para los cruceros hidroacústicos de aguas exteriores (agosto 2003) y aguas interiores (septiembre 2003) en la X y XI regiones.
- Figura 19. Distribución de la captura en número por edades de merluza de cola extraída en el Atlántico Sudoccidental por la flota argentina durante el período 1989-2003.

- Figura 20. Localización de áreas con actividad reproductiva de merluza de cola en el área de distribución Atlántico Sudoccidental.
- Figura 21. Sitios de muestreo y distribución de larvas de “blue granadier” en Australia sur-este, agosto 1993. La abundancia larval es expresada en número por 1000 m³.
- Figura 22. Modelo de dispersión de partículas originadas desde la costa oeste de Tasmania. Las líneas denotan el rango de cobertura de las partículas y su distribución luego de 10, 20 y 30 días de ser originadas.
- Figura 23. Mapa de Nueva Zelanda mostrando las principales áreas de distribución de “hoki”, *M. novaezelandiae*.
- Figura 24. Puntos de localización del stock desovante oeste en South Island, Nueva Zelanda.
- Figura 25. Distribución geográfica del género *Merluccius*.
- Figura 26. Capturas mundiales (en toneladas) de especies pertenecientes al género *Merluccius* distribuidas en el mundo.
- Figura 27. Patrones migratorios de “Pacific hake”.
- Figura 28. Ubicación de las zonas de desove de los stocks de “Pacific hake” en aguas interiores.
- Figura 29. Ilustración esquemática de la distribución por grupo de edad de “Pacific hake”. La línea vertical a los 1750 km muestra la ubicación aproximada del límite en las zonas de Estados Unidos y Canadá.
- Figura 30. Área de distribución de los stocks norte y sur de “silver hake” (círculos cerrados y abiertos) en el Atlántico Suroeste. La línea punteada marca el límite entre ambos stocks.
- Figura 31. Distribución de huevos y larvas de “silver hake” sobre la plataforma de Nova Scotia.
- Figura 32. Circulación geostrofica y distribución de “silver hake” sobre la plataforma de Nova Scotia.
- Figura 33. Mapa conceptual de las áreas de desove, crianza y reclutamiento de (a) *M. capensis* y (b) *M. paradoxus* en Africa del Sur.
- Figura 34. Zona Común de Pesca Argentina-Uruguay (en inglés AUCFZ). Los veriles de 50 y 400 m de profundidad corresponden a los límites donde habitualmente se llevan a cabo los cruceros de evaluación del stock norte de *M. hubbsi*.
- Figura 35. Distribución de las áreas de pesca y desove de *M. merluccius* en aguas del noroeste de Africa.
- Figura 36. Distribución de las áreas de desove y crianza de *M. merluccius* en aguas europeas del Atlántico noroeste.
- Figura 37. Proceso de reclutamiento de *M. merluccius* en Bay of Biscay.
- Figura 38. Curvas de mortalidad con y sin el período crítico de la primera alimentación, postulado por Hjort (1914).
- Figura 39. Modelo conceptual de la Hipótesis Match-Mismatch desarrollada por Cushing (1975).
- Figura 40. Acople (√) y desacople (X) entre la abundancia de larvas de bacalao (*Gadus morhua*) en estado de primera alimentación y la abundancia de sus presas (*C. finmarchicus*).

- Figura 41. Relación entre la tasa diaria de mortalidad larval en *Engraulix mordax* y el número de períodos de calma por mes durante la estación de desove.
- Figura 42. Esquema que resume la Hipótesis de la “Ventana Ambiental óptima”.
- Figura 43. Función que relaciona la intensidad de la turbulencia y la anomalía del reclutamiento. Los puntos sobre el eje de las ordenadas indican reclutamientos positivos.
- Figura 44. Turbulencia promedio de Talcahuano y Valparaíso registrada en agosto y su relación con la producción de huevos.
- Figura 45. Relación entre el tamaño del stock desovante y el tamaño del área de retención larval en *Clupea harengus*.
- Figura 46. Relación entre el crecimiento larval y el período de desove.
- Figura 47. Localización de los stocks de *Solea solea* en el Mar del Norte y relación entre el reclutamiento promedio y el tamaño del área de crianza.
- Figura 48. Concentración de huevos de bacalao (número/10 m²) versus tiempo de residencia promedio en el rango de 10-50 m de profundidad.
- Figura 49. Conceptualización del proceso de reclutamiento incluyendo fuentes de nutrición, probables fuentes de mortalidad y los mecanismos hipotéticos de cuatro estadios de vida temprana.
- Figura 50. Serie de tiempo mensual de la PLBCDO entre 1987 y 1996.
- Figura 51. Serie de tiempo mensual de la PLBCDO para todos los años entre 1987 y 1996.
- Figura 52. Correlación entre media anual de la posición latitudinal de la CDO y el reclutamiento de merluza de cola.
- Figura 53. Larvas de merluza de cola, *Macruronus magellanicus*, en la zona interior de los canales de la X-XI Regiones. Oct. XII corresponde a crucero realizado en Octubre en la XII Región. a) abundancia promedio (+ 1 desv. est.). b) abundancia máxima en el crucero (ind x 10 m⁻²).
- Figura 54. Áreas de muestreo de ictioplancton en el Sector Corriente de Humboldt (Regiones V–X) de los proyectos considerados en el presente estudio.
- Figura 55. X Región. Larvas de *M. magellanicus* colectadas en Octubre de 1995.
- Figura 56. XI Región. Huevos de *M. magellanicus* colectadas en diferentes cruceros. a – c): Cruceros en los canales. d) Crucero en aguas exteriores.
- Figura 57. XI Región. Larvas de *M. magellanicus* colectadas en diferentes cruceros. a – e): Cruceros en canales. d) Crucero en aguas exteriores.
- Figura 58. XII Región. Larvas de *M. magellanicus* colectadas en diferentes cruceros.
- Figura 59. Variaciones en la distribución de huevos y larvas de *M. magellanicus* en aguas interiores (a, c y d) y exteriores (b) de la XI región. (a) agosto 2003, (b) septiembre-octubre 1996, (c) noviembre 2002, (d) noviembre 2003.
- Figura 60. Distribución vertical de huevos y larvas de *M. magellanicus* en los canales Ninualac y Darwin de la XI Región durante agosto de 2003.

- Figura 61. Frecuencia de huevos y larvas de *M. magellanicus* colectadas en desde distintas profundidades en los Canales Ninhualac y Darwin Agosto 2003), por rango de temperatura.
- Figura 62. Frecuencia de huevos y larvas de *M. magellanicus* colectadas en desde distintas profundidades en los Canales Ninhualac y Darwin Agosto 2003), por rango de salinidad.
- Figura 63. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicas de merluza común. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 64. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza común. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 65. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza de 3 aletas. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 66. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza de 3 aletas. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 67. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 68. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 69. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 70. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).
- Figura 71. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza del sur/cola.
- Figura 72. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza del sur/cola.
- Figura 73. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza común y merluza de 3 aletas.
- Figura 74. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza de cola.

- Figura 75. Estacionalidad del patrón migratorio de la flota AH observada en la serie 2000-2004.
- Figura 76. Componente latitudinal de desplazamiento de la flota AH.
- Figura 77. Componente longitudinal de desplazamiento de la flota AH.
- Figura 78. Estacionalidad del patrón migratorio de la flota AF observada en la serie 2000-2004.
- Figura 79. Componente latitudinal de desplazamiento de la flota AF.
- Figura 80. Componente longitudinal de desplazamiento de la flota AF.
- Figura 81. Distribución de lances por profundidad al norte del paralelo 48° S, durante junio-septiembre del año 2003. La profundidad media del lance corresponde al promedio de la profundidad mínima y máxima observada.
- Figura 82. Distribución de lances de la flota de la PDA en junio del 2003.
- Figura 83. Distribución de lances de la flota de la PDA en julio del 2003.
- Figura 84. Distribución de lances de la flota de la PDA en agosto del 2003.
- Figura 85. Distribución de lances de la flota de la PDA en septiembre del 2003.
- Figura 86. Distribución de tallas obtenidas durante la pesca de investigación de merluza de cola realizada en julio-agosto del 2004.
- Figura 87. Área de distribución de las capturas de merluza de cola por la flota industrial de cerco en el periodo 1997-2003 (Fuente datos: IFOP). Se sobrepone el área de los cruceros de evaluación de reclutamiento en noviembre de 1999 (FIP 99-09, sólo hasta los 43°S) y el de noviembre-diciembre de 2001 (FIP 2001-21).
- Figura 88. Series de tiempo de la latitud y longitud geográfica de los centros de gravedad de las capturas de merluza de cola. Pesquería pelágica de cerco.
- Figura 89. Distribución mensual de los centroides de distribución de las capturas de merluza de cola en el área de operación de la flota industrial de cerco en la zona centro-sur de Chile.
- Figura 90. Distribución de los centros de gravedad de las capturas de merluza de cola a inicios de temporada (izquierda) y a fines de temporada (derecha, generalmente enero). Los números se refieren a la temporada de pesca.
- Figura 91. Relación entre la latitud a fines de temporada respecto de la latitud observada a comienzos de temporada.
- Figura 92. Relación entre la latitud a inicios de temporada y la latitud observada un mes después (izquierda), y dos meses después (derecha).
- Figura 93. Varianza de los centroides de las capturas de merluza de cola.
- Figura 94. Estructura de tallas de merluza de cola por grados de longitud en la pesquería de cerco de la zona centro-sur (1997-2003).
- Figura 95. Relación entre la presencia-ausencia de juveniles de merluza de cola en función de la latitud (LAT) y la profundidad del lance (PROFREL). El efecto se analiza con un modelo

GAM (familia binomial, enlace logit), con estructura idéntica al modelo 2 para facilitar la interpretación de los efectos parciales.

- Figura 96. Relaciones entre la probabilidad esperada de presencia de juveniles de merluza de cola en función de la latitud y la profundidad del lance (Noviembre de 1999, datos FIP 99-06).
- Figura 97. Relación entre la talla de merluza de cola en función de la latitud y la profundidad del lance.
- Figura 98. Variación espacial del estadio maduro y en desove de merluza de cola, para datos correspondientes a los años 2000 a 2004. (Latitud y Longitud en grados)
- Figura 99. Agregaciones de peces maduros y en desove asociadas a los cañones submarinos en el sector de Chiloé y Península de Taitao, inferida desde los datos del seguimiento de las pesquerías, para los años 2000 a 2004.
- Figura 100. Variación mensual de los individuos maduros y en desove de merluza cola, sin diferenciar años, a partir de los datos recopilados en los programas de seguimiento de la pesquería de merluza de cola en las Unidades de Pesquería V-X y XI–XII, en el periodo 2000 a 2004.
- Figura 101. Areas donde se evalúa la abundancia de Hoki a través de hidroacústica (círculo) o área barrida (cuadrado). (Figura modificada de Livingston y Schofield, 1997).
- Figura 102. Regiones Southland y Sub-Antarctic donde se realizan evaluaciones con método de área barrida para estimar abundancia de hoki (Ex: O’Driscoll y Bagley 2003).
- Figura 103. Estratos muestreados durante los cruceros hidroacústicos para las áreas Cook Strait (A) y WCSI (B).
- Figura 104. Area de distribución del hoki de Australia. (Ex: Punt et al 2001).
- Figura 105. Area de distribución de los lances de evaluación hidroacústica para el stock desovante de la costa de Tasmania (Australia).
- Figura 106. Area de desarrollo de los cruceros de evaluación mediante el método de área barrida en la plataforma Argentina (Ex: Wöhler y Giussi 2001).
- Figura 107. Modelo conceptual de la distribución espacio temporal de la población de merluza del pacífico norte (Ex: Saunders & McFarlane 1997).
- Figura 108. Transectas del muestreo hidroacústico trienal para la merluza del pacífico norte (Ex: Helser et al 2004).
- Figura 109. Estaciones regulares de muestreo para la estimación directa del reclutamiento de la merluza del pacífico. (Ex: Sakuma y Ralston, 1997).
- Figura 110. Distribucion de frecuencia de las observaciones crudas de densidad positivas. En el panel correspondiente a 2001 sin transformar a logaritmo, se indica una unica observacion de 399000 g/m².
- Figura 111. (a) 1999, (b) 2001. Diseño de muestreo en transectas (lineas rojas), observaciones de merluza de cola (circulos azules con tamaño proporcional a densidad observada, y polígono de estimación de biomasa bajo el escenario b).

- Figura 112. (a) 1999, (b) 2001. Variogramas direccionales para la densidad de merluza de cola transformada a logaritmo, demostrando ausencia de evidencia de anisotropía.
- Figura 113. Datos crudos de variograma y modelo de variograma ajustado por máxima verosimilitud. (a) 1999, (b) 2001.
- Figura 114. Reconstrucción del proceso espacial Gaussiano descrito por la merluza de cola juvenil mediante kriging puntual ordinario usando todos los datos para la interpolación en cada punto. (a) 1999, (b) 2001.
- Figura 115. Distribución de frecuencia de la biomasa verdadera en las simulaciones del proceso espacial descrito por la merluza de cola juvenil según los parámetros estimados para los datos del proyecto de 2001.
- Figura 116. Distribución de frecuencia del primer transecto elegido al azar entre las primeras 27 filas de la grilla que describe aproximadamente la geografía de la zona cubierta en el proyecto de 2001. Válido para ambos diseños de muestreo, sistemático y adaptativo.
- Figura 117. Distribución de frecuencia de la cobertura latitudinal en el diseño de muestreo adaptativo aplicado sobre las simulaciones del proceso descrito por la merluza de cola juvenil.
- Figura 118. Distribución de frecuencia del sesgo en la estimación de biomasa para ambos tipos de diseño muestral: sistemático y adaptativo.
- Figura 119. Estimaciones de biomasa para el reclutamiento calculado entre las edades 2 y 4 (A1), 2 y 6 (A2) y en función de las ojivas de selectividad estimadas para los años 1999, 2001 y 2003 (A3).
- Figura 120. Estimaciones de biomasa para el reclutamiento calculado entre las edades 2 y 4 (B1), 2 y 6 (B2) y en función de las ojivas de selectividad estimadas para los años 1999, 2001 y 2003 (B3). La distribución posterior de la biomasa de reclutas esta representada como percentiles del 2.5 (línea punteada), 50 (línea gruesa) y 97.5% (línea punteada). Puntos grises representan las evaluaciones directas.
- Figura 121: Estimaciones de biomasa para el reclutamiento calculado entre las edades 2 y 4 (C1), 2 y 6 (C2) y en función de las ojivas de selectividad estimadas para los años 1999, 2001 y 2003 (C3). La distribución posterior de la biomasa de reclutas esta representada como percentiles del 2.5 (línea punteada), 50 (línea gruesa) y 97.5% (línea punteada). Puntos grises representan las evaluaciones directas.
- Figura 122. Ejemplo de intercalibración (Resultados barco B = Resultados Barco A + factor de corrección). [Vessel B results = Vessel A results + correction factor]
- Figura 123. A) Posición geográfica de los lances de pesca realizados por la flota comercial durante el año 2003 al sur de los 48°S, en los que se capturó la merluza de cola. B) Posiciones de los lances realizados por trimestre. Los puntos negros indican las posiciones de las muestras.
- Figura 124. Distribuciones de longitudes, expresadas en porcentajes de frecuencias, estimadas por grado de latitud.

- Figura 125. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 48° y 48°59'S.
- Figura 126. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 49° y 49°59'S.
- Figura 127. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 50° y 50°59'S.
- Figura 128. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 51° y 51°59'S.
- Figura 129. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 52° y 52°59'S.
- Figura 130. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 53° y 53°59'S.
- Figura 131. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 54° y 54°59'S.
- Figura 132. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 55° y 55°59'S.
- Figura 133. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 56° y 56°59'S.
- Figura 134. Porcentajes de individuos por cuadrícula incluidos en el Análisis de Agrupamiento Jerárquico.
- Figura 135. Asociación establecida a través del análisis de agrupamiento jerárquico en relación a la mayoritaria presencia de individuos menores de 26 cm LT.
- Figura 136. Distribuciones de longitudes de los grupos construidos a partir del Análisis de Agrupamiento Jerárquico.
- Figura 137. Esquematación del posible patrón migratorio de los reclutas de merluza de cola en el sector más austral del Mar Argentino.
- Figura 138. Distribución de frecuencias de longitudes agrupadas por cuadrado estadístico y por mes.
- Figura 139. Posibles áreas de reproducción y cría en el Atlántico. Se indican las dos potenciales áreas reproductivas en el talud: la primera al norte entre los 38°S - 43°S y la segunda al sur en los 55° S, cercana al límite con Chile (Fuente : A. Giussi, taller Proyecto FIP 2004-12, Concepción, Chile).
- Figura 140. Distribución y abundancia de las larvas en el mar territorial Argentino (Fuente: A. Giussi, taller Proyecto FIP 2004-12, Concepción, Chile).

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Proyectos de investigación financiados por el Fondo de Investigación Pesquera (FIP) realizados sobre merluza de cola distribuida en el Pacífico Suroriental.
- Tabla 2. Información biológica y pesquera consultada sobre merluza de cola en el Atlántico Suroccidental.
- Tabla 3. Base de datos de los cruceros FIP hidroacústicos analizados en la caracterización espacio-temporal de la merluza de cola.
- Tabla 4. Flotas y lances realizados.
- Tabla 5. Número de registros por año y mes de la serie analizada 2000-2004.
- Tabla 6. Información disponible para la calibración del modelo edad estructurado de la merluza de cola en aguas chilenas.
- Tabla 7. Ponderadores utilizados en la calibración de modelo edad estructurado por Paya et al. (2004).
- Tabla 8. Ecuaciones de dinámica del modelo edad estructurado y modelos estadísticos utilizados en la estimación de parámetros.
- Tabla 9. Escenarios utilizados en la comparación de las biomásas de reclutas entre lo predicho por el modelo de dinámica poblacional y las estimaciones provenientes de las evaluaciones directas de los años 1999, 2001 y 2003.
- Tabla 10. Sumas de densidades de merluza de cola juvenil a través de las transectas del proyecto FIP 2001-21. En negritas se indican las sumas que son consideradas como indicadoras de un conjunto de cardumenes, o 'hot spot'.
- Tabla 11. Resultados de las diversas estimaciones de densidad media y biomasa de los estudios anteriores (IFOP) y del presente estudio. M. Arit.: media aritmética; D-F Geoest: estimación geoestadística distribution-free; Geoest. Verosim.: estimación geoestadística basado en la función de verosimilitud.
- Tabla 12. Desembarque de *M. magellanicus* por edad y año móvil.
- Tabla 13. Resumen de las correlaciones entre la media anual de la PLBCDO y reclutamiento de merluza de cola.
- Tabla 14. Resumen de las correlaciones entre la media de los meses Jul-Sep de la PLBCDO y reclutamiento de merluza de cola.
- Tabla 15. Proyectos, regiones y meses cubiertos por los distintos proyectos considerados en el presente informe.
- Tabla 16. Lances reportados con captura de merluza de cola y número de lances muestreados, por año y mes, en la Pesquería demersal Centro sur. Resumen de las zonas y metodologías empleadas para evaluar la población de hoki en Nueva Zelanda.

- Tabla 17. Resumen de las zonas y metodologías empleadas para evaluar la población de hoki en Nueva Zelanda.
- Tabla 18. Resumen de los grupos ontogenéticos, ventajas y desventajas de metodologías directas e indirectas en la estimación del reclutamiento.
- Tabla 19. Resumen de los principales supuestos de metodologías directas e indirectas relacionados a la estimación del reclutamiento.
- Tabla 20. Resultados del análisis geoestadístico de máxima verosimilitud.
- Tabla 21.- Resultados de las diversas estimaciones de densidad media y biomasa de los estudios anteriores (IFOP) y del presente estudio. M. Arit.: media aritmética; D-F Geoest: estimación geoestadística distribution-free; Geoest. Verosim.: estimación geoestadística basado en la función de verosimilitud.
- Tabla 22. Proporción de Merluza de cola (en peso) en los lances exploratorios. (Datos: Proyecto FIP 99-06).

INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Figuras.
- Anexo 2. Presentaciones en Power Point.
- Anexo 3. Personal participante por actividad.
- Anexo 4. Apéndice 1. Formulación teórica del modelo geoestadístico basado en la función de verosimilitud.
- Anexo 5. Apéndice 2. Función de R – mcolasim.

1 OBJETIVO GENERAL

Efectuar un análisis crítico del procedimiento (y resultados) tradicionalmente utilizados para evaluar en forma directa el reclutamiento de merluza de cola en la V-X Regiones, a la luz de una revisión metodológica exhaustiva de los métodos internacionalmente empleados para los mismos fines.

2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 4.1. Caracterizar el proceso de reclutamiento de merluza de cola y describir los factores bióticos y abióticos que lo afectan o podrían afectar.
- 4.2. Efectuar una revisión de los métodos de evaluación directa e indirecta del reclutamiento (en forma absoluta o como índices) utilizados internacionalmente, incluido el actualmente empleado en merluza de cola.
- 4.3. Efectuar un análisis crítico de los resultados obtenidos en las evaluaciones directas del reclutamiento de merluza de cola en la zona centro-sur.
- 4.4. Realizar talleres de trabajo y discusión con la participación de expertos internacionales, para analizar la problemática de la evaluación del reclutamiento en merluza de cola.
- 4.5. Proponer y describir el procedimiento más adecuado (directo o indirecto) para evaluar el reclutamiento de merluza de cola en la zona centro-sur, indicando ventajas y desventajas; o, si procede, proponer modificaciones al método actualmente utilizado.

3 ANTECEDENTES

La merluza de cola, *Macruronus magellanicus* Lönnber, 1907 (Orden Gadiformes: Familia Merlucciidae), también conocida internacionalmente como “patagonian/blue grenadier” o “hoki”, es un pez de hábitos pelágicos y demersales que se distribuye en aguas profundas por sobre la plataforma y talud continental de América del Sur entre Chile y Argentina. En el Pacífico Sur Oriental se encuentra entre los 30°S y 57°S (Lillo et al., 1997), mientras que en el Atlántico Sur Occidental habita entre los 33°S y 57°S (Giussi et al., 2002).

A partir de la década de los ochenta se desarrollaron dos pesquerías en torno a este recurso, una pelágica cerquera en la zona centro-sur y una demersal arrastrera en la zona sur-austral. La primera desarrollándose principalmente entre Octubre y Enero, sobre una fracción juvenil-adulta (principalmente edades 3 - 4 - 5) y la segunda sobre el stock desovante (principalmente edades 3 – 10, Paya et al., 2005). La distribución espacio-temporal del recurso, los cruceros de evaluación directa, estudios de estructura genética y el hecho de tratarse de una especie de un grupo filogenético con fuertes migraciones ontogenéticas, llevaron a proponer un modelo conceptual de dinámica espacio-temporal del recurso (Paya et al 2001, Paya et al 2005).

El modelo conceptual considera que existe una agregación reproductiva del stock desovante, principalmente frente a la zona de Guamblín, durante el invierno. La distribución espacio-temporal de estadíos tempranos para esta especie no está bien documentada en la literatura pesquera nacional. El modelo propone que habrían dos tipos de migraciones estacionales, la de los adultos hacia la zona de desove (invierno) y la de los juveniles hacia la zona centro-sur durante primavera y verano. Estos supuestos no se encuentran validados, ni por evidencia directa o indirecta. Investigadores argentinos proponen, por otro lado, que la merluza de cola del Atlántico sur vendrían a desovar a aguas chilenas, desconociéndose el grado de mezcla de estos stocks. Considerando que el modelo conceptual de dinámica es

aquel que sustenta el modelo numérico de evaluación de stock, se propone a través de este proyecto la revisión del modelo conceptual a través de un análisis de las fuentes de información disponibles y discusión a través de talleres de expertos en este recurso.

Para el caso de la migración estacional juvenil hacia la zona centro sur, recogiendo las ideas de la literatura, se plantea para el presente proyecto un análisis de la data de bitácoras de la pesquería pelágica de la zona Centro-Sur para comprobar el previsible desplazamiento que debería mostrar el centro de masa de las operaciones de pesca durante el desarrollo de la temporada. Si la hipótesis es correcta, y los datos lo permiten, deberíamos observar a comienzos de la primavera una mayor concentración del esfuerzo en el extremo sur del área de la pesquería y paulatinamente un desplazamiento hacia el norte a medida que avanza la temporada.

Análogamente a lo propuesto para la sección juvenil, para el stock adulto de merluza de cola, se ha comenzado últimamente a cuestionar la hipótesis de una sola área de desove, al indicarse que no se descarta la presencia de otros focos de desove secundarios en la costa de Chile (Caballero et al, 2003; Tascheri et al., 2003). Sin embargo ésta hipótesis se ha mantenido y ha sido usada por años en la evaluación del recurso (Payá et al.,1999; Payá et al., 2000; Payá y Rubilar, 2000; Payá y Rubilar, 2001; Payá et al., 2003) y en el manejo de las pesquerías en aguas chilenas. Varios aspectos han ayudado a lo anterior: i) el estudio realizado por Galleguillos et al., (1998), quien no encontró diferencias genéticas en merluza de cola en aguas chilenas, indicando que se trata solo de una población genética; ii) la falta de opinión crítica frente al modelo conceptual del ciclo de vida para este recurso, iii) la falta de nuevos análisis y estudios que permitan aportar nuevos antecedentes, y iv) el estancamiento observado en los últimos 10 años en lo que se refiere al conocimiento de aspectos básicos de la biología de estos recursos pesqueros. Una revisión preliminar de la información del año 2001, sugiere la presencia de una importante concentración de peces maduros y desovados al sur de Estrecho de Magallanes, lo que nos ha llevado a plantear dudas acerca de la hipótesis de una sola área desove

debido a que no permite explicar de manera plausible el ciclo de vida y la dinámica poblacional del recurso. Por lo tanto, en el marco de este proyecto analizamos la variación espacial y temporal de los peces maduros y desovados, con la finalidad de poner a prueba la hipótesis de una sola área principal de desove.

En los últimos cuatro años, la reorientación de la explotación de merluza de cola hacia una pesquería de arrastre de media agua, estimulada por asignaciones cada vez mayores de la cuota hacia la flota arrastrera, ha creado condiciones favorables para que un esfuerzo cada vez mayor se dirija hacia este recurso como especie objetivo de las capturas. Este cambio de intencionalidad y la veda estacional de desove que rige en la merluza del sur han vinculado de manera más estrecha el comportamiento de la flota al comportamiento merluza de cola y por tal razón, los registros de bitácoras de pesca de este período reciente al cual se hace referencia, ofrecen la oportunidad de estudiar, espacial y temporalmente, el patrón de comportamiento de la flota como indicador y trazador de la migración reproductiva de los peces adultos.

Las interrogantes sobre migraciones reproductivas y unidad de stock para este recurso también se extienden a una escala mayor. En el Atlántico Sudoccidental, la escasa evidencia en cuanto a la actividad reproductiva y a la imposibilidad de detectar áreas de cría de individuos juveniles de menos de un año de edad que sustenten los elevados valores de biomasa, hace suponer que las migraciones de la especie pueden ser sumamente relevantes, tanto por el número de peces que podrían estar involucrados como por la importancia de los procesos que se llevarían a cabo. Ciertas evidencias demuestran que la especie desarrolla movimientos migratorios cuyo origen y finalidad se desconocen (Giussi, 1996), ya que la localización y dimensiones de las áreas de concentración del recurso suelen variar en el transcurso de las distintas épocas del año. De esta forma se abordó en el presente estudio un análisis detallado de la data Argentina, para poder verificar en que medida la información existente corrobora las hipótesis migracionales que se han planteado.

El presente trabajo integra además valiosa información sobre la distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en el territorio nacional, lo cual contribuye a consolidar el modelo de la actividad reproductiva en la zona sur-austral. Por otra parte se presenta información resumida sobre modelos conceptuales de dinámica espacio-temporal de otras especies del mismo género y además del género *Merluccius*, indicándose además factores abióticos y bióticos que podrían influir sobre la fuerza de las clases anuales de merluza de cola.

El estudio de la dinámica poblacional de este recurso se sustenta sobre distintas piezas de información que se hacen disponibles a través del seguimiento de la actividad pesquera en las zonas centro-sur y sur-austral. Por otra parte se vienen realizando evaluaciones hidroacústicas sobre la biomasa desovante y dos evaluaciones en la zona central. A estas últimas se les denomina *evaluación del reclutamiento*, a pesar de no tratarse ni de un reclutamiento biológico, ni pesquero, ya que integra varios grupos de edad. En la actualidad se ha cuestionado la validez de dichas estimaciones (TBR de este proyecto), por aspectos metodológicos y conceptuales. Esto ha motivado a la revisión y cuestionamiento de los objetivos relacionados con dichas estimaciones (e.g. la utilidad final de dichas estimaciones) y a una revisión detallada de la metodología empleada en otros sistemas para abordar el tema de las estimaciones directas de juveniles. En el presente proyecto se hace una revisión metodológica exhaustiva tanto de un punto de vista estadístico y modelístico, como de las técnicas hidroacústicas empleadas. Adicionalmente se exponen diferentes metodologías empleadas internacionalmente para estimar el reclutamiento, se discuten su potencial uso en torno al sistema de la merluza de cola.

4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Caracterizar el proceso de reclutamiento de merluza de cola y describir los factores bióticos y abióticos que lo afectan o podrían afectar.

4.1.1. Análisis de información del ciclo de vida y reclutamiento de merluza de cola y especies afines

El análisis de la información del ciclo de vida y reclutamiento de merluza de cola distribuida en el Pacífico Suroriental fue obtenida principalmente de informes técnicos correspondientes a proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera (FIP) desde el año 1993 al 2003 (Tabla 1). A su vez, la información de la población de merluza de cola distribuida en el Atlántico Suroccidental fue sustentada en gran parte por informes técnicos elaborados por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP, Tabla 2), Mar del Plata Argentina.

Con el propósito de lograr un mejor entendimiento respecto a la historia de vida de merluza de cola, se realizó una revisión y comparación con los antecedentes reportados para el símil de esta especie en aguas de Australia y Nueva Zelanda, *Macruronus novaezelandiae*, conocido en estas regiones como “blue grenadier” y “hoki”, respectivamente. Complementariamente, se revisó información sobre ciclo de vida y dinámica poblacional para varias especies del género *Merluccius*.

Tabla 1. Proyectos de investigación financiados por el Fondo de Investigación Pesquera (FIP) realizados sobre merluza de cola distribuída en el Pacífico Suroriental.

| <i>Código</i> | <i>Nombre</i> | <i>Autores</i> |
|---------------|---|-----------------------------|
| 93-09 | Evaluación indirecta del stock de merluza de cola en la VIII Región. | Arancibia et al. (1994). |
| 94-32 | Interacciones tróficas en recursos demersales en la zona sur-austral. | Pool et al. (1997). |
| 95-18 | Evaluación directa del stock de merluza de cola entre la X y XI Regiones. | Lillo et al. (1997). |
| 96-19 | Estudio biológico-pesquero de merluza de cola en el área de distribución de la pesquería pelágica centro-sur. | Cubillos et al. (1998). |
| 96-30 | Identificación de unidades de stock en el recurso merluza de cola en el área de distribución de la pesquería. | Galleguillos et al. (1998). |
| 96-37 | Análisis de la pesquería de merluza de cola en la zona sur-austral. | Young et al. (1998). |
| 97-15 | Estudio de crecimiento y construcción de claves talla edad de merluza de tres aletas y merluza de cola. | Ojeda et al. (1998). |
| 99-06 | Evaluación directa de merluza de cola en la zona centro-sur 1999. | Lillo et al. (2000). |
| 2000-15 | Evaluación de merluza de cola y merluza de tres aletas. | Payá et al. (2002). |
| 2001-19 | Evaluación hidroacústica de merluza del sur y merluza de cola, 2001. | Lillo et al. (2002). |
| 2001-21 | Evaluación del reclutamiento de merluza de cola, año 2001. | Barbieri et al. (2003). |
| 2002-19 | Evaluación hidroacústica del stock desovante de merluza del sur y merluza de | Lillo et al. (2003). |

| | | |
|---------|---|----------------------|
| 2003-09 | cola en la zona sur austral, año 2002. Evaluación del stock desovante de merluza del sur y merluza de cola en la zona sur-austral, año 2003. | Lillo et al. (2004). |
|---------|---|----------------------|

Tabla 2. Información biológica y pesquera consultada sobre merluza de cola en el Atlántico Suroccidental.

| <i>Fuente</i> | <i>Nombre</i> | <i>Autores</i> |
|------------------------|--|--------------------------------------|
| Informe técnico INIDEP | Resultados de la primera etapa de la Campaña B/P COALSA SEGUNDO 2001. Prospección pesquera y localización de áreas de reproducción de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) entre 37°15'S y 48°S, en aguas próximas al talud continental. | Scarlato, N.A. & O.C. Wöhler (2001). |
| Informe técnico INIDEP | Evaluación de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) en el Atlántico Sudoccidental, período 1985-2001. | Wöhler et al. (2002). |
| Informe técnico INIDEP | Análisis temporal y espacial del proceso de maduración ovárica de la merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>). | Pájaro et al. (2002). |
| Scientia Marina | Estimated total abundance and number-at-age of longtail hake (<i>Macruronus magellanicus</i>) in the Southwest Atlantic during the years 1987-2000. | Giussi et al. (2002). |
| Informe técnico INIDEP | La pesquería Argentina de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) entre 1995 y 2002, e índices de abundancia derivados de la flota comercial. | Hansen & Wöhler (2003). |
| Informe técnico INIDEP | Evaluación de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) en el Atlántico Sudoccidental, período 1985-2002. | Wöhler & Hansen (2003). |
| Informe | Estimación de la abundancia, estructura de | Giussi et al. (2003a). |

| | | |
|---------------------------|---|-------------------------|
| técnico INIDEP | la población y otros parámetros de interés pesquero de merluza de cola entre 37° y 43° LS durante el otoño. Período 1996-2001. | |
| Informe técnico INIDEP | Informe sobre la campaña de prospección pesquera de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) en el sector externo de la plataforma y talud continental entre 37°15' y 48°00'S en el año 2002. | Giussi et al. (2003b). |
| Informe técnico INIDEP | Análisis de las capturas de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) y su fauna acompañante en el mar Argentino al norte de los 48°S años 1998-2003. | Giussi et al. (2003c). |
| Informe técnico INIDEP | Evaluación de la abundancia de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) en el Atlántico Sudoccidental, período 1985-2003. | Wöhler & Giussi (2004). |
| Informe técnico INIDEP | Parámetros poblacionales de la merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) del Atlántico Sudoccidental. Año 2003. | Giussi (2004). |
| Informe técnico INIDEP | Análisis de la condición de maduración ovárica y talla de primera maduración de merluza de cola (<i>Macruronus magellanicus</i>) en el período agosto-septiembre de 2003. | Pájaro et al. (2004). |

4.1.2. Análisis de hipótesis sobre la regulación del reclutamiento

Con el propósito de entender de mejor manera la dinámica del reclutamiento de merluza de cola en el Pacífico Suroriental es fundamental comprender los mecanismos que probablemente regulan el reclutamiento y el posterior tamaño de las clases anuales.

En esta etapa del estudio será necesario revisar las hipótesis existentes para otras especies y sistemas, incluyendo los procesos que regulan su reclutamiento. Todos estos procesos, tanto físicos como biológicos, se han integrado en múltiples hipótesis que permiten explicar la variabilidad de la fuerza de las cohortes en una población. En el presente estudio se pretende hacer una revisión de las principales hipótesis regulatorias del reclutamiento, tratando de identificar a aquellas que estén más asociadas al género *Macruronus* y que potencialmente afectarían la dinámica del reclutamiento de merluza de cola.

4.1.3. Identificación de factores bióticos y abióticos que influyen sobre el reclutamiento de *Macruronus*

En esta sección se expondrán los antecedentes reportados principalmente en publicaciones científicas sobre factores bióticos y abióticos que se han detectado influyen sobre la variabilidad en la fuerza de las clases anuales en la especie *Macruronus novaezelandiae*, distribuida en aguas de Nueva Zelanda. El propósito de esta revisión es obtener luces de aquellas variables que pudieran estar operando sobre la merluza de cola en aguas del Pacífico Suroriental.

4.1.4. Relación entre ambiente y reclutamiento

Análisis Exploratorio de Posibles Relaciones entre la Posición Latitudinal de la Corriente de Deriva del Oeste y el Reclutamiento de la Merluza De Cola

En la presente sección se explora la relación entre la posición latitudinal de la bifurcación de la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste (PLBCDO) y el reclutamiento de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*).

El anticiclón Subtropical del Pacífico Suroriental (centro de alta presión del Pacífico Sur) constituye el principal agente que modula el clima en esta zona del

Pacífico, conduciendo los vientos a lo largo de la costa de Chile y Perú hacia el Ecuador (Strub et al., 1998). La Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste (CDO) corresponde al borde meridional del giro subtropical el cual posee una circulación anticiclónica permanente en el Pacífico Sur. Esta corriente ocupa los primeros 300 metros de la columna de agua y se aproxima desde el oeste/nor-oeste hacia el continente sudamericano a una velocidad promedio de 5-9 cm s⁻¹ entre los 35° y 48°S centrándose alrededor de los 42°S (Nuñez, 1996; Leth & Shaffer, 2001). En esta zona la CDO se bifurca a una distancia de 30 millas de la costa (Figueroa & Dávila, 2000) originando dos grandes ramas. Una rama fluye en dirección al sur hacia el Paso de Drake y se denomina Corriente del Cabo de Hornos (CCH), y la segunda fluye hacia el norte a lo largo de la costa del continente sudamericano, conocida como la Corriente Chile-Perú (CCP; Reid, 1965; Silva & Neshyba, 1977; Reid, 1997; Figura 1).

La posición latitudinal de la bifurcación de la CDO (i.e. PLBCDO) depende del patrón de vientos locales, los cuales a su vez dependen de la interacción entre el Anticiclón del Pacífico-Sur y las Bajas Sub-polares (Nuñez, 1996). El sector de bifurcación de la CDO y de choque con el continente coincide con la zona de máxima intensidad de desove de merluza de cola (44° - 47°S) (Rubilar et al., 2001). Es necesario señalar, que recientes investigaciones han demostrado el efecto que la posición latitudinal de la bifurcación de la CDO (i.e. PLBCDO) tiene efectos sobre la disponibilidad y rendimientos de pesca (CPUE) del jurel en la zona centro-sur de Chile (Quiñones & Montes, 2004). En este contexto, se propone analizar en forma preliminar y cuantitativa la relación entre la posición latitudinal de la bifurcación de la CDO (i.e. PLBCDO) y el reclutamiento de la merluza de cola. Para llevar a cabo este objetivo, debemos señalar que la Universidad de Concepción posee las bases de datos de la posición latitudinal de la bifurcación de la CDO (i.e. PLBCDO) y que como se señala con anterioridad fue utilizada por Quiñones & Montes (2004) al analizar su relación con la disponibilidad de jurel en la zona centro sur.

Metodología

PLBCDO

Se utilizaron datos mensuales de las temperaturas superficial del mar (TSM) entre los años 1987 y 1996, obtenidas desde el servicio de sistemas integrados del océano global (Integrated Global Ocean Services System, Joint WMO/IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology Products Bulletin Data Products). Las imágenes satelitales de la TSM se utilizaron para calcular una variable “proxy” de la PLBCDO a escala mensual, identificando la latitud para la cual las isolíneas de temperatura se dividen o bifurcan al alcanzar la longitud de 76 °W (Figura 2).

Reclutamiento

Las estimaciones de reclutamiento a la edad 1 fueron obtenidas de la calibración del modelo edad estructurado de Paya et al. (2004).

Correlaciones

Análisis de correlación simple entre el reclutamiento y la latitud de la PLBCDO fueron realizados considerando dos factores:

- a) Promedio anual de la posición de la CDO y promedio en el período reproductivo de la merluza de cola (Julio-Septiembre).
- b) Año de desfase entre la serie de tiempo del promedio de la CDO y el reclutamiento biológico de la merluza de cola.

4.1.5. Análisis de la distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile

La información existente sobre ubicación de zonas de desove y crianza de *M. magellanicus* en nuestro país así como de estacionalidad reproductiva, es limitada y se encuentra dispersa en informes técnicos y bases de datos, en algunos casos, de creación reciente o incluso aún no disponible al público en general. Con el objetivo de mejorar el entendimiento de los procesos que afectan la dinámica del reclutamiento de la merluza de cola, *Macruronus magellanicus*, en la zona sur de Chile, la Subsecretaría de Pesca ha solicitado la realización de un estudio (Proyecto FIP 2004-12) que incluye entre sus objetivos un análisis de la información existente sobre posibles zonas de desove de esta especie.

En esta sección del proyecto, consecuentemente, se incluye un análisis de la información disponible de cruceros en que se realizaron estudios de ictioplancton en zonas en que potencialmente pudiera reproducirse esta especie a lo largo de la costa central y sur del país. Para llevar cabo este análisis se han planteado cuatro objetivos:

Objetivos:

1. Determinar los períodos en que mayores abundancias de huevos y larvas ocurren en el ambiente de modo de obtener un indicador independiente de la estacionalidad y duración de la estación reproductiva de *M. magellanicus* en diversas zonas del país.
2. Identificar la ubicación de las principales zonas de desove y crecimiento larval.
3. Describir posibles cambios en la distribución desde el estado de huevo a larvas como indicador de potenciales rutas de migración ontogenética o de zonas de retención de los primeros estadios de desarrollo.

4. Explorar la existencia de algún tipo de asociación o preferencia de los primeros estadios de desarrollo por tipos de ambientes con determinadas características hidrográficas.

Fuentes de información

Las fuentes de información utilizada corresponde principalmente a bases de datos e informes técnicos de proyectos de libre acceso publico (Proyectos FIP, base datos de programa CIMAR Fiordos ubicadas en CENDOC) e información aún no publicada de investigaciones de los miembros del equipo proponente de este proyecto que han desarrollado trabajos de ictioplancton en grandes extensiones de la zona central y sur del país o en algunas series cortas de tiempo en estas zonas. Los proyectos y bases de datos corresponden a los 10 últimos años (1995-2004). Adicionalmente, se revisaron resultados de estudios publicados en revistas científicas nacionales e internacionales (por ejemplo, revistas Ciencia y Tecnología del Mar y revista Investigaciones Marinas, donde están publicadas la mayor parte de los resultados de los crucero CIMAR Fiordos) e información publicada en libros de resúmenes de talleres o congresos nacionales (por ejemplo, resúmenes ampliados de Talleres CIMAR FIORDOS, Congreso de Ciencias del Mar).

Dada la amplia extensión latitudinal en las potenciales ubicaciones de las zonas de desove y debido a sus variaciones latitudinales en características ambientales, los análisis de las bases de datos de los proyectos es realizada tomado en cuenta dos áreas mayores: la zona sur de la Corriente de Humboldt (V a X- exterior Región), y la zona de canales y extremo sur del país (Regiones X- interior a XII Región). Se obtuvo información de 12 proyectos en que se ha reportado data de ictioplancton en la zona entre la V y XII Regiones. Cinco proyectos corresponden a la zona de la Corriente de Humboldt (Regiones V-X interior) y 7 proyectos a la zona más austral (X-interior, XI interior y exterior y XII interior).

Sector Corriente Humboldt: V a X Region (exterior)

Proyecto: **FONDECYT 1990470** “Latitudinal variations in growth rates of larval anchovy *Engraulis ringens* off the Chilean coast: do alternative growth strategies occur?”

Investigador Responsable: Castro, L.

Base datos: Data no publicada

Fecha crucero: Julio a Diciembre 1999 y 2000

Área crucero: Costa frente a Bahía Dichato; 36,5 °S

Número de estaciones: 3-6 estaciones

Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 500 um trama, muestreo integrado oblicuo, hasta 100m

Análisis de muestras ictioplancton: Huevos y larvas analizadas

Proyecto: **FONDECYT 1010900** “Characterization of the three-dymensional current field in the geographical area of the squat lobster population and its implications on the spatial-temporal larval dynamics“

Investigador Responsable: Schneider, W. (Castro, L. Responsable ictioplancton)

Base datos: Data no publicada

Fecha crucero: Noviembre 2001, Marzo 2002

Área crucero: Costa VII y VIII Regiones, 34,5-37°S

Número de estaciones: 66 estaciones

Tipo muestreo ictioplancton: Tucker Trawl, 300 um trama, muestreo estratificado, hasta 100m

Análisis de muestras ictioplancton: Huevos y larvas analizadas

Proyecto: **FIP 96-11** “Áreas de desove de la anchoveta y sardina común en la zona centro sur de Chile“

Investigador Responsable: Castro, L.

Base datos: Data no publicada

Fecha crucero: Agosto a Octubre 1996

Área crucero: Costa central V-X Regiones, 32-40 °S

Número de estaciones: 159 estaciones

Tipo muestreo ictioplancton: Tucker Trawl, 250 um trama, muestreo estratificado, hasta 100m

Análisis de muestras ictioplancton: Huevos y larvas analizadas

Proyecto: **OEA “Monitoreo El Niño”**

Investigador Responsable: Castro, L. (zona sur)

Base datos: Data no publicada

Fecha crucero: Octubre 1997 a Noviembre 1998

Área crucero: Costa frente a Bahía Dichato 36,5°S

Número de estaciones: 2 estaciones

Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 300 um trama, muestreo integrado oblicuo, hasta 100m

Análisis de muestras ictioplancton: Larvas analizadas

Proyecto: **FIP 2004-03** “Estimación de la biomasa desovante entre la V y X Regiones”
Investigador Responsable: L Cubillos (Castro, L. Responsable ictioplancton)
Base datos: Data no publicada
Fecha crucero: Agosto y Septiembre 2004
Área crucero: Costa central V-X Regiones, 33-41,5 °S
Número de estaciones: 295estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 300 um trama, muestreo integrado oblicuo, hasta 100m
Análisis de muestras ictioplancton: Huevos y larvas analizadas

Sector Canales y Fiordos: X a XII Regiones (interior y exterior)

Proyecto: **FIP 96-38** “Evaluación directa del stock desovante de merluza del sur de la zona sur-austral”
Investigador Responsable: Lillo, S.
Base datos: FIP
Fecha crucero: Agosto a Septiembre de 1996
Área crucero: Área externa XI Región
Número de estaciones: 17 estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 300 um trama, muestreo integrado oblicuo, hasta 210m
Análisis de muestras ictioplancton: Huevos y larvas analizadas

Proyecto: **CIMAR 1** “Distribución y abundancia del ictioplancton en la zona sur austral de Chile”
Investigador Responsable: Balbontín, F. & R Bernal
Base datos: Base datos CENDOC
Fecha crucero: Octubre a Noviembre 1995
Área crucero: Canales X y XI Regiones
Número de estaciones: 89 estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 335 um, muestreo integrado oblicuo, hasta 200m
Análisis de muestras ictioplancton: Larvas analizadas

Proyecto: **CIMAR 2** “Área de distribución y abundancia del ictioplancton de los fiordos del sur de Chile entre el Golfo de Penas y Estrecho de Magallanes”
Investigador Responsable: Balbontín, F.
Base datos: Base datos CENDOC
Fecha crucero: Octubre a Noviembre 1996
Área crucero: Canales XII Región hasta Estrecho de Magallanes
Número de estaciones: 71 estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 350um, muestreo integrado oblicuo, hasta 200m
Análisis de muestras ictioplancton: Larvas analizadas

Proyecto: **CIMAR 3** “Distribución y abundancia del ictioplancton en el extremo sur de Chile”

Investigador Responsable: Balbontín, F.
Base datos: Base datos CENDOC
Fecha crucero: Octubre 1998
Área crucero: Estrecho de Magallanes hasta Cabo Hornos
Número de estaciones: 46 estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 350 um, muestreo integrado oblicuo hasta 200m
Análisis de muestras ictioplancton: Larvas analizadas

Proyecto: **CIMAR 4** “Transporte de huevo y larvas de peces en los canales australes”
Investigador Responsable: Balbontín, F.
Base datos: Base datos CENDOC
Fecha crucero: Septiembre a Octubre de 1998 y Febrero a Marzo de 1999
Área crucero: Canales XI Región
Número de estaciones: 37 estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Bongo, 350 um, muestreo integrado oblicuo hasta 200m
Análisis de muestras ictioplancton: Larvas analizadas

Proyecto: **CIMAR 8** “Concentración costa-océano y en profundidad de las áreas y estratos de concentración de ictioplancton en los canales y zona oceánica adyacente”
Investigador Responsable: Castro, L.
Base datos: Data no publicada
Fecha crucero: Agosto 2002
Área crucero: Canales XI Región
Número de estaciones: 79 estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Tucker trawl, 300 um, muestreo estratificado, hasta 150m
Análisis de muestras ictioplancton: Huevos y larvas analizadas

Proyecto: **CIMAR 9** “Variaciones diarias y ontogenéticas en la distribución vertical de estadios tempranos de peces y crustáceos decápodos: consecuencias en el transporte horizontal y/o retención en la zona de los canales, XI Región”
Investigador Responsable: Castro, L.
Base datos: Data no publicada
Fecha crucero: Agosto 2003, Noviembre 2003
Área crucero: Canales XI Región
Número de estaciones: 38 estaciones
Tipo muestreo ictioplancton: Tucker trawl, 300 um, muestreo estratificado, hasta 150m
Análisis de muestras ictioplancton: Huevos y larvas analizadas

4.1.6. Caracterización espacio temporal de la merluza de cola en la costa de Chile sobre la base de las evaluaciones hidroacusticas FIP

La caracterización espacio-temporal de la merluza de cola a lo largo del litoral de la costa de Chile ha sido escasamente documentada en la literatura científica. El modelo conceptual que sustenta el modelo de dinámica poblacional de la evaluación indirecta descrito en el proyecto FIP 2000-15 indica la presencia de una agregación reproductiva anual en torno a la isla Guamblin durante el período invierno-primavera y una masiva migración de juveniles hacia la zona centro-sur durante el verano de cada año. Esta hipótesis descansa principalmente en la gran disponibilidad de juveniles en la pesquería pelágica de la zona centro-sur. El reciente desarrollo de una pesquería demersal en zona centro-sur indicó la presencia de un stock demersal considerable en esa zona. Por otro parte la gran presencia de juveniles de merluza de cola en la zona de canales tanto en invierno como verano (FIP 2002-07) nos obliga a debatir sobre la validez del modelo conceptual ya descrito. A la luz de estos antecedentes se procedió a investigar la distribución espacio-temporal de la merluza de cola a partir de toda la data disponible y de la estructura de tallas disponible de los lances exploratorios.

En un esfuerzo por recabar y sintetizar la información espacial disponible de merluza de cola en la costa de Chile, se consideró una revisión de todos los cruceros hidroacústicos disponibles de las bases de datos del Fondo de Investigación Pesquera (Tabla 3). Los cruceros dirigidos a merluza de cola cuentan con estimaciones de biomasa provenientes de la hidroacústica e información biológica de los lances exploratorios. Los cruceros dirigidos a otras especies cuentan sólo con información de captura y frecuencia de longitudes para merluza de cola, provenientes de los lances exploratorios hacia otras especies objetivo.

La información fue sintetizada en forma gráfica, tanto para los datos de captura de los lances exploratorios, como las frecuencias de longitudes. Se encontraron algunos problemas técnicos con alguna de las bases de datos. Esto motivó a que no todos gráficos estuvieran disponibles

Tabla 3. Bases de datos de los cruceros FIP hidroacústicos analizados en la caracterización espacio-temporal de las merluza de cola.

| N° proyecto | Nombre Proyecto | Especie Objetivo | MC |
|--------------------|--|-------------------------|-----------|
| FIP 2002-03 | Evaluación hidroacústica de merluza común, año 2002 | Merluza común | No |
| FIP 2001-18 | Evaluación hidroacústica de merluza común, 2001 | Merluza común | No |
| FIP 2000-04 | Evaluación acústica de merluza común en la zona centro-sur, año 2000 | Merluza común | Si |
| FIP 99-04 | Evaluación acústica del recurso merluza común en la zona centro-sur, 1999 | Merluza común | Si |
| FIP 97-12 | Evaluación hidroacústica del stock de merluza común explotado en la zona centro-sur | Merluza común | Si |
| FIP 95-14 | Evaluación hidroacústica del stock de merluza común en la zona centro-sur | Merluza común | No |
| FIP 93-03 | Evaluación directa del stock de merluza común en la zona centro-sur | Merluza común | No |
| FIP 2003-09 | Evaluación del stock desovante de merluza del sur y merluza de cola en la zona sur-austral, año 2003 | Merluza austral | Si |
| FIP 2002-07 | Programa de evaluación hidroacústica temporal de merluza del sur en aguas interiores de la X y XI Regiones, año 2002 | Merluza austral | Si |
| FIP 2002-19 | Evaluación hidroacústica del stock desovante de merluza del sur y merluza de cola en la zona sur austral, año 2002 | Merluza austral | (*) |
| FIP 2001-19 | Evaluación hidroacústica de merluza del sur y merluza de cola, 2001 | Merluza austral | Si |
| FIP 2000-14 | Evaluación acústica del stock desovante de merluza del sur en aguas exteriores | Merluza austral | Si |
| FIP 96-38 | Evaluación directa del stock desovante de merluza del sur en la zona sur-austral | Merluza austral | (*) |
| FIP 93-04 | Evaluación hidroacústica del stock desovante de merluza del sur en la zona de Guafo y Guamblin, X y XI Regiones | Merluza austral | (*) |
| FIP 2001-21 | Evaluación del reclutamiento de merluza de cola, año 2001 | Merluza de cola | Si |
| FIP 99-06 | Evaluación directa de merluza de cola en la zona centro-sur, 1999 | Merluza de cola | Si |
| FIP 95-18 | Evaluación directa del stock de merluza de cola en la X y XI Regiones | Merluza de cola | Si |
| FIP 2003-10 | Evaluación hidroacústica del stock parental de merluza de tres aletas en su unidad de pesquería, año 2003 | Merluza de tres aletas | Si |
| FIP 2002-20 | Evaluación hidroacústica del stock desovante de merluza de tres aletas en su unidad de pesquería, año 2002 | Merluza de tres aletas | Si |
| FIP 2001-20 | Evaluación hidroacústica de merluza de tres aletas, 2001 | Merluza de tres aletas | Si |

(*) data no disponible

4.1.7. Revisión de la hipótesis de migración estacional del stock adulto

La persistencia de una población biológica está basada en su integridad y continuidad como unidad reproductiva. La migración recurrente que anualmente efectúan los peces adultos hacia la zona de desove es parte del proceso de clausura del ciclo vital que sostiene esa integridad y continuidad reproductiva. Varios estudios coinciden en describir una importante concentración reproductiva de merluza de cola frente a las costas de la X y XI regiones durante la época de invierno-primavera que sugieren un proceso migratorio estacional de esa naturaleza, en el cual participan, por una parte, los peces que a través de su ontogenia alcanzan la madurez y se reclutan al stock reproductivo y por otra, los peces reclutados en años anteriores que vuelven a desovar una vez más.

Durante esa época del año la merluza de cola forma agregaciones reproductivas en el talud a lo largo de todo el rango de su distribución, pero especialmente frente a la zona comprendida entre Bahía Cucao por el norte y la Península de Taitao por el sur, dentro de los cañones submarinos que allí existen (Figura 3). Esta mayor vulnerabilidad y disponibilidad local durante el pico reproductivo serían las causas que movilizan a los barcos de la flota arrastrera, factoría y hieleros, a pescar esta especie en una estrecha ventana espacio temporal.

Este comportamiento de la flota no es reciente, desde los comienzos de la Pesquería Demersal Austral se ha observado un comportamiento similar asociado a la concentración reproductiva de la merluza del sur que desova en la misma zona y a la migración reproductiva de la merluza de tres aletas. La migración reproductiva de merluza de tres aletas sólo afecta a barcos surimeros que siguen sus concentraciones desde el extremo del Cabo de Hornos hasta el fondo de desove localizado al sur del Golfo de Penas.

En los últimos cuatro años, la reorientación de la explotación de merluza de cola hacia una pesquería de arrastre de media agua, estimulada por asignaciones

cada vez mayores de la cuota hacia la flota arrastrera, ha creado condiciones favorables para que un esfuerzo cada vez mayor se dirija hacia este recurso como especie objetivo de las capturas. Este cambio de intencionalidad y la veda estacional de desove que rige en la merluza del sur han vinculado de manera más estrecha el comportamiento de la flota al comportamiento merluza de cola y por tal razón, los registros de bitácoras de pesca de este período reciente al cual se hace referencia, ofrecen la oportunidad de estudiar, espacial y temporalmente, el patrón de comportamiento de la flota como indicador y trazador de la migración reproductiva de los peces adultos.

En esta sección se describen los resultados de un análisis de los desplazamientos de la flota arrastrera de la Pesquería Demersal Austral bajo el supuesto que la flota sigue los desplazamientos migratorios del stock adulto en concordancia con la hipótesis que: 1) en julio-septiembre se produciría una migración reproductiva, desde el norte y el sur, hacia el área de desove principal localizada entre los 43° y 48° LS en el mar exterior y 2) en invierno-primavera acontecería la dispersión trófica, en la dirección opuesta, desde el área de desove hacia áreas de alimentación (Céspedes y Adasme en Payá et al., 2002, Anexo B).

Datos

En el análisis se usaron bitácoras de pesca de barcos arrastreros factoría y hieleros del período 2000-2004 recolectadas por el Programa de Seguimiento de la Pesquería Demersal Austral a cargo de IFOP. Los datos fueron proporcionados por el FIP en archivos magnéticos en formato Microsoft Access, como parte de los antecedentes necesarios para la realización de este proyecto. Los datos fueron importados a Splus, el programa usado para hacer el análisis.

Los datos son de lances de pesca con captura de merluza de cola (15.254 registros en total). El registro del lance posee un campo para anotar la intencionalidad

de pesca, sin embargo este datos no fue usado, debido a la gran cantidad de valores faltantes y poca confiabilidad de la información registrada.

Los datos corresponden a una flota de 14 barcos arrastreros constituida por 7 Arrastreros Hieleros (AH) que operan de preferencia frente a X y XI regiones y 7 Arrastreros Factorías (AF) que lo hacen al sur del paralelo 47° S, el límite norte de sus operaciones pesqueras (Tabla 4). Los barcos *Ying Yang I* y *Gualas* fueron descartados debido a la escasa actividad que registran en el período de estudio. Ambos barcos pasan la mayor parte de la temporada inactivos y sólo realizan lances para mantener sus permisos vigentes.

La cobertura mensual de cada año es completa excepto el año 2004, en el cual la serie se interrumpe en junio (Tabla 5).

Tabla 4. Flotas y lances realizados.

| <i>Barco</i> | <i>Factoría</i> | <i>Hielero</i> |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Ying Yang I | 3 | |
| Gualas | 2 | |
| Saint Pierre | 418 | |
| Unión Sur (nuevo) | 188 | |
| Betanzos | 1812 | |
| Unzen Maru | 4573 | |
| Unión Sur | 701 | |
| Boston Beverley | | 689 |
| Boston Blenheim | | 935 |
| Cote Saint Jacques | | 306 |
| Friosur VII | | 2238 |
| Friosur VIII | | 2539 |
| Friosur IX | | 637 |
| Friosur X | | 213 |
| Total | 7697 | 7557 |

Las variables usadas fueron las coordenadas geográficas de la posición inicial del lance (Latitud y Longitud inicial del lance) y la captura por hora de arrastre de

merluza de cola. Esta última como ponderador de las coordenadas geográficas que definen los centroides que se describen a continuación.

Tabla 5. Número de registros por año y mes de la serie analizada 2000-2004.

| Mes | Año | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|
| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| Enero | 286 | 149 | 173 | 150 | 258 |
| Febrero | 316 | 200 | 42 | 15 | 136 |
| Marzo | 335 | 254 | 113 | 69 | 495 |
| Abril | 304 | 334 | 362 | 152 | 793 |
| Mayo | 500 | 307 | 380 | 288 | 532 |
| Junio | 366 | 305 | 348 | 384 | 246 |
| Julio | 217 | 448 | 532 | 525 | 0 |
| Agosto | 98 | 476 | 434 | 459 | 0 |
| Septiembre | 305 | 239 | 291 | 229 | 0 |
| Octubre | 176 | 410 | 212 | 200 | 0 |
| Noviembre | 80 | 268 | 237 | 230 | 0 |
| Diciembre | 27 | 207 | 178 | 184 | 0 |

Método

Los centroides de un estrato de tiempo t cualquiera (semana) fueron calculados como el promedio ponderado de las coordenadas geográficas de los n lances realizados en ese estrato.

$$Centroide_t = (\overline{Lon}_t, \overline{Lat}_t)$$

donde,

$$\overline{Lon}_t = \sum_{i=1}^n \frac{Lon_{it} \cdot W_{it}}{W_t}$$

$$\overline{Lat}_t = \sum_{i=1}^n \frac{Lat_{it} \cdot W_{it}}{W_t}$$

El ponderador W es la captura por hora de arrastre de merluza de cola en el lance. No fue posible contar con la proporción de adultos en la captura para obtener un ponderador más apropiado, debido al número insuficiente de muestras de

composiciones de tallas para cubrir los estratos temporales a escala semanal. No obstante, el sesgo que se podría introducir por esta razón es probablemente pequeño si se tiene en cuenta el predominio en las capturas de los peces sobre la talla de primera madurez (mayores que 54 cm) (Figura 4).

El término “desplazamiento” se usa para señalar el cambio de posición del centroide en el intervalo de tiempo (la semana); mientras el término “migración” se emplea para designar una tendencia direccional persistente en los desplazamientos de los centroides durante el año.

4.1.8. Revisión de la hipótesis de migración de juveniles de merluza de cola hacia el norte

Distribución de la pesquería pelágica de merluza de cola en la zona centro-sur

A partir de la estadística de pesca contenida en los datos de bitácora de pesca de la unidad de pesquería pelágica de la zona centro-sur, se describe la distribución espacial de las zonas de pesca de merluza de cola. Este análisis se realiza con el objeto de contrastar los límites latitudinales y longitudinales de la actividad pesquera respecto del área cubierta por los cruceros de reclutamiento que se realizaron en noviembre de 1999 y 2001 (Lillo et al., 2000; Barbieri et al., 2003).

Por otra parte, y con el objeto de analizar la dinámica espacial, se calculó el centroide o centro de gravedad de los datos de captura en las coordenadas x-y para cada mes de las temporadas de pesca comprendidas entre 1986 y 2002. Las temporadas de pesca se definen entre el 1º de julio de un año a junio del año siguiente con el objeto de cubrir la estacionalidad de las capturas de la pesquería de cerco en la zona centro-sur (Figura 5).

El centroide o centro de gravedad para la latitud (x) y la longitud (y), fue calculada mediante las siguientes expresiones:

$$\bar{x}_t = \frac{\sum_{i=1} c_{t,i} x_{t,i}}{\sum_{i=1} c_{t,i}}$$

$$\bar{y}_t = \frac{\sum_{i=1} c_{t,i} y_{t,i}}{\sum_{i=1} c_{t,i}}$$

La varianza desde la posición central de las capturas, fue analizada mediante las siguientes expresiones:

$$s_{x,t}^2 = \frac{\sum_{i=1} c_{t,i} (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1} c_{t,i}}$$

y,

$$s_{y,t}^2 = \frac{\sum_{i=1} c_{t,i} (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1} c_{t,i}}$$

Al combinar la varianza del sistema de coordenadas, se tiene: $s_{xy}^2 = 2[s_{x,t}^2 \cdot s_{y,t}^2]^{1/2}$ (Koslow et al., 1985). En este caso, la varianza calculada podría constituir un índice de difusión (sensu Okubo, 1980) si fuera graficada en función del tiempo. Sin embargo, si bien es cierto a través de estos indicadores se está tratando de inferir patrones migratorios que sean consistentes, estos serán dependientes de la pesquería y por lo tanto podrían reflejar solamente el comportamiento de la flota y no

de la población de merluza de cola.

Para verificar la hipótesis de migración hacia el norte, se espera observar a comienzos de la primavera una mayor concentración del esfuerzo en el extremo sur del área de la pesquería y paulatinamente un desplazamiento hacia el norte a medida que avanza la temporada. Se graficó la latitud del centroide a fines de la temporada (usualmente en enero del año siguiente), 1 y 2 meses después, respecto de aquel a inicios de temporada. Si la flota comenzó a operar en el sur sobre la fracción de merluza de cola que avanza hacia el norte, entonces la gráfica debería reflejar una posición más al norte del centroide.

Frecuencia de tamaños

Se colapsó información de frecuencia de tamaños de la temporada 1997-98 a 2002-03 cada un grado de latitud, con el objeto de analizar cambios consistentes en la estructura de tamaños de merluza de cola para los meses de Octubre a Diciembre, que son los más representativos.

A su vez, se analizó la presencia de juveniles de merluza de cola en función de la latitud y profundidad a partir de los 23 lances de pesca realizados en el proyecto FIP 99-06. Se utilizó estos datos ya que la distribución de frecuencia de tallas obtenida en dichos lances de pesca cubre un amplio rango latitudinal y profundidades. La presencia de juveniles se consideró como una variable binomial, donde los ejemplares menores de 55 cm de longitud se asignaron como juveniles. Se asignó el valor 1 a las tallas observadas menores de 55 cm (talla de primera madurez sexual) y 0 a los ejemplares de talla mayor o igual a 55 cm. La suma de valores 1 depende del número de la frecuencia de tallas en la categoría juvenil, y la probabilidad esperada de presencia de juveniles respecto del total de peces medidos se modela por:

$$\pi = \frac{1}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2)}$$

o, en forma equivalente por:

$$\log(\pi_{i,j}) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

donde: π representa la presencia de juveniles en la latitud i y profundidad j , respecto de las variables continuas latitud (X_1) y profundidad del lance (X_2), evaluada como la profundidad de la relinga superior. El modelo se evaluó con modelos lineales generalizados (MLG, familia binomial y enlace logit). Mediante este análisis se pretende probar como hipótesis nula que la presencia de juveniles es independiente de la latitud y dependiente de la profundidad, pues evidencia reciente sugiere que los adultos de merluza de cola se distribuyen a profundidades mayores mientras que la fracción juvenil menor a 55 cm se distribuye en el estrato más superficial de la columna de agua. A su vez, mediante Modelos Aditivos Generalizados (GAM), se analiza la talla promedio en función de la latitud y profundidad del lance.

4.1.9. Revisión de la hipótesis de una sola área de desove en la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*, Lönnberg) en Chile

La merluza de cola habita extensas regiones, tanto en el Pacífico sudoriental como en el Atlántico Sudoccidental. En Chile su distribución geográfica abarca desde los 29° 16' a 56° S, incluida la zona de fiordos y canales (Lillo y Paillaman, 1996). También se ha reportado su presencia en áreas oceánicas como el bajo O'Higgins (32° 30' S, 78° W; Lillo et al., 1998). En el Atlántico, la merluza de cola habita extensas regiones hallándose el límite norte de su distribución entre los 33° y 34° S y su límite sur alcanza los 56° S (Angelescu & Gneri, 1960; Giussi et al., 2000; Wöhler & Giussi, 2001) (Figura 6).

En Chile, a pesar de su amplia distribución, históricamente se ha reconocido la existencia de una sola área de desove a la altura de Isla Guamblin (43° a 48° S),

donde cada año, entre julio y septiembre, concurren los peces adultos a reproducirse (Figura 7). Posterior al desove, los peces migrarían hacia las zonas de alimentación ubicadas al norte, sur y aguas interiores. Según investigadores de IFOP, los peces juveniles, también tendrían migraciones, tanto hacia el norte como hacia el sur. Así, durante primavera se moverían hacia las áreas de alimentación y refugio en las costas de la VIII Región, entre los 35° y 39° S, donde se harían disponibles a la pesca de cerco (Young et al., 1998). En las estaciones de otoño y verano efectuarían un desplazamiento hacia el extremo sur, no descartándose el flujo de peces entre aguas chilenas y argentinas (Céspedes y Adasme, en Paya et al., 2002, Anexo B). Otros investigadores, sostienen que los peces juveniles no efectuarían estas migraciones anuales, sino que después de haber migrado a estas áreas, tenderían a permanecer en el lugar y su disponibilidad obedecería a migraciones verticales en la columna de agua (Cubillos com. personal).

No obstante, a pesar que recientemente se ha flexibilizado la hipótesis de una sola área de desove, al indicarse que no se descarta la presencia de otros focos de desove secundarios en la costa de Chile (Caballero et al., 2003; Tascheri et al., 2003), ésta se ha mantenido y ha sido usada por años en la evaluación del recurso (Payá et al., 1999; Payá et al., 2000; Payá & Rubilar, 2000; Payá & Rubilar, 2001; Payá et al., 2003) y en el manejo de las pesquerías en aguas chilenas. Varios aspectos han ayudado a lo anterior: i) el estudio realizado por Galleguillos et al., (1998), quien no encontró diferencias genéticas en merluza de cola en aguas chilenas, indicando que se trata solo de una población genética; ii) la falta de opinión crítica frente al modelo conceptual del ciclo de vida para este recurso, iii) la falta de nuevos análisis y estudios que permitan aportar nuevos antecedentes, y v) el estancamiento observado en los últimos diez años en lo que se refiere al conocimiento de aspectos básicos de la biología de los recursos pesqueros más importantes de nuestro país.

En un análisis preliminar de la información del año 2001, hemos detectado durante otoño la presencia de una importante concentración de peces maduros y

desovados al sur de Estrecho de Magallanes (Figura 8), lo que nos ha llevado a plantear dudas acerca de la hipótesis de una sola área desove debido a que no permite explicar de manera plausible el ciclo de vida y la dinámica poblacional del recurso, y en consecuencia un manejo adecuado de sus pesquerías en aguas chilenas. Por lo tanto, en el marco de este proyecto analizamos la variación espacial y temporal de los peces maduros y desovados, con la finalidad de poner a prueba la hipótesis de una sola área principal de desove.

Datos

Los datos analizados corresponden a información de madurez macroscópica georeferenciada, entre los años 2000 al 2004, proveniente de los programas de seguimiento de las pesquerías de merluza de cola de la unidad de pesquería V-X regiones y de la unidad de pesquería X-XII regiones.

La información proviene de la operación de pesca de la flotas arrastreras que operaron con redes de arrastre de fondo y arrastre de media agua durante los años anteriormente indicados. En el caso de la Unidad de pesquería XI-XII la información proviene de la flota de arrastre compuesta por buques fábrica y buques arrastreros hieleros. Para la zona centro sur o mejor dicho para la unidad de pesquería entre la V-X regiones, la información proviene desde buques arrastreros hieleros.

Método

El análisis espacial y temporal de los estadíos reproductivos avanzados de merluza de cola (maduros y en desove) fue llevado a cabo sin diferenciar sexos. Se consideró que estos estadíos son indicadores propicios para este análisis, ya que constituyen estados finales del proceso de maduración e inicio de la fase de liberación de huevos durante la reproducción.

La información biológica existente fue procesada a nivel de lance de pesca, para el cual se calculó la proporción de peces maduros y en desove. Esta proporción

fue ponderada por la captura en forma directa, de manera que el dato final representa la proporción de cada estado de madurez en la captura de merluza de cola obtenida en el lance correspondiente. La información resultante fue graficada en el programa Surfer, para lo cual se contó con una línea de costa adecuada para la zona del estudio.

Lo niveles de análisis correspondieron a: i) variación espacial global, donde se consideró toda la información disponible sin considerar áreas o períodos de tiempo específicos, ii) variación espacial mensual, sin distinguir años.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Efectuar una revisión de los métodos de evaluación directa e indirecta del reclutamiento (en forma absoluta o como índices) utilizados internacionalmente, incluido el actualmente empleado en merluza de cola.

Metodologías utilizadas internacionalmente

En esta sección se presenta la información recopilada sobre la data que se utiliza en las diversas pesquerías de Hoki y merluzas para estimar el reclutamiento. La información se organiza por pesquería y presenta las diferentes piezas de información que son colectadas y utilizadas en la evaluación indirecta del recurso. Se da mención especial a los casos donde se presenten estimaciones dirigidas a grupos de edad 1-2 o fracción juvenil. Los resultados de esta revisión se presentan finalmente en un cuadro resumen.

La revisión incluye a los principales stocks de merluza de cola y la población de merluza del pacífico norte. Esta última constituye un ejemplo de interés especial, debido a que presenta gran contraste geográfico, técnicas directas de estimación de fuerza de clase anual y un esquema de monitoreo apropiado. Como se había especificado en la propuesta quedan fuera de este análisis técnicas empleadas para recursos de pelágicos y bentónicos, concentrando el trabajo principalmente en grupos afines.

En términos generales se aprecia que predomina ampliamente el enfoque indirecto, donde se integran múltiples fuentes de información al interior de un modelo edad estructurado (estadístico principalmente).

Los stocks considerados en este análisis son los siguientes:

- *Hoki* de Nueva Zelanda

- *Blue Grenadier* de Australia
- Merluza de Cola de Argentina
- Merluza de Cola de Chile
- *Pacific hake* de la costa del Pacífico Norte

4.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3

Efectuar un análisis crítico de los resultados obtenidos en las evaluaciones directas del reclutamiento de merluza de cola en la zona centro-sur.

Estudio del diseño de trazado hidroacústico

El resultado final de esta parte de nuestro trabajo es la realización de una simulación de los stocks de merluza de cola juvenil y de cruceros hidroacústicos realizados sobre estos stocks, para determinar si los diseños empleados y diseños alternativos pueden producir una estimación insesgada de la biomasa total y una representación completa de la estructura espacial de las agregaciones. Para esto es necesario, como primer paso, re-estudiar la estructura espacial del stock, puesto que si vamos a revisar la metodología de estimación empleada en los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21, no es recomendable presumir que los resultados obtenidos en esos proyectos son correctos (o incorrectos). Sin embargo los datos mismos, en ausencia de otros datos, deberán presumirse que son correctos. Esto va a introducir severas limitaciones, específicamente el hecho de desconocer el tamaño de las agregaciones en el eje norte-sur.

Por lo tanto, como primera tarea se procedió a re-estimar la densidad y abundancia global de merluza de cola juvenil en las áreas de estudio desde las bases de datos crudas. Para ello se utilizó un modelo geoestadístico formal de correlación espacial, con distribución de probabilidad condicional normal para los datos y una función de verosimilitud normal multivariada para los parámetros (App. 2). Además, para el caso del proyecto de 1999, repetimos el análisis geoestadístico realizado por IFOP, basado en la geoestadística convencional, sin modelo formal de probabilidad. Los resultados tanto de la aplicación del modelo formal de probabilidad como del modelo tradicional distribution-free son muy disímiles con los reportados en los informes FIP.

4.3.1. Estimación de densidad y abundancia por un modelo geoestadístico formal de correlación

En el cálculo de densidad a partir de la señal acústica, para ambos conjuntos de datos, se utilizó la talla media de los peces obtenidos en el lance de pesca más cercano a la transecta correspondiente, tal como hizo IFOP en los proyectos FIP originales (S. Lillo, com. pers.). El peso medio fue obtenido a partir de los valores de los parámetros de la relación longitud-peso publicados por los autores de los estudios. Las coordenadas fueron transformadas desde geodésicas hasta métricas utilizando el programa GeoConv (Uikkanen, 2005).

Los métodos estadísticos utilizados se encuentran descritos en Ribeiro & Diggle (2001) y la documentación asociada al paquete estadístico de análisis espacial geoR. En general, se utilizó un modelo estadístico formal de correlación espacial, con la función de verosimilitud descrita por la distribución normal multivariada y la transformación de Box-Cox para distribuciones lognormales (App. 4). Todos los análisis fueron llevados a cabo en geoR, paquete de análisis espacial contribuido a R. Para el kriging restringido al polígono de cada zona se utilizó el paquete Splancs, contribuido a R (Rowlinson & Diggle, 2004). Este último también sirvió para calcular el área de los polígonos en la estimación de biomasa.

Es importante destacar que el resultado final del análisis geoestadístico es el estimativo de máxima verosimilitud de la densidad media, y que este es independiente de la definición de los polígonos para el cálculo del área. En geoestadística basada en la función de verosimilitud, la densidad media se estima simultáneamente con los parámetros de la correlación espacial, y no resulta del kriging. El kriging es un proceso separado y posterior de predicción que sirve para visualizar las zonas de mayor y menor densidad y que no necesita ser realizado para la estimación de la biomasa.

La cobertura espacial del muestreo fue baja en ambos estudios. Suponiendo que el ancho promedio del beam acústico fue de 50 m a las profundidades estudiadas

y tomando en cuenta la longitud conocida de las transectas y el área total prospectada (calculada como el área del polígono que resulta de unir los extremos costeros y oceánicos de todas las transectas), en el proyecto de 1999 la fracción del área prospectada observada fue de 0.17% y la fracción de área con merluza de cola juvenil fue de 0.024%, y en el proyecto de 2001 la fracción del área prospectada observada fue de 0.18% y la fracción de área con merluza de cola juvenil fue de 0.013%. Estas cifras bajas de observación por si solas no tendrían porque afectar el análisis excepto en lo que respecta a la precisión de los estimadores. Pero en el presente caso, junto con la baja fracción de observación, se presenta el hecho que las transectas están orientadas en sentido este-oeste, son paralelas, y son equidistantes, y esto provoca que la dimensión de las agregaciones en el eje norte-sur permanezca desconocida. En definitiva, se presenta un problema de indeterminación que impide entregar una estimación de biomasa objetiva. Luego hemos debido plantear escenarios acerca de la extensión de las agregaciones en el eje norte-sur:

- a) agregaciones desconectadas en eje norte-sur con tamaños de polígonos en eje norte-sur independiente de la densidad observada
- b) agregaciones desconectadas en eje norte-sur con tamaños de polígonos en eje norte-sur proporcional a densidad observada
- c) agregaciones medianamente conectadas en eje norte-sur
- d) agregaciones completamente conectadas en eje norte-sur excepto cuando se presenta una transecta completa sin observaciones positivas de densidad

En el primer escenario, se supuso que las zonas entre transectas no contenían peces y que el área cubierta por las agregaciones alrededor de las transectas en el eje norte-sur era constante. En el segundo escenario se supuso que las zonas entre transectas no contenían peces y que el área cubierta por las agregaciones alrededor de las transectas en el eje norte-sur era proporcional a la densidad observada. En el tercer escenario se supuso que las agregaciones presentaban un cierto grado de

continuidad entre transectas en el eje norte-sur, así que los trazos continuos fueron conectados según lo sugería la distribución espacial de estos. En el cuarto escenario se supuso un grado aun mayor de conectividad entre trazos continuos de distintas transectas. En todos los escenarios las áreas dentro de cada transecta donde no hubo señal acústica de merluza de cola juvenil, no fueron incluidos en los polígonos, así que no afectaron a la estimación de la biomasa.

Tanto para los datos de 1999 como de 2001, el ajuste máximo verosímil se realizó con una función de correlación espacial Gaussiana. Este modelo, que pertenece a la familia de Matern, es uno de los modelos que resultan de procesos biológicos en que existe una migración desde el exterior del proceso espacial estimado y donde al interior del mismo este sufre cambios independientes de la correlación espacial. Además resulta de la extensión natural de la teoría de correlación serial en el tiempo a la correlación serial en el espacio (Whittle, 1954). En nuestra aplicación la migración ocurriría desde el sur y al interior el proceso mismo sufre cambios debido a crecimiento y mortalidad de los peces.

4.3.2. Estimación de densidad y abundancia utilizando geoestadística tradicional

Debido a grandes diferencias obtenidas en densidades y biomasa entre lo reportado en los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21, se procedió a re-analizar los datos con geoestadística tradicional (sin modelo formal de probabilidad). Esto lo hicimos para los datos del año 1999 y con el propósito de elucidar, en lo posible, las causas de las discrepancias entre nuestra evaluación, basada en un modelo formal de probabilidad, y la evaluación previa realizada por los autores originales. Realizamos dos análisis diferentes usando la metodología de análisis de IFOP. En el primer caso utilizamos todas las observaciones, incluidas las observaciones nulas donde no hubo peces, y en el segundo caso sólo utilizamos las observaciones positivas de SA. Además, para proporcionar un nivel de referencia acerca del orden de magnitud de la

biomasa, realizamos una estimación *naïve* que consistió en el simple estimador de expansión que resulta de multiplicar la media aritmética de la densidad en los datos (sin ningún tipo de análisis) por el área total prospectada.

4.3.3. Diferencias metodológicas con los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21

A través de la revisión de los informes finales de los proyectos FIP indicados y de comunicaciones personales con los analistas de esos proyectos, hemos identificado 4 diferencias importantes.

- 1) *Transformación de las coordenadas*: Nosotros transformamos las coordenadas a unidades métricas, calculando el *easting* y el *northing* de cada observación como suele hacerse habitualmente (por ejemplo, Isaacs y Srivastava 1989, y Journel y Huijbregts 1978), y en cambio los analistas de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21 utilizaron coordenadas geodéticas, re-escalando latitud a longitud para hacer similares los dos ejes. Esto puede haber provocado algún problema en el análisis del IFOP puesto que el análisis geoestadístico que ellos realizaron supone la existencia de un espacio Euclidiano.

- 2) *Uso de las observaciones nulas*: Para la estimación geoestadística de la densidad media con un modelo formal de probabilidad nosotros utilizamos sólo las localidades con respuesta acústica mayor que cero. Esto se debe a que en geoestadística basada en la función de verosimilitud, las observaciones positivas y las nulas provienen de procesos diferentes, que tienen una distinta distribución de probabilidad, y nosotros sólo estamos interesados en la distribución de probabilidad de los datos de aquellas localidades donde se observaron peces, y no de las localidades donde los peces no estuvieron presentes. En cambio, los analistas de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21, puesto que utilizaron la geoestadística tradicional que es *distribution-free*, utilizaron los datos de todas las localidades, aunque no se observaran peces en la mayoría de ellas (es decir

aunque el SA o el NASC fuera cero). Esta decisión puede tener un fuerte efecto sobre los parámetros de la función de correlación espacial y por ende sobre la estimación de la densidad media. En el caso del proyecto FIP 1999-06, el 86% de los valores de SA fueron cero, y en el proyecto FIP 2001-21, el 93% de los valores de NASC fueron 0.

- 3) *Transformación de las densidades locales*: Como nuestra estimación se basa en un modelo formal de probabilidad, nosotros inspeccionamos la distribución de frecuencia de las densidades y debido a su fuerte asimetría adoptamos la distribución lognormal. En cambio, los analistas de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21, puesto que utilizaron la geoestadística tradicional que es *distribution-free*, no realizaron transformación alguna de las densidades. En el retro-cálculo hacia la densidad media en g/m^2 nosotros utilizamos las formulas exactas provenientes de la distribución lognormal.

- 4) *Cálculo del área*: Nosotros establecimos cuatro escenarios para el área cubierta por el stock, como se indica más arriba, y en los escenarios a) y b) esta área sólo cubre las regiones donde se observaron peces (SA o NASC>0). En cambio, los analistas de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21 calcularon el área que cubría toda la prospección, utilizando los límites de las transectas como vértices del polígono general.

4.3.4. Simulación de cardúmenes de merluza de cola juvenil y cruceros hidroacústicos

El paquete RandomFields (Schather, 2001) contribuido al sistema de programación estadística R fue usado para producir 100 repeticiones del stock de merluza de cola juvenil de la zona centro sur de Chile según los parámetros de correlación espacial estimados con geoR y los datos de 2001. Es importante destacar que en estas simulaciones el valor del total (es decir la biomasa) no fue determinado *a priori* sino que es un resultado de (a) los valores de los parámetros de la correlación espacial y (b) el tamaño del área total. Por lo tanto las simulaciones del stock de merluza de cola juvenil, si están bien condicionadas a lo observado producen —adicionalmente a los objetivos de permitir estudiar diseños de muestreo— una determinación objetiva de la biomasa del stock. Creamos una nueva función en R que permite realizar estas simulaciones y comparar los resultados de diseños de muestreo sistemáticos y adaptativos (App. 5). Tres preguntas fueron planteadas en este ejercicio de simulación: (1) *¿Es posible obtener una estimación insesgada de la biomasa de merluza de cola juvenil utilizando el diseño de tracks sistemáticos, paralelos y aproximadamente equidistantes que ha sido utilizado en los proyectos de 1999 y 2001?*, (2) *¿es posible obtener una estimación insesgada de la biomasa y mejorar la observación del tamaño de las agregaciones al aplicar un diseño de muestreo adaptativo?*, y (3) *¿queda bien cubierta toda el área de prospección cuando se aplica un diseño adaptativo pero se mantiene el mismo numero de transectos que en el caso del diseño sistemático?* Inevitablemente, estas preguntas fueron respondidas de manera condicional a los resultados observados en los proyectos realizados (en particular, hemos tomado como ejemplo el caso del proyecto 2001) y por lo tanto no necesariamente serán relevantes a la verdadera estructura espacial del stock, que debido a la gran distancia entre transectas (ver Resultados del re-análisis geoestadístico de los datos de ambos proyectos) no ha sido bien observada en el eje norte-sur.

a) Cardúmenes de merluza de cola juvenil

Los cardúmenes de merluza de cola juvenil fueron simulados utilizando la geografía y los parámetros de correlación espacial obtenidos del proyecto de 2001. La geografía de la zona centro sur fue aproximada por una grilla de 180 celdas de ancho (eje este-oeste) y 540 celdas de alto (eje norte-sur), cada una formada por un cuadrado de 1 km de lado. La razón ancho/alto fue obtenida de la relación aproximada de la zona cubierta por el proyecto de 2001. Al aplicar los parámetros de la correlación espacial de 2001 (muy similares a los de 1999, ver más abajo) el proceso de simulación produce un oceano lleno de peces (Figura 9a). Para 'adelgazar' el proceso espacial, nuevamente se observaron los resultados obtenido en el proyecto de 2001. En efecto, de todas las unidades básicas de muestreo obtenidas desde las 20 transectas de ese proyecto (3764 UBMs), un 5.33% reporto valores positivos de densidad de merluza de cola juvenil. Entonces, suponiendo que la proporción de observaciones positivas es independiente del eje espacial (i.e. La misma para norte-sur y este-oeste), para cada simulación de proceso espacial se creo un ciclo de 'adelgazamiento' que reemplazo cada celda por un cero cada vez que un numero aleatorio proveniente de la distribución uniforme $U(0,1)$ era mayor que 0.0533. De esta manera se obtuvo un proceso espacial similar al observado con los datos del proyecto 2001 (Figura 9b). Como en los datos reales la densidad de merluza mostró una distribución lognormal, el proceso espacial (que necesariamente debe ser Gaussiano) fue realizado con la densidad en unidades de logaritmo (y los parámetros de la correlación espacial correspondiente). El total del proceso, es decir la biomasa de merluza de cola juvenil, fue registrado como la suma de los exponenciales de los valores positivos a través de las 97200 celdas de la grilla.

b) Cruceros hidroacústicos simulados

Sobre cada ciclo de simulación de los cardúmenes de merluza de cola juvenil se aplicó un diseño sistemático y uno adaptativo ambos con 20 transectas, tal como en el estudio de 2001. El diseño sistemático consistió en elegir al azar la primera

transecta en el eje este-oeste de entre las primeras 27 ($20 \times 27 = 540$, el total de filas de la grilla) del norte, y luego observar todas las siguientes filas de la grilla cada 27 filas hacia el sur. Para el caso del diseño adaptativo, para cada ciclo del proceso de simulación, el primer transecto del norte fue el mismo que el elegido al azar para el muestreo sistemático. Pero desde el segundo transecto y hacia el sur, la fila de la grilla elegida para su observación como transecto dependió de una bifurcación en el proceso de decisión: (a) si la suma de los valores del exponencial de la densidades positivas en la fila/transecto anterior fue mayor que cierto valor umbral entonces la fila/transecto inmediatamente al sur fue también observada, o alternativamente (b) hubo un desplazamiento de 27 filas/transectos hacia el sur. Obviamente el elemento crucial de este diseño es el valor umbral. Nuevamente, para determinar este valor observamos los resultados obtenidos en el crucero de 2001. La Tabla 6 muestra las sumas de las densidades observadas en las transectas de ese estudio. De las 20 transectas, las 5 de más altas densidades acumuladas (el cuartil más alto de la distribución) registraron valores de más de 100000 g/m^2 . Este fue el valor umbral elegido en la aplicación de los cruceros adaptativos.

El fundamento del estudio de esta variación del diseño de muestreo es que si existen 'hot spots' de stock (es decir, conjuntos de cardúmenes) entonces el diseño adaptativo, aplicado en una situación real, tiene mayor probabilidad de observar el total de esos hot spots y entonces obtener una estimación menos insesgada del total, que en el caso en que se ignora el resultado de cada transecta y se sigue un diseño sistemático. Además el diseño adaptativo permitiría una estimación informada de la forma de las agregaciones en el eje norte-sur, puesto que se registrarían transectos vecinos en este eje. Sin embargo, debido a la cantidad fija de transectos (20) determinada por las posibilidades financieras del proyecto de evaluación hidroacústica, existe también el riesgo que un diseño adaptativo falle porque no cubra buena parte del rango latitudinal deseado.

Tabla 6. Sumas de densidades de merluza de cola juvenil a través de las transectas del proyecto FIP 2001-21. En negritas se indican las sumas que son consideradas como indicadoras de un conjunto de cardumenes, o 'hot spot'.

| Transecta | Suma (g/m ²) |
|-----------|--------------------------|
| 17 | 0 |
| 9 | 0 |
| 8 | 0 |
| 16 | 0 |
| 15 | 0 |
| 6 | 0 |
| 1 | 0 |
| 20 | 670.72 |
| 11 | 4237.22 |
| 5 | 6973.79 |
| 7 | 30778.33 |
| 12 | 33118.25 |
| 14 | 36156.49 |
| 2 | 61478.65 |
| 3 | 82768.21 |
| 18 | 101967.12 |
| 4 | 124451.34 |
| 19 | 127930.48 |
| 13 | 210965.25 |
| 10 | 492676.32 |

Para ajustar el modelo geoestadístico basado en la función de verosimilitud a cada una de las simulaciones del proceso descrito por la merluza de cola juvenil y los dos tipos de diseños de muestreo, se requiere una capacidad computacional de la cual no hemos dispuesto. Sin embargo, como se observa en la Tabla 7, el estimador de densidad media basado en la simple media aritmética es muy similar al estimador de densidad media obtenida del ajuste del modelo espacial. Esto tiene una base teórica estadística. En el caso de un diseño sistemático de transectas paralelas y equidistantes con la primera transecta elegida al azar, la media aritmética es un estimador insesgado de la media poblacional (D'Orazio, 2003). En el caso de un diseño adaptativo por transectas, la media aritmética es un estimador sesgado de la media poblacional (Thompson, 1990), pero será sólo levemente sesgado puesto que en la práctica el muestreo es unidimensional (es decir solo se evalúa el total de la transecta y no de cada celda, y el desplazamiento siempre es sólo hacia el sur). Esto

permite, para los fines de esta simulación, evaluar el sesgo debido al tipo de diseño de muestreo utilizando un simple estimador de expansión, que es igual a la media aritmética dividida por la fracción de observación ($=20$ transectas observadas/540 filas en la grilla). En el caso de una situación real, el sesgo debido al uso de un diseño adaptativo es irrelevante puesto que las propiedades estadísticas del estimador de la densidad media poblacional se derivan del modelo geoestadístico y no de las probabilidades de inclusión de las transectas en hipotéticas repeticiones del muestreo. Por lo demás, en un caso real, si se aplica un diseño adaptativo se pueden utilizar las fórmulas conocidas (Thompson, 1990) del estimador de la media poblacional. En nuestras simulaciones, el sesgo fue calculado como $100 \times (\text{Biomasa Estimada} - \text{Biomasa Verdadera}) / (\text{Biomasa Verdadera})$.

Tabla 7. Resultados de las diversas estimaciones de densidad media y biomasa de los estudios anteriores (IFOP) y del presente estudio. M. Arit.: media aritmetica; D-F Geoest: estimacion geoestadistica *distribution-free*; Geoest. Verosim.: estimación geoestadistica basado en la función de verosimilitud.

| Observaciones | FIP 1999-6 | | FIP 2001-21 | |
|--|------------|-----------|-------------|-----------|
| | Todas | Positivas | Todas | Positivas |
| Area (km ²) | 83229.3 | 5113.8 | 93206.4 | 3765.5 |
| (a) Densidad D-F Geoest. (g/m ²) (IFOP) | 6.7 | ---- | 2.7 | ---- |
| (a) Biomasa D-F Geoest. (10 ⁶ ton) (IFOP) | 0.32 | ---- | 0.29 | ---- |
| (b)-(c) Densidad D-F Geoest. (g/m ²) | 379.3 | 3604.8 | ---- | ---- |
| (b)-(c) Biomasa D-F Geoest. (10 ⁶ ton) | 31.5 | 18.4 | ---- | ---- |
| (d) Densidad Geoest. Verosim. (g/m ²) | ---- | 742.4 | ---- | 777.7 |
| (d) Biomasa Geoest. Verosim (10 ⁶ ton) | ---- | 3.8 | ---- | 2.9 |
| (e) Densidad M. Arit. (g/m ²) | 367.1 | 1932.6 | 349.1 | 4595 |
| (e) Biomasa M. Arit. (10 ⁶ ton) | 30.6 | 9.9 | 32.5 | 14.6 |

4.3.5. Comparación de metodología directa con la indirecta en el caso de merluza de cola

En la presente sección se desarrolló un modelo estadístico, dinámico y estructurado por edades para el recurso Merluza de cola de la zona centro-sur y sur-austral. Es importante destacar que el desarrollo de dicho modelo y su posterior calibración, no tuvieron por objetivo la determinación de cuotas de captura, sino más bien el analizar el grado de consistencia entre la información proveniente de las evaluaciones hidroacústicas directas de la merluza de cola de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21, y las correspondientes estimaciones provenientes de una calibración indirecta, la cual incluye todas las demás fuentes de información disponibles para esta pesquería. Este ejercicio se consideró necesario dado que los datos reportados en el informe de Paya et al. (2004) no contienen la información necesaria para hacer dicha comparación.

Datos

La información utilizada en la calibración del modelo fue solicitada al Fondo de Investigación Pesquera y entregada por el Instituto de Fomento Pesquero, a través de la Subsecretaría de Pesca. Esta consiste fundamentalmente en datos biológicos y pesqueros de tres pesquerías (Cercos Centro Sur (CCS), Demersal Centro Sur (DCS) y Demersal Sur Austral (DSA)) y de cruceros de evaluación hidroacústica realizados sobre el stock desovante principalmente en las inmediaciones de la isla Guambllín. Los detalles del origen y características de los datos están disponibles en Paya et al. (2004) y no serán especificados nuevamente en el presente trabajo. En la tabla 8 se resumen todas las fuentes de información que se consideró en la calibración estadística del modelo edad estructurado. A continuación se detallan algunos aspectos que se consideran notables respecto de la información disponible.

Tabla 8. Información disponible para la calibración del modelo edad estructurado de la merluza de cola en aguas chilenas.

| Fuente de Información | Tipo de información | Años disponibles |
|-----------------------|--|---------------------|
| Pesquería CCS | Desembarques | 1988-2003 |
| | Captura por unidad de esfuerzo | 1988-2002 |
| | Captura a la edad | 1988-1992,1994-2001 |
| | Peso a la edad | 1988-1992,1994-2001 |
| | Captura a la longitud | 1988-1992,1994-2002 |
| Pesquería DCS | Desembarques | 2001-2003 |
| | Captura a la edad | 2001-2003 |
| | Peso a la edad | 2001-2003 |
| Pesquería DSA | Desembarques | 1988-2003 |
| | Captura por unidad de esfuerzo | 1988-2003 |
| | Captura a la edad | 1988-2003 |
| | Peso a la edad | 1988-2003 |
| Hidroacústica PDA | Abundancia relativa | 2000-2004 |
| | Captura a la edad (lance exploratorio) | 2000-2003 |

Estructura de edades

En las figuras 10 y 11 se presenta la serie histórica de estructura de edades (en proporciones) disponibles para este recurso en las 3 pesquerías. Es importante destacar que no hay una clara y depurada consistencia temporal en el paso de las cohortes para ninguna de estas pesquerías. Si bien la serie histórica de la pesquería DSA pareciera ser la más completa y sugiere la presencia de unas clases anuales importantes a mediados de los 80 y 90, existe un alto grado de dispersión u homogenización horizontal que se puede deber a problemas en el muestro y/o error en la lectura de edades. Las clases anuales ya indicadas parecen marcarse en alguna medida en las otras pesquerías.

Estimaciones de la biomasa desovante

De acuerdo a los resultados obtenidos en otras secciones del presente informe (i.e. Revisión de la hipótesis de una sola área de desove en la merluza de cola, análisis de la distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en

la costa de Chile, un intento por establecer patrones migratorios de la merluza de cola en el sector sur de la plataforma patagónica Argentina) y las características propias de estos muestreos, se determinó considerar la biomasa desovante como un índice de abundancia relativo y no como una estimación de abundancia absoluta. Los principales factores se pueden resumir en los siguientes puntos:

- a) Diversos antecedentes indican que habría más de una zona de desove (al sur de isla Guamblín) y por ende las estimaciones hidroacústicas de la zona prospectada representa una fracción del stock desovante total, constituyendo de esta forma solo un índice de abundancia relativa.

- b) El “timing” de la estimación hidroacústica del stock desovante de este recurso en nuestro país es cuestionable tanto para estimar la máxima abundancia en un año en particular, como su consistencia interanual. La determinación de la fecha de muestreo esta fuertemente condicionada a la estimación hidroacústica de la merluza austral (ver informes FIP de evaluación directa y comunicación personal del Sr. Ignacio Paya durante el segundo taller). Con el diseño actual de muestreo, no es posible determinar al final del crucero si se logró capturar el máximo de la agregación reproductiva. Trabajos realizados en el hoki de Nueva Zelanda indican que, de no considerarse este factor, se puede sesgar la abundancia total de la agregación reproductiva sustancialmente.

Caso base de estudio considerado por Paya et al. (2004)

En la tabla 9 se presentan las ponderaciones finales utilizadas por Paya et al. (2004) en la evaluación de la merluza de cola. Nosotros no utilizamos únicamente esas ponderaciones debido a que:

- a) Tamaños muestrales altos para las estructuras de edad y probablemente dominan el ajuste y/o disminuyen significativamente la varianza en las estimaciones.
- b) Coeficiente de variación para los índices acústicos muy optimistas (0.05) y probablemente también reducen la varianza de las estimaciones.
- c) Coeficiente de variación muy altos para la captura por unidad de esfuerzo de CCS y DSA. Esto implica prácticamente no utilizar esta pieza de información. Las capturabilidades estimadas y las abundantes ojivas de selectividad permiten, que a pesar de esto, se logre un satisfactorio ajuste a los datos.
- d) La serie de valores de índice acústico para el llamado reclutamiento consiste en las estimaciones obtenidas en los proyectos FIP 1999-06, FIP 2001-21 y la evaluación hidroacústica al interior de los canales. Estas piezas de información de variado origen generaron una serie de tiempo, la cual fue calibrada asumiendo que se trataba de un índice absoluto. Dos aspectos nos parecen problemáticos: (a) el hecho de combinar las observaciones de zonas distintas sin una clara justificación que lo respalde, y (b) asumir que este índice es absoluto.

Ecuaciones de dinámica y modelo estadístico

En la Tabla 10 se presenta el modelo edad estructurado que representó la dinámica del recurso merluza de cola de la costa de Chile. Consiste básicamente en ecuaciones de mortalidad (por pesca, CCS, DCS y DSA, y natural) que actualizan la abundancia a la edad de un año al siguiente. Se utiliza el supuesto de separabilidad en la mortalidad por pesca, con una componente a edad (selectividad) y una temporal (tasa instantánea de mortalidad por pesca). El patrón de explotación se modeló a través de una distribución doble normal, lo cual otorga gran flexibilidad a la selectividad a las edades completamente reclutadas. Se asumió que cada flota tenía

su propio patrón de explotación, al igual que los cruceros de evaluación hidroacústica. Se consideraron dos escenarios con respecto a las selectividades. En el primero se estimaron los parámetros de selectividad dentro del modelo, y en el segundo se utilizaron patrones explotación reportados por IFOP (consiste en una serie de patrones para cada pesquería, Paya et al. 2004). Esto permitió comparar hipótesis alternativas que se presentaron con respecto a cambios temporales a la selectividad. Las condiciones iniciales se asumieron con reclutamiento variable, lo cual consistió en estimar reclutamientos desde el año 1975 hasta el 2003.

Tabla 9. Ponderadores utilizados en la calibración de modelo edad estructurado por Paya et al. 2004.

| Fuente de Información | Valor |
|--------------------------------|-----------------|
| n Estructura edad CCS | 1000 |
| n Estructura edad DCS | 1000 |
| n Estructura edad DSA | 1000 |
| n Estructura edad Acústica PDA | 1000 |
| cv captura total CCS | 0.05 |
| cv captura total DCS | 0.05 |
| cv captura total DSA | 0.05 |
| cv Acústica PDA | 0.05 |
| Biomasa Acustica PDA | Indice absoluto |
| cv CPUE DSA | 3 |
| cv CPUE CCS | 3 |
| n Estructura edad Acústica CS | 100 |
| Biomasa Acustica CS + Fiordos | Indice absoluto |
| cv Acústica CS | 0.05 |

Tabla 10. Ecuaciones de dinámica del modelo edad estructurado y modelos estadísticos utilizados en la estimación de parámetros.

| | |
|--|---|
| $N_{a,t_0} = R_{t_0-a+1} e^{-M} \quad a \geq 2$ $N_{a,t_0} = R_{t_0-a+1} e^{-M} / (1 - e^{-M}) \quad a = A$ $R_{t_0-a+1} = R_0 e^{-\varepsilon_{t_0-a+1}} \quad t \leq t_0$ $R_t = R_0 e^{\varepsilon_t} \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_R^2) \quad t > t_0$ $N_{a,t} = N_{a-1,t-1} e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{a-1,t-1}^p)} \quad A > a > 1; t > t_0$ $N_{a,t} = N_{a-1,t-1} e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{a-1,t-1}^p)} \quad a = A; t > t_0$ $+ N_{A,t-1} e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{A,t-1}^p)}$ $F_{a,t}^p = S_a^p F_t^p$ $F_t^p = F_0^p \cdot e^{\varepsilon_t} \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_F^2)$ $-\log(L_p) = \sum_t \sum_a \left[0.5 \log(\xi_{t,a} + 1/n_a) - \log\left(\exp\left[-\frac{n_t (P_{t,a}^O - P_{t,a}^p)^2}{2(\xi_{t,a} + 1/n_a)}\right] + 0.01\right) \right]$ $\xi_{t,a} = P_{t,a}^O (1 - P_{t,a}^O)$ $-\log(L_I) = \frac{n^p}{2} \log(\sigma_I^2) + \sum_t \frac{(\log(I_t^O) - \log(I_t^p))^2}{2\sigma_I^2}$ $-\log(L_C) = \sum_t \frac{(\log(C_t^O) - \log(C_t^p))^2}{2\sigma_I^2}$ $-\log(L_T) = -\sum \log(L_I) - \sum \log(L_p) - \log(\text{Priors}) - \sum \log(L_{C^p})$ | <p>$N_{a,t}$: Abundancia a la edad a en el tiempo t</p> <p>a: Edad (A: edad del grupo plus, 14)</p> <p>t: tiempo (t_0: primer años. 1988)</p> <p>p: Pesquería (CCS, DCS, DSA)</p> <p>M: Mortalidad natural</p> <p>R: Reclutamiento</p> <p>$F_{a,t}^p$: Tasa instantánea de mortalidad por pesca para la pesquería p.</p> <p>S_a^p: Selectividad a la edad para la pesquería p.</p> <p>$P_{t,a}^O$: Proporción de edades para las pesquerías y evaluación hidroacústica de la PDA (O: observadas, P: predichas por el modelo).</p> <p>n_t: Tamaño muestral.</p> <p>n_a: Numero de intervalos de edad (14).</p> <p>σ_I^2: Varianza del índice de abundancia relativa.</p> <p>L_p: Verosimilitud normal robusta para proporciones.</p> <p>L_I: Verosimilitud de los índices de abundancia (CPUE_{CCS}, CPUE_{DSA} y evaluación hidroacústica).</p> <p>L_T: Función objetivo total.</p> <p>Priors: Penalties para los residuos del reclutamiento y tasas instantáneas de mortalidad por pesca.</p> <p>n^p: Tamaño muestral del índice de abundancia relativa.</p> <p>σ_I^2: Coeficiente de variación del índice de abundancia relativa.</p> <p>L_{C^p}: Verosimilitud lognormal de las capturas por flota.</p> <p>C_t^p: Captura en el tiempo t para la flota p</p> |
|--|---|

Se asumió que los índices de abundancia relativa eran proporcionales a sus respectivas biomásas vulnerables, de tal forma que para cada índice se estimó un parámetro de capturabilidad (tres en total).

Se consideró que las capturas fueron registradas con error (bajo, ver escenario).

Los modelos estadísticos consistieron en funciones de verosimilitud lognormal (índices y capturas) y normal robusta para proporciones (proporciones a la edad). Esta última se prefirió sobre la multinomial, dado a su mayor robustez con respecto a puntos atípicos (Fournier et al., 1998). Se consideraron además una serie de factores de penalización para los residuos del reclutamiento y de las mortalidades instantáneas anuales por pesca. Estas fueron normales con media cero y varianza (0.6).

El modelo se codificó en ADMB (Otter Research, 2001) y se realizó una optimización no lineal de la función objetivo total. A partir de la matriz de correlaciones se realizó una integración bayesiana mediante la metodología MCMC (Markov Chain Monte Carlo, Gelman et al., 1996). Los resultados se reportan como distribuciones posteriores para la biomasa de reclutas y se compara con las estimaciones de las evaluaciones directas 1999, 2001 y 2003.

La predicción de interés para nuestro caso fue la biomasa de reclutas (BR) para los años 1999 y 2001. Aquí se presenta un problema importante en la definición de los reclutas al interior del modelo para lograr hacer una comparación apropiada. Si la abundancia a la edad varía interanualmente en los datos del crucero de “evaluación del reclutamiento”, esto se podría interpretar conceptualmente como: Errores de muestreo, variaciones en la fuerza de las clases anuales o cambios en la disponibilidad a la edad del recurso.

Tomando esto en consideración se estimaron las siguientes biomásas juveniles:

- a) Biomasa total entre las edades 2-4 y 2-6, es decir

$$B_R = \sum_{a=2}^m B_a \quad (1) m = 4 \quad (2) m = 6$$

- b) Biomosas de reclutas del modelo estimadas a partir de las curvas de selectividad ajustadas a los datos de estructura de edad de cada año de las evaluaciones hidroacústicas del reclutamiento.

Escenarios

Durante el proceso de estimación de parámetros se consideraron tres escenarios para evaluar tanto incertidumbre estructural del modelo (supuestos de selectividad), como la importancia relativa de las fuentes de información (a través de varianzas de los índices y tamaños muestrales). En la Tabla 11 se resumen los tres escenarios considerados en este análisis comparativo. En los casos A y B, se estimó una sola selectividad de toda la serie temporal para cada pesquería e índice acústico, en cambio en el caso C se utilizó los patrones de explotación estimados por Paya et al. (2004). El caso C es comparable con las ponderaciones finales reportadas por Paya et al. (2004). Los casos A y B se diferencian fundamentalmente por un incremento en la importancia relativa de la CPUE sobre el índice acústico. De esta manera se le dio distinto grado de ponderación a los índices de abundancia relativa para evaluar este efecto sobre las estimaciones finales de biomasa de reclutas (Figura 12). Este ejercicio se basa fuertemente en el trabajo de Paya et al. (2004), y no constituye un reanálisis completo de la información, ya que eso implicaría reconstruir cada serie de abundancia relativa (CPUE), y esto escapa a este proyecto.

Tabla 11. Escenarios utilizados en la comparación de las biomazas de reclutas entre lo predicho por el modelo de dinámica poblacional y las estimaciones provenientes de las evaluaciones directas de los años 1999, 2001 y 2003.

| Fuente de Información | Caso A | Caso B | CASO C* |
|--------------------------------|--------|--------|---------|
| n Estructura edad CCS | 100 | 100 | 1000 |
| n Estructura edad DCS | 100 | 100 | 1000 |
| n Estructura edad DSA | 100 | 100 | 1000 |
| n Estructura edad Acústica PDA | 100 | 100 | 1000 |
| cv captura total CCS | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| cv captura total DCS | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| cv captura total DSA | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| cv Acústica PDA | 0.2 | 1 | 0.05 |
| Biomasa Acustica PDA | I.R. | I.R. | I.R. |
| cv CPUE DSA | 0.6 | 0.05 | 3 |
| cv CPUE CCS | 0.6 | 0.05 | 3 |
| n Estructura edad Acústica CS | 50 | 50 | 50 |
| Biomasa Acustica CS + Fiordos | N/A | N/A | N/A |
| cv Acústica CS | N/A | N/A | N/A |

* CASO C: Las selectividades para CCS, DCS, DSA e Índice Acustico de la PDA fueron las mismas estimadas para el caso 1 de Paya et

4.3.6. Aspectos hidroacústicos

Adicionalmente, se realizó una revisión de la aproximación metodológica hidroacústica empleada en los cruceros de evaluación directa de la merluza de cola en la zona centro-sur (FIP 99-06 y 2001-21), por parte del Dr. Stephane Gauthier (Universidad de Montreal) e integrando los resultados del primer taller.

Los comentarios y recomendaciones vertidos durante el taller sobre las evaluaciones hidroacústicas FIP 99-06 y FIP 2001-21 han sido recogidos en esta sección, al igual que los comentarios directos de los Drs. Gauthier y Swartzman.

4.4. OBJETIVO ESPECIFICO 4

Realizar talleres de trabajo y discusión con la participación de expertos internacionales, para analizar la problemática de la evaluación del reclutamiento de merluza de cola.

Este objetivo se aborda a través de la realización de dos talleres de trabajo de carácter internacional.

- El primero se llevo a cabo en las dependencias de la Universidad de Concepción durante los días 15 y 16 de Diciembre de 2004, y enfatizó aspectos metodológicos, información sobre distribución espacio - temporal de huevos y larvas de merluza de cola en toda la zona de distribución y revisión bibliográfica sobre la regulación del reclutamiento en el género *Macruronus* y *Merluccius*.

- El segundo se llevo a cabo en las dependencias de la Universidad de Concepción durante los días 27 y 28 de Abril de 2005. La fecha del taller se tuvo que posponer dos veces debido al atraso en la entrega de la información por parte de la subsecretaría de pesca. Finalmente la información fue entregada con 2 semanas de anticipación del desarrollo del taller, lo cual genero muchos problemas entre los investigadores para analizar la data. El segundo taller tuvo la participación de diversos investigadores nacionales y tres expertos internacionales. En los dos días de reuniones se desarrollaron una serie de presentaciones con discusiones ampliadas sobre temas de distribución espacio-temporal de la merluza de cola, tanto nacional como Argentina, revisión del modelo conceptual y utilización de las estimaciones del reclutamiento al interior del modelo de evaluación indirecta.

4.5. OBJETIVO ESPECIFICO 5

Proponer y describir el procedimiento más adecuado (directo o indirecto) para evaluar el reclutamiento de merluza de cola en la zona centro-sur, indicando ventajas y desventajas; o, si procede, proponer modificaciones al método actualmente utilizado.

Este objetivo se abordó considerando los siguientes factores:

- Revisión de hipótesis de estructura poblacional.
- Revisión de hipótesis de migración de los juveniles hacia la zona centro-sur y analizar si los datos contienen información sobre la variabilidad en los patrones de migración.
- Comparación de las estimaciones directas del reclutamiento con las provenientes de otras fuentes de información.
- Identificación de problemas potenciales en la metodología (aspectos estadísticos y acústicos)
- Aporte de los participantes de los talleres a la formulación del modelo conceptual de ciclo de vida y reclutamiento.
- Identificación de los procedimientos más adecuados para evaluar el reclutamiento de merluza cola.

5 RESULTADOS

El presente informe de avance expone los resultados alcanzados hasta este momento en el proyecto FIP 2004-12. Esta información se organiza de acuerdo a los objetivos de la propuesta técnica.

5.1. OBJETIVO ESPECIFICO 1

Caracterizar el proceso de reclutamiento de merluza de cola y describir los factores bióticos y abióticos que lo afectan o podrían afectar.

5.1.1. Análisis de información del ciclo de vida y reclutamiento de merluza de cola y especies afines

MERLUZA DE COLA

La merluza de cola, *Macruronus magellanicus* Lönnber, 1907, se distribuye en aguas profundas por sobre la plataforma y talud continental de América del Sur entre Chile y Argentina. En el Pacífico Sur Oriental se encuentra entre aproximadamente los 30°S y 57°S (Lillo et al., 1997), aún cuando también se ha reportado su captura asociada al talud continental de la zona de Coquimbo (29°16'S) y en el Bajo O'Higgins (32°30'S-73°30'W) (Lillo & Paillamán, 1996; Lillo et al., 1998). En el Atlántico Sur Occidental en tanto habita entre los 33°S y 57°S (Giussi et al., 2002).

Al interior de la Zona Económica Exclusiva de Chile, la merluza de cola ha sostenido históricamente dos pesquerías, una demersal asociada a la pesquería demersal sur-austral y otra pelágica en la zona centro-sur. La pesquería demersal sur-austral se desarrolla al sur de la latitud 41°28,6'S hasta los 57°00' L.S., donde la merluza de cola es capturada con sistemas de pesca de arrastre (fondo y media-agua) (Barbieri et al., 2003). La pesquería pelágica de merluza de cola centro-sur

desarrolla su actividad extractiva entre los límites de la VI y X regiones, encontrándose en la VIII Región su principal centro de operaciones (Serra et al., 1999 fide Barbieri et al., 2003); en esta pesquería la captura es realizada mediante el sistema de pesca de cerco.

Ambas pesquerías presentan diferencias no sólo con respecto al sistema de pesca con el cual se extrae, sino también desde el punto de vista de la estacionalidad y niveles de captura, estructura de tamaños (edades) y condición reproductiva, principalmente.

En la pesquería demersal sur-austral el período de máxima captura de merluza de cola se obtiene durante el segundo y tercer trimestre de cada año, período que coincide con el de concentración reproductiva del recurso (julio a septiembre), el cual se localiza principalmente entre las islas Guafo y Guamblin (44° - 47°S) (Young et al., 1998; Payá et al., 2002). En cambio, en la pesquería pelágica centro-sur existe una marcada estacionalidad en la captura de merluza de cola, la cual se extiende desde el cuarto trimestre de un año y finaliza en el primer trimestre del año siguiente (Lillo et al., 2000). Históricamente, los desembarques de merluza de cola provenientes de la pesquería demersal sur-austral se han mantenido relativamente constantes con valores en torno a las 20 mil toneladas, aún cuando se debe tener en consideración que durante gran parte del desarrollo de la pesquería no existió intencionalidad de pesca sobre el recurso y, además, estos niveles de desembarque se encuentran subestimados por el descarte que se efectúa a bordo de los buques y que no siempre es registrado en la bitácora de pesca (Young et al., 1998). En la pesquería pelágica se presentan fuertes fluctuaciones interanuales, con niveles de desembarque que han fluctuado entre 70 mil y 360 mil toneladas (SERNAPesca, 2003), condición que se ha tratado de explicar en parte debido a la variación en la fuerza de las clases anuales (Arancibia et al., 1994). La pesquería pelágica de merluza de cola surgió como recurso alternativo al jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el período estival, cuando los desembarques de este último disminuyen significativamente debido a

fuertes cambios en su disponibilidad a consecuencia de sus procesos reproductivos (Arancibia & Cubillo, 1993).

Las evaluaciones directas e indirectas realizadas sobre merluza de cola en las zonas donde se desarrollan ambas pesquerías sugieren, en general, que la fracción juvenil de la población se localiza principalmente hacia el norte de su área de distribución, en tanto que la fracción adulta lo hace hacia la zona sur (Arancibia et al., 1994; Young et al., 1998; Lillo et al., 2003). La estructura de edades de la captura de merluza de cola obtenida por la pesquería demersal sur-austral está compuesta por aproximadamente 14 grupos de edad, que van desde los 2 a 15 años (Figura 13). De estos, los grupos de edad 5 a 9 son los que aparecen más representados en la captura dando cuenta de aproximadamente un 79% de la abundancia en número para el año 1996 (Young et al., 1998). En cambio, en la pesquería de cerco centro-sur, la estructura de edades de la captura de merluza de cola aparece representada por los grupos 1 a 14, de los cuales las edades 1 a 4 dan cuenta desde 65% a un 100% de la abundancia (Figura 14).

Una fracción importante de las actividades extractivas de la pesquería demersal sur-austral tienen lugar en la Zona Norte del área de operación de la pesquería, ubicada entre 43°00'-50°00' LS, la cual es visitada por la flota hacia fines del primer semestre, concentrándose en ella durante el invierno. Al interior de esta zona la merluza de cola inicia en mayo su proceso de maduración sexual, alcanzando su madurez en julio para luego culminar con un corto período de desove durante los meses de agosto y septiembre de cada año (Young et al., 1998), aún cuando se han observado variaciones temporales en el período en que se alcanza la mayor actividad reproductiva (Lillo et al., 2004). Durante este proceso de maduración se ha observado la presencia de una moda amplia de ovocitos que crece en forma sincrónica, la que junto a la existencia de ovocitos inactivos durante todo el período de desarrollo permite señalar para esta especie un desove de tipo grupo sincrónico (Young et al., 1998).

Las observaciones de índices reproductivos tales como Índice Gonadosomático y escalas de madurez macroscópicas señalan la ausencia de actividad reproductiva en los ejemplares de merluza de cola capturados por la flota pesquera de cerco que opera en la zona centro-sur durante la temporada estival (Arancibia et al., 1994; Lillo et al., 2000), lo cual concuerda con la idea de una importante zona de reproducción en el área sur de distribución de merluza de cola de acuerdo con los antecedentes antes señalados.

De esta forma, la estacionalidad y desfase en las capturas y desembarques de merluza de cola registradas en las pesquerías demersal sur-austral y cerco centro-sur, las diferencias encontradas en los grupos de edad disponibles, vulnerables y capturables entre ambas pesquerías y los distintos estados de madurez reproductiva asociados a estos grupos de edad, junto con la ausencia de diferencias morfométricas, parasitarias y genéticas establecidas entre ejemplares provenientes de ambas pesquerías (Galleguillos et al., 1998), han llevado a postular la hipótesis de una sola población de merluza de cola en toda el área de distribución de la especie en aguas del Pacífico Sur Oriental, la cual presentaría patrones migratorios latitudinales asociados a procesos reproductivos y de alimentación.

De acuerdo a esta hipótesis el aumento de las capturas de merluza de cola en la zona sur-austral, el cual ocurre aproximadamente desde abril a agosto de cada año (septiembre inclusive), sería el resultado de la conformación de agregaciones reproductivas las que alcanzan su máximo desarrollo desde julio hasta septiembre entre las islas Guafo y Guamblin (44° - 47°S) (Figura 15). Durante todo este período las capturas de merluza de cola en el área centro-sur son prácticamente inexistentes debido presumiblemente a la falta de disponibilidad del recurso en esta área, aún cuando se debe tener en consideración que gran parte de la flota que opera sobre merluza de cola cambia su intensionalidad de pesca hacia jurel durante los meses de otoño e invierno (Cubillos et al., 1998). Posteriormente, desde septiembre a marzo disminuyen las capturas de merluza de cola en la zona sur-austral mientras que estas comienzan a aumentar en el área de la pesquería de cerco centro-sur (Figura 15).

Como ya fue anteriormente expuesto, esta última pesquería opera sobre una fracción de la población de menor tamaño y más juvenil en comparación a la flota que opera en la zona sur-austral, razón por la cual se ha postulado que el área centro-sur corresponde a una zona de alimentación principalmente para la población juvenil de merluza de cola y donde, además, se produciría el reclutamiento anual de la población.

Este simple modelo conceptual sobre la dinámica espacial de la población de merluza de cola al interior del área de distribución en el Pacífico Sur Oriental es esquematizado en la Figura 16. En él se ha representado la principal área de desove y el área centro-sur considerada de reclutamiento y alimentación del recurso.

Aún cuando son varios los autores que a través de sus investigaciones apoyan este modelo de dinámica poblacional espacial, existen antecedentes generados por estos mismos estudios donde se deja de manifiesto una falta de consistencia de la información o por lo menos que el modelo conceptual es más complejo. Arancibia et al. (1994) utilizando Análisis de Pseudocohortes y Análisis de Población Virtual, reportan para el año móvil 1989/90 una fuerte representación de los grupos de edad 2 y 3 en el desembarque de la flota de cerco centro-sur, los cuales mantienen su importancia en los años móviles 1990/91 y 1991/92 (Tabla 12). Lo anterior sería el resultado del ingreso de dos fuertes clases anuales nacidas en 1987 y 1986 las que reclutaron a la pesquería en el área de distribución centro-sur. No obstante, para el año móvil 1992/93 las capturas de merluza de cola fueron sostenidas prácticamente por los grupos modales 3 y 4 los que no aparecen representados en biomasa ni abundancia en el desembarque de los años inmediatamente anteriores (Tabla 12). En este último caso la información no apoya la hipótesis de que la zona centro-sur corresponda a una única área de reclutamiento del recurso.

Resultados similares son los obtenidos en los cruceros de evaluación directa llevados a cabo entre el 3 de noviembre y el 1 de diciembre de 1999 entre las latitudes 35°20'S y 47°00'S, y desde el 7 al 16 de noviembre de 2001 entre las

latitudes 35°00'S y 40°04'S, ambos con el propósito de evaluar el stock "recluta" de merluza de cola a través del método hidroacústico (Lillo et al., 2000; Barbieri et al., 2003). En el crucero de 1999 se observaron dos clases anuales fuertes, 1997 y 1998, correspondientes a los grupos de edad 2 y 1, más una tercera clase anual (de 1995) aunque de una importancia relativamente menor correspondiente al grupo de edad 4 (Figura 17). Luego, en el crucero de 2001 estas clases anuales se manifestaron en los grupos de edad 3, 4 y 6, las que en conjunto dieron cuenta del 54% de la abundancia. De esta forma, las clases anuales de 1997 y 1998 reclutaron a la pesquería de cerco centro-sur el año 1999 y se mantuvieron en ella durante el 2001. Sin embargo, en el crucero del año 2001 el grupo de edad 2 aparece escasamente representado en la estructura de las capturas y el grupo de edad 1 es inexistente (Figura 17).

Tabla 12. Desembarque de *M. magellanicus* por edad y año móvil. (Extraído de Arancibia et al., 1994).

| GRUPO EDAD (años) | P E S O (t o n) | | | | N U M E R O (miles) | | | |
|-------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------|
| | 1989/90 | 1990/91 | 1991/92 | 1992/93 | 1989/90 | 1990/91 | 1991/92 | 1992/93 |
| 1 | 1137 | | 2 | 70 | 13252 | | 20 | 825 |
| 2 | 75429 | 729 | 4541 | 18252 | 353628 | 3217 | 20994 | 82440 |
| 3 | 67954 | 31642 | 13351 | 79263 | 203454 | 73347 | 34364 | 205984 |
| 4 | 19236 | 55201 | 40371 | 83114 | 31493 | 88991 | 59589 | 132731 |
| 5 | 1103 | 8615 | 28559 | 13188 | 1286 | 9440 | 31072 | 14558 |
| 6+ | 579 | 477 | 2501 | 845 | 495 | 419 | 2093 | 719 |
| 1+ | 165437 | 96665 | 89324 | 195131 | 603608 | 175415 | 148133 | 437256 |
| 2+ | 164300 | 96665 | 89322 | 195061 | 590356 | 175415 | 148113 | 436431 |
| 3+ | 88871 | 95936 | 84781 | 176809 | 236728 | 172198 | 127119 | 353991 |
| 4+ | 20917 | 64294 | 71430 | 97546 | 33274 | 98851 | 92754 | 148007 |
| 5+ | 1682 | 9093 | 31059 | 14032 | 1781 | 9859 | 33166 | 15276 |
| 6+ | 579 | 477 | 2501 | 845 | 495 | 419 | 2093 | 719 |

Estos antecedentes llevan a establecer la interrogante sobre las causas que producen la ausencia o la baja representación de los grupos de edad más juveniles de merluza de cola en la pesquería de cerco centro-sur en determinados años. Si la zona centro-sur corresponde a un área de reclutamiento del recurso dado el modelo conceptual que hasta el momento se postula, entonces, es lógico pensar que los

grupos de edad 1 y 2 deberían ser observados todos los años en la pesquería, aún cuando no necesariamente con la mismo nivel de abundancia.

Una causal para el escaso o nulo aporte de los grupos de edad 1 y 2 en ciertos años puede ser a consecuencia de fallas en el reclutamiento debido, por ejemplo, a condiciones no favorables para una adecuada sobrevivencia larval u otras. Sin embargo, una falla en el reclutamiento de merluza de cola no parece explicar la ausencia del grupo de edad 1 en el año móvil 1990/1991 y su posterior baja representación como grupo de edad 2 en el año siguiente, ya que en el año móvil 1992/93 es esta misma clase anual la que da cuenta del 47% de la abundancia en los desembarques de la pesquería de cerco centro-sur (Tabla 12).

Otra alternativa es que la zona centro-sur no constituya una única área de reclutamiento y alimentación de la especie tal como hasta el momento se cree, sino que corresponda a una de dos o más áreas de reclutamiento y alimentación al interior de su área de distribución. Al respecto, adquiere gran relevancia los antecedentes reportados por Lillo et al. (2004) mediante cruceros de evaluación hidroacústica en aguas exteriores e interiores de la X y XI regiones durante agosto y septiembre de 2003, respectivamente. En la zona de aguas interiores se registró una fuerte presencia de ejemplares juveniles de un rango de tamaños de 20 a 54 cm, tallas que no fueron registradas en el crucero de aguas exteriores (Figura 18). En la zona de aguas interiores la estructura de tamaños fue bimodal, con una moda principal centrada entre 30 y 39 cm y otra secundaria en el rango de tamaños 45 a 49 cm, las que de acuerdo a la clave talla edad reportada por Ojeda et al. (1998) corresponderían a individuos de entre 1 y 3 años de edad. En cambio, en la zona de aguas exteriores la composición de tallas fue unimodal y centrada entre 60 y 79 cm, lo que según los mismos autores abarcaría ejemplares desde 4 a 8 años de edad principalmente. Según estos resultados, si la zona de aguas interiores de la X y XI regiones correspondiera también a un área de reclutamiento y alimentación, entonces los individuos de edad 3 obtenidos en esta zona podrían dar cuenta del grupo de

edad 1 ausente en la evaluación directa de merluza de cola realizada en la zona centro-sur durante noviembre de 2001.

Otro aspecto menos estudiado es la posible interacción entre los stocks de merluza de cola explotados tanto en el Pacífico Sur Oriental como en el sector del Atlántico Sudoccidental. En la plataforma y talud continental del Mar Argentino existe desde la década de los 80 una importante pesquería demersal sobre merluza de cola, la que en sus inicios fue explotada principalmente por embarcaciones extranjeras que operaban alrededor de las Islas Malvinas y fuera de la Zona Económica Exclusiva de Argentina. Desde 1993 a la fecha el recurso es extraído por embarcaciones factoría, congeladoras, fresqueras y surimeras argentinas como alternativa a la disminuida pesquería de merluza común (*Merluccius hubbsi*), con niveles de captura que durante el período 1998-2003 bordearon en promedio 145 mil ton anuales (Wöhler & Giussi, 2004).

Al interior del área donde opera la pesquería argentina las capturas están compuestas por ejemplares juveniles y adultos desde las edades 1 a 12+, sin que exista una marcada segregación espacial entre grupos de edades. Las edades que dan cuenta desde un 72% a 99% de las capturas en número corresponden a los grupos 2 a 8, aún cuando en ciertos años se ha observado un significativo aporte del grupo de edad 1, como es el caso de los años 1995 y 2000 en los que las clases anuales de 1994 y 1999 representaron el 25% y 22% de la captura en número, respectivamente (Figura 19). La importancia de la fuerza de estas clases anuales reclutadas a la pesquería a la edad 1 se mantuvo durante cuatro años, lo que de alguna manera indica que una fracción de la población se mantiene de forma permanente en aguas de la plataforma y talud continental argentinos, aunque al interior de esta zona el recurso puede realizar migraciones estacionales, tal como ha sido señalado a partir de la observación de cambios en la estructura de tallas a través del tiempo en una misma área geográfica (Giussi et al., 2003).

A partir de cruceros de prospección, campañas de investigación realizadas por el INIDEP y de las capturas de la flota comercial a lo largo del ciclo anual, Wöhler & Giussi (2002) proponen un esquema migratorio para la especie de acuerdo al cual, al menos una parte del efectivo adulto que se localiza sobre la plataforma austral durante el verano (principalmente entre 48°S y 54°S) se desplazaría, posiblemente con fines reproductivos, hacia menores latitudes en aguas del talud a finales de otoño para retornar a la plataforma intermedia durante la primavera. Hansen & Wöhler (2003) apoyan este patrón de migración a partir de la evolución mensual de la CPUE, según el cual los rendimientos de pesca al norte de los 48°S son menores que los de la zona sur durante el primer semestre de cada año, pero mayores en el segundo. Durante un estudio de la maduración ovárica de merluza de cola entre junio y octubre de 2002, Pájaro et al. (2003) (fide Pájaro et al., 2004) concluyeron que existió un patrón de migración en la región del talud, al norte de los 49°S, caracterizado por la presencia de una elevada proporción de individuos juveniles en el mes de junio, y por el arribo de un significativo número de individuos adultos durante agosto y septiembre.

Si bien la presencia de ejemplares adultos, aunque en escaso número, con gónadas en maduración y en post-puesta, señalan la existencia de actividad reproductiva entre fines de otoño y mediados de primavera en el área de la plataforma y talud continental argentino (Pájaro et al., 2002), no se han detectado agregaciones en el momento de la puesta (Scarlato & Wöhler, 2001) ni importantes zonas de desove, a excepción de dos áreas cercanas al talud continental, interesantes desde el punto de vista reproductivo, una norte a los 44°S y 60°W y otra sur a los 55°S y 64°30'W (Figura 20) (Pájaro et al., 2002).

Para explicar la ausencia de zonas de desove se han planteado principalmente cuatro causas posibles: i) el período de puesta de merluza de cola en el Atlántico Sudoccidental sería relativamente corto; ii) no todos los ejemplares adultos desovan en un determinado año; iii) el área de puesta es pequeña y poco explorada por la flota

comercial argentina en la zona del talud continental; iv) no todos los grupos de edad desovan en el Mar Argentino.

Las dos primeras causas posibles se sustentan en observaciones sobre el símil de merluza de cola en aguas de Nueva Zelanda, *Macruronus novaezelandiae*, que como posteriormente se expondrá presenta un acotado aunque no corto período de desove, durante el cual sólo una fracción de individuos por grupo de edad inicia y concluye su desarrollo reproductivo cada año (Livingston et al., 1997).

Respecto a la tercera explicación, Pájaro et al. (1994) plantean como hipótesis que el grupo poblacional que habita las aguas de la plataforma probablemente se reproduzca en aguas más profundas en el sector más austral, por fuera de la plataforma continental e insular argentina y el talud adyacente, no explorada por los buques comerciales y de investigación argentinos. Esto atentaría contra la explicación propuesta por Wöhler & Giussi (2002) y posteriormente reforzada por Hansen & Wöhler (2003), respecto de que la causa de la migración observada por parte de un segmento de la fracción del stock adulto de merluza de cola hacia fines de otoño, desde el área al sur de la latitud 48°S hacia el norte de la misma, obedecería a una migración de tipo reproductivo.

Finalmente, se ha planteado la posibilidad de que una determinada fracción de la población adulta migre hacia la zona de desove en el Pacífico Sur Oriental, no quedando claro si posteriormente al desove aquella fracción poblacional migra nuevamente hacia la zona argentina o si permanece en el área colindante a la zona de puesta reclutando a la pesquería demersal sur-austral en Chile. La principal objeción a esta hipótesis radica en la diferencia de biomasa estimadas para ambos stocks, Pacífico y Atlántico. Según Pájaro et al. (1994) parece poco probable que la biomasa estimada para el stock desovante en el área de puesta del Golfo de Penas, Chile (574 mil ton en 2003), sea capaz de sostener la biomasa que se encuentra en el sector del Atlántico Sudoccidental (1,6 a 2,1 millones ton en 2003) más la biomasa de juveniles ubicada en la zona centro-sur de Chile (287 mil ton en 2001).

Sin embargo, a pesar de las diferencias en las biomásas estimadas para ambos stocks, es necesario investigar la interacción entre ambos stocks con el propósito de conceptualizar un adecuado modelo de dinámica espacial poblacional de merluza de cola en el área de distribución del Pacífico Sur Oriental.

Con este mismo fin se presentan a continuación, los resultados obtenidos del análisis bibliográfico sobre ciclo de vida y reclutamiento de hoki, *M. novaezelandiae*.

HOKI

El “hoki”, *Macruronus novaezelandiae* Hector, también conocido como “blue grenadier”, es un pez de hábitos pelágicos y demersales que se distribuye sobre la plataforma y talud continental de Australia, Tasmania y Nueva Zelanda desde los 50 a 800 m de profundidad (Lloris et al., 2003).

En aguas australianas el “blue grenadier” se encuentra desde New South Wales hasta el sur de Australia Oeste, incluyendo las costas de Tasmania. Al interior de esta área de distribución se ha identificado la existencia de un solo stock (Milton & Shaklee, 1987) el cual es capturado por medio de varios tipos de artes de pesca. La pesquería puede ser dividida en dos subpesquerías, una subpesquería “desovante” que opera sobre la fracción adulta de la población en condición reproductiva durante el invierno (junio-agosto) en el oeste de Tasmania y una subpesquería “no desovante” que incluye todas las capturas realizadas en la Pesquería Sur Este. La principal área de desove de la especie en aguas australianas se ubica en la costa oeste de Tasmania entre 41°S y 43°30’S (Gunn et al., 1989), aún cuando existe evidencia de una segunda área de desove de menor importancia en el sureste de Australia (Figura 21) (Thresher et al., 1988; Bruce et al., 2001).

De acuerdo a los resultados informados por Punt et al. (2001), en la subpesquería “no-desovante” son capturados ejemplares desde el grupo de edad 1 a 15+, con una estructura conformada principalmente por individuos juveniles y adultos

jóvenes de 3 a 8 años de edad. En algunos años la estructura de edades es fuertemente unimodal con un claro predominio de peces jóvenes, no obstante que en otros se observa la presencia de dos modas importantes, una juvenil y otra de adultos. En la subpesquería “desovante” en cambio, se capturan peces de 3 a 15+ años, siendo los individuos adultos los que presentan una mayor proporción en las capturas. En esta pesquería la estructura de edades presenta a lo menos de 2 a 3 modas principales, observándose en algunos años una alta proporción del grupo de edad 15+.

Bruce et al. (2001), sobre la base de un modelo de transporte advectivo y análisis de otolitos provenientes de larvas de “blue grenadier” obtenidas a lo largo de la costa suroeste de Tasmania y en aguas de la plataforma frente a New South Wales-Victoria, establecieron que las larvas originadas en el área de desove de Tasmania oeste son transportadas a lo largo de la costa alcanzando la región sureste de esta isla, pero con pocas posibilidades de llegar a la zona sureste de Australia (Figura 22). Estos antecedentes no sólo permiten soportar la existencia de una segunda zona de desove de “blue grenadier” en aguas de Australia sureste, sino que junto con la estructura de edades observadas en las capturas de ambas subpesquerías, se puede inferir que los individuos generados en la principal área de desove permanecen en aguas de la costa este de Tasmania durante los primeros 2 años de vida, luego de lo cual migrarían nuevamente hacia la zona de puesta pudiendo reclutar a la subpesquería “desovante” a partir de los 4 años (Gunn et al., 1989).

La población de *M. novaezelandiae* distribuida en aguas de Australia y Tasmania es genéticamente distinta de la encontrada en Nueva Zelanda (denominada “hoki”), donde sustenta una de las pesquerías comerciales más importantes de ese país, con capturas anuales que desde 1987 a la fecha han fluctuado entre 160 mil y 270 mil ton (Francis, 2004). Sobre la base de diferencias morfométricas y tasas de crecimiento se distinguen dos stocks distintos de esta especie en el área de distribución de Nueva Zelanda, uno oeste y otro este (Livingston & Schofield, 1996). El stock oeste reside principalmente sobre Campbell

Plateau, sur de Nueva Zelanda, y desova en la costa oeste de South Island; mientras que el stock este habita sobre Chatham Rise y desova en Cook Strait (Figura 23).

La distribución espacio-temporal de ambos stocks es bastante compleja y para tratar de conocerla se han llevado a cabo una serie de cruceros ictioplanctónicos, evaluaciones acústicas y monitoreo de las capturas, así como estudios morfométricos, genéticos y de crecimiento, entre otros (Patchell et al., 1987; Murdoch & Chapman, 1989; Coombs & Cordue, 1995; Vignaux, 1996; Livingston et al., 1997; Zeldis et al., 1998; Bull & Livingston, 2001; Francis, 2004).

El stock oeste ubicado sobre Campbell Plateau (denominada también región sub-Antártica) iniciaría su migración con fines reproductivos hacia la costa oeste de South Island desde fines de mayo a inicios de junio, desovando durante julio y agosto (Livingston et al., 1997). Durante la estación de puesta las agregaciones reproductivas se concentrarían mayoritariamente en la región de Hokitica Canyon a fines de junio y julio (Figura 24); y posteriormente, a mediados de agosto el stock desovante se encontraría al noroeste de Westport (Hurst, 1987 fide Zeldis et al., 1998). Además, durante este período se produciría una renovación continua del stock desovante (O'Driscoll, 2004), permaneciendo los peces en estado de puesta entre 20 y 27 días, luego de lo cual abandonan el área de desove. Al término del período de puesta los peces migran de vuelta hacia la zona de alimentación, proceso de dispersión que ocurre principalmente durante septiembre. En esta región los huevos son desovados entre 250 y 750 m de profundidad a lo largo de la plataforma y talud continental, y las larvas son transportadas advectivamente hacia la costa (Zeldis, 1993; Zeldis et al., 1998).

El stock este localizado sobre Chatham Rise migraría hacia su área de desove en Cook Strait, aproximadamente durante el mismo período que el stock oeste (Francis, 2004). En esta región también sucedería un reemplazo de la fracción desovante en la época de puesta, julio-agosto (O'Driscoll, 2004). Sin embargo, a diferencia de lo observado en la costa oeste de South Island, en Cook Strait los

huevos y larvas de “hoki” son encontrados en aguas más someras (Murdoch & Chapman, 1989), por lo que no queda claro si el desove en esta región ocurre a una mayor profundidad.

Los ejemplares juveniles de los stocks oeste y este migran hacia la región de aguas someras de Chatham Rise (Bull & Livingston, 2001), reclutando a esa área de crianza entre 1 y 2 años de edad (Livingston & Schoefield, 1996; Livingston, 1997). A medida que los peces en esta región crecen y maduran se mueven hacia aguas más profundas; el stock este permanecería en Chatham Rise, mientras que el stock oeste se movería hacia la zona sub-antártica (Bull & Livingston, 2001), proceso que ocurriría a medida que los grupos de edad se desarrollan entre los 3 y 8 años (Livingston et al., 1997).

Sobre la base de la información antes señalada, para las evaluaciones del “hoki” en Nueva Zelanda se trabaja sobre el siguiente modelo cognitivo de la estructura del stock, que de acuerdo a Francis (2004) opera de la siguiente forma:

“Durante octubre y noviembre el stock oeste migra desde la costa oeste de South Island hacia el área sub-Antártica (grupo 8+) y el stock este lo hace desde Cook Strait hacia Chatham Rise. Desde diciembre a marzo se produce el reclutamiento de los individuos de edad 1+ hacia Chatham Rise (ambos stocks), ocurriendo la pesquería sobre el “hoki” no desovante de ambos stocks. Desde abril a junio el stock oeste (individuos 8+) migra desde Chatham Rise hacia el área sub-Antártica, ocurriendo en esta zona la pesquería sobre individuos no desovantes del stock oeste. A fines de junio se produce la migración reproductiva del stock oeste desde el área su-Antártica hacia la costa oeste de South Island, mientras que el stock este lo hace desde Chatham Rise hacia Cook Strait. Finalmente, desde julio a septiembre se produce la pesquería sobre ambos stocks desovantes”.

MERLUCCIUS

La distribución geográfica del género *Merluccius* es amplia, aunque con ciertas discontinuidades en latitudes ecuatoriales o en sus proximidades (Figura 25) (Lloris et al., 2003). Se encuentra tanto en el hemisferio norte como en el sur, a ambos lados del Océano Atlántico, en todo el Pacífico oriental americano, desde algo más al norte de la frontera de Canadá con Estados Unidos de América hasta el Cabo de Hornos y en las costas de Nueva Zelanda; también hay un registro puntual en el Pacífico occidental (Japón) y en el Océano Índico (sur y sudeste de Madagascar). En las costas euroafricanas del Atlántico oriental, está presente desde el extremo norte de la Península Escandinava e Islandia hasta el Cabo de Buena Esperanza. También existe en el Mar Mediterráneo y en el sur del Mar Negro, y se ha reportado un registro aislado en el Mar Rojo. En las costas americanas del Atlántico occidental, las merluzas se encuentran desde el canal de la isla de Bell (Terranova) en Canadá hasta el cabo de Hornos.

Las capturas de *Merluccius* registraron un fuerte incremento desde el inicio de la década de 1960, hasta llegar a alcanzar un máximo de algo más de 2 millones ton en 1973 (Lloris et al., 2003). Las especies que históricamente han dado cuenta de la mayor parte del desembarque de este género corresponden a *Merluccius capensis* y *M. paradoxus* (Figura 26), ambas presentes en el Atlántico Suroriental, costa de Sudáfrica, aproximadamente desde Cabo Buena Esperanza hasta Cabo Santa Lucía en el Océano Indico (Payne & Punt, 1995). De igual importancia es *M. hubbsi*, especie que en el Atlántico Sudoccidental se encuentra desde los 22°S hasta 55°S (Cousseau & Perrota, 1988 fide Macchi et al., 2004). Con un menor aporte en el desembarque histórico mundial se encuentran *M. gayi* en el Pacífico Sur Oriental (Chile y Perú) y *M. productus* en el Pacífico Nor Oriental, desde México hasta Canadá.

A pesar de los altos niveles de desembarque registrados para las especies de merluzas antes señaladas, existe un escaso conocimiento del ciclo de vida así como

de su dinámica espacial asociada. La excepción la constituye *M. productus*, la cual ha sido objeto de una gran cantidad de estudios destinados a determinar su estructura poblacional, áreas de alimentación, reproducción y reclutamiento, patrones de migración asociados, y su variación en relación a cambios en las condiciones ambientales (Bailey et al., 1982; Hollowed, 1992; Saunders & McFarlane, 1997; Horne et al., 1999; Benson et al., 2002; Iwamoto et al., 2004). Aunque de una menor contribución actual al desembarque mundial de merluzas (Figura 26), las investigaciones llevadas a cabo sobre *M. bilinearis*, distribuída en el Atlántico Noreste desde Canal Isla Bell hasta Bahámas (Lloris et al., 2003), han permitido un adecuado conocimiento sobre su historia de vida y las condiciones ambientales a las que está sujeta.

Debido a lo anteriormente expuesto, el análisis más completo sobre el ciclo de vida del género *Merluccius* corresponderá a las especies *M. productus* y *M. bilinearis*, mientras que con respecto a las demás especies señaladas más *M. merluccius*, se entregaran antecedentes en general descriptivos sobre su historia de vida.

M. productus

La merluza del Pacífico o “Pacific hake”, *Merluccius productus* (Ayres, 1855), también conocida como “Pacific whiting”, se encuentra en el Pacífico nororiental desde el Golfo de Alaska hasta el Golfo de Teuantepec (Mexico). Sin embargo, la mayor parte de la especie se distribuye entre Isla Vancouver y el Golfo de California. Al interior de esta zona se desarrolla una importante pesquería de arrastre de carácter internacional, donde participan las flotas comerciales de Canadá y Estados Unidos (Wilson et al., 2000).

En la pesquería del “Pacific hake” se reconocen tres stocks: uno en aguas costeras exteriores (llamado “offshore”), el cual realiza una migración extensa y alejada de la costa entre el sur de California y Queen Charlotte Sound; y dos stocks

en aguas interiores, uno en la región centro-sur de Puget Sound, y otro en Strait of Georgia (Bailey et al., 1982; Method & Dorn, 1995). El nivel de diferenciación entre las dos poblaciones de aguas interiores es considerablemente menor al encontrado entre estas y la población costera (Iwamoto et al., 2004), pero suficiente para establecer que los stocks de aguas interiores se encuentran aislados reproductivamente.

El stock “offshore” es capturado entre 100 y 500 m de profundidad en las costas del norte de California, Oregon, Washington y British Columbia durante los meses de abril a octubre (desde inicio de primavera a mediados de otoño), desovando desde California centro-sur hasta Baja California en los meses de enero y febrero, invierno en el hemisferio Norte (Dorn, 1995; Method & Dorn, 1995).

El patrón de migración determinado para este stock indica que en los meses de primavera y verano, los adultos migran hacia el norte para alimentarse, llegando hasta el centro de Isla Vancouver (Figura 27). La zona donde ocurre la alimentación de los adultos corresponde a un estrecho hábitat ubicado cerca del quiebre de la plataforma continental (Francis, 1983). Durante el tiempo de alimentación la merluza conforma agregaciones a profundidades intermedias (Saunders & McFarlane, 1997), condición que es aprovechada para realizar los cruceros de evaluación de stock, usualmente entre julio y septiembre (Wilson et al., 2000). Luego, en otoño los adultos migran con fines reproductivos hacia el sur (Dorn, 1995). De acuerdo a estimaciones realizadas por Hollowed (1992) y Smith (1995), aproximadamente el 95% de los adultos desovantes se encuentran desde el 19 de diciembre al 6 de marzo en un área de 300 mil km² frente a la costa de California y la Península Baja. Los límites norte y sur del área de desove cambian entre años debido a la temperatura del agua (Horne & Smith, 1997), aún cuando se asume que el “hábitat” conveniente para el desove existe a lo largo de toda la extensión de la costa. La distancia a la costa de la región de puesta varía entre 60 y 165 km y las agregaciones de peces se distribuyen en el rango de 120-400 m de profundidad (Bailey et al., 1982; Saunders & McFarlane, 1997).

Los stocks de aguas interiores presentarían un patrón de migración similar al stock “offshore”, pero a una escala más reducida (Iwamoto et al., 2004). Desde febrero a Abril, el stock de Puget Sound desova en Port Susan y en Dabob Bay (Figura 28). Las agregaciones reproductivas del stock de Strait of Georgia desovan en la zona centro-sur de esta región, donde el período de máxima puesta va desde marzo a mayo.

Las larvas producidas en la época de puesta alcanzan el tamaño de 2,4 mm de longitud notocordal (LN) y se transforman en juveniles aproximadamente a los 30 mm de longitud estándar (LE) (Matarese et al., 1989 fide Sakuma & Ralston, 1997). Las larvas y juveniles parecen experimentar un cambio en la distribución vertical, evidenciado por la ausencia de larvas en la región superior de la capa de mezcla pero con la presencia de un gran número de juveniles (Sakuma & Ralston, 1997). Usualmente las larvas menores a 30 mm LE permanecen bajo la termoclina a profundidades de 60 m o más (Bailey, 1982). Sin embargo, larvas mayores a 12 mm LE pueden encontrarse cerca de la superficie (Bailey, 1982), y los estadios juveniles tempranos (> 30 mm LE) son bastante abundantes en la capa superficial durante la noche (Lenarz et al., 1991). Durante los primeros 4 a 6 meses las larvas y pequeños juveniles permanecen alejados de la costa; después, los juveniles menores a 3 años son encontrados sobre la plataforma continental de California central y sur (Bailey et al., 1986), desde donde gradualmente migran al norte y reclutan al stock principal (Saunders & McFarlane, 1997).

Un aspecto interesante en la dinámica espacial del stock “offshore” de “Pacific hake” es la relación existente entre el tamaño de los peces y el patrón de migración. De acuerdo con Ware (1978), en peces teleosteos existe una relación directa entre la velocidad de natación (y por lo tanto la distancia recorrida) y el tamaño corporal. La conducta migratoria de “Pacific hake” es fuertemente edad-dependiente (o tamaño dependiente), demostrándose que el tamaño de los peces aumenta con la latitud (Smith et al., 1990; Wilson et al., 2000). Utilizando la estructura de edad y abundancia de la población, y un índice ambiental que mide la intensidad del transporte en

dirección norte, Dorn (1995) desarrolló un método para predecir la proporción poblacional de ejemplares de “Pacific hake” que migran hacia aguas canadienses, a partir del cual se pudo establecer las siguientes características generales visualizadas también en el Figura 29:

1. La distancia de migración promedio de un grupo de edad incrementa con la edad.
2. La diferencia en la distancia promedio de migración entre grupos de edad consecutivos disminuye con la edad.
3. Los grupos de edad más viejos tienen una distribución más amplia en comparación a los grupos de edad más jóvenes. En otras palabras, la varianza de la distancia de migración incrementa con la edad.

M. bilinearis

Merluccius bilinearis (Mitchill, 1814), conocida como “silver hake”, se distribuye sobre la plataforma continental del Océano Atlántico Noroeste desde el Golfo de St. Lawrence y el borde sur de Grand Banks, Newfoundland, Canadá (Brodziak, 2001) hasta Cape Fear, North Carolina (Karnella, 1973) y al parecer tan al sur como South Carolina (Bolles & Begg, 2000). Las áreas de mayor abundancia son el borde sur de Grand Bank, Scotian Shelf, Gulf of Maine, Georges Bank y Middle Atlantic Bight en Long Island (Lock & Packer, 2004). Su distribución batimétrica va desde aguas someras hasta profundidades mayores a 400 m (Bolles & Begg, 2000), aún cuando sobre la plataforma de Nova Scotia prefiere las aguas cálidas del fondo, las cuales se extienden a más de 120 m (Rickter et al., 2001).

En aguas de Estados Unidos se han identificado dos stocks distintos desde el punto de vista morfométrico (Morse et al., 1999), los cuales además son administrados separadamente debido a diferencias en los patrones de explotación (Brodziak et al., 2001; Garrison & Link, 2000). Un stock se encuentra desde Gulf of

Maine al norte de Georges Bank, mientras que el otro stock habita desde el sur de Georges Bank hasta Cape Hatteras (Figura 30) (Lloris et al., 2003). Durante los meses de verano una fracción de ambos stocks habita sobre Georges Bank (Brodziak, 2001).

Aún cuando existen diferencias morfológicas y en las tasas de crecimiento, los límites de ambos stocks aún no están claramente definidos (Helser, 1996), razón por la cual la descripción del ciclo de vida de “silver hake” que a continuación se presentará tomará aspectos de toda la población y sólo se hará distinción entre stocks cuando la información reportada sea consistente.

Los huevos y larvas de “silver hake” se encuentran presentes sobre la plataforma continental al interior del área de distribución en aguas de Estados Unidos durante todos los meses del año (Lock & Packer, 2004). El desove comienza en enero a lo largo de la plataforma y pendiente continental en Middle Atlantic Bight, aunque con un bajo número de huevos distribuidos en aguas profundas. Luego, durante mayo, el desove ocurre al norte y este de Georges Bank; mientras que en junio el desove se extiende al interior de Gulf of Maine pero centrado todavía sobre Georges Bank. En estos meses las larvas son más abundantes en el rango de 60-130 m de profundidad desde Virginia a la región sureste de Georges Bank. Desde julio a septiembre se observan las máximas abundancia larvales en el sur de New England y sobre Georges Bank. En octubre, el desove se posiciona en el sur de New England y la frecuencia de huevos comienza a disminuir. En noviembre y diciembre el desove es observado nuevamente a lo largo de la plataforma y pendiente de Middle Atlantic Bight. El máximo desove ocurre desde mayo a junio en el stock sur y en los meses de julio y agosto en el stock norte (Brodziak, 2001).

En relación a la distribución geográfica de juveniles (<22 cm LT) y adultos, en invierno éstos se encuentran a través de la plataforma en Middle Atlantic Bight y el sur de New England, a lo largo de los bordes sur y norte de Georges Bank, y dispersos por Gulf of Maine (Morse et al., 1999). En primavera se distribuyen en toda

el área pero con una menor concentración en la parte más somera de Georges Bank, y en el caso de los adultos, además, el área más superficial de Middle Atlantic Bight. En verano la mayor presencia de juveniles ocurre en Gulf of Maine, mientras que los adultos no se asocian a un área en particular. Posteriormente, en otoño, su distribución cubre toda la plataforma, pero en el caso de los adultos hay una menor presencia en la región suroeste de Middle Atlantic Bight y en el centro de Georges Bank.

La distribución espacial de los distintos estadios de vida en “silver hake” varía en respuesta a cambios en las condiciones hidrográficas, principalmente profundidad y temperatura (Helser et al., 1995), aún cuando se señala que la migración del recurso es modulada específicamente por los cambios estacionales en la temperatura del agua (Brodziak, 2001). En primavera el “silver hake” comienza a migrar hacia aguas cálidas y someras, donde el desove tiene lugar desde fines de primavera a inicios de verano. El stock sur desova entre junio y julio, período durante el cual se desplaza desde Cape Cod-Mountauk Point hacia aguas someras al sur de Georges Bank; mientras que en el caso del stock norte, la población migra desde las aguas profundas del Golfo de Maine hacia aguas más superficiales del norte de Georges Bank, donde el desove ocurre en los meses de julio y agosto (Almeida, 1987 fide Morse et al., 1999). Posteriormente, en otoño a medida que la temperatura del agua disminuye los peces retornan hacia aguas más profundas. En los meses de invierno, el stock sur se traslada hacia aguas por fuera de la plataforma y pendiente, mientras que el stock norte se mueve en dirección hacia zonas profundas de Gulf of Maine (Lock & Packer, 2004).

Un solo stock continuo, probablemente separado de los anteriormente señalados, se encuentra en aguas de Canadá sobre la plataforma de Nova Scotia (Helser et al., 1995). En esta zona el área de distribución del “silver hake” está definida por los límites de las aguas cálidas de la pendiente (rango de temperatura: 6-14°C), las cuales se ubican entre los 120 y 500 m de profundidad, y su influencia al interior de la plataforma continental (Rikhter et al., 2001). La distribución espacial de

los distintos estadios del ciclo de vida del recurso está relacionado al patrón de circulación de esta masa de agua. Las mayores agregaciones de desove se localizan en la parte central de la plataforma de Nova Scotia entre Emerald Bank y el oeste de Sable Bank en el mes de agosto. La posterior distribución de los huevos y larvas está determinada por la circulación anticiclónica de verano, la cual contribuye a que estos estadios se localicen principalmente sobre Sable y Middle Bank's (Figura 31). Los juveniles (grupo de edad 0) se pueden encontrar sobre toda la plataforma continental, aún cuando las mayores concentraciones son observadas entre 59°30'W y 65°W, Sable Island Bank y sur de Browns Bank, en el rango de profundidad de 100-200 m, a temperaturas entre 5° y 12°C (Rikhter et al., 2001). Los individuos del grupo 1+ se distribuyen preferentemente en aguas cálidas del quiebre de la plataforma y en zonas profundas de la plataforma de Nova Scotia, región donde forman densas agregaciones durante el período de alimentación.

Sobre la base de estudios hidrobiológicos, muestreos biológicos específicos y análisis de la distribución de las capturas de la pesquería y cruceros de investigación, Sigaev (1978, fide Rikhter et al., 2001) propuso un patrón de distribución del "silver hake" sobre la plataforma de Nova Scotia, asociado a un modelo de circulación geostrofico para la estación de verano (Figura 32). En este modelo, se observa como las agregaciones de ejemplares adultos se localizan en torno al borde de la plataforma continental, a lo largo de la cual migran para alimentarse. Antes de que se produzca el desove, los peces en desarrollo reproductivo migran a lo largo de la plataforma en dirección a aguas más someras localizadas en Sable Island Bank y Middle Bank. En esta migración reproductiva los individuos maduros también pueden acceder a las zonas de desove a través de áreas profundas de la plataforma posicionadas al sur de Emerald Bank. El patrón de circulación oceanográfico contribuye a que los individuos producidos en el período de desove se encuentren en aguas relativamente profundas sobre la plataforma, en zonas donde se favorece la concentración de alimento. Posteriormente, desde estas zonas de crianza y alimentación los peces migran hacia las áreas de alimentación de los adultos.

M. capensis* y *M. paradoxus

Merluccius capensis Castelnau, 1981 y *Merluccius paradoxus* Franza, 1960, comúnmente llamadas “Namibian hakes” o “Cape hakes”, se distribuyen en el Atlántico Suroriental a lo largo de la costa de Namibia y South Africa, penetrando hasta el Océano Indico (Lloris et al., 2003). *M. capensis* habita la zona de aguas someras más cercana a la costa hasta alrededor de los 400 m de profundidad, mientras que *M. paradoxus* raramente se encuentra a profundidades menores a 150 m, pudiendo llegar incluso hasta los 900 m (Payne & Punt, 1995). Por esta razón a *M. capensis* se le denomina “shallow-water hake” y a *M. paradoxus* “deep-water hake”.

La mayor abundancia relativa de *M. capensis* ocurre en aguas superficiales de la costa de Namibia y en Agulhas Bank, mientras que *M. paradoxus* es más abundante en aguas profundas de la costa oeste de South Africa (Gordoa et al., 1995). La razón para esta diferencia geográfica en la abundancia relativa de ambas especies ha sido atribuida a la amplitud de la plataforma continental (Payne, 1989 fide Pillar & Wilkinson, 1995). Frente a la costa de Namibia la plataforma continental es más amplia, proporcionando un extenso hábitat para *M. capensis*. Por el contrario, frente a la costa de South Africa la plataforma es más estrecha y la pendiente cae suavemente, condiciones topográficas más adecuadas para *M. paradoxus*.

Frente a la costa de Namibia ambas merluzas desovarían durante todo el año, aunque con dos máximos estacionales, uno en el período primevera-verano y otro en el período invierno-primavera (Gordoa et al., 1995). Los huevos y larvas de *M. capensis* han sido reportados principalmente desde el rango de 20-30 m hasta los 150 m de profundidad (Olivar et al., 1992). La distribución de huevos y larvas de esta especie indica que el desove tiene lugar a lo largo de toda la plataforma continental de Namibia, con las principales concentraciones en la vecindad de Walvis Bay (Olivar et al., 1988).

El período de desove de ambas especies en la costa oeste de South Africa ocurre entre agosto y marzo, con aparentemente dos máximos, el primero a fin de año en ambos recursos, y otro en los meses de febrero y marzo, sostenido principalmente por *M. paradoxus*. Sin embargo, en la costa sur de South Africa el desove ocurriría durante todo el año lo que se sustenta en las observaciones sobre larvas realizadas por Shelton (1986, fide Payne & Punt, 1995). De acuerdo con Payne & Punt (1995), en ambas especies las áreas de crianza se encuentran en la dirección del patrón de corrientes que va desde las áreas de desove hacia la costa. A medida que los peces crecen se van desplazando fuera de la costa al mismo tiempo que se profundizan, de tal forma que los adultos siempre son encontrados a mayor profundidad que los juveniles (Figura 33).

M. hubbsi

Merluccius hubbsi Marini, 1933 se distribuye en el Atlántico Suroccidental desde los 22°S hasta los 55°S, lo que incluye las aguas del sur de Brazil, Uruguay y Argentina, a profundidades entre 50 y 500 m (Norbis et al., 1999). Al interior de esta área de distribución se han identificado dos stocks: uno norte, ubicado entre 34°S y 41°S; y un stock sur, localizado entre 41°S y 55°S (Macchi et al., 2004).

El stock norte es explotado por las flotas comerciales de Uruguay y Argentina, principalmente en la región conocida como Zona Común de Pesca Argentina-Uruguay (ZCPAU; Figura 34). Al interior de esta zona la actividad reproductiva comienza en abril con un centro de desove extendido entre 37° y 39°S (Buratti, 2003). En mayo aumenta dicha actividad reproductiva observándose la presencia de huevos en densidades variables, hasta 35°S, preferentemente en la región del talud continental. Luego, durante julio y agosto, las mayores concentraciones de huevos se ubican entre 34° y 36°S en profundidades mayores a 50 m. Los individuos juveniles (< 35 cm LT) se encuentran distribuidos sobre la plataforma durante todo el año, aún cuando las mayores concentraciones se ubican en el sector uruguayo, esto es, al

norte de los 36°S (Buratti, 2003). Debido a estos antecedentes, se considera que la región al norte de la latitud 36°S corresponde a un área de crianza para el recurso.

El stock sur de *M. hubbsi*, también conocido como stock Patagónico, constituye aproximadamente el 85% del total de la biomasa estimada para este recurso en Argentina (Dato et al., 2001; Hernández & Castrucci, 2001). La reproducción de este stock se extiende desde noviembre hasta abril con un máximo en enero, cuando las hembras desovantes se encuentran más ampliamente distribuidas en la región Patagónica norte (Pájaro & Macchi, 2001). Esto concuerda con la información sobre edad de larvas y post-larvas colectadas después de la estación de desove, la cual demuestra que enero es el mes con el mayor índice de producción (Brown et al., 2002). Durante la estación de desove tanto la abundancia como la proporción de hembras activas cambia al interior del área de puesta, siendo enero donde se observa la mayor abundancia de hembras activas (Macchi et al., 2004). La estructura de tamaños en hembras adultas es similar durante diciembre y enero, con una alta incidencia de individuos de tamaño pequeño e intermedio (entre 40 y 50 cm LT), lo que corresponde a individuos de 3 y 4 años de edad. Luego, en febrero, dominan las hembras activas entre 50 y 65 cm LT, lo que equivale a hembras de 5 años de edad. Esto sugiere que las hembras adultas de tamaño pequeño o intermedio podrían finalizar su actividad de desove más temprano durante la temporada en comparación con las hembras de mayor tamaño (> 50 cm LT) (Macchi et al., 2004).

De esta forma, se considera que *M. hubbsi* realiza migraciones estacionales relacionadas a la conducta trófica, reproducción y cambios en las condiciones oceanográficas, presentando distintas áreas de desove y crianza (Podestá, 1989; Bezzi et al., 1995).

M. merluccius

Merluccius merluccius Linnaeus, 1758, conocida como “European hake” o “white hake”, se distribuye en el Atlántico Nororiental desde las costas de Noruega e

Islandia (62°N) hasta las aguas de Mauritania (21°N), incluyendo el Mediterraneo (Lloris et al., 2003). En el sector Atlántico se distinguen tres stocks, uno en la costa noroeste de Africa (Ramos & Fernández, 1995), un segundo en la costa oeste de la Península Ibérica, y un tercero que se extiende desde el norte de Bay of Biscay hasta el norte del área de distribución de la especie (Casey & Pereiro, 1995). En el Mar Mediterraneo existiría una sola población, aún cuando se cree que la compleja topografía de esta región favorecería la heterogeneidad en los patrones de crecimiento, reproductivos y de reclutamiento (Orsi Relini et al., 2002).

En el noroeste de Africa, el desove se concentra sobre el borde de la plataforma continental de Marruecos, entre Casablanca y Cape July, a profundidades entre 100-200 m. Existen dos máximos de puesta, el más importante ocurre en invierno y el otro en verano (Ramos & Fernández, 1995). Los juveniles se concentran en áreas de crianza costeras entre Cape July y Kenitra (Figura 35), razón por la cual se cree que las áreas elegidas para el desove favorecerían el transporte por advección en dirección a la costa hacia aguas más someras. El tamaño de primera madurez de *M. merluccius* en las costas de Africa es menor que el reportado en las zonas más al norte.

La barrera geográfica que divide a los dos stocks de “white hake” en aguas europeas del Atlántico corresponde al cañón de Cape Breton, el cual separa las aguas de España y Francia en el extremo sureste de Bay of Biscay (Casey & Pereiro, 1995). Esta barrera favorecería la segregación de ambos stocks desde el punto de vista reproductivo, aún cuando se desconoce el grado de interacción entre estos, no existiendo estudios genéticos que den cuenta de este aislamiento. El área de desove del stock norte se localiza en la costa de Francia en Bay of Biscay extendiéndose en el Mar Céltico y al oeste de las Islas de Scilly; mientras que el área de puesta del stock sur se ubica en la costa oeste de la Península Ibérica (Casey & Pereiro, 1995).

En general, en esta región el desove ocurre durante gran parte del año comenzando más temprano en el área sur y avanzando progresivamente hacia el

norte (Alvarez et al., 2001). En aguas de España el desove es más intenso desde diciembre a abril, con un máximo en febrero y marzo (Figura 36) (Casey & Pereiro, 1995). Un patrón similar ocurriría en aguas de Portugal. En Bay of Biscay el máximo de desove sucede en febrero, aún cuando también se ha reportado que en esta zona la máxima abundancia de huevos está centrada en marzo (Alvarez et al., 2001); mientras que más al norte, al sur y oeste de Irlanda el máximo de la puesta se observa entre marzo y julio (O'Brien, 1986 fide Alvarez et al., 2001).

En Bay of Biscay la plataforma cercana al quiebre parece ser la zona preferida para el desove en los meses en que la puesta es máxima, ya que la mayor abundancia de huevos sucede cercana a la isóbata de los 200 m (Alvarez et al., 2001). Además, el quiebre de la plataforma parece representar una barrera natural para el desove ya que los huevos están ausentes por fuera de la plataforma. En aguas de Irlanda, se ha reportado que los huevos son pelágicos y se distribuyen en las capas superiores de la columna de agua hasta profundidades menores a 150 m (Coombs & Mitchell, 1982). En la Península Ibérica el desove se observa en aguas profundas sobre el borde de la plataforma.

Las mayores áreas de crianza de "European hake" se localizan en Bay of Biscay (Casey & Pereiro, 1995). En la parte norte las larvas permanecen en el plancton hasta que mediante el proceso de metamorfosis alcanzan el estado de juvenil, condición en la cual nadan activamente hacia el fondo (pre-reclutas), iniciando el reclutamiento hacia las áreas de crianza a comienzos del verano (junio-julio). En octubre, los juveniles que se encuentran sobre el fondo de la plataforma miden entre 8 y 14 cm LT, y realizan migraciones verticales día-noche para alimentarse (Sánchez & Gil, 2000). Posteriormente, en primavera del año siguiente los juveniles de un año de vida se encuentran dispersos sobre la plataforma (Figura 37).

En el Mar Mediterraneo, la distribución batimétrica de "European hake" se encuentra en un amplio rango que va desde los 25 a 1000 m, siendo más abundante entre 100 y 400 m de profundidad (Orsi Relini et al., 2002). La abundancia del recurso

aumenta con la profundidad dependiendo del tamaño y la latitud. Los antecedentes sobre el ciclo gonadal, así como la información recolectada en cruceros ictioplanctónicos sobre huevos y larvas, indican la existencia de una prolongada estación de desove, observándose varios máximos reproductivos durante el año, los cuales varían con la región geográfica (Papaconstantinou & Stergiou, 1995; Oliver & Massutí, 1995). Esta estrategia de desove se traduce en la generación de varias cohortes durante un año, lo cual dificulta su evaluación a través de modelos edad o talla estructurados, siendo más adecuado la aplicación de modelos de producción.

La estrategia en el desove de *M. merluccius* al interior del Mar Mediterraneo presenta, además, variabilidad en la profundidad a la cual este ocurre, asociado principalmente a la época del año y a la región geográfica. En el Mar Adriático, durante el verano, se encuentran hembras maduras entre 100 y 150 m, mientras que en la estación invernal de puesta este grupo poblacional aparece a profundidades mayores a 150 m. En la costa oeste de Grecia los individuos maduros se localizan entre 50 y 150 m. La variabilidad en la profundidad donde se produce el desove se traduce también en variabilidad con respecto al rango batimétrico en el que se localiza la distribución vertical de larvas y la posición en la columna de agua donde ocurre el proceso de reclutamiento. Sin embargo, al igual que en la población distribuida en el Atlántico noreste, las mayores agregaciones de desovantes de “European hake” en el Mar Mediterraneo ocurren entre el borde del quiebre de la plataforma y la parte superior de la pendiente (Recasens et al., 1998; Sánchez & Gil, 2000), de tal manera que los huevos y larvas son transportados hacia la costa, y posteriormente, el reclutamiento tiene lugar sobre la plataforma continental (Maynou et al., 2003).

5.1.2. Análisis de hipótesis sobre la regulación del reclutamiento

Las principales escuelas de pensamiento agrupan a las hipótesis que dan cuenta de la influencia de factores físicos y biológicos en tres grandes categorías: Inanición, Transporte y Predación.

Hipótesis de inanición

Primera Hipótesis de Hjort (1914)

La Hipótesis del “Período Crítico” o primera hipótesis de Hjort (1914) relaciona directamente la sobrevivencia larval y el reclutamiento con la abundancia de alimento durante el período de la primera alimentación. Hjort postula que si luego de la reabsorción del vitelo, cuando las larvas requieren de una fuente externa de energía, el alimento no está disponible, la mortalidad por inanición sería el factor predominante en la mortalidad larval (Figura 38). Con esta hipótesis el autor trata de explicar las fluctuaciones de *Cuplea harengus* en el Mar del Norte.

Hipótesis del Match-Mismatch

Cushing (1975) desarrolla la Hipótesis del Match-Mismatch (i.e. Acople-Desacople), la cual plantea que la variabilidad en el reclutamiento de diversos stocks de peces pelágicos (e.g. *Clupea harengus*) y demersales (e.g. *Gadus morhua*) es función del acople y desacople entre los ciclos de producción de las larvas y los ciclos de producción de su alimento. Los blooms fitoplanctónicos estacionales (primavera y otoño) estimularían la producción de alimento (e.g. copépodos) para las larvas, por lo que el desove de las poblaciones de peces se produciría en función de estos. Las diferencias interanuales en las frecuencias de aparición de altas concentraciones de presas (e.g. blooms de fitoplancton, copépodos) en relación a un período de desove relativamente fijo, explicaría la varianza en la fuerza de las clases anuales de las poblaciones de peces de aguas templadas (Figuras 39 y 40).

Hipótesis de la Estabilidad de la Columna de Agua

La Hipótesis de la “Estabilidad de la Columna de Agua” (Lasker, 1975) establece la existencia de un acople espacial entre las larvas y las partículas de

alimento. En esta hipótesis se plantea la necesidad de un ambiente con cierto grado de estabilidad para permitir la formación y mantención de agregaciones de alimento. La alimentación sigue siendo el factor crítico, pero se toma en consideración, además, procesos físicos de carácter dinámico.

Esta hipótesis se origina en el hecho que las larvas de anchoveta (*Engraulis mordax*), en su estado de primera alimentación, requieren densas concentraciones de alimento (e.g. dinoflagelados) de tamaño adecuado (30-50 μm) para satisfacer su metabolismo. Estas concentraciones son alcanzadas cuando el océano se encuentra en condiciones de relativa calma, lo que conduce a la formación de una capa de mezcla estable (Figura 41). De esta forma la estabilidad en la columna de agua es determinante en la concentración del alimento y deriva larval, e interviene significativamente en las fluctuaciones del reclutamiento (Lasker, 1978).

Hipótesis de la “Ventana Ambiental Optima”

Cury & Roy (1989) postulan que los peces pelágicos costeros (e.g. sardina, anchoveta) tienden a situarse dentro de una “Ventana Ambiental Optima” de intensidades de viento cercanas a $5\text{-}6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la cual sería capaz de maximizar la probabilidad de sobrevivencia de huevos y larvas favoreciendo el reclutamiento. Esta relación sería válida para ecosistemas de surgencia tipo Ekman donde la magnitud del transporte mar afuera es un indicador de la cantidad de agua de surgencia y de la entrada de nutrientes hacia la capa fótica (Figura 42).

Las hipótesis que sustentarían estos mecanismos son:

1. Una alta surgencia costera actúa como fuente de abastecimiento de alimentos (Wroblewski & Richman, 1987; Cushing, 1990).

2. Las turbulencias que se generan a pequeña escala incrementan la tasa de encuentro entre las larvas y su alimento, aumentando la sobrevivencia larval (Rothschild & Osborn, 1990; Mackenzie & Leggett, 1991).
3. La intensa mezcla turbulenta generada por el viento disgrega los parches de alimento, lo que actúa negativamente sobre la sobrevivencia larval (Lasker, 1975; Cury & Roy, 1989).

Para la merluza común (*Merluccius gayi*) se encontró una relación del tipo “Ventana Ambiental Optima” considerando los niveles de turbulencia durante la época de desove (agosto y septiembre) para explicar el reclutamiento (individuos de 3 años de edad) en la zona centro-sur de Chile, esto es, entre la V y VIII regiones (Figura 43; Paya et al. 1998). A partir de esta relación que daba cuenta de un 78% de la variación en el reclutamiento, se ajustó una función para estimar los reclutamientos anuales de merluza común (Figura 44).

Hipótesis de la Triada de Bakun

Bakun (1996) identifica tres procesos de carácter físico que actúan en forma conjunta favoreciendo las características del área de desove de diversas especies de peces: (i) procesos de enriquecimiento (e.g. surgencias, mezcla vertical), (ii) procesos de concentración (e.g. convergencias, formación de frentes, estabilidad de la columna de agua), y (iii) retención dentro de (o deriva hacia) un hábitat apropiado. Estos tres elementos son conocidos como la Tríada de Bakun (Bakun, 1996, 1998).

Lloret et al. (2001) postulan que las condiciones hidroclimáticas en la zona noroeste del Mediterráneo favorecen el reclutamiento de diversas especies de peces e invertebrados, especialmente *Merluccius merluccius*; debido principalmente a la presencia de gradientes superficiales de presión a nivel del mar: zonas de convergencia y divergencia. Estas últimas se extenderían hacia el Golfo de Lyon promoviendo intensos eventos de surgencia. De la misma forma, el caudal de los ríos

Ebro y Rhone: corresponde al 70% del aporte de agua dulce al Mediterráneo, condición que actuaría favoreciendo el enriquecimiento y la estabilidad de la columna de agua. Los autores también señalan que el transporte de Ekman hacia la costa favorecería la formación de áreas adecuadas para el desove.

Hipótesis de transporte

Hipótesis sobre la Deriva Larval (expatriación)

En su segunda hipótesis, Hjort (1914) postula la existencia de altas tasas de mortalidad durante los estadíos tempranos en aquellos individuos que se ven expuestos a períodos de deriva hacia áreas inapropiadas para su crecimiento. De este modo, la variabilidad en la pérdida de larvas desde las áreas de distribución apropiadas se debería a las diferencias interanuales en los procesos de advección. Bailey (1981) interpreta la variabilidad en la fuerza de las clases anuales de la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*), en función de la advección de larvas mar afuera, producto del estrés del viento.

Hipótesis del Transporte Mar Afuera

Parrish et al. (1981) desarrollan la “Hipótesis del Transporte Mar Afuera” en la cual postulan que el desove de las poblaciones de peces en las zonas de surgencia de la Corriente de California se encuentra adaptado a los efectos adversos del transporte de huevos y larvas (i.e. transporte de Ekman) fuera de la plataforma continental. Peces migratorios tales como *Merluccius productus* que habitan en las zonas de máxima surgencia tienden a desovar durante fines del invierno y comienzos de la primavera, período caracterizado por un transporte inducido por el viento hacia la costa.

Hipótesis del Desarrollo en Sitios Seguros

En esta hipótesis se postula que el inicio del período de deriva larval en el capelín (*Mallotus villosus*) es adaptativo y se encuentra asociado a condiciones de viento que inducen cambios en masas de aguas costeras, lo que tiene lugar en ambientes con altos niveles de alimento de tamaño adecuado para la alimentación y con baja abundancia de predadores (Frank & Leggett, 1982). Esta estrategia minimiza la mortalidad por predación y maximiza la probabilidad de encontrar alimento de tamaño adecuado durante el período de la primera alimentación.

Hipótesis sobre Asociaciones Larvales Multiespecíficas

Se establece una intensa asociación entre las larvas de otras especies de desovantes demersales (i.e. *Pseudopleuronectes americanus*, *Ulvaria subbifurcata* y *Liparis* sp.) con la especie pelágica dominante (i.e. *Mallotus villosus*) en el momento de la aparición de los vientos dirigidos hacia la costa. Esta estrategia permitiría disminuir significativamente las tasas de predación sobre las larvas de los desovantes demersales en este ecosistema, ya que junto con desarrollarse en aguas con mayor cantidad de alimento y menor densidad de predadores, esta asociación conduciría a la saturación de los predadores (Frank & Leggett, 1983).

Hipótesis del Área de Retención Larval

Iles & Sinclair (1982) postulan la Hipótesis del Área de Retención Larval identificando flujos mareales residuales, asociados a áreas de intensa mezcla vertical delimitadas por zonas de transición, que adoptan la forma de giros anticiclónicos (e.g. Georges Bank, Grand Manan) o eventos de surgencia (e.g. sur de Nueva Escocia) y que actuarían como mecanismos de retención larval. Con esta hipótesis, Iles & Sinclair (1982) buscan explicar las características de la estructura poblacional del

arenque del Atlántico (*Clupea harengus*), cuales son: presentar una gran riqueza poblacional, identificado como número de poblaciones por especie; áreas de desove específicas con profundidad y sustrato determinado; y, un bajo porcentaje de sobreposición espacial entre larvas de diferentes stocks durante la fase larval planctónica. En este contexto, los autores postulan que “el número de stocks de arenque y la ubicación geográfica de sus áreas de desove se encuentran determinadas por el número, ubicación y extensión de áreas de retención larval geográficamente estables”. Además, los autores postulan que existiría una relación cuantitativa entre la abundancia de los stocks de arenque y el tamaño de las áreas de retención larval (Figura 45).

Vargas et al. (1997) reportan la existencia de áreas de retención larval para *Merluccius gayi* durante la época de desove (i.e septiembre) en la zona central de Chile (36°22'-37°10' Lat. S.). La baja intensidad del transporte de Ekman durante esta época del año conduciría a la estratificación de los primeros 20-30 m de la columna de agua y a un grado de estabilidad que contribuye a la formación y mantención de partículas de alimento. Durante las épocas de surgencia, las mayores concentraciones de huevos y larvas de merluza se encuentran en zonas con la presencia permanente de eddies y frentes asociados a las características topográficas de la plataforma continental en la terraza del Itata y cañon del Bio-Bio

La topografía del sector jugaría un rol importante en la creación de zonas de recirculación y de retención de estadios tempranos. Por otro lado, el análisis de la dinámica de la distribución de las frecuencias de tallas indicaría un transporte de larvas hacia la costa mediante masas de agua ecuatoriales sub-superficiales bajo los 40 m de profundidad. De esta forma se incrementaría la sobrevivencia de las larvas al encontrarse en zonas con mayor cantidad de alimento.

Hipótesis de la Calidad del Área de Retención Larval

De acuerdo con Sinclair & Tremblay (1984), el momento del desove de las poblaciones de arenque se encuentra determinado en función del tiempo que necesitan los individuos que conforman la población para completar su fase larval e iniciar la metamorfosis dentro de los límites de la estación. Poblaciones con áreas de retención favorables (e.g. abundante alimento, temperatura adecuada) pueden desovar en la primavera y alcanzar la metamorfosis antes del otoño (Figura 46). Poblaciones cuyas áreas de retención se caracterizan por condiciones desfavorables para el crecimiento larval, deben desovar más temprano, ya sea durante el invierno o el otoño.

Hipótesis del Área de Crianza

Rijnsdorp et al. (1992), encuentran una relación positiva entre el tamaño (superficie) del área de crianza y el reclutamiento máximo y promedio de diversas especies de lenguados (*Solea solea*, *Pleuronectes platessa*, *Scophthalmus maximus* y *Scophthalmus rhombus*). A modo de ejemplo se presenta la relación entre el reclutamiento promedio y el tamaño del área de crianza para *S. solea* en el Mar del Norte (Figura 47). Esta hipótesis fue extendida por Gibson (1994) al encontrar una correlación positiva entre los requerimientos de hábitat de los juveniles (en términos de rangos de profundidad) con la abundancia total de los stocks.

Hipótesis del Miembro Expatriado, "Member/Vagrant"

Sinclair (1988) analiza la regulación poblacional de las especies marinas considerando no sólo la abundancia y los procesos que determinan su variabilidad (y en consecuencia la variabilidad en el reclutamiento), sino que también investiga los procesos que generan la riqueza poblacional y los patrones geográficos adoptados por estas.

En este sentido, plantea la Hipótesis del Miembro/Expatriado, extrayendo dos conceptos poblacionales fundamentales para el desarrollo de su hipótesis: (i) el entrecruzamiento, característico de especies que se reproducen sexualmente, condiciona a que los complejos ciclos de vida, observados frecuentemente en la naturaleza, aseguren la persistencia temporal de las poblaciones en espacios geográficos relativamente definidos, y (ii) las poblaciones sólo pueden existir en aquellas áreas geográficas dentro de las cuales pueda existir continuidad en los ciclos de vida, es decir desde un punto de vista geográfico, dentro de áreas donde los procesos de retención (miembros) sobrepasen las pérdidas (expatriados) si consideramos los ciclos de vida como una sola unidad.

En este contexto, la continuidad de las poblaciones de cualquier especie marina no dependería del número de individuos que sobrevivan hasta la edad de madurez, sino de la habilidad de encontrar un macho o una hembra con un genoma similar en el lugar y tiempo oportuno (Sinclair, 1988). A partir de esta hipótesis se desprende que:

- a) La riqueza poblacional está en función del número y ubicación de las características geográficas dentro de las cuales las especies sean capaces de completar su ciclo de vida.
- b) La abundancia absoluta depende del tamaño del área geográfica dentro de la cual se completa el ciclo de vida.
- c) La variabilidad temporal en la abundancia se encuentra en función de las pérdidas inter-generacionales de individuos (por expatriación y mortalidad) desde las áreas de distribución que le aseguren a los individuos ser miembros de una población.

La pérdida de individuos de una población puede ocurrir por procesos espaciales (desplazamiento de juveniles y adultos fuera de las áreas de distribución apropiadas), así como por procesos energéticos (predación, enfermedades, inanición).

Page et al. (1999) comparan los patrones geográficos del desove del cod (*Gadus morhua*) y haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) con patrones de tiempos de residencia estimados a través de modelos de circulación para la zona de Georges Bank. Los autores establecen que ambas poblaciones estarían seleccionando las áreas y las estaciones del año en que aumenta la probabilidad de retención de los estadios tempranos dentro del banco (Figura 48), asegurando de esta manera la continuidad del ciclo de vida.

Hipótesis de predación

Hipótesis del “Bigger is Better”

La Hipótesis denominada “Bigger is Better” (Pepin & Myers, 1991; Litvak & Leggett, 1992) establece que las larvas de mayor tamaño son menos susceptibles a la predación. En este sentido, aquellas larvas que eclosionan a un tamaño mayor, o aquellas que poseen mayores tasas de crecimiento alcanzando un tamaño corporal mayor a una edad determinada, deberían ser menos vulnerables a la predación. (Bailey & Houde, 1989; Leggett & Deblois, 1994), lo que podría ser aplicado al caso de la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) (Hollowed, 1992).

5.1.3. Identificación de factores bióticos y abióticos que influyen sobre el reclutamiento de *Macruronus*

Uno de los problemas más difíciles de resolver en biología pesquera es la relación entre el tamaño del stock parental y el subsecuente nivel de reclutamiento (Ricker, 1954; Beverton & Holt, 1957; Hilborn & Walters, 1992). Esta relación en principio siempre existe, ya que la presencia de un stock parental es pre-requisito para la generación de reclutas. Sin embargo, en muchos casos existen mecanismos

regulatorios por los cuales el número de reclutas no está fuertemente relacionado al tamaño del stock desovante sobre el rango de tamaños de stock observados (Cooke, 1984). Cuando las fluctuaciones en el reclutamiento son independientes del tamaño del stock desovante existe una alta probabilidad de sobrepesca, ya que las variaciones independientes del stock podrían no ser predecibles (Rikhter et al., 2001).

El reclutamiento de nuevos individuos a la pesquería dependerá directamente de la variabilidad en la dispersión y sobrevivencia de los distintos estadios de vida comprendidos desde el momento en que los huevos son liberados al ambiente hasta que los peces alcanzan la edad de primera captura (Figura 49; Begg & Marteinsdottir, 2002). Durante las fases más tempranas del ciclo de vida se suceden las mayores abundancias de una población y también las más altas tasas de mortalidad natural (Laurence, 1990).

Entre los factores ambientales que pueden afectar la sobrevivencia de estadios tempranos de desarrollo se encuentran aspectos abióticos y bióticos de las zonas de desove y crecimiento. Entre los factores bióticos, las fuentes potenciales de variabilidad más estudiadas son la alimentación (Lasker, 1975; Peterman & Bradford, 1987) y la predación (ver revisiones por Hunter, 1984; Bailey & Houde 1989; Krautz et al., 2003). Entre los factores abióticos se considera normalmente a procesos oceanográficos de diversas escalas, turbulencia y anomalías en condiciones hidrográficas. Procesos oceanográficos de meso-escala tales como eddies (Myers & Drinkwater, 1989), estructuras frontales (Iwatsuki et al., 1989), transporte en la capa de Ekman (Bailey et al., 1982; Checkley et al., 1988; Roy, 1998) o en plumas de ríos (Grimes & Kingsford, 1996), han sido más bastamente estudiados por su capacidad de exportación de huevos y larvas a zonas inadecuadas para el desarrollo y crecimiento. La turbulencia generada por el viento y sus efectos sobre el rompimiento de parches de alimento o sus efectos sobre las tasas de encuentro entre las larvas y sus presas, también han sido citados como fuentes potenciales de variabilidad (Lasker, 1975, Cury & Roy, 1989, Sundby, 1996). Finalmente, otros factores físicos tales como anomalías en condiciones hidrográficas que pueden finalmente afectar

directa (mortalidad) o indirectamente a los huevos y larvas (tasas de desarrollo y crecimiento) modificando sus probabilidades de sobrevivencia también han sido ampliamente documentados (ver revisión por Houde, 1987; Fuiman & Werner 2002).

El éxito en la búsqueda de relaciones significativas entre la fuerza de las clases anuales y factores bióticos y abióticos pasa directamente por la generación de series de tiempo tanto de la(s) variable(s) de interés como del reclutamiento de la población (Livingston, 2000). No obstante, se debe tener en cuenta que la relación entre una determinada variable (biótica o abiótica) y el reclutamiento puede ser consecuencia de eventos o procesos de mayor escala y complejidad que influyen directamente sobre la variable de estudio.

Hechas estas consideraciones, y antes de llegar a describir los factores bióticos y abióticos que afectan o podrían afectar el reclutamiento de merluza de cola en el área de distribución del Pacífico Suroriental, se presentarán los antecedentes reportados en el “hoki”, *Macruronus novaezelandiae*, distribuido en Nueva Zelanda, con el propósito de disponer de una orientación respecto de cómo se debería enfrentar la problemática del reclutamiento en el caso de *Macruronus magellanicus*.

La circulación general alrededor de Nueva Zelanda está dominada por un flujo de corrientes que va desde el oeste, cruzando el Mar de Tasmania, en dirección hacia Nueva Zelanda (Carter et al., 1998 fide Livingston, 2000). En esta zona el Frente Subtropical separa las aguas superficiales de origen Subtropical de aquellas de origen Subantártico, divergencia que tiene lugar en la costa oeste de *South Island* (Livingston, 2000). Otra característica de esta región es que el clima de gran escala esta influenciado por el fenómeno de la Oscilación del Sur/El Niño. Durante eventos El Niño, cuando el Índice de Oscilación del Sur es negativo, las temperaturas del aire y superficial del mar son más bajas que el promedio (Greig et al., 1988).

Debido a que el “hoki” se distribuye en aguas frías de Nueva Zelanda, donde la mayor parte de la biomasa se encuentra asociada con aguas de origen

Subantártico; que las temperaturas superficiales del mar más frías están asociadas con Índices de Oscilación del Sur negativos; y, que ha sido demostrado para muchas especies de peces la unión entre la sobrevivencia larval o post-larval y condiciones hidrográficas (Houde, 1989); varios autores han buscado identificar factores ambientales que estén unidos directamente a la variación del reclutamiento del “hoki” en Nueva Zelanda (ver revisión de Livingston, 2000).

Livingston (2000) y Bull & Livingston (2001), estudiaron la relación entre la fuerza del reclutamiento del “hoki” y variables climáticas incluyendo la temperatura superficial del mar (TSM), el Índice de Oscilación del Sur (IOS), patrones sinópticos del tiempo, intensidad de vientos, y la profundidad de la capa de mezcla en la costa oeste de South Island (WCSI; Westland), Cook Strait y Chatham Rise. La fuerza de la clase anual (FCA) del stock oeste estuvo negativamente correlacionada con años El Niño, bajas temperaturas en la costa oeste de South Island (Westland) y patrones de tiempo noroeste en primavera. A su vez, se demostró una correlación positiva con los patrones de tiempo noroeste en verano y suroeste en invierno, y la profundidad de la capa de mezcla durante julio. En el caso del stock este, la FCA se correlacionó negativamente con el patrón de tiempo sureste en invierno y bajas temperaturas sobre Chatham Rise también en la temporada invernal. Por el contrario, la FCA resultó positivamente correlacionada con los patrones de tiempo noroeste y suroeste en invierno, y la intensidad del viento oeste, suroeste y noroeste, todos durante el invierno.

Sin embargo, los análisis de regresión posterior indicaron que solamente las anomalías negativas del Índice de Oscilación del Sur en otoño, las temperaturas superficiales frías del mar en primavera, la profundidad de la capa de mezcla en julio y los patrones de tiempo noroeste en primavera, fueron variables abióticas importantes para el reclutamiento del stock oeste. De estas variables, el Índice de Oscilación del Sur dio cuenta de la mayor parte de la varianza. Respecto al stock este, las variables climáticas más importantes para el reclutamiento fueron los

patrones de tiempo y la intensidad del viento suroeste, de las cuales sólo el patrón de tiempo suroeste explicó la mayor parte de la varianza del modelo.

A partir de estos resultados, Livingston (2000) y Bull & Livingston (2001) concluyen que cuando se presentan anomalías negativas en el Índice de Oscilación del Sur durante otoño se producen condiciones favorables para la sobrevivencia larval del stock oeste de “hoki”, las que incluyen entre otras flujo hacia el oeste, temperaturas frías y extensión de la capa de mezcla. Estas variables, a su vez, tienen efectos sobre otros factores.

El flujo hacia el oeste produce surgencia costera, lo que proporciona un medio de transporte para las larvas desde las áreas de puesta hacia aguas costeras más someras, y un aumento en la productividad (Bradford, 1983). La extensión de la capa de mezcla en invierno, la cual se presenta por fuera de la plataforma y en el quiebre de la plataforma en la costa oeste de South Island, durante los meses de julio y agosto, favorecería el crecimiento de especies zooplanctónicas importantes en la dieta de larvas de “hoki” (Bradford-Grieve et al., 1996), tales como fitoplancton, tintínidos y copépodos (Murdoch, 1990).

En Cook Strait, bajo condiciones moderadas de viento se produce surgencia costera, condición que permite el transporte de larvas de “hoki” desde el sitio de desove hacia aguas de la costa noreste de South Island (Cloudy Bay; Murdoch et al., 1990), demostrando que la surgencia en esta zona puede jugar un papel importante en el destino inicial de las larvas desde las áreas de desove (Bull & Livingston, 2001).

De esta forma, la fuerza en las clases anuales del “hoki” depende indirectamente de condiciones climáticas que favorecen el transporte de los productos del desove hacia áreas productivas más cercanas a la costa, donde aumenta la tasa de sobrevivencia larval.

5.1.4. Relación entre ambiente y reclutamiento

Análisis exploratorio de posibles relaciones entre la posición latitudinal de la corriente de deriva del oeste y el reclutamiento de la merluza de cola

Las Figuras 50 y 51 indican las variaciones intranuales promedio de la CDO y la serie mensual entre los años 1987 y 1996. Se observan señales decadales con al menos 8 grados de variación en latitud.

Los resultados del análisis de correlación entre la posición de la CDO y el reclutamiento de la merluza de cola indican que hay una correlación negativa alta al considerarse un desfase de 2 años en el reclutamiento y la media anual de la PLBCDO ($r=-0.8$). Esta correlación disminuye a -0.62 al considerarse un desfase de un año (Tabla 13, Figura 52).

La correlación entre ambas variables se torna positiva al explorar la relación entre el promedio Julio-Septiembre de la CDO y el reclutamiento de la merluza de cola (Tabla 14).

Tabla 13. Resumen de las correlaciones entre la media anual de la PLBCDO y reclutamiento de merluza de cola.

| Correlación | Desfase (años) | r | r ² | N | p |
|------------------------------------|-------------------|-------|----------------|----|--------|
| PLB-CDO _{media anual} – R | 1 | -0.62 | 0.39 | 12 | < 0,05 |
| PLB-CDO _{media anual} – R | 2 | -0.80 | 0.64 | 11 | <0,01 |
| PLB-CDO _{media anual} – R | 3 | -0.19 | 0.04 | 10 | >0,05 |
| PLB-CDO _{media anual} – R | 4 | -0.44 | 0.19 | 9 | >0,05 |

Tabla 14. Resumen de las correlaciones entre la media de los meses Jul-Sep de la PLBCDO y reclutamiento de merluza de cola.

| Correlación | Desfase (años) | r | r ² | N | p |
|------------------------------------|-------------------|------|----------------|----|--------|
| PLB-CDO _{Jul-Ago-Sep} – R | 2 | 0,26 | 0,07 | 11 | >0,05 |
| PLB-CDO _{Jul-Ago-Sep} – R | 3 | 0,62 | 0,38 | 10 | =0,056 |
| PLB-CDO _{Jul-Ago-Sep} – R | 4 | 0,18 | 0,03 | 9 | >0,05 |

5.1.5. Análisis de la distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile

En la actualidad se reconoce que en poblaciones de peces, es durante las fases más tempranas del ciclo de vida (huevo y larvas) cuando ocurren las mayores abundancias en una población, y que es también en estas fases que las más altas tasas de mortalidad tienen lugar. A la fragilidad y corta duración de estos estadíos se agrega la alta variabilidad de las condiciones ambientales, especialmente en zonas costeras, que puede llegar a determinar finalmente las probabilidades de sobrevivencia y éxito del reclutamiento de, por ejemplo, cohortes producidas en distintos períodos del año o en años diferentes. Entre los factores ambientales que pueden afectar la sobrevivencia de estadíos tempranos de desarrollo se encuentran aspectos ambientales abióticos y bióticos de las zonas de desove y crecimiento. Entre los factores ambientales bióticos, las fuentes potenciales de variabilidad más estudiadas son la alimentación (Lasker, 1975; Peterman & Bradford, 1987) y la predación (ver revisiones por Hunter 1984; Bailey & Houde, 1989, Krautz et al., 2003). Entre los factores abióticos se considera normalmente a procesos oceanográficos de diversas escalas, turbulencia y anomalías en condiciones hidrográficas. Procesos oceanográficos de meso-escala tales como eddies (Myers & Drinkwater, 1989), estructuras frontales (Iwatsuki et al., 1989), transporte en la capa de Ekman (Bailey et al., 1982, Checkley et al., 1988; Roy, 1998) o en plumas de ríos (Grimes & Kingsford, 1996), han sido más vastamente estudiados por su capacidad de exportación de huevos y larvas a zonas inadecuadas para el desarrollo y crecimiento. La turbulencia

generada por el viento y sus efectos sobre el rompimiento de parches de alimento o sus efectos sobre las tasas de encuentro entre las larvas y sus presas, también han sido citados como fuentes potenciales de variabilidad (Lasker, 1975; Cury & Roy, 1989; Sundby, 1996). Finalmente, otros factores físicos tales como anomalías en condiciones hidrográficas que pueden finalmente afectar directa (mortalidad) o indirectamente a los huevos y larvas (tasas de desarrollo y crecimiento) modificando sus probabilidades de sobrevivencia también han sido ampliamente documentados (ver revisión por Houde, 1987; Fuiman & Werner, 2002).

Para sobrellevar las posibles variaciones en el ambiente que eventualmente podrían conllevar a cambios en el reclutamiento, las poblaciones de peces han normalmente desarrollado estrategias reproductivas que involucran la selección de las zonas de desove así como la selección de periodos reproductivos con características ambientales que tiendan a aumentar las probabilidades de sobrevivencia de la progenie (Cushing, 1973; Parrish et al., 1980; Sinclair & Tremblay, 1984; Bakun, 1996; Castro et al., 2000; Landaeta & Castro, 2002). La determinación geográfica de éstas zonas de desove y crecimiento larval y la correcta identificación de los periodos de mayor actividad reproductiva, consecuentemente, son de la mayor importancia para el entendimiento de las variaciones en reclutamiento (Cowan & Shaw, 2002).

Objetivo 1

*Determinar los periodos en que mayores abundancias de huevos y larvas ocurren en el ambiente de modo de obtener un indicador independiente de la estacionalidad y duración de la estación reproductiva de *M. magellanicus* en diversas zonas del país.*

Para cumplir con este objetivo se clasificó los diversos cruceros de los proyectos por región y mes de muestreo, y luego se revisó las bases de datos de cada uno de ellos verificando si existían huevos o larvas de *M. magellanicus*. Adicionalmente, se estandarizó las abundancias a un volumen común entre proyectos

y se promedió las abundancias de las estaciones positivas. En la Tabla 15 se presenta la información recopilada de cruceros ordenada por Sector (Corriente de Humboldt = Regiones V a X-exteriores; Canales y Fiordos = Regiones X-interiores a XII) y por región.

De los 5 proyectos considerados en el sector Corriente de Humboldt, 2 proyectos muestrearon en Agosto-Septiembre, uno en Noviembre y Marzo, uno entre Agosto y Diciembre y sólo uno incluyó muestras del año completo. La región con mayor número de cruceros y mayor extensión temporal de muestreos fue la VIII Región, en que se cuenta con muestras durante todo el año. Dentro del Sector Corriente de Humboldt, no se encontró huevos ni larvas de *M. magellanicus* en ninguno de los cruceros analizados durante al año en ninguna región.

De los 7 proyectos correspondientes al sector X-interior a XII Regiones considerados en este estudio, se recopiló información de cruceros que incluyeron muestreos de ictioplancton entre los meses de Agosto a Noviembre. La región con mayor número de cruceros y con mayor cobertura espacial (aguas interiores y exteriores) y temporal (los cuatro meses) correspondió a la XI Región. Tomado en cuenta el Sector de las Regiones X-interior a XII como un todo, se encontró huevos y/o larvas de *M. magellanicus* en los 4 meses en que hubo cruceros (Agosto a Noviembre).

En la XI Región, huevos de *M. magellanicus* fueron colectados en los meses de Agosto, Septiembre y Noviembre, y larvas fueron colectadas los cuatro meses desde Agosto a Noviembre. En la Figura 53 se muestran las abundancias promedio de larvas de *M. magellanicus*, estandarizadas por volumen, colectadas en aguas interiores de la XI Región y que fueron obtenidas con el mismo tipo de red (Tucker Trawl, 300 μ m) durante los cuatro meses (en distintos años). Las mayores abundancias larvales fueron colectadas durante el mes de Agosto (2003), abundancias que decayeron paulatinamente hasta Noviembre. También se presenta la abundancia larval promedio de muestras colectadas en un crucero en la XII Región

en Octubre (1998) en que se observa que en este mes la presencia de larvas fue mayor que en la XI Región (1995).

Objetivo 2:

Identificar la ubicación de las principales zonas de desove y crecimiento larval.

Para lograr este objetivo, se estandarizó la data de abundancia de huevos y larvas de *M. magellanicus* de todos los cruceros y se procedió a la diagramación de su distribución en la horizontal por regiones. En las regiones con más de un crucero, las figuras por crucero fueron ordenadas de acuerdo al mes de muestreo, independiente del año del crucero. Aunque ya fue señalado en la sección anterior que no se encontró huevos ni larvas de merluza de cola entre las Regiones V a X-externo, se muestran igualmente las grillas de muestreo de los proyectos analizados en esta zona para dar al lector una idea de la cobertura espacial de los cruceros considerados (Figura 54).

X Región – Aguas interiores. La data incluye solo un crucero llevado a cabo en Octubre de 1995 en que sólo se reportan abundancias de larvas. En este crucero se observó una disminución en abundancia de larvas de *M. magellanicus* desde los sectores más protegidos (central y norte) hacia la zona de la Boca del Guafo (Figura 55).

Tabla 15. Proyectos, regiones y meses cubiertos por los distintos proyectos considerados en el presente informe. Los recuadros celestes corresponden a los meses muestreados en cada proyecto. H y L corresponden a meses en que se encontró huevos (H) y larvas (L).

| V - X REGIONES (HUMBOLDT) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|------------------|
| REGION | MESES | | | | | | | | | | | | CRUCEROS | |
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | | |
| V | | | | | | | | | | | | | | FIP 96-11 |
| | | | | | | | | | | | | | | FIP 2004-03 |
| VI | | | | | | | | | | | | | | FIP 96-11 |
| | | | | | | | | | | | | | | FIP 2004-03 |
| VII | | | | | | | | | | | | | | FIP 96-11 |
| | | | | | | | | | | | | | | FIP 2004-03 |
| | | | | | | | | | | | | | | FONDECYT 1010900 |
| VIII | | | | | | | | | | | | | | FIP 96-11 |
| | | | | | | | | | | | | | | FIP 2004-03 |
| | | | | | | | | | | | | | | FONDECYT 1010900 |
| | | | | | | | | | | | | | | OEA MONITOREO |
| | | | | | | | | | | | | | | FONDECYT 1990470 |
| IX | | | | | | | | | | | | | | FIP 96-11 |
| | | | | | | | | | | | | | | FIP 2004-03 |
| X exterior | | | | | | | | | | | | | | FIP 96-11 |
| | | | | | | | | | | | | | | FIP 2004-03 |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | | | |
| X - XII REGIONES (CANALES Y FIORDOS) | | | | | | | | | | | | | | |
| X int | | | | | | | | | | L | | | | CIMAR 1 |
| | | | | | | | | | | | L | | | CIMAR 1 |
| | | | | | | | | | L | L | | | | CIMAR 4 |
| | | | | | | | | | | | | H+L | | CIMAR 8 |
| XI int | | | | | | | | H+L | | | | H+L | | CIMAR 9 |
| XI ext | | | | | | | | H+L | H+L | | | | | FIP 96-38 |
| XII canales | | | | | | | | | | L | | | | CIMAR 2 |
| XII T Fuego | | | | | | | | | | L | | | | CIMAR 3 |
| TOTAL | | | | | | | | H+L | L | L | H+L | | | |

XI Región— Aguas interiores y exteriores. La data incluye 4 cruceros en que se reporta información de huevos y 6 cruceros con información de larvas de *M magellanicus*. Solo un crucero cubrió la zona externa de los canales, de la cual se reportan tanto huevos como larvas (Figura 56).

La mayor abundancia de huevos se observó en el mes de Agosto en la zona de los canales transversales (Agosto 2003, Figuras 56a-c. Huevos también se encontraron, pero en menor abundancia, en la zona exterior a los canales en Sep-Oct 1996 (Figura 56d) así como dentro e los canales en Noviembre 2002 y 2003.

Altas abundancias de larvas fueron colectadas en los canales transversales en Agosto 2003 así como fuera de los canales en Septiembre – Octubre 1996 y también a lo largo de canal Moraleda y Boca del Guafo en Octubre 1998 (Figura 57). En Noviembre (1995, 2002 y 2003), si bien las larvas estuvieron presentes en los canales interiores y en algunas estaciones más cercanas a la salida oeste de los canales (i.e. Bahía Ana Pink), el número de estaciones positivas fue menor y las abundancias durante este mes fueron muy inferiores a los meses precedentes (especialmente en noviembre del 2002 y 2003).

XII Región. La data incluye sólo dos cruceros llevados a cabo en Octubre de 1996 (Estrecho de Magallanes a Tierra del Fuego) y en Octubre 1998 en la zona de los canales al norte del Estrecho de Magallanes. De ambos cruceros sólo se reportan abundancias de larvas. Larvas de *M. magellanicus* fueron observadas en baja abundancia y en forma poco frecuente en algunos canales entre el Gofo de Penas (47°S) y los 52°S (Figura 58). En el sector más al sur, sin embargo, muy altas abundancias de larvas de *M magellanicus* fueron colectadas a latitud 53°S (al norte del Estrecho de Magallanes). Hacia más al sur, larvas de esta especie fueron observadas en menores abundancias hasta cerca de los 56°S.

Objetivo 3:

Describir posibles cambios en la distribución desde el estado de huevo a larvas como indicador de potenciales rutas de migración ontogenética o de zonas de retención de los primeros estadios de desarrollo

Para el logro de este objetivo se analizó las distribuciones de huevos y larvas obtenidas durante un mismo mes de cruceo debido a que no se contó con cruceos llevados a cabo en meses consecutivos en un mismo año. Los cruceos considerados fueron todos realizados en la XI Región y corresponden 3 a la zona de aguas interiores (Agosto 2003, Noviembre 2002, Noviembre 2003) y uno a la zona de aguas exteriores a los canales (Septiembre-Octubre 1996).

Crucero en Agosto de 2003. Huevos abundantes en el canal transversal (Darwin), sector medio del área de muestreo (Figura 59a). Larvas abundantes en todos los canales transversales. Se desconoce origen de las mayores abundancias y mayor cobertura espacial de las larvas; podrían proceder de profundidades mayores a las muestreadas (hasta 100m, ver próxima sección sobre distribución vertical) o provenir de área externa a canales; se descarta que provengan de canales orientales debido a bajas salinidades (ver próxima sección sobre características hidrográficas).

Crucero Sep.-Oct. 1996. Huevos poco abundantes y larvas muy abundantes en sector externo a los canales (Figura 59b). Se desconoce origen de mayores abundancias de larvas. Podrían provenir del área de los canales o de huevos desovados y eclosionados a profundidades mayores a las muestreadas (aunque poco probable dado que se muestreó hasta 250 m). Las abundancias de huevos fueron menores a las observadas en Agosto del 2003 en la zona interior en los canales, y las abundancias de larvas fueron altas y equivalentes a las observadas en Agosto del 2003 en aguas interiores.

Cruceros en Noviembre 2002 y 2003. Huevos poco abundantes en canales Moraleda (meridional) y canales transversales Ninhualac (centro) y Pulluche (sur)

(Figuras 59c-d). Larvas aún menos abundantes y presentes casi únicamente en sectores extremos (salida del canal Pulluche en 2002 y del canal Moraleda y Pulluche en el 2003).

En términos generales, huevos y larvas tempranas co-ocurren en zona interior de los canales durante el probable mes de mayor desove en el área (Agosto), zona en que, sin embargo, no se colectó larvas de mayor tamaño (> 12 mm). En la zona externa a los canales se colectó muy bajas abundancias de huevos y altas abundancias de larvas (tamaños larvales desconocidos) en el mes de septiembre-octubre de 1996. En noviembre (2002 y 2003), muy bajas abundancias de huevos y larvas ocurrieron, estando las larvas levemente desplazadas hacia las zonas más externas de los escasos canales en que fueron halladas larvas. El escenario anterior sugeriría que la zona de los canales podría representar un área potencialmente importante de desove de esta especie de la cual podrían exportarse larvas al sector frente a los canales, sin embargo, dada la muy escasa información disponible de la zona externa a los canales y a la nula información sobre distribución vertical de los huevos en esa zona, la hipótesis de exportación debe ser considerada aún extremadamente preliminar.

Objetivo 4.-

Explorar la existencia de algún tipo de asociación o preferencia de los primeros estadios de desarrollo por tipos de ambientes con determinadas características hidrográficas.

Para el desarrollo de este objetivo se utilizó información de distribución vertical de huevos y larvas de *M magellanicus* y de hidrografía de uno de los cruceros (CIMAR 9, 2003) llevados a cabo en aguas interiores de la XI Región en el mes potencialmente de mayor reproducción de esta especie (Agosto). La data disponible

corresponde a solo dos transectas transversales (el proyecto está aún en ejecución, no toda la data esta disponible aún).

Distribución vertical. En la figura 60 se presentan las distribuciones verticales de huevos y larvas de *M magellanicus* a lo largo de los Canales transversales Ninhualac y Darwin, sobrepuestas a las secciones verticales de salinidad. Mientras en solo un estrato se observaron huevos en el Canal Ninhualac, en el Canal Darwin los huevos estuvieron en toda la columna de agua hasta 150 m. Las larvas de merluza de cola estuvieron igualmente en todos los estratos muestreados.

Distribución horizontal. Muy pocos huevos de *M. magellanicus* se observaron en superficie en las zonas más orientales de las transectas, profundidades y áreas típicamente de menores salinidades. A mayor profundidad en esas mismas zonas orientales, sí se presentaron huevos. Larvas de merluza de cola ocurrieron a lo largo de ambas transectas y en todas las profundidades, sin embargo, sus abundancias fueron menores también en zonas de menor salinidad.

En las figuras 60 y 61 se presentan las frecuencias de huevos y larvas por rango de temperatura y salinidad en esas transectas. La data incluye la abundancia estandarizada del ictioplancton colectadas en cada estrato de la columna de agua (típicamente los estratos fueron: 0-20, 20-50, 50-75, 75-100, 100-150m), a las que se asoció un valor de temperatura y salinidad promedio para el rango de profundidades desde el cual se colectó las muestras de ictioplancton. La comparación de los histogramas de temperatura entre huevos y larvas sugiere que un cambio en las frecuencias desde menores temperaturas a mayores temperaturas desde el estadio huevo a larva (Figura 61). De igual modo, la comparación de los histogramas de salinidad entre huevos y larvas sugiere que un cambio en las frecuencias, desde menores a mayores salinidades, desde huevos a larvas (Figura 62). Si bien la data es muy limitada, estos resultados serían consistentes con la hipótesis de variaciones ontogenéticas entre la zona interior de los canales hacia la zona de mayor influencia de aguas saladas al menos en esta región.

5.1.6. Caracterización espacio temporal de la merluza de cola en la costa de Chile sobre la base de las evaluaciones hidroacústicas FIP

Evaluaciones de merluza común

Los cruceros hidroacústicos de merluza común se llevaron a cabo principalmente entre los meses de Julio-Septiembre y constituyen una importante fuente de información para los efectos de la merluza de cola, dado su extensión latitudinal. Las Figuras 63-64 presentan la distribución latitudinal de los lances, extendiéndose entre los 28 y 42 grados de latitud sur. La merluza de cola como fauna acompañante en los lances exploratorios se hizo más importante entre los 39 y 41° S, presentándose muy bajos registros al norte de los 38° S. Estos resultados difieren de lo reportado por Melo et al. (2004) en un estudio de interacción de las artes de pesca de la merluza común y de cola en la zona centro-sur (este trabajo no constituye una evaluación directa, sino más bien es consecuencia del monitoreo de la pesca). Si bien existen diferencias en las preferencias batimétricas de ambas especies para algunos trimestres, en el período de Agosto-Septiembre estas diferencias se estrechan (Melo et al., 2004). Estos autores indican que en los meses de Marzo y Agosto se encuentran las mayores abundancias de merluza de cola, distribuidos entre los 33 y 43° S (que fue la zona de estudio). Esta información corresponde al seguimiento de la pesquería durante una temporada y se hace necesario cotejar esta información con el resto de los años de seguimiento de la flota arrastrera centro-sur.

Estas abundancias no fueron detectadas en los cruceros de evaluación hidroacústica de la merluza común, existiendo por ende la posibilidad de tratarse de una falta de disponibilidad del recurso en esta época en la zona centro-sur o a la falencia de esta metodología para detectar a la merluza de cola como fauna acompañante.

Evaluaciones de merluza de tres aletas

Las figuras 65 y 66 indican la presencia de merluza de cola en toda el área de prospección para la merluza de tres aletas (47 y 51° S). Estas prospecciones se llevan a cabo generalmente entre Agosto y Septiembre. Se reportó una proporción de fauna acompañante de merluza de cola en peso entre el 5 y 15% del total de los lances exploratorios.

Evaluaciones de merluza austral - cola

Las figuras 67 – 70 presentan las distribuciones espaciales de merluza de cola de los lances exploratorios de la merluza austral/cola entre los 43 y 47° S. Esta zona es conocida por la gran actividad reproductiva durante los meses de Agosto y Septiembre. Las capturas de merluza de cola en los lances exploratorios de estos cruceros varían entre 46 y 84% del total. Estos representan un nivel no reportado para las otras evaluaciones. Los datos de la evaluación FIP 2002-07 son muy relevantes, ya que representan las únicas evaluaciones en aguas interiores de la X y XI regiones. Tanto para verano (febrero) como invierno (Septiembre) se identifican altos niveles de captura en aguas interiores.

Integrando esta información y la de Melo et al. (2004), podemos indicar que durante el período comprendido entre Julio y Septiembre encontramos individuos de merluza de cola entre los 34 y 52° S, con mayores proporciones en la captura de los lances exploratorios entre los 43 y 47° S. Es importante mencionar que los datos reportados por Melo et al (2004) no corresponden a evaluaciones directas, sino mas bien a seguimientos organizados de la actividad pesquera.

Frecuencia de longitudes de merluza de cola en lances exploratorios

Las Figuras 71 – 74 presentan las distribuciones de frecuencia de talla de merluza de cola de los lances exploratorios. No se identifican gradientes latitudinales

respecto de estos datos. La estructura de talla agregada para la evaluación FIP 1999-06 (que cubre desde los 35 a los 46° S) muestra una estructura de talla caracterizada por dos conspicuas cohortes centradas en 30 y 43 cm. Bajo la hipótesis del área de reclutamiento en la zona norte, para el proyecto FIP 2001-21 se esperaba mayor abundancia de juveniles. Los grupos modales ahí reportados son equivalentes a los tamaños en áreas reproductivas FIP 2001-19.

Otro aspecto importante es la presencia de gran cantidad de juveniles en la zona interior de los canales de la X y XI, tanto para verano como invierno. Esto estaría en contraposición con la idea de una migración masiva de sur a norte hacia el verano.

5.1.7. Revisión de la hipótesis de migración estacional del stock

Desplazamientos y migraciones a gran escala de la flota en el área de la pesquería

El análisis de los desplazamientos de los centroides de las operaciones de pesca semanal de las flotas AH y AF se hizo separadamente, debido a la segregación espacial que presentan las operaciones de pesca de ambas flotas dentro del área de la pesquería. Los AH operan de preferencia al norte de la Península de Taitao y los AF al sur, con una pequeña área de traslapeo en los fondos de pesca al sur de Isla Guablín, donde las flotas concurren regularmente en invierno para aprovechar la concentración del desove de merluza de cola y merluza del sur.

Arrastreros hieleros

El patrón estacional de desplazamiento de los centroides de la operación semanal de la flota AH muestra dos movimientos que, por su tendencia direccional persistente, se pueden calificar de migratorios: 1) una migración julio-septiembre desde el norte hacia el sur, y 2) una migración octubre-noviembre en la misma

dirección, pero en sentido opuesto. Durante el primer movimiento la flota alcanza su mayor concentración espacial en agosto, al sur de Isla Guamblln, en concordancia con la importante agregación reproductiva que ocurre en esa zona. En septiembre, ya concluido el desove, el movimiento continúa aún hacia el sur, pero esta vez, a diferencia del mes anterior, con una gran dispersión de los centroides en torno al caladero de Isla Guamblln (Figura 75).

El retorno de la flota a los caladeros del norte, frente a la Isla de Chiloé, se produce en los dos meses siguientes. La flota permanece allí durante el verano y el otoño para reiniciar nuevamente el ciclo en el invierno próximo. La migración de retorno hacia el norte es más corta y menos dispersa latitudinalmente durante los años en que existe una marcada intencionalidad hacia merluza de cola (2003 y 2004).

Los desplazamientos semanales de los centroides de la flota AH muestran una componente latitudinal predominante que a inicios de la serie abarcó un rango de 6°, con sus extremos situados aproximadamente al norte de Valdivia (39° S) y al sur de la Isla Guamblln (45° S), respectivamente. En años 2003 y 2004, cuando la intencionalidad hacia merluza de cola se acentúa, el rango geográfico de los desplazamientos se estrecha notablemente, reduciéndose a casi la mitad del rango desplegado en el año 2000 (Figura 76).

La componente longitudinal del desplazamiento también muestra un patrón estacional, pero con variaciones mucho menos marcadas que las observadas en la componente latitudinal. El rango de estos desplazamientos es de aproximadamente 1° en el año 2000 (74°-75° W) y con el transcurso de los años también su amplitud se reduce (Figura 77).

El ciclo estacional de desplazamiento de los centroides alcanza en agosto de cada año el extremo sur de su rango latitudinal y el extremo oeste su rango longitudinal coincidiendo geográficamente con el cañón submarino más notable localizado en ese lugar, uno de los más importantes caladeros de esta flota.

Los centroides que hacia fines del año 2000 (semanas 45 y 46) muestran coordenadas geográficas que se escapan de los rangos, corresponden a lances de pesca reportados en montes submarinos del cordón de Juan Fernández que no son homologables con el resto de las operaciones (Figuras 76 y 77).

Los desplazamientos a través del rango latitudinal no se producen de manera regular, además de las discontinuidades propias de los extremos del rango, existe la tendencia de la flota a permanecer durante varias semanas en latitudes intermedias, principalmente frente a Bahía Cucao (42°30' S) y al sur de Isla Guafo visitando caladeros que allí existen asociados con cañones submarinos. Entre los 42° S y 47° S se pueden reconocer a lo menos 6 cañones submarinos donde la actividad pesquera se distribuye (Figura 3, cuadro de la derecha).

Arrastreros factoría

Los desplazamientos de la flota AF son una imagen especular de los descritos para la flota AH, pero en un área mucho mayor que se extiende desde el caladero de Isla Guamblín, en los 45° S, hasta el límite este de la frontera marítima con Argentina. Los centroides de la flota AF muestran un patrón de oscilación estacional coherente con la flota AH, pero invertido. Al llegar el invierno, después de permanecer durante el otoño entre Cabo de Hornos y la frontera con Argentina (55° S, 66° W), la flota AF se proyecta hacia el norte alcanzando el caladero de Isla Guamblín. Allí se reúne con la flota AH que simultáneamente ha realizado el movimiento en sentido contrario, ya descrito en la sección anterior. Luego, en la primavera, migran hacia el sur y se establecen durante el verano pescando entre los 52 y 54° S. Desde esas latitudes, a medida que se aproxima el otoño, se desplazan a latitudes más australes y cierran el circuito migratorio retornando a Guamblín el invierno siguiente (Figura 78).

Análogamente a lo descrito para los AH, dos movimientos migratorios aparecen asociados al desove en Guamblín: 1) la migración julio-agosto de sur a

norte, y 2) la migración septiembre-octubre de norte a sur. La primera corresponde a un movimiento de concentración hacia el foco de desove que alcanza su expresión máxima en agosto (dispersión mínima de los centroides, Figura 78) y la segunda a la fase de abandono del caladero de Guamblín inmediatamente terminado el desove (dispersión máxima de los centroides, Figura 78). En los AF, a diferencia de los AH, el primer movimiento se interrumpe en agosto. Los AH una vez terminado el desove pueden seguir los peces hacia el sur, en cambio los AF están limitados a operar al norte de los 44° 30' S y deben necesariamente regresar.

La componente latitudinal de los desplazamientos de los centroides de la flota AF es también predominante (Figura 79), sin embargo la componente longitudinal no deja de ser importante especialmente en los desplazamientos al sur de la boca del Estrecho de Magallanes, donde la costa y el talud se curvan en dirección este-oeste (Figura 80).

Durante toda la serie de años la latitud más al norte se alcanzó, como era previsible, en agosto. La excepción fue el año 2004 el patrón se altera debido a que el B/F Unzen Maru cambio su estrategia y permaneció pescando en el talud frente al cañón submarino de Guamblín, confirmando así la regla que, fuera del período de desove, dentro del cañón no hay agregaciones interesantes. Esto retrasó un tanto la incursión habitual de otoño hacia el sur, pero los antecedentes de la pesca de investigación del 2004 muestran que la migración de invierno se realizó según el patrón estacional previsto.

La componente longitudinal del desplazamiento presenta su rango más amplio de penetración hacia el este durante el otoño cuando se va a pescar al caladero de Cabo de Hornos donde se ha detectado un foco de desove. En el 2004 este comportamiento no se da por la misma anomalía mencionada en el párrafo anterior. En esta zona es importante poner atención al comportamiento de la flota Argentina que, según los antecedentes entregados en un reciente taller realizado en

Concepción, pesca en el área contigua a la frontera con Chile en la misma época (Analía 2005, com pers.).

Desplazamientos a pequeña escala de las operaciones de pesca en el foco de desove

El año 2003 la flota desarrolló una marcada intencionalidad de pesca hacia merluza de cola durante su período reproductivo. Este cambio de comportamiento respecto de años anteriores ofrece la oportunidad de analizar con más detalle los movimientos de la flota en el foco de desove de Isla Guamblln y sus inmediaciones.

Ese año, la distribución de profundidad de los lances muestra entre, junio y agosto, un corrimiento gradual de la moda de profundidad hacia valores menores acompañado de una proporción cada vez mayor de lances bajo ese nivel de profundidad. Esta tendencia cambia en septiembre, el corrimiento de la moda se detiene y los lances vuelven a ser más frecuentes a profundidades mayores (Figura 81).

En junio, antes que se haga evidente el movimiento de los barcos hacia el cañón submarino de Isla Guamblln, los lances se efectúan de preferencia en el talud (Figura 82). Al mes siguiente, al aproximarse el desove, una parte importante de los lances se hacen dentro de cañón formando una agregación que cubre casi toda su extensión (Figura 83). Más tarde, en agosto, cuando el desove es más intenso, los arrastres se concentran aún más dentro del cañón, siendo la ladera sur el lugar donde la agregación se produce (Figura 84). En septiembre, las operaciones retornan nuevamente al talud (Figura 85).

Uniendo los dos aspectos de la distribución a pequeña escala en el foco de desove, se puede advertir que los cambios en la distribución de profundidad de los lances en el período aparecen relacionados con la manera como estos se reparten entre el talud y el cañón. El patrón observado sugiere que en el talud los lances son

más profundos que en el cañón, por lo tanto el movimiento de convergencia hacia el foco de desove localizado en el cañón de Isla Guamblín se hace desde el norte y el sur, ascendiendo por el talud hacia el cañón para terminar concentrándose en la ladera sur a menor profundidad. Mientras el movimiento de divergencia corresponde a un “vaciado” y profundización de los lances en sentido contrario, desde el cañón al talud. Todo esto en un rango de latitud no mayor que 3°.

Cambios de la estructura de tamaños en el foco de desove

En la pesca de investigación de merluza de cola realizada por Centro de Estudios Pesqueros de la UACH, entre el 16 de agosto y el 30 de septiembre del año 2004, se siguió con bastante detalle la composición de tallas de las capturas dentro y fuera de la zona de exclusión de la pesca industrial, denominada zona de los “Cuchillos”, pudiéndose constatar, al comparar entre si las composiciones de tallas de agosto y septiembre, tanto en machos como en hembras, que un contingente importante de peces adultos, entre 54 y 70 cm, desaparecen de las capturas, mientras los peces adultos de tallas superiores a 70 cm aún se encuentran presentes. Esta es la causa del corrimiento de la moda principal que se observa en la Figura 86.

Se puede afirmar entonces que el stock adulto que desovó en agosto del 2004 dentro del cañón submarino de Guamblín, presentó una estructura de tamaños, y probablemente edades, más completa que en septiembre, cuando se produce la dispersión post reproductiva. Esta es evidencia fuerte aunque, circunstancial, de un cambio notable de la selectividad de la pesca muy correlacionada con el abandono que hace la flota, al concluir el desove, del cañón submarino de Isla Guamblín y el desplazamiento de las operaciones de pesca hacia el talud. Algunas interpretaciones que sugiere este fenómeno se discuten en una sección siguiente.

5.1.8. Revisión de la hipótesis de migración de juveniles de merluza de cola hacia el norte

Distribución de la pesquería pelágica de merluza de cola en la zona centro-sur

La distribución de las capturas de la flota industrial de cerco se ilustra en la Figura 87, a la cual se le ha superpuesto los límites de los cruceros de evaluación acústica realizados en noviembre de 1999 (FIP 99-09, Lillo et al., 2000) y noviembre-diciembre en el 2001 (FIP 2001-21, Barbieri et al., 2003).

En general, se aprecia que los límites geográficos del área de evaluación de ambos cruceros coinciden con el área de operación de la pesquería, aunque ésta representa la acumulación de datos del periodo 1997-2003, principalmente durante los meses de octubre a diciembre. Sin embargo, también ocurren capturas importantes fuera del límite de evaluación, situación que podría ser consecuencia de la operación en algunos años hacia el norte de los 35°S y también en aguas oceánicas.

La dinámica de los centroides o centros de gravedad de las capturas se resume en la Figura 88, a la forma de una serie de tiempo, y en la Figura 89 en el espacio. A contar de 1992, se observa una mayor variación al interior (dentro) de cada temporada de pesca. En 1999, se observó la distribución más septentrional, mientras que en enero de 2003 se observó un centroide en aguas oceánicas (76,8°W).

La distribución espacial de los centroides mensuales indica que las mayores capturas se han obtenido principalmente frente al Golfo de Arauco (36°S-37°10'S) y con mayor dispersión entre los 37°10'S y los 39°S, al norte de Corral (Figura 89).

Los centroides identificados entre los 36°S y 37°S se refieren principalmente a las temporadas de pesca del periodo 1986 – 1991 (Figura 88), mientras que la mayor dispersión de los centroides representa el período 1992 en adelante.

En la serie de tiempo, 8 temporadas comenzaron en Septiembre, 9 en Octubre, y 1 en diciembre. A su vez, se consideró como fin de temporada a enero, pero sólo 3 terminaron en diciembre. Al graficar los centroides a inicios y fines de cada temporada de pesca en el periodo 1986-2002, se observa que por lo general estos se mantienen. Por ejemplo, en las temporadas 1986 a 1990, 1999, 1993. Las temporadas que claramente se iniciaron en el sur y que terminaron más al norte fueron solamente las de 1992, 1994, y 1998.

Por lo general, los centroides de inicio de temporada que terminan más al sur son los que comienzan frente a la VIII Región, pero generalmente son los centroides distribuidos al sur de los 38°S que comienzan en el sur (Figura 90). De acuerdo con la hipótesis planteada, se esperaba que la latitud del centroide a inicios de temporada comenzara en el sur y se desplazaran hacia el norte a fines de temporada. De acuerdo con la Figura 91, se esperaba que los centroides se distribuyeran conformado una nube de puntos persistentemente por debajo de la línea de 1:1. Sólo 9 de 17 cumplen este requisito, pero se distribuyen muy cerca de la línea 1:1.

Al graficar la latitud del centroide 1 y 2 meses después respecto del observado a inicios de temporada, se observa que por lo general hay una persistencia espacio-temporal de las capturas ya que se distribuyen alrededor de la línea de 1:1. Sólo se identifican 5 casos que podrían estar representando una migración hacia el norte un mes después, y 4 casos dos meses después (Figura 92).

La varianza conjunta de los centroides se ilustra en la Figura 93, observándose un incremento importante entre 1989 y 1992, y manteniéndose desde entonces en valores altos. Este comportamiento coincide con la evolución de la flota industrial de

cercos que continuamente reemplazó embarcaciones de menor tamaño por barcos de mayor autonomía, durante la década de los noventa.

Estructura de tallas

Al colapsar la información de estructura de tallas de merluza de cola por grados de longitud, no se observa un patrón claro tal que indique que en la pesca ocurra un gradiente espacial de la composición por tallas (Figura 94). Por lo general, entre los 37 y 38°S se observa una estructura de tallas más homogénea entre octubre y noviembre, unimodales, con moda centrada en los 40 cm de longitud total y una mayor proporción de individuos bajo los 55 cm LT. A su vez, al norte del 37°S se ha registrado una mayor proporción de ejemplares mayores a los 55 cm LT, como también en 39°S.

Análisis de presencia-ausencia de juveniles en el crucero de noviembre de 1999

El análisis de los lances de pesca obtenidos por el B/I Abate Molina en la campaña de noviembre de 1999 (FIP 99-06), considerando la presencia-ausencia de merluza de cola juveniles en los 23 lances de pesca obtenidos en función de la latitud y la profundidad del lance, resultó ser estadísticamente significativo, i.e.

Modelo 1: Latitud

Call: glm(formula = JUV ~ LAT, family = binomial(link = logit), data = mcol9906v2)

Deviance Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max
-2.818497 0.2519293 0.3059305 0.519061 0.6183088

| Coefficients | Value | Std. Error | t value |
|--------------|-----------|------------|-----------|
| (Intercept) | -6.549263 | 0.66517820 | -9.845878 |
| LAT | 0.227826 | 0.01712628 | 13.302712 |

(Dispersion Parameter for Binomial family taken to be 1)

| | | degrees of freedom |
|-------------------|----------|--------------------|
| Null Deviance | 3016.72 | 5619 |
| Residual Deviance | 2809.686 | 5618 |

Modelo 2: Latitud + profundidad del lance

Call: glm(formula = JUV ~ LAT + PROFREL, family = binomial(link = logit), data = mcol9906v2)

Deviance Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max
 -2.832899 0.1968522 0.3064287 0.4289647 0.8718395

| Coefficients | Value | Std. Error | t value |
|--------------|--------------|--------------|------------|
| (Intercept) | -7.457620077 | 0.7085945583 | -10.524523 |
| LAT | 0.276890970 | 0.0187985518 | 14.729378 |
| PROFREL | -0.007731998 | 0.0008282581 | -9.335253 |

(Dispersion Parameter for Binomial family taken to be 1)

| | | degrees of freedom |
|-------------------|----------|--------------------|
| Null Deviance | 3016.72 | 5619 |
| Residual Deviance | 2727.749 | 5617 |

El análisis de varianza señala que la profundidad del lance debe estar en el modelo, i.e.

Analysis of Deviance Table

Response: JUV

| | Terms Resid. | Df Resid. | Dev | Test | Df | Deviance | Pr(Chi) |
|----------|---------------|-----------|----------|----------|----|----------|---------|
| Modelo 1 | LAT | 5618 | 2809.686 | | | | |
| Modelo 2 | LAT + PROFREL | 5617 | 2727.749 | +PROFREL | 1 | 81.93673 | 0 |

El modelo explica satisfactoriamente la presencia-ausencia de juveniles de merluza de cola, cuya variable respuesta en función de la latitud y profundidad del lance exhibe una relación positiva con la latitud (Figura 95).

La probabilidad de presencia esperada de juveniles (variable respuesta), en función de la latitud y la profundidad del lance, indica que existe una mayor probabilidad de presencia de juveniles en altas latitudes (46°S) que frente a Talcahuano (36°S, Figura 95). A su vez, existe una mayor probabilidad de presencia de juveniles en profundidades menores a 150 m (Figura 96).

Un análisis exploratorio para explicar las tallas de merluza de cola en función de la latitud y profundidad del lance se realizó utilizando Modelos Lineales Aditivos (GAM, con suavizador loess y span = 0,8). El modelo fue significativo, i.e.

```
Call: gam(formula = TALLA ~ lo(LAT, span = 0.8) + lo(PROFREL, span = 0.8), data =
mcol9906v2)
```

Deviance Residuals:

```
   Min       1Q   Median       3Q      Max
-21.2478 -5.830216 -2.137918  3.940991  57.83253
```

(Dispersion Parameter for Gaussian family taken to be 83.90829)

Null Deviance: on degrees of freedom

| | | degrees of freedom |
|-------------------|----------|--------------------|
| Null Deviance | 690535.8 | 5619 |
| Residual Deviance | 471128.2 | 5614.799 |

Residual Deviance: on degrees of freedom

Number of Local Scoring Iterations: 1

DF for Terms and F-values for Nonparametric Effects

| | Df Npar | Df Npar | F | Pr(F) |
|----------------------------|---------|---------|----------|-------|
| (Intercept) | 1 | | | |
| lo(LAT, span = 0.8) | 1 | 1.0 | 758.1924 | 0 |
| lo(PROFREL, span = 0.8) | 1 | 1.2 | 198.0290 | 0 |

Los resultados de este modelo, indican que la talla promedio de merluza de cola se relaciona en forma no lineal con la latitud y la profundidad del lance (Figura 97). Se observa que las tallas promedio disminuyen desde los 36°S hasta los 40°S, para después estabilizarse en tallas bajas. Con la profundidad del lance, se observa un incremento en la talla promedio desde los 50 hasta los 150 m, para después estabilizarse hasta los 300 m.

Los resultados hasta ahora analizados sugieren que los juveniles de merluza de cola presentan una mayor probabilidad de presencia entre los 40 y 46°S, disminuyendo esta probabilidad hacia el sector norte (i.e., hacia la zona central de Chile) en primavera. A su vez, el tamaño promedio de merluza de cola fue más estable entre los 40 y 46°S y en profundidades mayores de 150 m. En consecuencia, es probable que la mayor presencia de juveniles de merluza de cola al sur de los 40°S se deba al hecho de su cercanía con el centro de mayor abundancia de esta especie. Sin embargo, el hecho que la longitud promedio disminuya casi lineal desde los 36°S a los 40°S (Figura 97) no implica necesariamente que exista una migración de peces juveniles hacia el norte. En otras palabras, el hecho que el tamaño de la merluza de

cola se incrementa desde los 40°S hacia el norte no implica que exista un proceso de migración. Más bien, se postula que la fracción juvenil de merluza de cola se distribuye en toda el área de distribución del stock, con una mayor presencia entre los 40 y 46°S y que durante la época estival la fracción juvenil de merluza de cola solamente incrementa su disponibilidad en aguas más superficiales.

5.1.9. Revisión de la hipótesis de una sola área de desove en la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*, Lönnberg) en Chile

Variación espacial global de las concentraciones de peces maduros y desovados

Los resultados indican la presencia de peces “maduros y en desove” a largo de la costa chilena, específicamente sobre el nivel superior del talud continental. No obstante, se observan varias concentraciones de peces maduros y desovados, además del área de desove de Isla Guambllín (Figura 98). Dentro de estas agrupaciones destacan la ubicada al sur de la Isla Mocha en la VIII región, la formada en la boca occidental del Estrecho de Magallanes (52° a 54° S) y la ubicada en el extremo sur de Chile cercana a la frontera con Argentina (entre los 56° y 57° S).

La agrupación de Isla Guambllín, a la vez está constituida por varias agrupaciones de desoves menores, asociadas a los cañones submarinos del área (Figura 99). Por lo menos se distinguen 6 de ellas. En cambio, las concentraciones de la zona austral no aparecen asociadas a ningún cañón submarino, con excepción quizás de la agrupación que se constituye en la boca del Canal Beagle en el límite con Argentina.

Variación espacial mensual

Se observa una clara variación mensual en la formación o aparición de concentración de peces “maduros y en desove” a lo largo de la costa chilena (Figura 100). En los meses de enero, febrero y marzo en la zona sur no existen indicios de formación de concentraciones de peces en estados reproductivos avanzados. En mayo se forma la primera concentración reproductiva en el extremo sur del país, la cual se mantiene y se refuerza durante junio, extendiéndose desde el extremo sur hasta la boca occidental del Estrecho de Magallanes (Figura 100). En junio comienza a formarse una agregación en la zona de Chiloé frente a bahía Cucao e Isla Guafo, que constituiría la primera señal de la formación de la concentración reproductiva, considerada la principal por algunos investigadores, en la zona de Isla Guambllín, durante agosto-septiembre. Hacia los meses de octubre, noviembre y diciembre estas concentraciones desaparecen y solamente se detectan peces maduros y en desove en el extremo austral, desapareciendo por completo en diciembre.

El comportamiento del sector de Isla Mocha y Talcahuano, no tiene un patrón mensual claro. Se observan individuos maduros y desovados prácticamente durante todos los meses del año. Sin embargo, durante agosto-septiembre esta presencia parece fortalecerse, indicando la probable existencia de una agregación reproductiva. Para la realización de un análisis más confiable, nos hemos encontrado con dos tipos de problemas: 1) la baja cobertura de muestreo, es decir pocos lances muestreados para las características biológicas y acompañados de bajo tamaño muestral (Tabla 16), y 2) probables errores clasificación de los estadíos de madurez, lo que podría estar explicando el hecho de no observar un patrón mensual claro.

La variación estacional señalada anteriormente de las agregaciones de peces maduros y en desove se mantiene cada año con alguna variabilidad, lo cual es un buen indicador de su persistencia.

Tabla 16. Lances reportados con captura de merluza de cola y número de lances muestreados, por año y mes, en la Pesquería demersal Centro sur.

| Mes | Lance | Año | | | | |
|------------|-------------|------|------|------|------|------|
| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| Enero | Con captura | 6 | 8 | 74 | 108 | 141 |
| | Muestreados | - | - | 3 | 4 | 1 |
| Febrero | Con captura | 5 | 31 | 203 | 221 | 209 |
| | Muestreados | - | 2 | 7 | 12 | 2 |
| Marzo | Con captura | 11 | 70 | 162 | 277 | 327 |
| | Muestreados | - | 11 | 6 | 4 | 4 |
| Abril | Con captura | 3 | 38 | 134 | 181 | 164 |
| | Muestreados | - | 5 | 8 | 8 | 3 |
| Mayo | Con captura | 2 | 126 | 86 | 118 | 72 |
| | Muestreados | - | 9 | 2 | 4 | - |
| Junio | Con captura | 6 | 123 | 86 | 6 | 41 |
| | Muestreados | - | 2 | 7 | - | 2 |
| Julio | Con captura | - | 46 | 139 | 11 | 27 |
| | Muestreados | - | 3 | 4 | 1 | - |
| Agosto | Con captura | - | 61 | 217 | 120 | 29 |
| | Muestreados | - | 5 | 8 | - | 2 |
| Septiembre | Con captura | - | 83 | 124 | 82 | 31 |
| | Muestreados | - | 4 | 2 | 6 | - |
| Octubre | Con captura | 4 | 67 | 77 | 173 | 185 |
| | Muestreados | - | 2 | 4 | 10 | 2 |
| Noviembre | Con captura | 125 | 102 | 37 | 255 | 301 |
| | Muestreados | 41 | 9 | 4 | 8 | 10 |
| Diciembre | Con captura | 200 | 55 | 11 | 242 | 80 |
| | Muestreados | 27 | 1 | 2 | 9 | 7 |

5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Efectuar una revisión de los métodos de evaluación directa e indirecta del reclutamiento (en forma absoluta o como índices) utilizados internacionalmente, incluido el actualmente empleado en merluza de cola.

Hoki de Nueva Zelanda (*Macruronus novaezelandiae*)

La pesquería del Hoki es la más grande de Nueva Zelanda, con una CTP que alcanzó las 200.000 tons (O'Driscoll & Bagley 2003). Livingston et al (1997) indican que esta especie se distribuye extensamente al interior de la zona económica exclusiva de Nueva Zelanda, en profundidades entre 50 y 800 m. Múltiples son las fuentes de información que son utilizadas como indicadores para esta pesquería y que alimentan a un sofisticado modelo de evaluación para este recurso (Francis 2003). Debido a la compleja distribución y dinámica espacial, resultados sobre diferenciación genética y diferencias morfométricas de stocks, se postula la existencia de dos subpoblaciones (del Oeste y del Este), interconectadas a través de un área común de crianza (Chatham rise).

Evaluaciones hidroacústicas, cruceros de área barrida y programas de observadores son las metodologías que se utilizan para colectar información de este sistema. Las áreas históricas de monitoreo son WCSI, Cook Strait, Southland, Sub-Antarctic y Chatham rise (Figura 101).

La metodología hidroacústica se utiliza sólo en las zonas de agregación reproductiva (WCSI y Cook Strait) en cambio todo el resto es evaluado a través de área barrida (Tabla 17). Esto se debería al hecho de que sólo en las zonas de agregación reproductiva esta especie se encontraría en densidades apropiadas y en baja proporción de mezcla con otras especies, para utilizar esta metodología (O'Driscoll, comunicación personal y O'Driscoll, 2003).

La Tabla 17 resume la información histórica recolectada hasta el año 2001, donde se aprecia que la mayor parte de las evaluaciones directas presentan

información sobre estructura de edades (amplio rango), observadas directamente o extraídas mediante descomposición modal. Los índices y las proporciones a las edades son utilizadas como piezas de información independiente en la evaluación indirecta.

Tabla 17: Resumen de las zonas y metodologías empleadas para evaluar la población de hoki en Nueva Zelanda (extraído de Livingston 2001).

| Survey area | Method [*] | Data type | Years | Age: | |
|---------------|--------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | Male | Fem |
| WCSI | Acoustics [‡] | Biomass | {1988–93, 1997, 2000} | – | – |
| | CPUE [#] | Biomass | 1990–2000 | – | – |
| | Observers (otoliths) | Catch proportions | 1988–2000 | 3–11 | 3–12 |
| Sub-Antarctic | Observers (MDC) | Catch proportions | 1992–98 | 2–6 ⁺ | 2–6 ⁺ |
| | <i>Shinkai Maru</i> (MDC) | Numbers | 1982 | 3–6 ⁺ | 3–6 ⁺ |
| | <i>Shinkai Maru</i> (otoliths) | Numbers | 1983 | 2–11 | 2–12 |
| | <i>Amatai Explorer</i> (MDC) | Numbers | 1989–90, 1990 | 2–6 ⁺ | 2–6 ⁺ |
| | <i>Tangaroa</i> (otoliths) | Numbers | {1991–93, 2000} (92), (92, 96, 98) | 1–11 ⁺ | 1–12 ⁺ |
| | <i>Tangaroa</i> (otoliths) | Proportion spawning | {1992, 1998} | – | 3–9 ⁺ |
| Southland | <i>Tangaroa</i> (length data) | Numbers | 1993–96 | 1–2 | 1–2 |
| Cook Strait | Acoustics | Biomass | {1988, 1991–99} | – | – |
| | Shed sampling (otoliths) | Catch proportions | 1988–2000 | 3–11 | 3–12 |
| Chatham Rise | Observers (MDC) | Catch proportions | 1992–98 | 2–6 ⁺ | 2–6 ⁺ |
| | <i>Shinkai Maru</i> (MDC) | Numbers | 1986 | 2–6 ⁺ | 2–6 ⁺ |
| | <i>Shinkai Maru</i> (otoliths) | Numbers | 1983 | 1–10 ⁺ | 1–11 ⁺ |
| | <i>Amatai Explorer</i> (MDC) | Numbers | 1989 | 2–6 ⁺ | 2–6 ⁺ |
| | <i>Tangaroa</i> (otoliths) | Numbers | 1992–2001 | 1–10 ⁺ | 1–11 ⁺ |

* For trawl surveys the vessel name is given with the method of ageing in parentheses.
+ Denotes a plus group
Used in the CPUE run with both acoustics time series excluded.
‡ Used in the basecase run, with the WCSI CPUE time series excluded.

Area barrida (regiones Southland y Sub-Antarctic)

El método de área barrida es implementado sobre un diseño de muestreo aleatorio estratificado de dos etapas (Francis, 1984). Esta estratificación ocurre por área y profundidad (Figura 102). Para el año 2002 se utilizaron 97 estaciones en la primera fase, con un mínimo de tres estaciones por estrato. En una segunda fase de ubicaron 10 estaciones, principalmente para mejorar el c.v. de las estimaciones de abundancia de hoki y otras especies objetivo (O’Driscoll & Bagley, 2003). El muestreo para Hoki se llevó a cabo entre los 300 y 800 m de profundidad.

Dos series temporales han sido desarrolladas para esta zona, una en verano (Noviembre-Diciembre) y otra en otoño (Abril-Mayo). En verano las abundancias

debieran ser máximas y la serie de otoño permite calcular la proporción adultos que no desovan (Livingston et al 1996), situación que no debe despreciarse en la modelación.

Las evaluaciones por el método de área barrida se realizan sobre una amplia zona geográfica (aprox 270000 km²). A pesar de eso el diseño de muestro permite obtener estimaciones con coeficientes de variación menor al 20%.

Estimaciones hidroacústicas (regiones WCSI y Cook Strait)

Las estimaciones hidroacústicas se realizan sobre la biomasa desovante de las subpoblaciones del oeste (área WCSI) y del este (Cook Strait), que se congregan cada invierno (Julio-Septiembre, ver Figura 103). Por tratarse de un proceso migratorio hacia los bancos de desove, la evaluación directa incorpora un proceso, a través de una serie de visitas a estas áreas durante la temporada. Esto permite generar estimaciones de abundancia a lo largo de la temporada e identificar la época de máxima congregación reproductiva. Sólo a través de este mecanismo se logra obtener una serie consistente de abundancia relativa.

Dado que la fecha de máxima agregación reproductiva varía interanualmente para ambas áreas, es de vital importancia considerar una metodología de este tipo para obtener una serie consistente de abundancia relativa (O'Driscoll, 2002). Es muy importante señalar que esta metodología se encuentra absolutamente ausente de las evaluaciones directas del stock desovante de la merluza de cola y merluza del sur, factor que hace altamente cuestionables los resultados.

Es importante destacar además que para ambas aproximaciones, se evidencia una clara tendencia a utilizar la misma plataforma de trabajo entre años, de tal forma de evitar fuentes adicionales de incertidumbre y sesgo, que a posterior dificultan la interpretación de la data.

Modelo de Evaluación indirecta y estimación del reclutamiento

Tanto la información proveniente de los cruceros de evaluación (índices de abundancia, estructura de edad/tallas y datos biológicos), como de la flota comercial (CPUE, estructura de edades/tallas) son integrados a través de un sofisticado modelo estadístico de sexos separados y dos subpoblaciones (Francis, 2004). El modelo sin ser espacialmente explícito, considera una dinámica tal, que permite incorporar todas las piezas de información que tienen estructura espacio-temporal bien definida.

O'Driscoll (comunicación personal) indica que las evaluaciones directas en la zona de Chatham rise constituyen un buen índice de abundancia para el reclutamiento (1+ y 2+) de ambos submodelos. Las estimaciones de reclutamiento se obtienen de integrar toda esta información al interior del modelo de evaluación.

De acuerdo a esta revisión podemos indicar que esta población tiene una fuerte estructura y dinámica espacial, la cual es observada y modelada con distintas metodologías. La hidroacústica se utiliza sólo en las estimaciones de abundancia del stock reproductivo, donde la población se encuentra altamente agrupada y con menores grados de mezcla interespecífica. El método de área barrida en cambio se aplica en las zonas Subantárticas y el Chatham rise, de mayor superficie, menor densidad y mayor mezcla intra e interespecífica.

Blue Grenadier de Australia (*Macruronus novaezelandiae*)

La abundancia de la población de hoki en aguas australianas alcanza niveles muchos más bajos que la población de hoki de Nueva Zelanda. Su distribución incluye la isla de Tasmania y la zona sur de Australia (Figura 104). La información disponible sugiere que se trata de un sólo stock, pero con diferencias importantes al hoki de Nueva Zelanda (Milton and Shaklee, 1987). Al igual que para el stock neocelandés, se identifican dos pesquerías para este recurso: una relacionada con el stock desovante, que opera en invierno (Junio, Julio y Agosto) y otra que opera

principalmente sobre sub-adultos y adultos pequeños (Smith, 1998). La mayor parte de los desembarques operan en la actualidad sobre la fracción desovante (73% en el año 1997).

La información histórica para este recurso es bastante más reducida y las series consisten principalmente en información de captura por unidad de esfuerzo estandarizada para cada flota, disponibles desde el año 1986 (Tuck et al., 2005).

Las únicas dos piezas de información independientes de la pesquería son, una estimación del stock desovante generada mediante una evaluación hidroacústica en agosto del año 2003 y estimaciones de la biomasa desovante para los años 1994 y 1995 mediante el método de producción de huevos (Bulman et al., 1999).

Estimaciones biomasa desovante por método de producción de huevos

Este método se basó en la producción anual de huevos y presentaría ventajas comparativas sobre el método diario de producción (Lasker, 1985), cruceros de área barrida y cruceros acústicos, dado que las estimaciones de biomasa desovante corresponden a una integración de la abundancia durante la temporada. Esto permitiría obtener estimaciones insesgadas de la abundancia promedio durante la temporada.

Los cruceros se desarrollaron aproximadamente en tres grados de latitud a los largo de la costa noroeste de la isla de Tasmania durante los años 1994 y 1995 (Bulman et al., 1999) y aportó con estimaciones puntuales y coeficiente de variación.

Evaluación hidroacústica 2003

A lo largo de la temporada de pesca de invierno de 2003 (aprox. 2.5 meses) se llevó a cabo una evaluación hidroacústica experimental a bordo de tres

embarcaciones de pesca en un área total contenida en la Figura 105. Esto corresponde a una parte del área total evaluada por el método de producción de huevos. Durante este período se realizaron un total 25 evaluaciones a bordo de las tres plataformas de trabajo y después de una detallada investigación solo 8 cumplieron con los requerimientos previamente establecidos (Ryan et al., 2003). Esto permitió tener estimaciones de abundancia a lo largo de la temporada de pesca, pero con el inconveniente de no poder cubrir una amplia zona geográfica, dada las restricciones operativas impuestas por la empresa. Las estimaciones que se obtuvieron quedan limitadas por este aspecto y al hecho de que no se alcanzó a visualizar con claridad el momento en el cual se produce el máximo de agregación reproductiva (Ryan et al., 2003).

Modelo integrado de evaluación indirecta y estimación del reclutamiento

Esta población es modelada como un solo stock, con dos pesquerías y con un modelo estadístico edad estructurado y de sexos separados. El modelo es calibrado fundamentalmente a las series de abundancia relativa (CPUE) provenientes de las dos pesquerías, a sus respectivas estructuras de edad. Las evaluaciones del stock desovante por el método de producción de huevos son incorporadas al modelo y la hidroacústica sólo en forma exploratoria (sensitividad).

Las estimaciones de reclutamiento para este recurso provienen exclusivamente del modelo integrado.

Es evidente la baja presencia de evaluaciones directas en este recurso en comparación con el hoki neocelandés. No obstante se identifican claramente dos aspectos característicos de estos sistemas, agregaciones reproductivas de alta estacionalidad, con una pesquería de invierno asociada a ella, y una pesquería sobre grupos de edad más juveniles, la cual opera la mayor parte del año en zonas más extensas.

Merluza de cola de Argentina (*Macruronus magellanicus*)

La merluza de cola es el recurso íctico de mayor abundancia en el Océano Atlántico al sur de los 45° S y habita en aguas templado-frías de la corriente de Malvinas (Wöhler, 2004). Sus desembarques más recientes (promedios entre 1998-2003) bordean las 145000 tons. Su distribución es amplia sobre la mayor parte de la plataforma continental Argentina, desde regiones costeras, hasta la plataforma externa y el talud. Los mejores rendimientos de pesca ocurren al sur de los 45° S y entre 50 y 200 m de profundidad. Campañas sucesivas de prospección pesquera en el área del talud Argentino durante la época de invierno (Guisi et al., 2003b), no han podido encontrar zonas importantes de agregación reproductivas, típicas de este género, como en Chile, Nueva Zelanda y Australia.

Los antecedentes actuales no permiten establecer una estructura poblacional clara entre los stocks de Argentina y Chile. Hasta el momento son manejados en forma independiente. Para la población argentina de merluza de cola se identifican dos subpoblaciones, la del Golfo San Matías y la de la plataforma continental.

Evaluación directa usando área barrida

Evaluaciones de abundancia sobre la plataforma Argentina se vienen obteniendo desde el año 1969, pero sólo a partir de 1992 existiría una serie anual consistente de abundancia relativa (Wöhler, 2004). Estos cruceros se realizan entre Febrero y Abril sobre un amplio sector de la plataforma (Figura 106) utilizando un diseño de muestreo aleatorio estratificado.

Esta metodología permite obtener índices de abundancia relativa totales o por grupos de edad. Si bien la información no es presentada de esa forma en los reportes, es posible obtener series de abundancia relativa de grupos juveniles (“reclutas”).

Modelo integrado de evaluación indirecta y estimación del reclutamiento

La información disponible para realizar las evaluaciones indirectas en el lado Argentino consta de data pesquera (captura, esfuerzo, estructura de edad) e índices de abundancia relativa proveniente de una serie de evaluaciones mediante área barrida. El modelo conceptual sobre el cual se basa la evaluación indirecta, considera una sola población, una flota y un sólo sexo. El modelo es edad estructurado, pero a diferencia de los casos anteriores es del tipo ADAPT (no estadístico) y la calibración a la serie de abundancia relativa se genera en forma adhoc.

La estimación de reclutamiento que se presenta en la literatura para esta especie proviene del análisis de poblaciones virtuales (metodología indirecta).

Merluza de cola de Chile (*Macruronus magellanicus*)

La merluza de cola en el pacífico sur se distribuye principalmente entre la V y la XII regiones, tanto en la plataforma-talud como en aguas interiores de los fiordos australes. Estudios genéticos de diferenciación de stock establecen que a lo largo del país habría una sola gran población de merluza de cola (Galleguillos et al, 1999). Este esquema conceptual se traspaasa al modelo de evaluación indirecta (Paya et al 2004).

Los registros de desembarques comienzan a fines de los años setenta como fauna acompañante de Merluza del Sur (Lillo et al 1999). Durante los años ochenta se establecieron dos pesquerías asociadas a este recurso, una demersal sur-austral (XI y XII regiones) y otra pelágica centro-sur (V-X). La primera opera fundamentalmente durante el período de invierno sobre la biomasa desovante, en cambio la segunda durante fines de primavera y verano sobre una fracción más juvenil del recurso y utilizando redes de cerco. Por último, en los últimos 4 años se ha venido desarrollando una pesquería demersal centro-sur, la cual ha presentados bueno rendimientos.

Evaluación directa usando hidroacústica

Tanto en la zona centro-sur como sur-austral se han desarrollado evaluaciones hidroacústicas tendientes a estimar abundancia poblacional. En la zona sur-austral se ha construido una serie temporal de estimaciones de abundancia de biomasa desovante que incluye los años 95, 2000, 2001, 2002, 2003 (Lillo et al. 1997; Lillo et al. 2001; Lillo et al. 2002; Lillo et al. 2004a; Lillo et al. 2004b, la estimación del año 1995 no es considerada en la evaluación indirecta). Por otro parte existe una estimación de abundancia hidroacústica para aguas interiores en el año 2002, la cual reportó una gran cantidad de individuos juveniles al interior de la zona del desove (Lillo, 2004 a).

En la zona centro-sur se han realizado dos cruces hidroacústicos (1999 y 2001), tendientes a estimar la abundancia de merluza de cola. Debido a que en esa zona se han identificado recurrentemente individuos juveniles en los desembarques, las evaluaciones directas han tomado el nombre de “evaluaciones del reclutamiento”. El diseño de muestreo y las plataformas de trabajo no han sido comparables en el tiempo y la composición etaria en ambas evaluaciones no es la misma. Varias potenciales fuentes de sesgo han sido indicadas en este informe respecto a la metodología hidroacústica empleada.

Modelo de evaluación indirecta

El modelo de evaluación indirecta se basa sobre un modelo conceptual con las siguientes características (Paya et al., 2004):

- a) la existencia de una sola población.

b) tres pesquerías operando independientemente sobre el recurso. Una demersal sur-austral (opera sobre la biomasa desovante), una demersal centro-sur y una pelágica centro-sur, operando sobre fracciones distintas de la población.

Si bien hay una clara segregación espacial de estas pesquerías, el modelo no incorpora parámetros que se relacionen con esta escala.

La falta de consistencia en ambas series hidroacústicas fue reconocida por Paya et al. (2004), quienes dejaron afuera ambas series de evaluaciones hidroacústicas en la calibración indirecta. Paya et al. (2005) reconsideró esta decisión e incluyeron la hidroacústica al interior del modelo (descartando la estimación del año 2003). Dado que no hubo un reanálisis de la metodología hidroacústica, no queda claro sobre que bases se tomaron estas decisiones. El modelo actual incorpora además las capturas por unidad de esfuerzo provenientes de las flotas cerquera y arrastrera.

Las series de estimaciones de reclutamiento disponibles provienen del modelo de evaluación de stock (Paya et al., 2005). Existen 3 estimaciones directas de grupos juveniles, pero en áreas y metodologías distintas, que generan ambigüedad a los resultados.

Pacific hake del Pacífico Norte (*Merluccius productus*)

La población de merluza del pacífico se distribuye a lo largo de la costa oeste de América del Norte, entre California, USA y la isla de Vancouver, Canada (Figura 107). En la figura 107 se resume el modelo conceptual de dinámica espacio-temporal de este recurso. Cada año la fracción adulta de la población migra desde las áreas de desove, al sur de California, hacia zonas de alimentación, ubicadas a lo largo del quiebre de la plataforma continental entre California y la isla de Vancouver (Dorn 1995). Durante primavera y verano se desarrollan pesquerías industriales tanto en aguas canadienses como norteamericanas.

Previo al año 1997 ambas naciones realizaban evaluaciones independientes, pero posteriormente se acordó en estandarizar la metodología para las evaluaciones hidroacústicas y proponer un comité científico en común, encargado de realizar la evaluación indirecta. Este proceso permitió eliminar inconsistencias, generar consejo hacia los administradores con mayor claridad y manejar el recurso considerando toda su extensión geográfica.

Evaluación directa usando hidroacústica

En la actualidad se considera a la evaluación hidroacústica como el principal indicador de la abundancia en la calibración del modelo poblacional. Estas evaluaciones se han realizado en forma trienal a lo largo de la costa de Estados Unidos desde el año 1977 (AFSC, Wilson et al. 2000) y desde 1990 en aguas canadienses por el departamento de pesquerías y océanos (Cooke et al., 1996). Los cruceros de 1995, 1998 y 2001 fueron realizados en conjunto, sometiendo a las dos embarcaciones previamente a un riguroso proceso de intercalibración. Los cruceros se realizan entre Junio y Septiembre, período en el cual la población se encuentra alimentando a lo largo del quiebre de la plataforma, entre el norte de California y las islas Queen Charlotte. Se cree que durante ese período la migración latitudinal es mínima (Nelson y Dark 1985).

El diseño de muestreo consiste en una serie de transectas ortogonales a la costa (Figura 108) separadas por 18.5 km en la mayor parte del muestreo (Guttormsen et al., 2003). Las transectas cubren un rango batimétrico entre 30 y 1500 metros. Los lances exploratorios permiten obtener una buena estimación de la estructura de edades en la población.

Evaluación directa del reclutamiento

El laboratorio de Santa Cruz (California) ha desarrollado evaluaciones anuales de abundancia mediante área barrida para estimar abundancia relativa del

reclutamiento, principalmente de rockfish, en la costa de California desde 1983. Juveniles menores a un año de merluza del pacífico se encuentran frecuentemente a profundidades donde se realiza este muestro y por lo tanto esta metodología ha permitido construir un buen índice de la fuerza del reclutamiento, que posteriormente se calibra a la edad 2 del modelo (Helser et al 2004). El diseño de muestreo se representa a través de una grilla regular de estaciones costeras. La metodología corresponde al de muestreos de ictioplancton (Sakuma & Ralston, 1997, Figura 109).

Modelo de evaluación indirecta

El modelo es estadístico, de sexos combinados y estructurado por edades. Las flotas canadienses y norteamericanas se consideran como pesquerías distintas. Las fuentes principales de información para calibrar el modelo lo constituyen las evaluaciones hidroacústicas trienales, estructuras de edad en la captura, evaluación directa del reclutamiento, estructura de edades en el crucero hidroacústico. Para este recurso existen series de tiempo de reclutamiento que provienen de la zona de Santa Cruz y de la calibración indirecta del modelo.

Resumen de las metodologías utilizadas para estimar el reclutamiento

Como resultado de la revisión bibliográfica se identificaron las siguientes metodologías para estimar el reclutamiento en especies de los géneros *Macruronus* y *Merluccius*.

a) Métodos directos

- Método de área barrida aplicado sobre juveniles y adultos
- Método hidroacústico aplicado sobre juveniles
- Muestreo de Ictioplancton aplicado sobre individuos del año (Y-O-Y)

b) Métodos indirectos

- Estimación de la fuerza de clases anuales a través de un modelo integrado de evaluación de stock.

De la revisión bibliográfica se desprende que únicamente para el caso de la merluza del Pacífico norte se obtiene una estimación directa del reclutamiento biológico (grupo 0+) y que además tiene un buen grado de correlación con la fuerza de las clases anuales que se detectan posteriormente en la evaluación indirecta (Tabla 18). La implementación de una metodología equivalente para el caso de la merluza de cola y a la luz de los resultados obtenidos de los cruceros de prospección de huevos y larvas, implicaría cubrir una amplia región entre la XI y XII regiones. Eventualmente bastaría con reducir el área de muestreo en el futuro, si se indentificaran áreas claves que permitieran capturar la fuerza de las clases anuales. Esto podrá solo alcanzarse en la medida que se construya una serie de tiempo con este indicador. Dada la extensión geográfica de la zona a muestrear, es probable que los costos de dicha empresa sean bastante elevados. Sin embargo estos muestreos pueden aportar valiosa información sobre la variabilidad y factores que afectan realmente el reclutamiento.

Siguiendo el esquema de las metodologías directas se podría optar por una evaluación a través del método de área barrida o continuar con los métodos hidroacústicos. Independiente de la metodología que se emplee, es necesario definir apropiadamente la zona a muestrear. A la luz de los resultados obtenidos en los proyectos FIP 1999-06, 2001-21 y 2002-07, y de la estructura de edades presentes en las capturas de las 3 pesquerías (Payá et al 2005) se pone en tela de juicio la representatividad de las evaluaciones directas hidroacústicas en la zona centro-sur como estimaciones del reclutamiento.

Por el momento y de acuerdo a la estrategia utilizada en Nueva Zelanda (e.g. Sub-Antarctic region and Chatham rise) se podría considerar toda el área entre la V y XII regiones como una zona de prospección durante el verano tanto para juveniles como adultos. Esto permitiría desarrollar un índice de abundancia para esta zona.

Tabla 18: Resumen de los grupos ontogenéticos, ventajas y desventajas de metodologías directas e indirectas en la estimación del reclutamiento.

| | Directo | | | Indirecto | |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| | Area barrida | Hidroacústica | Area barrida | Análisis de poblaciones virtuales | Modelo estadístico integrado |
| Grupos de Edad | Juveniles y adultos | Juveniles y adultos | Ictioplancton (0+) | Reclutas (1+,2+,etc) | Reclutas (1+,2+,etc) |
| Ventajas | Buena performance en condiciones de alto grado de mezcla con fauna acompañante | Obtiene potencialmente información de abundancia en toda la columna de agua | Estimaciones sobre estadios tempranos: buena información predictiva para años recientes y futuros | Integra la información de varias fuentes en el tiempo | Integra la información de varias fuentes en el tiempo en un contexto estadístico |
| | Genera gran cantidad de información sobre estructura de edad/longitud | Mayor cantidad de información generada a un mismo esfuerzo que área barrida | | Estimaciones del reclutamiento sin una caracterización formal de la incertidumbre | Manejo formal de la incertidumbre en las estimaciones de reclutamiento |
| | Distribución espacial de la flota pesquera permite cotejar el área muestreada | Distribución espacial de la flota pesquera permite cotejar el área muestreada | | Mucha de la información proviene de la estimación | Permite analizar el grado de consistencia de las diversas fuentes de información |
| | Evidencia empírica directa de la abundancia | Evidencia empírica directa de la abundancia | Evidencia empírica directa de la abundancia | | No requiere datos de estructura de edad en la captura para todos los años |
| Desventajas | Genera información solo en el estrato muestreado por la red, menor información que métodos hidroacústicos | Baja performance a altos grados de mezcla con fauna acompañante | Fuerza de las clases anuales a esta edad aun pueden estar fuertemente sujetas a efectos abióticos y bióticos. | Debido a su condición de estimación indirecta la calidad de la estimación dependerá de la consistencia temporal de las distintas fuentes de información | Debido a su condición de estimación indirecta la calidad de la estimación dependerá de la consistencia temporal de las distintas fuentes de información |
| | Requiere de un mayor numero de lances y por ende mayor esfuerzo de muestreo | Requiere de buena información auxiliar respecto de fuerza de blanco | Actividad de la flota no entrega información auxiliar sobre distribución de los reclutas | Requiere datos de estructura de edad en la captura para todos los años | |
| | | Genera menor cantidad de información respecto de estructura de edad/longitud | | No reporta estimaciones de incertidumbre en el reclutamiento bajo una metodología estadística formal | |
| | | Requiere de lances exploratorios para identificación de especies | | No maneja incertidumbre en la matriz de captura | |
| | | Menor calidad en la estimación de estructura de longitud/edad. | | | |

Tabla 19: Resumen de los principales supuestos de metodologías directas e indirectas relacionados a la estimación del reclutamiento.

| | Directo | | | Indirecto | |
|------------------|---|---|---|--|--|
| | Area barrida | Hidroacústica | Area barrida (Ictioplancton) | Análisis de poblaciones virtuales | Modelo estadístico integrado |
| Supuestos | Población se encuentra en el área en el área muestreada durante la prospección | Población se encuentra en el área en el área muestreada durante la prospección | Población se encuentra en el área en el área muestreada durante la prospección | Modelo de dinámica tiene el grado adecuado de complejidad para representar la dinámica juvenil, adulta y del reclutamiento | Modelo de dinámica tiene el grado adecuado de complejidad para representar la dinámica juvenil, adulta y del reclutamiento |
| | De haber un proceso de migración, este es tal que la abundancia estimada es proporcional a la abundancia real y la estimación es consistente en el tiempo | De haber un proceso de migración, este es tal que la abundancia estimada es proporcional a la abundancia real y la estimación es consistente en el tiempo | De haber un proceso de migración, este es tal que la abundancia estimada es proporcional a la abundancia real y la estimación es consistente en el tiempo | La matriz de captura a la edad se observa sin error | Fuentes de información son suficientes para parametrizar el modelo y caracterizar el reclutamiento (especialmente información sobre la estructura de edad) |
| | Los cambios ontogenéticos espaciales son considerados en el diseño de muestreo | Los cambios ontogenéticos espaciales son considerados en el diseño de muestreo | Existe una fuerte correlación entre la fuerza de las clases anuales que avanzan a través de la población y las señales que se detectan con este estadístico | Fuentes de información son suficientes para parametrizar el modelo y caracterizar el reclutamiento (especialmente información sobre la estructura de edad) | Parámetros "conocidos" son los apropiados |
| | Población es muestreada en el estrato correcto de profundidad | No existe un alto grado de mezcla con otras especies en el área de estudio. | Metodología consistente en el tiempo | Parámetros "conocidos" son los apropiados | Modelos estadísticos capturan las principales fuentes de incertidumbre |
| | Metodología consistente en el tiempo | La estructura de edad queda correctamente caracterizada a través de lances exploratorios | | Crecimiento y dinámica no diferencial entre sexos (para el caso de la merluza de cola de Chile) | Crecimiento y dinámica no diferencial entre sexos (para el caso de la merluza de cola de Chile) |
| | | Fuerza de blanco y parámetros de calibración caracterizados correctamente | | Población cerrada a procesos migratorios no modeladas | Población cerrada a procesos migratorios no modeladas |
| | | Metodología consistente en el tiempo | | | |

La decisión de utilizar cualquiera de estas dos metodologías dependerá del grado de mezcla de la especie objetivo con la fauna acompañante. Si esto fuera muy alto, será necesario entonces optar por el método de área barrida. De lo contrario el método hidroacústico presentará ventajas económicas.

La cantidad y calidad de información disponible para las evaluaciones indirectas, depende de la historia de cada pesquería, por lo tanto hacer un juicio sobre los costos relativos relacionados a esta metodología parece aventurado. De la revisión bibliográfica de diversos sistemas se desprende que para la totalidad de ellos las evaluaciones indirectas proveen estimaciones de las fuerzas de las clases anuales (Nueva Zelanda, Argentina, Australia, Chile y USA-Canada).

5.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3

Efectuar un análisis crítico de los resultados obtenidos en las evaluaciones directas del reclutamiento de merluza de cola en la zona centro-sur.

5.3.1. Análisis geoestadístico basado en la función de verosimilitud

En los dos conjuntos de datos (1999 y 2001) se observó una distribución lognormal de las densidades (Figura 110). Esto determina el uso del valor $\lambda=0$ para la transformación de Box-Cox, el cual dejamos fijo en lugar de estimarlo junto con los otros parámetros del modelo. En ambos conjuntos de datos se observan altas densidades a lo largo de toda la distribución latitudinal (Figura 111). En los resultados de 2001 existe una única observación que tiene un valor de 399 kg/m² (Figura 111b) originada en una lectura de respuesta acústica (NASC integrada a través de la columna de agua) de 237133, 7 veces más alta que la segunda lectura más alta. Hemos mantenido esta observación en el análisis puesto que no se encontraron en las bases de datos advertencias o indicaciones respecto de esta observación en particular. Al utilizar una distancia máxima de 65 km en ambos conjuntos de datos, y 24 lags, el gráfico exploratorio de variogramas direccionales revela la ausencia de cualquier síntoma de anisotropía (Figura 112). Esto puede muy bien deberse a la indeterminación de la extensión de las agregaciones en el eje norte-sur pero al carecer los datos de información al respecto nuestro modelo ajustado por máxima verosimilitud no contuvo parámetros de ángulo ni de razón de rangos.

En la Figura 113 se muestran los datos crudos de variograma (o nube de variograma) y los modelos ajustados para ambos conjuntos de datos con sus respectivos parámetros. Es interesante notar que los estimados de máxima verosimilitud de los tres parámetros de la correlación espacial son similares para los dos conjuntos de datos. En particular las agregaciones parecen ser pequeñas para la magnitud de la población, con un radio de cerca de 4 a 7 km. Esto se conoce para el eje este-oeste pero permanece desconocido para el eje norte-sur. El kriging puntual

ordinario también muestra agregaciones relativamente pequeñas (Figura 114), que en el año 1999 se extendieron por toda la zona de evaluación mientras que en el año 2001 se encontraron más que nada al sur del Golfo de Arauco.

El escenario que se adopte respecto de la continuidad de las agregaciones en el eje norte-sur produce un efecto drástico en la estimación de biomasa. Esta varía desde ~4 a ~26 millones de toneladas en 1999, y de ~3 a ~20 millones de toneladas en 2001, desde el escenario (a) (sin continuidad en el eje norte-sur) al (d) (continuidad completa) respectivamente (Tabla 20). A juzgar por el valor del parámetro de la correlación espacial que describe el tamaño de las agregaciones, es decir el rango, parece razonable, en ausencia de información independiente al respecto, adherirse al escenario en que cada secuencia continua de trazos acústicos positivos corresponde solo a una agregación y no hay individuos entre transectas. Esto deja dos posibilidades. Una es considerar que el eje norte-sur de las agregaciones es independiente de la densidad observada (escenario (a)). En ese caso se detectaron 46 agregaciones en 1999 y 18 en 2001. La otra posibilidad es considerar que el eje norte-sur de las agregaciones es proporcional a la densidad observada (escenario (b)). En este escenario el eje norte-sur se hace muy pequeño en algunas transectas, llega a hacerse cero, y se encuentran 64 agregaciones en 1999 y 36 en 2001. Sin contar con datos específicos, la hipótesis biológica que parece más razonable es que mientras mayor es la densidad mas extensión tiene una agregación de peces. Adoptamos pues este escenario (en la Figura 110 se muestran los polígonos de cálculo del área que resultan de este escenario), rindiendo un total de 3.8 y 2.9 millones de toneladas en 1999 y 2001, respectivamente, como valores de máxima verosimilitud (Tabla 20). Los errores estandar provenientes de la forma de la función de verosimilitud alrededor de su máximo fueron razonables y similares en ambos conjuntos de datos (Tabla 20).

Tabla 20.- Resultados del análisis geoestadístico de máxima verosimilitud.

| | FIP 1996-06 | FIP 2001-21 |
|--|---------------|---------------|
| Numero Observaciones | 295 | 285 |
| Distancia Mínima (m) | 585 | 6 |
| Distancia Máxima (m) | 1257460 | 569690 |
| Densidad Mínima (g/m ²) | 9.6 | 0.1 |
| Densidad Máxima (g/m ²) | 31200 | 398938 |
| AIC Modelo No Espacial vs. AIC Modelo Espacial | 4959 vs. 4852 | 5071 vs. 4984 |
| Nugget (g ² /m ⁴) (log-units) | 0.71 | 1.82 |
| Rango (km) | 6.37 | 4.36 |
| Sill (g ² /m ⁴) (log-units) | 1.28 | 2.24 |
| EMV Densidad Media (g/m ²) | 742.42 | 777.71 |
| Error Estandar Densidad Media (g/m ²) | 454.15 | 482.32 |
| Escenario (a) | | |
| Numero de Agregaciones | 64 | 36 |
| Area Total (km ²) | 5113.76 | 3765.45 |
| Biomasa (Millones de Toneladas) | 3.80 | 2.93 |
| Error Estandar Biomasa (Millones de Toneladas) | 2.32 | 1.82 |
| Escenario (b) | | |
| Numero de Agregaciones | 46 | 18 |
| Area Total (km ²) | 13394.31 | 9075.8 |
| Biomasa (Millones de Toneladas) | 9.94 | 7.06 |
| Error Estandar Biomasa (Millones de Toneladas) | 6.08 | 4.38 |
| Escenario (c) | | |
| Numero de Agregaciones | 9 | 8 |
| Area Total (km ²) | 27982.45 | 9316.47 |
| Biomasa (Millones de Toneladas) | 20.71 | 7.25 |
| Error Estandar Biomasa (Millones de Toneladas) | 12.67 | 4.49 |
| Escenario (d) | | |
| Numero de Agregaciones | 5 | 5 |
| Area Total (km ²) | 35540.22 | 25627.6 |
| Biomasa (Millones de Toneladas) | 26.39 | 19.93 |
| Error Estandar Biomasa (Millones de Toneladas) | 16.14 | 12.36 |

Nuestras estimaciones dependen directamente de dos factores. Uno es el estimador de densidad media de máxima verosimilitud, y este fue muy similar en

ambos años, cerca de 700 a 800 g/m². Esto corresponde aproximadamente a un pez por metro cuadrado dentro de las agregaciones. El otro factor es el tamaño de las agregaciones que se extiende entre transectas, donde no hubo observación. Nosotros hemos adoptado el escenario (b), el más conservador (Figura 110). Por último, es importante destacar que el modelo espacial fue mucho mejor que un modelo sin componente espacial, como lo indican los valores del criterio de información de Akaike para ambos conjunto de datos (Tabla 20).

5.3.2. Análisis geoestadístico tradicional y comparación con los resultados obtenidos en FIP 1999-06 y FIP 2001-21

En esta sección resumimos los resultados más importantes de la evaluación de stock por todas las metodologías empleadas:

- (a) la original de IFOP basada en la metodología tradicional incluyendo las observaciones nulas (reportado en los informes FIP 1999-06 y 2001-21).
- (b) nuestra repetición de la metodología tradicional incluyendo las observaciones nulas
- (c) nuestra aplicación de la metodología tradicional solo incluyendo las observaciones donde se observaron peces
- (d) nuestra aplicación de la metodología basada en la función de verosimilitud.
- (e) Además, para proporcionar un estándar básico de comparación de todos estos resultados, incluimos el cálculo *naive* que consiste en multiplicar la densidad media aritmética de las observaciones por el área, sin aplicar un modelo estadístico. Este último cálculo lo hicimos con todas las observaciones, incluyendo las nulas, y toda el área cubierta por la prospección.

Comparando las diversas estimaciones con el cálculo *naive* que resulta de multiplicar la densidad media por el área, vemos que la estimación de biomasa de IFOP es 2 ordenes de magnitud inferior en ambos años (Tabla 21). En cambio

nuestro análisis basado en la metodología tradicional *distribution-free* es similar al cálculo naive del año 1999 cuando se usan todos los datos, y es el doble del estimador naive cuando solo se incluyen solo las densidades positivas (Tabla 21). Nuestra estimación basada en un modelo formal de probabilidad bajo el escenario más conservativo (el escenario (b), elegido acá) conduce a una estimación que es un tercio del cálculo naive solo con las densidades positivas en 1999, y un quinto en 2001 (Tabla 21). Finalmente cabe destacar que nuestro escenario menos conservativo, el (d), entrega un valor de biomasa similar tanto al obtenido por nosotros aplicando la metodología *distribution-free* de IFOP como al cálculo *naive* (de entre 20 y 30 millones de toneladas). Más adelante veremos que este mismo tipo de valor aparece como resultado de las simulaciones de un proceso espacial como el descrito para la merluza de cola juvenil.

Dada la información disponible no es posible apuntar a una causa definitiva de las considerables diferencias en las estimaciones de IFOP y las que hemos realizado acá con la misma base de datos. Es posible que los analistas de IFOP hayan considerado que algunos valores muy altos de SA y de NASC estaban defectuosos y los hayan eliminado, y esto no ha quedado indicado en las bases de datos. También es posible que los analistas de IFOP hayan aplicado un coeficiente adicional mucho menor que uno que multiplicara a cada observación de densidad o al estimador de densidad media. Ambas posibilidades apuntan a la muy baja densidad media que IFOP ha reportado en ambos estudios, de sólo 6.7 g/m^2 y 2.7 g/m^2 en 1999 y 2001 respectivamente, cuando la densidad media cruda o naive de los valores de densidad es aproximadamente dos órdenes de magnitud superior, según los cálculos que se derivan de las bases de datos.

Tabla 21.- Resultados de las diversas estimaciones de densidad media y biomasa de los estudios anteriores (IFOP) y del presente estudio. M. Arit.: media aritmetica; D-F Geoest: estimación geoestadística *distribution-free*; Geoest. Verosim.: estimación geoestadística basado en la función de verosimilitud.

| Observaciones | FIP 1999-6 | | FIP 2001-21 | |
|--|------------|-----------|-------------|-----------|
| | Todas | Positivas | Todas | Positivas |
| Area (km ²) | 83229.3 | 5113.8 | 93206.4 | 3765.5 |
| (a) Densidad D-F Geoest. (g/m ²) (IFOP) | 6.7 | ---- | 2.7 | ---- |
| (a) Biomasa D-F Geoest. (10 ⁶ ton) (IFOP) | 0.32 | ---- | 0.29 | ---- |
| (b)-(c) Densidad D-F Geoest. (g/m ²) | 379.3 | 3604.8 | ---- | ---- |
| (b)-(c) Biomasa D-F Geoest. (10 ⁶ ton) | 31.5 | 18.4 | ---- | ---- |
| (d) Densidad Geoest. Verosim. (g/m ²) | ---- | 742.4 | ---- | 777.7 |
| (d) Biomasa Geoest. Verosim (10 ⁶ ton) | ---- | 3.8 | ---- | 2.9 |
| (e) Densidad M. Arit. (g/m ²) | 367.1 | 1932.6 | 349.1 | 4595 |
| (e) Biomasa M. Arit. (10 ⁶ ton) | 30.6 | 9.9 | 32.5 | 14.6 |

5.3.3. Simulaciones de cardúmenes de merluza de cola juvenil y cruceros hidroacústicos

La biomasa total verdadera en las 100 simulaciones del proceso descrito por los cardúmenes de merluza de cola juvenil, condicionado a (1) los parámetros estimados en el análisis geoestadístico basado en la función de verosimilitud, (2) la geometría del área cubierta, y (3) la probabilidad observada de obtener valores positivos de densidad— varió entre 24 y 38 millones de toneladas (Figura 115). Este resultado no se debe a que las agregaciones de cardúmenes sean más extensas en el eje norte-sur de lo supuesto en nuestros análisis previos (las simulaciones son condicionales a un valor de rango idéntico en el eje norte-sur y este-oeste), sino a que existen muchos cardúmenes de pequeño tamaño por toda la geometría de la grilla. Es interesante destacar que esta biomasa de cerca de 30 millones de toneladas está en el mismo orden de magnitud de la que aparece en nuestros cálculos cuando se aplica la geoestadística tradicional y también coincide con la biomasa que se obtiene con la

geoestadística basada en la función de verosimilitud en el escenario (d), en que las agregaciones están conectadas entre transectas (Tabla 21).

En los cruceros simulados, la distribución del transecto inicial entre las primeras 27 filas fue uniforme (Figura 116), demostrando el buen funcionamiento del proceso de aleatorización implementado en nuestra función de R. En el caso del diseño adaptativo, el último transecto por el sur ocurrió entre la fila 165 y la 297 de la grilla de 540 filas, cubriendo frecuentemente menos del 50% del rango latitudinal y nunca más del 56% de ese rango (Figura 117). En ambos diseños de muestreo el sesgo en la estimación de la biomasa total fue bajo (-0.24% y -2.43%, muestreo sistemático y adaptativo, respectivamente) pero de distribución asimétrica (Figura 118). Lo más frecuente (a juzgar por la moda de la distribución) es que exista un sesgo negativo en el caso del diseño sistemático y que el diseño adaptativo produzca una estimación prácticamente insesgada (Figura 118).

5.3.4. Estudio de la cantidad de lances de pesca identificatoria y estudio de la separación de los peces reclutas y reclutados

No fue posible completar estos sub-objetivos debido a que los datos de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21 no lo permitieron. De hecho, dados los datos obtenidos en esos proyectos, estos sub-objetivos resultan irrelevantes. De 18 lances de pesca identificatoria sólo cuatro registraron peces con una talla promedio sobre la talla de primera madurez sexual (55 cm) en el proyecto de 1999, y sólo 5 de 23 en el proyecto de 2001, y en esos lances los peces fueron como promedio en general apenas más grandes que 55 cm. Esto implica que no es posible separar la matriz de datos espaciales (latitud, longitud, densidad) en dos matrices, una para peces juveniles y otra para peces adultos de tal manera de realizar un análisis geoestadístico separado para cada grupo de peces y luego mezclar ambos stocks en una simulación conjunta de ambos procesos espaciales. Esta tarea no reviste gran dificultad de programación (es relativamente sencillo generalizar la función `mcolasim`

de R (**App. 2**) para realizar dos procesos Gaussianos y luego sumarlos en una sola matriz, antes de los cruceros sistemáticos y adaptativos) pero no se puede realizar si se desconocen los parámetros de la correlación espacial de los adultos. Es también aparente que el planteamiento de estos sub-objetivos fue innecesario pues en la zona centro-sur el problema de la mezcla entre los stocks juveniles y adultos de merluza de cola, según las bases de datos de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21, no parece tener importancia.

5.3.5. Identificación de las fuentes de incerteza y traslado hacia la estimación final de la biomasa

Fuentes de Incerteza

En la estimación de la biomasa de un stock en un crucero hidroacústico hay por lo menos 6 fuentes de incerteza

- a) Identificación de los ecotrazos para la cuantificación de SA o NASC
- b) determinación del *target strength*, *TS*
- c) determinación del peso medio
- d) determinación de la densidad local en unidades de masa por área
- e) determinación de la densidad media en el área del stock
- f) determinación del tamaño del área del stock

Identificación de Ecotrazos

Generalmente esta actividad involucra la selección subjetiva, ayudada por programas tales como Echoview, de los trazos que corresponden al stock en los ecogramas. No parece existir teoría estadística para tratar la variable SA o NASC como variable aleatoria, y todos los autores suponen que se trata de una medición exacta. Por ejemplo, así lo afirma Petitgas (2001, p. 239). Parece en este momento

demasiado ambicioso, y posiblemente también irrelevante, proponer una fórmula de varianza de estimación que incluya la identificación de los ecotrazos.

Determinación del Target Strength, TS

La relación entre la talla media \bar{l} , y el TS está dada por $TS = k_1 \ln(\bar{l}) - k_2$, donde k_1 y k_2 son constantes conocidas. La media aritmética de la talla calculada desde una muestra, \hat{l} , es un estimador de la talla media. Esta es una variable aleatoria de distribución desconocida, pero que se aproximará a una distribución normal si el tamaño de muestra es grande. Suponemos que se puede calcular la varianza muestral de la talla media utilizando la media aritmética como estimador de la talla media, $s^2(\hat{l})$. Entonces por series de Taylor la varianza de estimación de TS es aproximadamente

$$4.3.3.1. \hat{v}(TS) \approx \frac{k_1^2}{\bar{l}^2} s^2(\hat{l})$$

Vamos a suponer que TS es una variable aleatoria de distribución normal, con media $k_1 \ln(\hat{l}) - k_2$ y varianza $\hat{v}(TS)$. La incerteza en TS producto del desconocimiento de la talla media es entonces aproximadamente capturada por el rol que $\hat{v}(TS)$ juega en la distribución de TS considerada como una variable aleatoria de distribución normal.

Determinación del Peso medio

Aquí existen dos opciones: pesar todos los peces y obtener el peso medio como la media aritmética y la varianza de este estimador como la varianza muestral, o utilizar la talla media y los parámetros de la relación funcional entre longitud y masa corporal. En el primer caso nuevamente podemos capturar aproximadamente la incerteza suponiendo que el peso medio es una variable aleatoria de distribución

normal con media igual a la media aritmética de los pesos en la muestras \hat{w} y varianza $s^2(\hat{w})$. En el segundo caso, el peso medio es aproximado por una variable aleatoria con media:

$$4.3.3.2. \hat{w} = \hat{w}_1 \sum_{i=1}^n l_i^{\hat{w}_2}$$

donde \hat{w}_1 y \hat{w}_2 son estimativos de máxima verosimilitud, y varianza aproximada por series de Taylor,

$$4.3.3.3. \hat{v}(\hat{w}) = \frac{1}{n} \left[\left(\sum l_i^2 \right) \hat{v}(\hat{w}_1) + 2 \hat{w}_1 \hat{w}_2 c(\hat{w}_1, \hat{w}_2) \sum l_i^{\hat{w}_2-1} + \left(\hat{w}_1 \hat{w}_2 \sum l_i^{\hat{w}_2-1} \right)^2 \hat{v}(\hat{w}_2) \right]$$

donde c es la covarianza entre los estimadores de máxima verosimilitud de los parámetros.

Determinación de la densidad local

Con cualquiera de los dos métodos para estimar el peso medio que corresponde a cada observación local de SA o NASC (aunque para cada método, como ya se indicó, es diferente la forma de cálculo del estimativo del peso medio y su varianza de estimación), el estimador de densidad local $z(x,y)$ es:

$$4.3.3.4. \hat{z}(x, y) = \frac{1000 SA(x, y) \hat{w}}{4 \pi 10^{\hat{T}S/10}}$$

donde (x,y) es la localidad, y la varianza de estimación aproximada por series de Taylor es:

$$4.3.3.5. \hat{v}(\hat{z}(x, y)) = \left(\frac{SA(x, y) 1000}{4 \pi 10^{\hat{T}S/10}} \right)^2 (\hat{v}(\hat{w}) + 0.0525 \hat{w} \hat{v}(\hat{T}S))$$

Es natural y tiene cierta justificación estadística (en las propiedades de los estimativos de máxima verosimilitud) el interpretar a la densidad local como una variable aleatoria de distribución normal con media igual a $\hat{z}(x, y)$ y varianza igual a $\hat{v}(\hat{z}(x, y))$.

Determinación de la Densidad Media en el Área del Stock

Esta varianza debida a la variación espacial es la fuente de incerteza que generalmente es considerada en la varianza de estimación de la biomasa. Esto significa que se supone que la densidad local observada es única. Petitgas (2001, p. 239) afirma, a modo de justificación, que las fuentes de incerteza 'anteriores' son menores que la variación espacial. En geoestadística convencional, *distribution-free*, la varianza debida al proceso espacial se deriva de una suma de errores de interpolación. Petitgas y Lafont (1997) implementaron este enfoque en el *software* EVA2. En cambio en geoestadística basada en la función de verosimilitud, el parámetro 'media del proceso' (β en **App. 1**) es estimado simultáneamente con otros parámetros de la variación espacial y su varianza de estimación proviene de la curvatura de la función de verosimilitud en torno a su máximo, como es habitual en modelación estadística.

Vamos a considerar el caso de la geoestadística basada en la función de verosimilitud. Hasta este punto la incerteza ha sido transportada hasta $\hat{v}(\hat{z}(x, y))$. En la **ec. A1.4** las observaciones de densidad local son los z_i y se calculan con la **ec. 4.3.3.4**. En esa función de verosimilitud estamos ignorando la incerteza debida a la estimación de la densidad local. Para transportar esta incerteza, nótese que la matriz de covarianza en la función de verosimilitud es:

$$4.3.3.6. \Sigma = \sigma^2 \mathbf{R} + \tau^2 \mathbf{I}$$

donde σ^2 y τ^2 son la varianzas debida a la variación espacial y la varianza debida a observación incompleta, respectivamente. Esta es una función de verosimilitud

exacta, que no contiene parámetros *nuisance*. Para el transporte de la incerteza en la estimación de la densidad local, debemos completar la formulación de la matriz de covarianza haciendo:

$$4.3.3.7. \Sigma = \sigma^2 \mathbf{R} + \tau^2 \mathbf{I} + \Psi$$

donde Ψ es una matriz de n por n que en su diagonal principal contiene n $v(\hat{z}(x, y))$ y en sus triángulos superior e inferior contiene ceros. Ψ es un parámetro nuisance, que es desconocido pero que no puede ser estimado junto con los restantes parámetros que actúan como argumentos de la función de verosimilitud, y de cuyo valor dependen éstos. Una opción es reemplazar a Ψ por $\hat{\Psi}$, la matriz de n por n que resulta de reemplazar todos los $v(\hat{z}(x, y))$ por los $\hat{v}(\hat{z}(x, y))$ de la **ec. 4.3.3.5**, que sí son conocidos. En ese caso sin embargo, la función de verosimilitud ya no es exacta y se convierte en una función de verosimilitud *estimada*. Estas funciones tienen propiedades interesantes en el caso de normalidad (Royall 1997), y proporcionan una forma de transportar las fuentes de incerteza anteriores al análisis espacial.

Bajo la formulación aquí descrita, todas las fuentes de incerteza 'anteriores' han sido transportadas hasta la varianza de estimación de la densidad media (el parámetro β en la **ec. A1.4**), $\hat{v}(\hat{\beta})$, que resulta de la curvatura de la función de verosimilitud alrededor de su máximo en la dimensión de β .

Determinación del tamaño del área del stock

La geoestadística convencional tiene una versión *transitiva*, que permite la estimación del área del stock y su varianza de estimación cuando todos los datos positivos de densidad local han sido transformados en 1s. Este análisis también está implementado en el software EVA2 de Petitgas y Lafont (1997), y carece de un modelo formal de probabilidad. Nosotros sin embargo estamos desarrollando un análisis basado en la función de verosimilitud binomial para esta misma estructura de datos (presencia y ausencia del recurso). En el proyecto FIP 2004-11 estimamos (con

el Dr. E. Niklistchek) el área de presencia del stock de orange roughy usando un modelo logístico mixto, donde los factores aleatorios presentaban correlación espacial según un variograma Gaussiano. Hemos planteado esa metodología nuevamente en el proyecto (aprobado y en ejecución) FIP 2005-13. En breve, estimamos la probabilidad de observar al stock en el área de un polígono determinado por los límites más externos de todas las observaciones, y luego multiplicamos esa probabilidad por el área del polígono. Luego la varianza de estimación del área ocupada por el stock es $A^2 \hat{v}(\hat{p})$, donde A es el área del polígono y p es la probabilidad de observar al stock dentro de ese polígono, con \hat{p} su estimativo de máxima verosimilitud. Como la probabilidad de observar al stock es independiente de la densidad media del stock (para cualquier valor positivo de densidad media observada la probabilidad de observarlo es siempre 1) entonces la varianza de estimación final es:

$$4.3.3.8. \hat{v}(\hat{B}) = A^2 [\hat{z}^2 \hat{v}(\hat{p}) + \hat{p}^2 \hat{v}(\hat{z})]$$

donde \hat{z} es la transformada inversa de β y $\hat{v}(\hat{z})$ es su varianza. La varianza en la **ec. 4.3.3.8** ha transportado todas las fuentes de incerteza identificadas en la estimación hidroacústica de la biomasa.

5.3.6. Comparación de metodología directa con la indirecta utilizada en el caso de la merluza de cola

Aspectos generales

En todos los escenarios considerados se logró capturar el paso de las cohortes de mediados de los años 1980 y 1990. Esto indica que a pesar de estar difusa esta señal, es consistente a través de las múltiples fuentes de información. Sin embargo, debido probablemente a las características ya descritas en los datos de proporciones a la edad, el modelo describe la serie de tiempo de reclutamientos con aumentos y

disminuciones sistemáticas de abundancia, pero sin describir la aparición de una clase anual fuerte y discreta.

Dependiendo del caso de estudio, se estimaron hasta 92 parámetros utilizando optimización no lineal de la función objetivo (verosimilitudes más funciones de penalización para los residuos del reclutamiento y de las mortalidad anuales por pesca). Dado el bajo c.v. asociado a las capturas, el modelo se ajustó adecuadamente a las observaciones de captura de las 3 flotas.

Para los casos A y B, predominaron las selectividades con una disminución del patrón de explotación a la derecha de la edad completamente reclutada al arte de pesca. Esto se cumplió tanto para los patrones de explotación de las tres pesquerías, como de los índices de abundancia hidroacústicos.

En todos los escenarios se investigó bien la convergencia de la estimación a través de la información de gradientes en los parámetros estimados y comenzando de múltiples condiciones iniciales de los parámetros en el proceso de estimación.

Comparación de las estimaciones de biomasa

Las estimaciones de biomasa de reclutas de edades 2-4 y 2-6 para el escenario A indican que para el año 1999 habrían 751.849 y 1.077.845 toneladas, respectivamente (contra las 322.000 tons de las evaluaciones directas, Figura 119). Este rango se estrecha para el año 2001, donde se alcanzan niveles de 312.354 y 555.785 tons, respectivamente (contra las 286.610 tons). Finalmente para el año 2003 se estimaron valores de 185.675 y 306.677 tons, respectivamente. Por otra parte al ajustar patrones de selectividad a los datos de estructura de edades de cada una de estas evaluaciones directas, las diferencias se estrechan sustancialmente.

En la Figura 120 se reportan los resultados del escenario B. En este caso se reduce el peso del índice acústico de la PDA y se incrementa el peso de las CPUEs.

Esto desemboca en un reescalamiento de la biomasa de reclutas, alcanzando niveles del orden de 3-5 Mio de toneladas, incluso en la situación donde se estima los patrones de explotación de las evaluaciones acústicas del reclutamiento (B3). En este escenario (al igual que en A) la abundancia de reclutas 2-4 cae sustancialmente para el año 2003, lo cual indicaría una falla de reclutamiento hacia los últimos años.

En el escenario C (uso de múltiples patrones de selectividad para las tres flotas provenientes del informe de Payá et al. (2004)), las biomاسas estimadas en el año 1999 alcanzaron niveles de 846.293 y 1.276.375 tons para C1 y C2 respectivamente (Figura 121). En el año 2001 las biomاسas de C1 y C2 alcanzaron valores de 234.673 y 536.511 tons, respectivamente. Nuevamente estas diferencias disminuyen para el último año (2003). Al incorporar las ojivas de selectividad (C3) los valores estimados se asemejan a las evaluaciones directas acústicas.

En general podemos decir que las estimaciones hidroacústicas para los dos primeros años (1999 y 2001) subestiman las abundancias predichas por el modelo de dinámica poblacional.

5.3.7. Aspectos hidroacústicos

La merluza de cola es explotada comercialmente en Chile, Argentina, Nueva Zelanda y Australia. Sólo en Chile y Nueva Zelanda se realizan muestreos hidroacústicos rutinarios para estimar abundancia (ver detalles en la sección del objetivo 2).

En el caso de Nueva Zelanda se han realizado evaluaciones hidroacústicas sobre dos sub-stocks (WCSI y Cook Strait, O'Driscoll 2002) en forma regular desde el año 1988 durante la época reproductiva. El diseño de muestreo ha evolucionado para poder atender los procesos espaciales que influyen las estimaciones globales de biomasa desovante en las dos áreas y aumentar la precisión de las estimaciones.

En las siguientes dos secciones se indican alguno de los aspectos más relevantes a considerar en futuras evaluaciones hidroacústicas de la merluza de cola, provenientes de la revisión de las evaluaciones de los stocks de Nueva Zelanda (O'Driscoll, 2002; O'Driscoll et al., 2004; O'Driscoll, 2003; Francis y O'Driscoll, 2004; O'Driscoll & McMillan, 2004; O'Driscoll 2003).

Determinación de la zona de muestreo

Las series de tiempo basadas en estimaciones hidroacústicas de los stocks reproductivos de WSCI y Cook Strait de Nueva Zelanda se han construido sobre la base de dos regiones (WSCI y Cook Strait; O'Driscoll, 2002). El stock reproductivo se agrupa cada año en estas zonas durante el desove. La extensión geográfica de estas áreas es suficiente para cubrir cada año el gran porcentaje del stock reproductivo, lo cual se coteja frecuentemente con la distribución espacial de la actividad de la flota (O'Driscoll, 2002). La integración de esta información permite tener un grado de confiabilidad de que el índice desarrollado es consistente en el tiempo, desde el punto de vista de la distribución del recurso. Ambas regiones han sido divididas en 7 estratos, que son visitadas durante el crucero en distintas intensidades, de acuerdo a las características propias del muestreo. La determinación del área de muestreo para las evaluaciones del reclutamiento de merluza de cola no ha sido justificada sobre la base de un estudio detallado. La extensión longitudinal de ambos cruceros varió en 50 millas náuticas, siendo mayor en el segundo período (1999 – 5-50 mn, 2001 – 5-100 mn de la costa). Estas variaciones no son plenamente justificadas en el informe y no indican si 50 millas serían necesarias o no en un futuro trabajo.

Disponibilidad del recurso

El efecto de disponibilidad del recurso en la zona de estudio es abordado en las evaluaciones de Nueva Zelanda a través de dos mecanismos: (a) un monitoreo directo de la actividad de la flota durante la temporada, (b) serie de estimaciones de abundancias que se realizan en forma secuenciada temporalmente durante la época

de desove (O'Driscoll, 2002). Dado que el período reproductivo de esta especie se extiende a lo menos 2 meses, se desarrolló una metodología de muestreo para modelar a una población que está de paso en cada una de las regiones. Siguiendo la metodología de Jolly & Hampton (1990) y Coombs & Cordue (1995), el esquema de monitoreo evolucionó a una serie de evaluaciones (“tomas”) que se efectúan durante la temporada reproductiva (generalmente entre Julio y Agosto). El número de “tomas” ha variado entre años y áreas, alcanzando un mínimo de dos y un máximo de 12 (O'Driscoll, 2002).

El efecto de la disponibilidad ha sido considerado como muy relevante en la construcción de un índice consistente en el tiempo para la población de Hoki de Nueva Zelanda. Harley (2001, 2002) modeló la dinámica del stock desovante de la merluza de cola en las regiones de Cook Strait y WCSI para los años 1993-1999 y 1989-1997, respectivamente. A través de un modelo estructurado por sexo y edades Harley obtuvo el tiempo medio de llegada del stock reproductivo a las zonas de desove, tiempo de residencia y biomasa desovante. Un resultado importante de este ejercicio fue documentar el tiempo medio en que se produce el “peak” del desove, en relación al comienzo de la estación reproductiva.

Un trabajo en estas líneas se hace necesario en el caso de la merluza de cola para poder acotar de mejor forma la época más conveniente para realizar los muestreos.

Estimación de la fuerza de blanco

El modelo de fuerza de blanco (TS) utilizado en ambas evaluaciones de abundancia (FIP 99-06 y 2001-21) corresponde al desarrollado por Do & Surti (1990). Este modelo, de origen modelístico, fue desarrollado a partir de cilindros con dimensiones equivalentes a la vejiga natatoria de la especie *Macraronus novaezelandie*. Estas técnicas indirectas cumplen un rol complementario en la caracterización del modelo de fuerza de blanco, pero no representan una medición *in*

situ, especialmente para la merluza de cola de Chile. El desarrollo de un modelo confiable de fuerza de blanco no es algo simple para estas especies y requiere de cuidadosos estudios para su caracterización (Macaulay, 2001).

Las evaluaciones hidroacústicas reportadas por O'Driscoll (2002) para el hoki de Nueva Zelanda fueron desarrolladas utilizando los modelos de Coombs & Cordue (1995) y cotejadas con las estimaciones de Macaulay (2001), produciéndose diferencias de 1,75 entre las estimaciones de biomasa provenientes de ambos modelos de fuerza de blanco. Esto resalta la importancia de desarrollar un modelo propio de fuerza de blanco para la merluza de cola, especialmente considerando que las estimaciones provenientes de la literatura fueron desarrolladas para la especie durante las agregaciones reproductivas y el modelo es requerido para la especie en la zona de reclutamiento.

Múltiples plataformas de trabajo

Desde el año 1991 las evaluaciones hidroacústicas en Nueva Zelanda se vienen desarrollando en dos embarcaciones de investigación, el *Tangaroa* y *Kaharoa*, destinándose cada una de ellas a una de las regiones muestreadas. Este procedimiento permite generar índices de abundancia consistentes en el tiempo, no requiriendo una intercalibración dentro de cada una de las regiones. MacLennan & Simmonds (1991) recomiendan realizar un acucioso procedimiento de intercalibración, cuando se usa más de una embarcación en el muestreo. Es prioritario tratar de minimizar fuentes adicionales de “ruido” (sesgo y/o precisión) en la serie histórica de abundancia. Usar múltiples plataformas de trabajo para una misma evaluación, sin un buen trabajo de intercalibración de embarcaciones, no contribuye a esto.

Un recurso de amplia distribución geográfica y grandes migraciones latitudinales lo constituye la población de merluza del Pacífico norte (*Merluccius productus*). La evaluación directa de esta especie se realiza mediante hidroacústica,

en un esfuerzo conjunto de Canada y USA. El muestreo del año 2003 fue realizado únicamente a bordo de la embarcación canadiense *W.E. Ricker*. Para años anteriores (1995-2001) se han utilizado dos embarcaciones, *W.E. Ricker* y *Miller Freeman*, para las transectas canadienses y norte americanas respectivamente (Wilson et al., 2000; Guttormsen et al., 2003). Numerosos esfuerzos de intercalibración de barcos han sido efectuados para lograr series de tiempo comparables.

Es de suma importancia que se pondere adecuadamente este factor al momento de decidir la plataforma de trabajo con la que se trabajará al corto, mediano y largo plazo.

Estimación de la proporción de merluza de cola

Las estimaciones de abundancia por métodos hidroacústicos suelen involucrar la presencia de “marcas hidroacústicas ambiguas” donde se requiere de información adicional (lances exploratorios) para identificar y asignar cuantitativamente las proporciones que corresponden a la especie objetivo. El método estándar de particionar la energía acústica es en proporción a la captura de los lances de pesca y fuerza de blanco (MacLennan & Simmonds, 1992). O’Driscoll (2004) identificó este como uno de los factores más relevantes de incertidumbre en las estimaciones hidroacústicas de hoki de Nueva Zelanda. Este factor ha motivado el descarte de las evaluaciones hidroacústicas en el Chatham Rise y el Campbell Plateau (O’Driscoll, 2003). O’Driscoll (2003) propone una metodología para mejorar estas aproximaciones.

En el crucero FIP 99-06, el 53.4% de la captura en los lances exploratorios correspondió a merluza de cola. La Tabla 22 muestra un gran número de lances que tienen una baja proporción de merluza de cola. Esto puede generar errores en las estimaciones de abundancia, dado que el supuesto de una misma vulnerabilidad de la parte acústica y de los lances exploratorios al arte de pesca puede ser deficiente. O’Driscoll (2003) describe una metodología para abordar este problema.

Tabla 22: Proporción de Merluza de cola (en peso) en los lances exploratorios. (Datos: Proyecto FIP 99-06).

| Lance | Proporción |
|-------|------------|
| 1 | 0.26 |
| 2 | 1.00 |
| 3 | 0.95 |
| 4 | 0.94 |
| 5 | N/A |
| 6 | 1.00 |
| 7 | 1.00 |
| 8 | 0.74 |
| 9 | 0.35 |
| 10 | 0.94 |
| 11 | 0.54 |
| 12 | N/A |
| 13 | 0.00 |
| 14 | 0.41 |
| 15 | 0.00 |
| 16 | 0.41 |
| 17 | 0.08 |
| 18 | 0.59 |
| 19 | 0.72 |
| 20 | 0.03 |
| 21 | 0.00 |
| 22 | 0.85 |
| 23 | 0.04 |

Disponibilidad del recurso

La hipótesis actual sobre la distribución espacial de la población de merluza de cola a lo largo de la costa chilena sugiere que existiría una migración de grupos de edad juveniles desde la zona sur-austral hacia la zona centro-sur en verano de cada año. Esta migración sería un proceso gradual de entrada y salida de individuos al sistema, con un tiempo de residencia determinado. Asumiendo que este proceso ocurre (la evidencia empírica actual no avala dicha hipótesis), es necesario definir cual es el uso que se le dará a estas estimaciones de abundancia. Este punto es

crucial para el diseño de muestreo que se pretenda implementar y la interpretación que se le de a la estimación que obtengamos. Durante el primer taller se identificaron al menos dos posibles usos, siendo el primero el cálculo directo de una cuota de pesca para la zona pelágica centro-sur durante la temporada de pesca en base a la estimación y una tasa de explotación recomendada, o alternativamente la construcción de un índice de abundancia absoluta (o probablemente relativo) que se utilice posteriormente en algún análisis integrado (e.g. modelo estadístico estructurado por edades).

Para ambos escenarios es necesario caracterizar el proceso migratorio temporal y espacialmente. Esto implica idealmente poder:

- a) Caracterizar la amplitud de la zona de estudio para poder focalizar el muestreo y optimizar la distribución de los recursos disponibles.
- b) Caracterizar temporalmente el proceso migratorio, para identificar los momentos de inicio, máximo y término del proceso.

Cálculo directo de una cuota

En este caso la estimación de abundancia actuaría directamente sobre la determinación de una cuota de pesca durante la misma temporada. Bajo este esquema de trabajo las cuotas de pesca absorberían todos los sesgos propios del muestreo, es decir si el muestreo se realiza a comienzos de la migración, cuando hay muy pocos individuos en la zona de estudio, entonces la cuota sería baja. A su vez si se realiza en el “peak” de la migración, entonces la cuota será máxima.

Creación de un índice de abundancia

Para el caso de la creación de un índice es importante destacar si se trata de un índice de abundancia absoluto o relativo. Para el primer caso será necesario hacer

una evaluación sobre toda el área de distribución de juveniles. Tomando en consideración los resultados del proyecto FIP 2002-07, esto implicaría muestrear en la zona de los canales, ya que una fracción del stock de juveniles permanecería residente durante el verano. Además sería necesario realizar múltiples estimaciones durante la temporada, para poder integrar la información y obtener un valor de la abundancia global durante la temporada. Esto sería análogo a lo realizado en Nueva Zelanda durante las agregaciones reproductivas.

En el segundo caso, índice de abundancia relativo, sería posible circunscribir el muestreo probablemente a la zona centro-sur. En este caso se podría optar por desarrollar la evaluación sobre el “peak” de abundancia en la zona de estudio y construir de esa forma el índice de abundancia. Para generar una índice consistente sería necesario que se mantenga el supuesto de constancia en la proporción de individuos que migra desde la zona sur-austral a la centro-sur cada año.

Si la serie no es consistente en el tiempo, será difícil separar la fuerza de las clases anuales de las variaciones interanuales en los patrones migratorios.

Revisión de la metodología hidroacústica por el Dr. Stephane Gauthier

La traducción de la revisión metodológica desarrollada por el Dr Stéphane Gauthier se presenta en primera instancia y su versión original a continuación.

Revisión de las evaluaciones acústicas FIP 1999-06 y 2001-21

Dr. Stéphane Gauthier, Universidad de Montreal

En el presente documento se revisa la metodología hidroacústica, con énfasis en alguno de los factores más relevantes que podrían originar importantes sesgos o errores sistemáticos en los resultados reportados. Alguno de estos comentarios o factores considerados son de interés general o corresponden a evaluaciones acústicas en general.

Escrutinio de los ecogramas

Esto puede ser uno de las fuentes de error o sesgo más importantes, dado que depende fundamentalmente del operador. Tomando en cuenta que esto se ve afectado por el entrenamiento y la experiencia del operador, es necesario, una descripción detallada de los ecotrazos, lo cual constituye una referencia a futuro. De preferencia se debiera desarrollar un catalogo visual de clases de ecotrazos representativos y el enfoque analítico empleado debe quedar plenamente documentado. Esto incluye la descripción de todas las clases utilizadas en el análisis, especificando el método utilizado para particionar la energía acústica en especies en áreas/clases compuestas de más de una especie, y la descripción de toda la captura para una transecta o área.

Criterios para la determinación del tiempo de muestreo y cantidad de lances exploratorios

Se debe especificar cuando y cuantos lances exploratorios son realizados. Los lances exploratorios son necesarios para confirmar la composición de especies en un área de interés y para obtener la frecuencia de distribución de tallas. En áreas predominantemente monoespecíficas, los lances deben efectuarse en sitios de máxima densidad para obtener distribuciones de frecuencia de tallas exactas para el núcleo de biomasa. En áreas que aparentan tener una significativa mezcla de especies y/o gran variación en la distribución de tallas, los lances se deben realizar en forma mas frecuente y a intervalos regulares.

Longitud promedio

La longitud promedio es requerida para estimar la fuerza de blanco promedio, la cual a su vez se utiliza para reescalar la señal acústica para obtener estimaciones de densidad o biomasa. En el reporte no se indica claramente como se trato la longitud promedio. Esto afectará la interpretación de la distribución de densidad a

través de un área (por ejemplo, si se utiliza el promedio general tendremos una significativa pérdida en información espacial). Esto también puede constituir un factor importante si es que hay fuertes gradientes en la distribución de tallas a través del área evaluada (e.g. área de desove en el sur y área de reclutamiento en el norte).

Fuerza de blanco

La estimación de la fuerza de blanco es crucial para la conversión de energía acústica en densidad o biomasa. En ambos cruceros el modelo TS que se utilizó está únicamente basado en aproximaciones modelísticas de *Macruronus novaezelandie* (Do & Surti, 1996), especie afín encontrada en aguas de Nueva Zelanda. Nueva Zelanda utiliza un modelo de fuerza de blanco distinto (basado en MacCaulay, 2002) y recientemente han recolectado información *in situ* de fuerza de blanco sobre grandes agregaciones reproductivas, utilizando un artefacto de arrastre de profundidad.

La fuerza de blanco de los peces puede cambiar significativamente en el tiempo, especialmente entre períodos reproductivos y de receso. Adicionalmente, es probable que existan diferencias significativas en la relación fuerza de blanco – longitud de los juveniles y adultos, debido a diferencias en factores ontogenéticos. La fuerza de blanco es un factor especie dependiente y se ve afectada por muchos factores, incluyendo comportamiento (e.g. ángulo de natación, migración vertical), morfológicos (e.g. órganos internos y vejiga natatoria), fisiológicos (e.g. nivel de maduración gonádica, contenido estomacal), y condiciones externas (e.g. ruido en el ambiente, mezcla de especies). Es por ende de suma importancia desarrollar un modelo de fuerza de blanco exacto y representativo de la especie de interés, o por lo menos discutir estas importantes fuentes de error y sesgo y su potencial efecto en la estimación de biomasa.

Uso de múltiples plataformas

Muchos factores pueden influenciar el resultado de una evaluación hidroacústica, incluyendo la plataforma desde donde se obtuvieron las mediciones. Esto puede ser un problema mayor cuando embarcaciones de pesca y barcos de investigación son utilizados para evaluar un recurso, como es el caso de la evaluación en el año 2001. Alguno de los factores que pueden influenciar el rendimiento de un barco incluye la ubicación del transductor: si es que el transductor esta montado en el frente de la embarcación, o muy cerca de la superficie, las burbujas pueden influir sobre la señal acústica. Adicionalmente, el ruido de las máquinas (eléctrico y mecánico) y cavitación varía entre embarcaciones. Estas fuentes de ruido no solamente interfieren con las señales hidroacústicas transmitidas y recibidas, sino también con el recurso de interés, a través de potencialmente la inducción de reacciones evasivas y estrés. Al utilizar múltiples plataformas de trabajo para obtener información cuantitativa (e.g. estimación de biomasa), se recomienda fuertemente realizar ejercicios de inter-calibración entre plataformas de trabajo. Esto se puede lograr al utilizar dos embarcaciones de muestreo simultáneamente en una serie de transectas paralelas (ver Figura 122). Los datos pueden ser promediados y comparados sobre muchas réplicas para estimar sesgos y tendencias. Si las diferencias son relativamente constantes (i.e. proporción constante), un factor de corrección puede ser aplicado a una de las dos embarcaciones.

Es importante mencionar que el rendimiento de pesca variará entre plataformas, afectando la selectividad de las artes y la capturabilidad de distintas especies. Esto debe ser tomado en consideración y las medidas necesarias adoptadas para asegurar que las características de las artes son comparables.

Efecto temporal

La disponibilidad de un recurso (i.e. la proporción de la población disponible al muestreo hidroacústico) varía temporalmente. Si un sitio específico o transecta es muestreado durante el día y la noche, es muy poco probable que los resultados sean

comparables. Muchas especies demersales realizan migraciones verticales y tienen asociaciones con el fondo oceánico que varían de acuerdo a la hora del día. Adicionalmente, las capas de reflexión que se desplazan hacia la superficie en la noche, influenciarán la señal acústica en la columna de agua. Por estas razones, las estimaciones de densidad o biomasa deben realizarse sólo durante el día o la noche. En el presente reporte se indica que se tomaron muestras diurnas y nocturnas, pero sin una explicación o indicación sobre como fueron tratadas o comparadas las muestras. Cambios verticales en la distribución y comportamiento de agrupamiento también afectará la disponibilidad y detectabilidad de especies al arte de pesca, afectando finalmente la interpretación y partición de la data hidroacústica. Si los datos fueron colectados de día y de noche, es crucial que esos factores sean indicados.

Logística de muestreo

Un importante aspecto de cualquier programa es la determinación de cuando y donde muestrear. Datos de tanto evaluaciones previas como de información auxiliar de la flota de pesca u otras fuentes deben ser cuidadosamente escrutinizadas para desarrollar un plan de muestreo informado y para elegir la estrategia de muestreo (aleatorio vs estratificado vs adaptativo). Por ejemplo, Nueva Zelanda concentra sus muestreos acústicos en estratos de desove predeterminados, durante la mayor parte de la estación de desove.

En un estado incipiente del programa de muestreo, es necesario cubrir grandes áreas en distintos momentos, para optimizar la elección del lugar y momento del muestreo. Una vez que se toman las decisiones, es importante mantener consistencia entre años y evaluaciones.

ESDU (Unidad elemental de distancia de muestreo)

Esto corresponde a las muestras hidroacústicas (e.g. la grilla o tamaño de celda a lo largo de la transecta utilizada para reportar estimaciones de densidad).

Esta fue fijada en 1 mn en ambas evaluaciones. En general el ESDU debe ser elegido basado en valores de un variograma o algún tipo de estadística espacial, que confirme la independencia espacial de las muestras (los variogramas pueden indicar, por ejemplo, a que distancia o grilla la autocorrelación espacial se hace despreciable). En teoría esto tiene poco efecto sobre la estimación global de biomasa, pero puede afectar la opción de espaciamiento entre transectas y métodos de extrapolación de densidad. Una regla de oro es ubicar la posición de transectas paralelas a 2 ESDU. De esta forma los valores de densidad pueden ser linealmente extrapolados a 1 ESDU a través de cada transecta. La distancia entre transectas fue bastante grande en ambos trabajos. En el caso de recursos que tienen una distribución altamente agrupada, amplias distancias entre transectas pueden causar problemas significativos (e.g. perder una gran proporción de la población durante el muestreo).

Problemas relacionados con los datos

Es importante hacer notar que si cualquier parámetro hidroacústico, tal como la relación fuerza de blanco – longitud o el coeficiente de absorción del sonido es cambiado o revisado, toda la serie acústica debe ser reanalizada. Por estas razones, se recomienda enfáticamente que se colecte datos crudos y que queden adecuadamente almacenados.

Review of the Acoustic Surveys FIP 1999-06 and 2001-21

Dr. Stéphane Gauthier, Université de Montréal

In this document, the acoustic methodology will be reviewed with emphasis on some of the major issues that could cause important biases or systematic errors in the reported results. Some of the comments or issues raised are of more general interest and pertain to acoustic surveys in general.

Scrutinizing of echograms

This can be one of the most important sources of errors or biases, as it is highly operator dependent. Since this is affected by the training and experience of the operator, categories of echotraces should be described in details for future reference. Preferably, a visual catalogue of representative echotrace classes should be made available and the analytical approach used should be fully described. This includes the description of all classes used in the analyses, specifying the method(s) used to partition acoustic energy to species in areas/classes comprised of more than 1 species, and the description of all catch data for respective transect or area.

Criteria for determination of timing and quantities of fishing tows

It should be specified when and how often fishing-tows are performed. Fishing tows are needed to confirm species composition in an area of interest and to obtain size frequency distribution. In areas that are predominantly mono-specific, tows should be performed on sites of maximum densities to obtain accurate size distribution for the “core” biomass. In areas that appear to have significant species mixing and/or large variation in size distribution, tows should be performed more often at relatively regular intervals.

Averaging of fish length

Average lengths are needed to estimate average target strengths, which are used to scale the acoustic signal to obtain density or biomass estimates. From the reports it was not clear how average length was treated. Was length averaged over all samples? Or was it averaged by area or transects? This will affect the interpretation of density distribution across the area (for example if overall average was use we will have a significant loss in spatial information). This can become an important issue if there are strong gradients in size distribution across the surveyed area (e.g. spawning area in the south and recruitment area in the north).

Target strength

Target strength estimation is crucial for the conversion of acoustic energy to fish density or biomass. In the two surveys discussed, the TS model used was solely based on model approximations of *Macruronus novaezelandie* (Do and Surti, 1996), a similar species found in New-Zeland waters. New-Zeland uses a different TS model (based on MacCaulay, 2002) and have recently collected *in situ* target strength data on large spawning aggregations using a deep towed body. Target strength of fish can significantly change through time, especially between non-spawning and spawning periods. Furthermore, there might be significant differences in the TS to length relationship of juvenile and adult fish due to ontogenic factors. Target strength is species-specific and depends on many factors, including behaviour (e.g. swimming tilt angles, diel vertical migration), morphological (e.g. internal organs and swimbladder), physiological (e.g. gonad content maturation, stomach fullness), and external conditions (e.g. noise in the environment, species mixing). It is thus important to develop accurate and representative TS models for the species of interest, or at the least discuss these important sources of errors or biases and their potential effects on biomass estimation.

Usage of multiple platforms

Many factors can influence the outcome of an acoustic survey, including the platform from which measurements are made. This can be a major problem when both fishing and research vessels are used to estimate resources, as in the 2001 survey. Some of the factors that can influence the performance of a vessel include the location of the transducer: if the transducer is mounted at the front of the boat and/or is too close to the surface, bubbles might interfere with the acoustic signal. Furthermore, engine noise (electrical and mechanical) in addition to propeller cavitation will vary among vessels. These sources of noise will not only interfere with the transmitted and received acoustic signals but also with the resource of interest by potentially provoking avoidance reaction and fright response. If multiple vessels are to be used in a survey to obtain quantitative data (e.g. biomass estimation) it is thus strongly recommended

to perform inter-calibration exercises between platforms. This can be done by having two vessels surveying simultaneously on a series of parallel transects (see figure 122). Data can be averaged and compared over many replicates to estimate biases and trends. If the differences are relatively constant (i.e. constant proportion), a correction factor can be applied to one of the two vessels:

It is also noteworthy to mention that fishing performance will also vary among platforms, affecting the selectivity of the gear and the catchability of the different species. This should be addressed and care should be taken to insure that gear set-ups are comparable among vessels.

Temporal effects

The detectability of a resource (i.e. the proportion of the population available to the acoustic sample) varies temporally. If a specific site or transect is surveyed during both day and night, it is very unlikely that the results will be comparable. Many demersal species perform diel vertical migration and have changing association with the ocean floor according to the time of day. Furthermore, scattering layers migrating towards the surface at night will influence the acoustic signal in the water column. For these reasons, biomass or density estimation should be performed only during the day or only during the night. It was mentioned in the study that day and night samples were taken, but without any explanations or indications on how these samples were treated or compared. Diel change in distribution and shoaling behaviors will also affect the availability and catchability of species to the trawl gear, affecting in turn the interpretation and partitioning of acoustic data. If day and night data are collected, it is crucial that these issues be addressed.

Sampling logistics

An important aspect of any program is to determine when and where to survey. Data from previous surveys as well as ancillary information from the fishing fleet or other sources must be carefully scrutinized to make an informed survey plan and to

choose survey strategy (random vs stratified vs adaptive survey design). As an example, New-Zealand concentrate their acoustic surveys on predefined spawning stratum, over most of the spawning season.

At an initial stage of a survey program, distribution information over large areas and at different times must be collected to optimize the choice of survey timing and location. Once choices are made it will be important to maintain consistency between years and surveys.

ESDU (Elementary Sampling Distance Unit)

This corresponds to the acoustic samples (e.g. the grid or cell size along transect lines used to report density estimates). This was set at 1 N.mi. in the two surveys. Typically the ESDU should be chosen based on variogram values or some kind of spatial statistics confirming that each sample is independent (variograms can indicate for example at which distance or grid size autocorrelation becomes negligible). In theory this has little effect on overall biomass estimation but can affect the choice of inter-transect spacing and density extrapolation method. A rule of thumb would be to position parallel transects at 2 ESDU, this way density values can be linearly extrapolated at 1 ESDU across each transects. Inter-transect distances were fairly large in the two studies. In the case of resources that have very patchy distribution, large inter-transect distance could cause significant problems (e.g. missing a large proportion of the population during the survey).

Data related

It is important to note that if any acoustic parameters such as the target strength to length relationship or sound absorption coefficient are changed or revised, the whole time series of acoustic data needs to be re-analyzed. For this reasons, it is strongly recommended that raw acoustic data be collected and properly archived.

5.4. OBJETIVO ESPECIFICO 4

Realizar talleres de trabajo y discusión con la participación de expertos internacionales, para analizar la problemática de la evaluación del reclutamiento en merluza de cola.

Debido a la proximidad entre la fecha programada del primer taller y el comienzo del proyecto, los temas propuestos y abordados en el transcurso del taller se desarrollaron principalmente en torno a cuatro aspectos fundamentales. Otros temas debieron quedar pendientes para el siguiente taller, dado la falta de la data apropiada para analizar y discutir dichas problemáticas.

Los cuatro aspectos mencionados son:

- (1) Análisis de la problemática del reclutamiento de la merluza de cola basado en una revisión bibliográfica (Objetivo 1)
- (2) Distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile (Objetivo 1)
- (3) Revisión de las metodologías utilizadas para estimar la abundancia y reclutamiento en merluza de cola (Objetivo 2)
- (4) Aspectos metodológicos de las evaluaciones FIP, tanto aspectos estadísticos como hidroacústicos (Objetivo 3).

A continuación se presentan los resultados más relevantes que se vertieron y discutieron durante el desarrollo del taller:

Necesidad de revisar el modelo conceptual sobre la distribución espacio temporal del recurso merluza de cola

El Dr. Wöhler indicó que como resultado de numerosas campañas de investigación a lo largo de la plataforma continental Argentina se ha verificado la ausencia de hembras maduras y de individuos de merluza de cola de clase de edad

cero. Estos factores además de los cambios distribucionales interanuales en esta especie, han motivado a hipotetizar que el stock argentino migraría hacia aguas chilenas para reproducirse. Como parte de los resultados de la discusión del primer taller internacional se sugirió la posibilidad de investigar la hipótesis de una migración del stock adulto de merluza de cola desde la plataforma Argentina hacia aguas chilenas, donde realizaría el desove. Se discutió sobre el tipo de información disponible en el sector argentino que permitiese argumentar la migración del stock desovante hacia aguas chilenas. A partir de esa reunión la Dr. Analía Giussi (contactada a través del Dr. Otto Wöhler) propuso utilizar los datos básicos sobre la composición por longitudes de merluza de cola que fueron obtenidos en el marco del *Proyecto Observadores a bordo del INIDEP*, durante los años 2003 y 2004, en el área de la plataforma continental argentina entre las latitudes 48°S y 56°S. Los mismos consistieron en los registros de longitudes totales, medidos al cm inferior, de los ejemplares capturados durante los lances de pesca, consignándose, entre otros datos, la posición y la fecha en la que se realizaron dichos arrastres. En el presente estudio se pretende agrupar las distribuciones de frecuencias de longitudes por grado de latitud y por mes, a los efectos de detectar la direccionalidad de los posibles movimientos migratorios efectuados por la especie en el sector sudccidental del Océano Atlántico. Con el motivo de establecer posibles movimientos migratorios de los juveniles se compararán las distribuciones de longitudes gráficamente, identificándose los valores modales, y se realizarán diversos exámenes estadísticos de modo de establecer similitudes o diferencias entre áreas contiguas y meses consecutivos. Se cotejarán los resultados de las observaciones mediante el test de igualdad de porcentajes, en el que se considerarán las proporciones de individuos, y el test de bondad de ajuste repetido, que comparará las composiciones de longitudes.

Este trabajo no estaba originalmente contemplado en el proyecto, pero se hace extremadamente relevante para estructurar de mejor forma un modelo conceptual de dinámica espacio-temporal para esta especie. De existir una migración masiva del stock desovante hacia aguas chilenas, sería necesario interpretar esto desde el punto de vista de la toma de información como de las decisiones de manejo que se realicen.

Otras técnicas propuestas durante el taller para futuras investigaciones relacionadas con la determinación de las fuentes de origen para los stocks chilenos y argentinos fueron las relaciones isotópicas de Sr/Ca en los otolitos y la de microsatelites (genéticas).

A una escala nacional también se discutió sobre la serie de interrogantes que existen en torno a la dinámica espacial del recurso que podrían afectar el modelo conceptual que se maneja en estos momentos para estructurar la evaluación de stock de la merluza de cola en Chile y de la organización de la data disponible en torno a esto. Se discutió sobre la representatividad y consistencia interanual de las agrupaciones en la zona centro-sur a la luz de las evaluaciones FIP 2002-07 (cruceos de verano e invierno). En estas se identificaron grandes cantidades de juveniles en aguas interiores de la X y XI regiones, tanto en invierno como verano. Esto cuestionaría el concepto de una migración generalizada hacia la zona norte del país, pudiendo ser la zona de los canales una zona de crianza.

Con respecto a la distribución de huevos y larvas de merluza de cola en la costa chilena, el Dr. Castro hizo una revisión completa de la mayor parte de las bases de datos disponibles para la especie merluza de cola en Chile. Las bases de datos existentes indican que no se han presentado ni desoves ni larvas de merluza de cola en las zonas muestreadas entre la V y X región del país. Esto abogaría por una región de desove concentrada en la zona sur-austral, con la eventual migración de adultos demersales de la zona centro-sur hacia la zona reproductiva de la PDA. Adicionalmente y en base a los resultados del Dr. Castro se discutió la existencia de la segunda zona de desove en la XII región del país. Estos resultados reforzarían la idea de que la distribución de juveniles de merluza de cola es más amplia de lo que se espera en el modelo cognitivo tradicional y que probablemente se extiende desde hasta la XII región.

También se cuestionó si el efecto de la variabilidad espacial que se identifica para la merluza de cola en la costa de Chile es natural o artificial, producto de la forma en que se ha muestreado esta población, donde tanto la data de la pesquería pelágica centro-sur y la demersal sur-austral tienen sesgos producto de la intencionalidad de la flota. El Dr. Oyarzún indicó que se había encontrado merluza de cola en los lances de Orange roughy, en la cercanía del archipiélago de Juan Fernández. Se acordó revisar la data del proyecto 2004-13 con respecto a la distribución espacio-temporal de merluza de cola en estos lances.

Con respecto a los estudios de comparación genética que se han realizado sobre los stocks de merluza de cola de la zona centro-sur y sur-austral, en la cual se propone que no hay una diferencia genética entre estos grupos, los participantes del taller indicaron que es importante separar las diferencias entre aislamiento a una escala en que opera la genética y los procesos de dinámica poblacional a una escala interanual. Técnicas genéticas modernas de microsatélites son a menudo necesarias para lograr encontrar diferencias entre stocks de especies marinas.

Hipótesis de regulación del reclutamiento para la merluza de cola

En una primera aproximación se expusieron las principales hipótesis que regulan el reclutamiento de las poblaciones de peces, con énfasis en los grupos de merluzas y hoki. A partir de las presentaciones realizadas por el Sr. Rodrigo Montes se discutió sobre las hipótesis que podrían regular el reclutamiento de estas especies y grupos afines, y sobre los factores que influirían en la fuerza de las clases anuales para esta especie. El Sr. Montes plantea que en la mayor parte de los casos (stocks), la data disponible para realmente contrastar una hipótesis de esta naturaleza es muy deficiente.

Dentro de esta temática se le dió amplia importancia a los factores abióticos de transporte y potencial deriva de huevos y juveniles como elementos que influirían sobre la variabilidad del reclutamiento. Se postuló que el rango de variación latitudinal

de la Corriente de Deriva del Oeste (CDO) podría influir sobre: (a) el área de distribución de las zonas de desove, huevos y larvas; (b) el patrón de migración de distintos estadios ontogenéticos. El Dr. Hormazabal indicó que es muy importante definir las escalas espacio-temporales en que se manejaría este recurso. Menciona además que en el centro-sur de Chile los fenómenos de mesoescala (*i.e.* eddies, viento, meandros) son importantes en la estructura de la columna de agua. Por otro lado reforzó la idea de que de los flujos de agua dulce de los lagos del sur, más costeros puedan tener un gran efecto en la merluza de cola. Se acordó trabajar como una primera hipótesis de forzante abiótico la posición latitudinal de la corriente de deriva del oeste, dado su grado de incidencia sobre el área donde ocurre el reclutamiento.

A la luz de los resultados presentados por el Dr. Castro en relación a la distribución de huevos y larvas al interior de los canales de la XI región, se indica que las condiciones ambientales dentro de los canales (factores provenientes de la cuencas, estratificaciones de las masas de agua, etc) podrían jugar un rol importante en la fuerza de las clases anuales.

El Dr. Wöhler indicó que es factible que los factores ambientales actúen directamente sobre el potencial reproductivo. Tanto en Nueva Zelanda como en Argentina se ha visto que en determinados años un alto porcentaje de hembras (aprox. 30%) permanece en reposo reproductivo si las condiciones son desfavorables. Este mecanismo puede potencialmente afectar la fuerza de las clases anuales.

Aspectos metodológicos de los cruceros hidroacústicos FIP 99-06 y FIP 2001-21

Se discutió la problemática de utilizar múltiples plataformas de trabajo dentro y entre años, para las evaluaciones hidroacústicas de abundancia. Quedo en evidencia la inconveniencia de la metodología utilizada en el proyecto FIP 2001-21, donde se emplearon 4 embarcaciones de pesca distintas características para realizar las

evaluaciones. Si se utiliza más de un barco es totalmente necesario realizar una inter-calibración entre las naves para poder obtener estimaciones comparables. El Dr. Gauthier indicó que hay ejemplos donde por la extensión geográfica de la distribución del recurso se utilizan dos embarcaciones para hacer la evaluación. Se mencionó el caso de la Merluza del Pacífico Norte (Pacific hake), la cual se distribuye tanto en aguas canadienses como norteamericanas. Las estimaciones de abundancia se realizaban a bordo de dos buques científicos, pero antecedidas de inter-calibraciones, en las cuales se realizaban “tracks” paralelos. Muchos son los factores asociados a las características del barco y de su desempeño, que terminan jugando un rol sobre las estimaciones de abundancia. Se recomendó tomar seriamente en consideración el uso de múltiples plataformas, especialmente si se van a variar inter-anualmente.

Los problemas de no contar con un modelo propio de fuerza de blanco para la merluza de cola de Chile también fueron analizados. Se indicaron metodologías alternativas para estimar la fuerza de blanco. El modelo actual (Do & Surti, 1990) está basado únicamente metodologías modelísticas y no debiera representar de buena manera a las merluzas de cola de la zona centro-sur Chile. El modelo fue desarrollado para las merluzas en el área de desove de Nueva Zelanda, las cuales probablemente tienen características fisiológicas distintas a las de la zona centro-sur. La condición reproductiva así como la periodicidad de alimentación pueden afectar significativamente el valor de la fuerza de blanco. No se debe olvidar que el volumen de la vejiga gaseosa (que es lo que se detecta principalmente mediante hidroacústica) puede ser afectado por estos factores. Para evaluar estos efectos idealmente se debería llevar a cabo experimentos bajo condiciones controladas.

5.4.1. Primer taller de trabajo y discusión proyecto FIP n° 2004-12

Lista de Invitados

| INVITADO | INSTITUCION |
|-----------------------|-------------------------------------|
| María Angela Barbieri | Instituto de Fomento Pesquero |
| Sergio Lillo | Instituto de Fomento Pesquero |
| Ignacio Payá | Instituto de Fomento Pesquero |
| Renato Céspedes | Instituto de Fomento Pesquero |
| Jorge Farías | Instituto de Fomento Pesquero |
| Rubén Alarcón | Instituto de Investigación Pesquera |
| Aquiles Sepúlveda | Instituto de Investigación Pesquera |
| Claudio Gatica | Instituto de Investigación Pesquera |
| Mauricio Gálvez | Subsecretaría de Pesca |
| Marcelo García | Subsecretaría de Pesca |
| Darío Rivas | Subsecretaría de Pesca |
| Rubén Pinochet | Fondo de Investigación Pesquera |
| Edwin Niklitschek | Centro Trapananda |
| Renato Quiñones | Universidad de Concepción |
| Ricardo Galleguillos | Universidad de Concepción |
| Dante Figueroa | Universidad de Concepción |
| Hugo Arancibia | Universidad de Concepción |
| Samuel Hormazábal | Universidad de Concepción |
| Ciro Oyarzún | Universidad de Concepción |

Lista de Participantes

| PARTICIPANTES | Día 1 | Día 2 |
|----------------------|--------------|--------------|
| Gustavo Aedo | X | X |
| Leonardo Castro | X | X |
| Luis Cubillos | X | X |
| Billy Ernst | X | X |
| Ricardo Galleguillos | X | X |
| Mauricio Gálvez | | X |
| Claudio Gatica | X | X |
| Samuel Hormazábal | X | |
| Mauricio Landaeta | X | X |
| Andrés Milessi | X | |
| Rodrigo Montes | X | X |
| Edwin Niklitschek | X | |
| Ciro Oyarzún | X | X |
| Rubén Roa | X | X |
| Gordon Swartzman | X | X |
| Otto Wöhler | X | X |

PROGRAMA DE TRABAJO

Taller de Trabajo FIP 2004-12

“Evaluación del reclutamiento de la Merluza de Cola entre la V y X Regiones: Revisión metodológica”

Salón Ottmar Wilhelm

Departamento de Oceanografía

Universidad de Concepción

Concepción 15-16 de diciembre de 2004

(Universidad de Concepción – Universidad Austral de Chile)

Programa del Taller

Miércoles 15 de Diciembre

09:30-10:15 Presentación FIP 2004-12.

Introduction to the FIP project 2004-12.

Expositor *Billy Ernst*

10:30-11:15 Revisión de las hipótesis sobre la regulación del reclutamiento en peces de ecosistemas templados.

A review of recruitment regulation hypothesis of temperate finfish populations.

Expositor *Rodrigo Montes*

11:30-12:15 Historia y estrategias de vida de *Macruronus* y especies de la familia Merluccidae.

Life history strategies of the genus *Macruronus* and species of the Merluccidae family.

Expositor *Gustavo Aedo*

12:30-13:15 Conocimiento actual de la población y pesquería de Hoki.

Current knowledge of the Hoki population and fishery.

Expositor *Luis Cubillos*

Almuerzo - Lunch break

15:00-15:20 Posibles implicancias de los patrones de circulación oceánica sobre el reclutamiento de merluza de cola en Chile.

Potential effects of oceanic circulation patterns on the Hoki recruitment of southern Chile.

Expositor *Rodrigo Montes*

15:30-16:15 Distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile.

Spatial and temporal distribution of Chilean Hoki eggs and larvae off the coast of Chile.

Expositor *Leonardo Castro*

16:30-17:15 Biología y pesquería de la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en el Atlántico Sudoccidental.

Fishery and biology of Hoki (*Macruronus magellanicus*) in the Southwest Atlantic.

Expositor *Otto Wöhler*

17:30- Discusión ampliada.

Discussion.

Jueves 16 de Diciembre

09:30-10:15 Approaches for estimating recruitment in populations of the genus

Macruronus.

Metodologías para la estimación del reclutamiento en poblaciones del género *Macruronus*.

Expositor *Billy Ernst*

10:30-11:15 A methodological review of the acoustic surveys FIP 1999-06 and 2001-21:

Acoustical approach.

Revisión metodológica de los cruceros acústicos FIP 1999-06 y 2001-21:

Enfoque acústico.

Expositor *Billy Ernst – Stephane Gauthier*

11:30-12:15 A methodological review of the acoustic surveys FIP 1999-06 and 2001-21: Statistical approach.

Revisión metodológica de los cruceros acústicos FIP 1999-06 y 2001-21:

Enfoque estadístico.

Expositor *Rubén Roa*

12:30- Discussion and conclusions of the workshop.

Discusión y conclusiones del taller.

RESUMEN DE LAS PRESENTACIONES

DIA 1

REVISION DE LAS HIPOTESIS SOBRE LA REGULACION DEL RECLUTAMIENTO EN PECES DE ECOSISTEMAS TEMPLADOS

por Rodrigo Montes

Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepcion

NOTA: En el Anexo 1 se adjunta la presentación realizada por el Sr. Montes

HISTORIAS Y ESTRATEGIAS DE VIDA DE *Macruronus* Y ESPECIES DE LA FAMILIA *Merluccidae*

por Gustavo Aedo

Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción

Con el propósito de entender de mejor manera la dinámica del reclutamiento de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*, familia Merluccidae) en el Pacífico Suroriental, se realizó un análisis bibliográfico sobre los antecedentes relacionados con el ciclo de vida y estrategias de distribución espacial de esta especie en aguas del Pacífico Sur Oriental (Chile) y Atlántico Sur Occidental (Argentina), así como de *M. capensis* en el Atlántico Sur Oriental (Sudáfrica) y *M. novaezelandiae* en la zona de Australia, Tasmania y Nueva Zelanda. Para complementar este análisis bibliográfico se revisó además la información existente para otras especies de la familia Merlucciade, en particular 8 especies del género *Merluccius* (*M. australis*, *M. bilinearis*, *M. capensis*, *M. gayi*, *M. hubbsi*, *M. merluccius*, *M. paradoxus* y *M. productus*).

En general, los representantes analizados de la familia Merluccidae corresponden a especies que durante su desarrollo ontogenético pasan de habitar el

ambiente pelágico a otro más demersal, a lo que también se asocia un aumento en el rango de profundidad con el incremento del tamaño corporal. La mayor parte de su ciclo de vida se encuentra asociado a la plataforma y talud continentales, prefiriendo la región cercana al borde de la plataforma para llevar a cabo el desove. Tanto la profundidad como la distancia desde la costa donde se produce el desove dependen directamente de las características batimétricas, ancho y pendiente de la plataforma y talud continentales. Los huevos y larvas producidos durante la puesta son transportados advectivamente hacia aguas más cercanas a la costa, razón por la cual se ha planteado que la estrategia de desove apunta a favorecer la retención de los productos del mismo. Las especies de ambos géneros realizan migraciones reproductivas y presentan áreas separadas de alimentación y reproducción, aún cuando existen excepciones como en el caso de *M. gayi*, donde el área de puesta puede llegar a ser, en algunos años, casi tan extensa como su área total de distribución, variando solamente el rango de distribución batimétrica.

Las diferencias encontradas dicen relación con la extensión del período de desove. Las especies del género *Macruronus* presentan una sola estación de desove de 2 a 3 meses de duración, que en el caso particular de *M. novaezelandiae* se ha demostrado que los ejemplares en desove no permanecen en el área de puesta durante todo el período, existiendo un reemplazo de peces durante el período de puesta. Por el contrario, en las especies del género *Merluccius* el desove es un proceso poblacional más bien continuo que puede extenderse durante gran parte del año y observase de uno a dos máximos.

De este análisis se desprende la necesidad de conocer el ciclo de vida de *M. magellanicus* con el fin de conceptualizar un modelo de dinámica espacial poblacional que permita alimentar modelos de evaluación de stock.

CONOCIMIENTO ACTUAL DE LA POBLACION Y PESQUERIA DE HOKI

por Luis Cubillos

Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción

Se revisa el estado del arte respecto de los principales aspectos biológicos y pesqueros de la merluza de cola explotada en Chile, y se revisa la hipótesis de migración estacional de la fracción juvenil de merluza de cola, *Macruronus magellanicus*, desde la zona sur-austral hacia Chile central en primavera.

Se reconoce una sola unidad taxonómica de merluza de cola en Chile y Argentina, la cual pertenece al Orden Gadiformes y Familia Macruronidae. La especie presenta una amplia distribución geográfica bordeando el cono sur de América del Sur, desde los 37° S en el Atlántico hasta Coquimbo en Chile, y extendiéndose hacia los montes submarinos Bajo O'Higgins frente a Chile, así como en las Islas Malvinas en el Atlántico. A su vez, estudios genéticos confirman la existencia de una sola unidad poblacional de merluza de cola en el área de distribución. Sin embargo, se desconoce la conectividad entre las fracciones que explota la unidad de pesquería pelágica de la zona centro-sur y sur-austral de Chile, y con la fracción explotada en Argentina. La estructura poblacional sugiere una segregación batimétrica entre la fracción juvenil menor a 55 cm de longitud total y la adulta, con los juveniles habitando la columna de agua más superficial, entre la capa de mezcla y aproximadamente los 150 m de profundidad. En primavera-verano, la fracción juvenil incrementa su disponibilidad para la pesquería pelágica de la zona centro-sur. Este comportamiento sugiere una probable migración estacional de la fracción juvenil de merluza de cola desde la zona sur-austral hacia el norte. Las observaciones que sustentan esta hipótesis se encuentran en la fuerte estacionalidad de la pesquería de cerco, con mayores rendimientos asociados a la estación de surgencias costeras, y la dominancia de la fracción juvenil en la estructura de tallas de las capturas de la flota industrial de cerco. Además, se ha observado una progresión de la talla modal juvenil en un sentido sur-norte a través del estudio de evaluación acústica FIP 99-06 (Lillo et

al., 2000), pero el estudio revela también que la fracción juvenil es importante al sur de los 40° Lat. Sur en primavera. Asimismo, la pesca de investigación de captura de merluza de cola con red de media agua realizado durante el 2003 y 2004, evidencia que la fracción adulta está presente durante todo el año en la zona centro-sur. Aparentemente, la hipótesis de una migración estacional de merluza de cola no sería adecuada en términos de la estructura poblacional de la especie, habiendo presencia de juveniles y de adultos en todo el rango distribucional. Más bien, la presencia de juveniles en la pesca de cerco durante primavera se debe a un incremento en su disponibilidad por razones tróficas en concomitancia con un incremento general de la surgencia costera.

Los procesos biológicos que permitirían la segregación espacial entre la fracción juvenil y adulta del stock se podría deber a: i) comportamiento trófico, relacionado con la mayor productividad que se da en los frentes oceánicos de surgencia frente a Chile centro-sur; ii) intensificación de la rama costera del sistema de corrientes de Humboldt o cambios interanuales en la Corriente de Deriva del Oeste; iii) escape de depredadores, lo que implica evadir el impacto del canibalismo por la fracción adulta y la depredación por merluza del sur; iv) variabilidad en los excedentes de producción, relacionada con la producción externa del stock y por lo tanto una pérdida reproductiva (los juveniles no retornan y, por ende, no se incorporarían al stock adulto); y v) colonización potencial, lo que implicaría la probabilidad latente de colonización de un ecosistema más productivo.

En los aspectos pesqueros, actualmente se identifican dos unidades de pesquerías de merluza de cola en Chile: a) unidad de pesquería centro-sur, comprendida entre las regiones V-X; y b), unidad de pesquería sur-austral, comprendida entre las regiones XI-XII. La primera unidad de pesquería se caracteriza por la pesca industrial de cerco, estacional y relacionada con la mayor disponibilidad de juveniles en los estratos superficiales de la columna de agua entre los 35°S y 42°S. La unidad de pesquería sur-austral, en cambio, utiliza red de arrastre y se sustenta en la fracción adulta del stock. Las pesquerías están siendo administradas

bajo el Régimen de Límites Máximos de Captura por Armador, sobre la base de una cuota global anual y asignación entre unidades de pesquerías y armadores. A contar del 2003, las capturas de cerco han dejado de ser importantes y se está evaluando la introducción de la pesca con red de arrastre de media agua entre la V y X Región, por fuera de las 60 millas náuticas y fondos mayores a 300 m.

POSIBLES IMPLICANCIAS DE LOS PATRONES DE CIRCULACION OCEANICA SOBRE EL RECLUTAMIENTO DE MERLUZA DE COLA EN CHILE

por Rodrigo Montes

Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción

NOTA: En el Anexo 1 se adjunta la presentación realizada por el Sr. Montes

DISTRIBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE HUEVOS Y LARVAS DE MERLUZA DE COLA EN LA COSTA DE CHILE

por Leonardo Castro y Mauricio Landaeta

Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la información disponible en bases de datos e informes de proyectos y cruceros en que se realizaron estudios de ictioplancton en zonas en que potencialmente pudiera reproducirse *M. magellanicus* a lo largo de la costa central y sur del país. Para llevar cabo este análisis se plantearon cuatro objetivos que entregan información sobre la estacionalidad del desove, ubicación de las zonas de desove, posibles cambios de distribución entre zonas de desove y crianza, e información sobre la distribución vertical de huevos y larvas y las características hidrográficas de algunas áreas de desove específicas.

Los resultados sobre estacionalidad del desove señalan que *M. magellanicus* no desovaría en la zona central de Chile (V a X Región-exterior) al menos durante los meses de Agosto y Septiembre, meses bien cubiertos espacialmente al menos hasta una profundidad de 100 m. En la zona sur austral se observó desoves entre los meses de Agosto y Noviembre. Las máximas abundancias de huevos ocurrieron en el mes de Agosto en la XI Región, observándose altas abundancias larvales también en la XII Región durante el mes de Octubre.

Los resultados sobre la distribución del desove señalan que: i) no habría desove entre la V a X Región-exterior (ya mencionado), ii) habría desoves en toda la zona de los canales entre la X Región (aguas interiores) y la XII Región (hasta casi la latitud 57°S); y iii) que también habría desove en la zona externa adyacente a los canales en la XI Región; iv) adicionalmente, se constata la existencia de al menos dos zonas importantes en términos de abundancia de huevos y larvas en la zona sur-austral: la XI Región (zonas internas y externa de los canales en Agosto) y una zona al norte del Estrecho de Magallanes (en Octubre, Lat. 53°S).

Los resultados de los análisis de distribución entre huevos y larvas permiten esbozar dos hipótesis que darían cuenta de la inexistencia de altas abundancias de huevos en el sector externo a los canales de la XI Región así como la mayor abundancia de larvas en ese mismo el sector. Una primera hipótesis propone un probable desove en profundidad y que sería seguido por el ascenso de las larvas recién eclosionadas hacia estratos más someros. Una segunda hipótesis dice relación con el posible desove en la zona de los canales y el potencial desarrollo posterior de las larvas tanto en los canales como en la zona externa adyacente. Apoyarían la primera hipótesis, la información previa de proyectos FIP sobre distribución de reproductores y apoyarían la segunda hipótesis observaciones preliminares de distribución de huevos y larvas así como de hidrografía a lo largo de los canales transversales de la XI Región presentados en este informe.

BIOLOGÍA Y PESQUERÍA DE LA MERLUZA DE COLA (*Macruronus magellanicus*) EN EL ATLANTICO SUDOCCIDENTAL

por Otto C. Wöhler

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata. Argentina.

La merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), o *hoki* patagónico, es un pez de hábitos demersal - pelágicos que se distribuye desde los 34°S en el Atlántico Sudoccidental hasta los 33°S en el Pacífico Sudoriental, a lo largo de las costas del cono sur americano. En el Atlántico austral es el recurso íctico de mayor biomasa. Sus mayores concentraciones se localizan al sur de los 45°S. Se ubica en distintas masas de agua en sucesivas etapas de su ciclo de vida, aunque siempre asociadas a las de la Corriente de Malvinas.

Su biología reproductiva es un aspecto relativamente incierto, existiendo indicios de una extensa época de puesta que ocurriría desde el invierno y hasta fines de la primavera y en diversos lugares de la plataforma externa y talud. Ambos sexos alcanzan la madurez a edades similares (4 años) y longitudes similares de alrededor de 60 cm LT, cuando se encuentran en un 50% de la longitud máxima. Los ejemplares pueden, excepcionalmente, alcanzar una edad máxima de 19 años y una longitud de 121 cm LT, aunque rara vez se han capturado peces de más de 14 años.

La variedad de las presas que constituyen la dieta de la merluza de cola en el Atlántico Sudoccidental hace que se la considere una especie generalista. Es principalmente micrófaga; carcinófaga, ictiófaga y malacófaga, cambiando su ingesta durante el ciclo vital.

La captura comercial de esta especie se inició en la década del '70, de manera incidental. En la actualidad se ha constituido una de las especies más importantes para los buques que operan al sur de los 48°S, debido a la merma de otros objetivos

comercialmente importantes que se distribuían en el área. Las embarcaciones dedicadas a la producción de *surimi* produjeron en el pasado los más altos porcentajes de captura. Sin embargo, actualmente la mayor fracción de la pesca total es obtenida por buques congeladores y factorías tradicionales, que procesan la especie como tronco o *filet*. Los principales puertos de descarga son Ushuaia y Puerto Deseado. No existe una marcada estacionalidad en los desembarques.

Con la finalidad de evaluar la abundancia de este recurso en el Atlántico Sudoccidental, el INIDEP inició a partir de 1992 una serie sistemática de cruceros de arrastre de fondo destinados a estimar la biomasa de la especie por el método del área barrida al sur de 45°S y entre 50 y 400 m de profundidad. A partir de dichas campañas se han estimado anualmente índices de abundancia que son utilizados para la calibración de los modelos analíticos, tales como APV (Análisis de la población virtual) o análisis de cohortes. Tanto métodos directos como modelos analíticos describen una tendencia creciente de la biomasa, principalmente a partir del año 1995. Dicha tendencia se ha relacionado con el éxito particular del reclutamiento de algunas clases anuales.

DIA 2

APROXIMACIONES UTILIZADAS PARA ESTIMAR EL RECLUTAMIENTO EN POBLACIONES DEL GENERO *Macruronus*

por Billy Ernst

Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción

El reclutamiento es un proceso demográfico a través del cual nuevos individuos entran al sistema. Se destaca la importancia de diferenciar entre reclutamiento biológico y reclutamiento pesquero. En el estudio de la dinámica de poblaciones de peces explotados se distinguen dos grupos de métodos, los directos y

los indirectos. Los indirectos son más populares y se basan en un proceso de integración de múltiples fuentes de información, tanto pesquera como cruceros de investigación. Esta integración se lleva a cabo mediante modelos estadísticos estructurados o ad-hoc del tipo VPA. Los métodos directos en cambio utilizan diseños de muestreo y alguna técnica para separar los reclutas de la captura total de la muestra. La decisión de adoptar una metodología en particular estará condicionada al uso posterior que se le darán a los datos. Se identifican dos usos preferenciales en la evaluación directa, el primero relacionado con una determinación directa de la cuota de la fracción estudiada, y el segundo como un índice de abundancia relativa. Se destaca la importancia de construir un índice consistente en el tiempo. Se revisaron los métodos de estimación de abundancia de reclutas de poblaciones del género *Macruronus* en Chile (proyectos FIP 1999-06 y 2001-21, Argentina, Nueva Zelanda y Australia. Se identificaron métodos indirectos para los para los 4 países, y directos para Chile y Argentina. En Chile y Argentina se utilizan métodos hidroacústicos y de área barrida respectivamente.

REVISION METODOLOGICA DE LOS CRUCEROS ACUSTICOS FIP 1999-06 Y 2001-21: ASPECTOS ACUSTICOS

por Stephane Gauthier¹ y Billy Ernst²

¹School of Aquatic and Fishery Sciences, Seattle, Washington, USA.

²Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción

Se revisó la metodología hidroacústica de los informes FIP 1999-06 y 2001-21 y se identificaron los siguientes puntos conflictivos: determinación de la unidad de distancia elemental de muestreo (ESDU), especificación de criterios utilizados en la determinación de la cantidad y ubicación espacio-temporal de los lances exploratorios, escrutinio de los ecogramas, problemas con la fuerza de blanco utilizada, problemas de sesgo y consistencia por el uso de múltiples plataformas de trabajo y falta de intercalibración, homogeneidad en el tratamiento de muestreos

diurnos y nocturnos, falta de claridad en el uso de la talla para la estimación de la fuerza de blanco y cálculo de biomasa total. Se indentificaron como prioritarios los problemas de intercalibración de plataformas de trabajo, estudios de la fuerza de blanco y la confección de un catálogo que contenga los esotrazos y ecogramas correspondientes a esta especie.

ANALISIS GEOESTADISTICO Y DISEÑO DE CRUCERO HIDROACUSTICO PARA LA MERLUZA DE COLA

por Rubén Roa Ureta

Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepcion

Los métodos estadísticos de los proyectos FIP 1996-06 y 2001-21, de evaluación hidro-acústica de merluza de cola, son revisados para determinar que tan apropiados son en la estimación de un valor de biomasa de reclutas que sirva para calibrar la evaluación indirecta del stock. En primer lugar se observa que el consultor ejecutante de esos proyectos no informa acerca de la transformación a unidades métricas de las coordenadas de cada trazo hidro-acústico. Este es un paso técnico necesario para poder estimar variogramas válidos, donde la distancia es Euclidiana. En segundo lugar se observa que el diseño de muestreo sistemático fijo empleado en ambos proyectos no parece el más apropiado dado las pocas áreas de abundancia observada del recurso. En tercer lugar se indica que la teoría de análisis geoestadístico empleada, teoría modelo-basada pero “distribution-free”, no permite hacer inferencia basada en la función de verosimilitud, que es la teoría de inferencia más ampliamente aceptada en estadística. En particular la teoría “distribution-free” no permite derivar medidas adecuadas de la incerteza asociada a la estimación de biomasa. Para el estudio del primer y tercer problema se está realizando actualmente un re-análisis de los datos básicos del proyecto utilizando transformación de coordenadas a UTM y geoestadística paramétrica. Para el segundo problema, del diseño de muestreo, se reporta el enfoque general de programación de una

simulación de la población de merluza de cola juvenil para evaluar distintos enfoques de diseño de muestreo.

5.4.2. Segundo taller de trabajo y discusión proyecto FIP n° 2004-12

Lista de Invitados

Billy Ernst (Universidad de Concepción, UdeC)
Leonardo Castro (UdeC)
Luis Cubillos (UdeC)
Pedro Rubilar (Universidad Austral de Chile, -CEPES)
Alejandro Zuleta (UACH-CEPES)
Edwin Nicklischek (UACH)
Gustavo Aedo (UdeC)
Renato Quiñones (UdeC)
Ciro Oyarzún (UdeC)
Ricardo Galleguillos (UdeC)
Ana Parma (Centro Nacional Patagónico, Argentina)
Jim Ianelli (Alaska Fishery Science Center, NOAA, Seattle, USA)
Analía Giussi (INIDEP, Argentina)
Jorge Farías (Instituto de Fomento Pesquero, IFOP)
Renato Céspedes (IFOP)
Sergio Lillo (IFOP)
Antonio Aranís (IFOP)
Renzo Tascheri (IFOP)
Ignacio Payá (IFOP)
Vilma Correa (Subsecretaría de Pesca)
Mauricio Gálvez (Subsecretaría de Pesca)
Darío Rivas (Subsecretaría de Pesca)
Rubén Pinochet. (Fondo de Investigación Pesquera)
Aquiles Sepúlveda (Instituto de Investigación Pesquera)
Claudio Gatica (Instituto de Investigación Pesquera)
Colaboradores: Marcelo Feltrim, Luis Hückstäd

Lista de Participantes

Billy Ernst (Universidad de Concepción, UdeC)
Leonardo Castro (UdeC)
Luis Cubillos (UdeC)

Pedro Rubilar (Universidad Austral de Chile, -CEPES)
Alejandro Zuleta (UACH-CEPES)
Gustavo Aedo (UdeC)
Renato Quiñones (UdeC)
Ciro Oyarzún (UdeC)
Ricardo Galleguillos (UdeC)
Ana Parma (Centro Nacional Patagónico, Argentina)
Jim Ianelli (Alaska Fishery Science Center, NOAA, Seattle, USA)
Analía Giussi (INIDEP, Argentina)
Ignacio Payá (IFOP)
Mauricio Gálvez (Subsecretaría de Pesca)
Darío Rivas (Subsecretaría de Pesca)
Rubén Pinochet. (Fondo de Investigación Pesquera)
Aquiles Sepúlveda (Instituto de Investigación Pesquera)
Claudio Gatica (Instituto de Investigación Pesquera)
Colaboradores: Marcelo Feltrim, Luis Hückstäd



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



Segundo Taller

**Evaluación del Reclutamiento de Merluza de Cola entre la V y X Regiones:
Revisión Metodológica, Concepción, 27 y 28 de Abril, 2005
Sala Minera Escondida, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas**

Coordinación

Billy Ernst y Alejandro Zuleta
**(Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Concepción
CEPES/Universidad Austral de Chile)**

Programa

Primer día (27 Abril) Formulación de un modelo conceptual del ciclo de vida de la merluza de cola en la costa chilena sobre la base de evidencia empírica. (Coordinador: Alejandro Zuleta).

- Abertura del taller (Billy Ernst)
- Revisión de la hipótesis de una sola área de desove (**Alejandro Zuleta**)
- Síntesis de los resultados de la distribución espacio-temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile (**Leonardo Castro**)
- Alcances del estudio genético de diferenciación de stocks de merluza para las zonas centro-sur y sur-austral (**Ricardo Galleguillos**)
- Información espacio temporal sobre densidad, presencia/ausencia y frecuencia de longitudes proveniente de todos los crucero hidroacústicos (**Billy Ernst**)

Patrones migratorios:

- Revisión de la hipótesis de migración estacional del stock adulto. (**A. Zuleta y Pedro Rubilar**)

- Revisión de la hipótesis de la migración de juveniles hacia el norte (distribución espacial de centroides de CPUE y datos de LFD/talla promedio). (**Luis Cubillos**)
- Revisión de la hipótesis de migración del stock desovante de hoki argentino hacia aguas chilenas. (**Analía Giussi**)
- Resumen de historias de vida de hoki y merluzas y los factores bióticos y abióticos que influirían sobre el reclutamiento. (**Gustavo Aedo**)
- Importancia de la CDO y su relación con la fuerza de las clases anuales de merluza. (**Renato Quiñones**)
- Discusión ampliada y conclusiones

Segundo día (28 Abril) *Revisión de la evaluación directa del “reclutamiento” de merluza de cola (Coordinador: Billy Ernst)*

- Breve descripción de las evaluaciones directas hidroacústicas de 1999 y 2001 en la zona centro-sur (**B Ernst**)
- Definición del reclutamiento sobre la base de la actividad de la flota cerquera. Límites espacio-temporales por medio de la actividad de la flota (**L. Cubillos**).
- Información disponible para una evaluación indirecta del stock de merluza de cola (**A. Zuleta y P. Rubilar**)
- Uso de la flota pesquera como plataforma de investigación hidroacústica: Avances con el EBS pollock (**Jim Ianelli**)
- Comparación de la evaluación directa del “reclutamiento” con la indirecta (**B Ernst**).
- Discusión ampliada, conclusiones y recomendaciones.

Discusión y comentarios

A lo largo del taller se abordaron varios temas, pero dos aspectos fueron los principales, la revisión del modelo conceptual que estructura el modelo de evaluación de stock de la merluza de cola y la evaluación directa de los juveniles de merluza de cola. No se desarrollaron en profundidad aspectos metodológicos con respecto al segundo punto en este taller, ya que estos habían sido abordados fundamentalmente en el primer taller.

Se discutió ampliamente la hipótesis de migración estacional de los juveniles hacia la zona centro-sur y de acuerdo a los resultados planteados por el Sr. Luis Cubillos, la base histórica de datos de la pesquería centro-sur no apoya la hipótesis de una migración estacional. Los fuertes cambios estacionales en los desembarques podrían explicarse a través de cambios en la intencionalidad de la flota hacia el jurel y a cambios en la disponibilidad del recurso, principalmente en la época de surgencias.

Por otro lado existe evidencia de múltiples desoves en áreas al sur del conocido foco de Guamblín. Esto, junto a la información de distribución de huevos y larvas y la existencia de juveniles al interior de los canales, sugiere de que habrían otras zonas en el sur con abundancias de juveniles. Quedo en evidencia del taller que aun se desconoce el grado de conectividad de la subpoblación de la zona centro-sur con la PDA. Estos problemas en el modelo conceptual, ponen en tela de juicio la representatividad no solo de las estimaciones de abundancia de los juveniles, sino también la del stock desovante.

A la luz de estos resultados, con la participación de expertos internacionales y la información bibliográfica recolectada se planteó la necesidad de evaluar otras alternativas en la evaluación directa. Surgieron aproximaciones como la que se utiliza en Argentina, donde no se evalúa la abundancia durante las agregaciones (que no se ha podido detectar), sino más bien se muestréa a lo largo de toda la plataforma

continental. El sistema neocelandés es comparable con al chileno, en el cual existen zonas de agregación reproductiva que son evaluadas con hidroacústica y otras mucho mas extensas que son evaluadas con area barrida. Es probable que este sea el esquema más apropiado para este recurso.

Se presentan a continuación algunas recomendaciones vertidas por los consultores internacionales.

Comentarios específicos del Dr. Jim Ianelli

El Dr. Ianelli mencionó los siguientes comentarios específicos relacionados con el índice de reclutamiento del hoki chileno:

- 1) Es bastante difícil poder imaginar una evaluación para esta especie que pueda mantener altas expectativas para un manejo efectivo (i.e. poder fijar niveles de captura apropiados) de una pesquería que vulnera la fracción más juvenil del hoki (i.e. flota de cerco). Desde un punto de investigación pudiera ser útil tener dos evaluaciones que se realicen en forma similar, para ganar conocimiento respecto de la variabilidad interanual. Fuera de eso, la utilidad actual de la evaluación debiera ser cuidadosamente considerada.
- 2) Una opción para evaluar la metodología de la evaluación sería construir un modelo integrado de evaluación donde se examine el grado de información contenido en este índice. Es decir evaluar la razón señal-ruido de incluir esta pieza de información al análisis indirecto. Esto puede llevarse a cabo, eventualmente, a través de simulaciones para mostrar como aproximaciones de manejo esperadas puede ser evaluadas.
- 3) Me da la impresión que el nivel de intercambio de información parece ser alto, pero siempre puede ser mejorado. Asumiendo de que hay cierto grado de confidencialidad relacionada a la operación de la flota industrial, existen formas de circular la información que aseguran revisiones cooperativas de los análisis. Esto incrementa la credibilidad científica de la investigación y provee, a mi parecer, la mejor aproximación para el manejo de recursos naturales.

- 4) La información histórica del hoki debiera ser re-evaluada en el sentido de pensar en reinstaurar alguna de las evaluaciones que hacían antes en la región de más al sur (aquí me refiero al reporte de 1972 que estuvo circulando durante el taller). Este trabajo parece bastante extensivo y puede proveer una línea base para comparar una evaluación similar que se haga en el futuro.
- 5) El tema sobre el efecto de la CDO debiera continuarse y posiblemente con alguna consideración de ser evaluado al interior de un modelo integrado.

Comentarios específicos de la Dra. Ana Parma

La Dra. Parma indicó que de acuerdo a un intercambio reciente que tuvo con la Sra. Vivian Haist (quien hace varios años trabaja en la evaluación del hoki de Nueva Zelanda, esta contratada por la industria y ultimamente trabaja en conjunto con el Dr. Chris Francis (NIWA)) las prospecciones de área barrida parecen desempeñarse bien como índices de abundancia en las evaluaciones indirectas y que, en cambio, las de acústica han sido ampliamente desacreditadas.

Si bien Nueva Zelanda no tiene una pesquería sobre juveniles, lo que impone menos demandas a las evaluaciones y, en particular, simplifica los requerimientos de índices de abundancia, las prospecciones de arrastre en el Chatham Rise, proveen un índice para los reclutas jóvenes de los dos stocks combinados. Si bien la experiencia de NZ no puede ser trasladada directamente a Chile, a la Dr. Parma le parece que los paralelos son muchos.

La Dr. Parma concuerda además con mucho de los puntos indicados por el Dr. Ianelli, muchos de los cuales coinciden con las recomendaciones que surgieron a partir de un taller en el cual ella participó, cerca de dos años atrás. El taller de Concepción contribuyó a avanzar hacia la identificación de posibles índices de abundancia para la evaluación de la merluza de cola. Esto había sido identificado como primera prioridad para mejorar el soporte técnico necesario para el establecimiento de cuotas de captura para merluza de cola. En este sentido, la información vertida en el taller acerca de la existencia de prospecciones hechas en los años 70s tiene particular

interés. Estas prospecciones podrían servir de base para el diseño de posibles futuras evaluaciones directas. Para esto, sería importante que los datos fueran recuperados y su contenido de información evaluado formalmente en el contexto de los modelos estadísticos de estimación (integrados).

Notas de algunas ponencias

Introducción (Dr. Billy Ernst)

La merluza de cola se distribuye entre los 32°S por el lado Pacífico hasta la frontera Uruguayo-Argentina por el lado Atlántico. Administrativamente se distinguen dos stocks: el stock argentino y el stock chileno, aunque no existe evidencia de que realmente se trate de stocks distintos. El comportamiento altamente migratorio de la merluza de cola pone en duda tal hipótesis. Estudios con mtADN establecieron la existencia de un stock unitario en las zonas Centro-Sur (CS) y Sur (S).

Existe una zona de desove (frente a Isla Guamblin), que ha sido monitoreada por hidroacústica en seguimientos casi anuales y que sufre influencia de la Corriente de Deriva del Oeste (CDO). No se han ubicado los individuos de edad 1 y 1+, pero se supone que también son pelágicos. Los individuos juveniles y de edad 2+ migrarían hacia la zona CS (VIII Región) donde se hacen disponibles a la flota de cerco. Los individuos de mayores tallas son capturados por la flota demersal que actúa en la región SA, pero a partir de 2001 dicha flota aparece actuando también en la región CS. Estas piezas de información son combinadas en el modelo de evaluación

Los objetivos del taller son:

1. discutir antecedentes de la distribución
2. revisar los antecedentes de la hipótesis de migración
3. revisar la información metodológica para estimar el reclutamiento
4. revisar los factores ambientales que influyen el reclutamiento
5. llevar a cabo una discusión amplia

Breve resumen y alcances del estudio genético de diferenciación de stocks de merluza de cola, zonas centro-sur y sur-austral (Dr. Ricardo Galleguillos)

La hipótesis de partida para el proyecto que analizó la estructura genética de la merluza de cola en el territorio nacional (1998) fue que existía una sola gran unidad panmítica, es decir, que no había diferencias genéticas. Se utilizaron marcadores proteínicos, marcadores a nivel de ADN y también se realizaron estudios morfológicos y de parásitos en forma paralela. El análisis de los haplotipos arrojó que no existían diferencias entre los individuos. Esto fue reafirmado con los estudios paralelos de parásitos y morfología. Por lo tanto se trata de un mismo stock. Se indica que en la actualidad se cuenta con técnicas con un mayor grado de detalle (e.g. microsatélites), pero se postula que la utilización de estas técnicas no cambiaría la visión actual de la estructura poblacional del recurso.

Revisión de la hipótesis de una sola área de desove (Pedro Rubilar)

La hipótesis nula que actualmente se maneja es que existe una sola gran área de desove de la merluza de cola ubicada en Isla Guamblín.

Alrededor de Abril aparecen todos los años individuos maduros en el extremo sur. En el mes de Junio aparecen frente a Chiloé, y en Julio este estadio incrementa de forma significativa hacia el sur, para luego en Agosto concentrarse alrededor de la Isla Guamblín. En Septiembre los individuos empiezan a dispersarse. En verano existe aún presencia de merluza de cola en el S y en la parte norte de su distribución, aunque su presencia en este último sector no es tan alta. El patrón temporal se mantiene entre los años, con algunos cambios no muy significativos.

El patrón espacial indica varios lugares de desove, pero Isla Guamblln aparece como el principal sitio. Frente a Chiloé y en el extremo sur se produce también desove. Este desove presenta una variabilidad espacial interanual.

De esa manera, la idea de una sola área de desove es una sobresimplificación del proceso reproductivo en merluza de cola, lo que sugiere la existencia de variación espacio-temporal en el desove.

Se cuestiona la estrategia reproductiva de la merluza de cola, sugiriendo la existencia de por lo menos dos tandas de desove. Pero, a pesar de algunas no ser unánime, se considera poco probable que los mismos individuos que desovan en la región S en Abril y Mayo vengán a desovar en Guamblln algunos meses después. Se considera la posibilidad de que los desovantes del Sur sean provenientes de Atlántico.

Se destacan algunos aspectos relacionados con la dinámica de la flota, como la operación en solamente un área y la discontinuidad de esa, lo que imposibilita la observación de desoves simultáneos. Además, se considera la importancia de tomarse en cuenta la CPUE en el análisis.

El Dr. Quiñones indica que sería poco probable que hubiera una sola área de desove, ya que la especie debería para ello ampliar su rango de tolerancia fisiológica (asumiendo de que hay cambios temporales en los parámetros ambientales), por lo que la hipótesis más probable sería que hay varias, o al menos intentos de desove en otras áreas. Con intensidad dependiente de las condiciones ambientales.

Se considera también la importancia del factor fisiológico en el comportamiento reproductivo. Es posible que no todos los individuos desoven todos los años debido a la falta de alimentación en el período de desove.

Se sugiere la realización de un análisis formal de los datos que posee el IFOP desde 1982.

Síntesis de los resultados de la distribución espacio temporal de huevos y larvas de merluza de cola en la costa de Chile (Dr. Leonardo Castro)

A pesar de la inconsistencia temporal en los muestreos, se pudo observar, que desde invierno en adelante, no existen huevos y larvas en la VIII y IX Región. La distribución y abundancia de huevos y larvas en las X, XI y XII Regiones no presentan un patrón anual bien definido. La presencia de huevos y larvas en aguas exteriores u interiores varía entre los años. Así mismo, se plantean dos hipótesis: (a) el desove se produce en toda la zona (aguas interiores y exteriores); (b) las larvas provienen de huevos de aguas interiores, para salir hacia aguas exteriores.

Se sugiere la realización de proyectos enfocados a esa problemática, con cruceros extensivos para determinar y posteriormente monitorear las principales zonas de desove. La identificación de estaciones de monitoreo, permitiría generar un índice de abundancia.

Revisión de la hipótesis de migración estacional del stock adulto (Alejandro Zuleta).

Se buscan evidencias del desplazamiento de la especie con base en la dinámica espacio-temporal de las flotas que sobre ella actúan. Se observó un patrón cíclico anual con mayores concentraciones de las flotas en el Norte (45°S) en el mes de Agosto, y un desplazamiento hacia el Sur en los meses siguientes, hasta alcanzar los 56°S en Mayo. A pesar del patrón encontrado, se cuestiona la motivación del desplazamiento de las flotas, principalmente debido el interés de algunas embarcaciones en la merluza de tres aletas.

Revisión de la hipótesis de la migración de juveniles hacia el norte (distribución espacial de centroides de CPUE y datos de LFD/talla promedio)

(Luis Cubillos)

Se plantea la idea de que exista migración (estacional o ontogenética) de los juveniles de merluza de cola hacia el Norte (zona CS), estando ahí disponibles a la flota de cerco. Es importante también considerar que en enero ocurre la llegada del jurel a la zona, lo que hace con que la flota se desplace hacia el sur en busca de ese recurso, y por lo tanto no exista información acerca de la merluza de cola en esta época.

El autor propone que habría juveniles en todo el rango latitudinal, pero se harían disponibles en la zona CS debido a que ahí actúa de la flota de cerco. Además, la estructura poblacional de merluza en aguas más oceánicas no es capturada debido a las características de la red de cerco, que no alcanzan la profundidad de ocurrencia del recurso.

Importancia de la CDO y su relación con la fuerza de las clases anuales de merluza de cola (merluza de cola argentina y merluza austral) (Dr. Renato Quiñones).

La CDO origina la Corriente de Humboldt (CH) y Corriente del cabo de Hornos (CCH), al golpear el continente a aproximadamente 40°S, con una profundidad de 300 m y fluctuando de posición entre los 35°-48°S. Se pudo notar la influencia de la CDO en las clases anuales de la merluza de cola, donde mientras más al Sur se encontró la CDO, menor fue el reclutamiento. Tal comportamiento se observó tanto con desfases de 1 e 2 años, siendo más prominente en el segundo.

No se pudo encontrar relación de la CDO con el reclutamiento de la merluza en el Atlántico, lo que llevó a proponer un análisis con mayores períodos de desfases.

Revisión de la hipótesis de migración del stock desovante del hoki argentino hacia aguas chilenas (Analía Guisi)

En Argentina la merluza de cola se distribuye entre los 36°S y los 55°S, en la plataforma, preferentemente en la Corriente de Malvinas hasta el Norte, donde se encuentra con la Corriente de Brasil. En el verano se encuentra merluza de cola de forma más concentrada, disminuyendo luego hacia el invierno.

Se buscó alguna relación de la población con el evento del Niño, pero se pudo encontrar. En relación a los frentes oceanográficos, se encontró grandes abundancias de juveniles en frentes con mayor concentración de zooplancton.

Se propone buscar alguna relación entre el reclutamiento del Atlántico con la abundancia de la población del Pacífico y con eventos oceanográficos de esa región, ya que no se encontró individuos menores de 1 año y tampoco áreas de reproducción que sustenten la población del Atlántico. Se asume que ocurre una entrada de individuos desde el Sur, o de huevos y larvas a través de la Corriente de Hornos.

Definición del reclutamiento sobre la base de la actividad de la flota cerquera. Límites espaciales y temporales durante la actividad de la flota y LFD/talla promedio (Luis Cubillos)

Se considera que los juveniles están disponibles en la superficie a la flota de cerco. Interanualmente las estimaciones de frecuencia de talla son muy variables porque no se trata solamente de juveniles. A pesar de la predominancia de juveniles es difícil determinar esta área como de reclutamiento biológico, debido a la forma de pesca, por lo que las condiciones locales juegan un rol importante en la capturabilidad de la flota de cerco. Lo que si, hay una segregación de los individuos en la vertical de la columna de agua.

En el caso del hoki tal segregación ocurre en el período de desove, pero aunque se observe un aumento en el IGS de la merluza de cola en la zona CS a principios del año, eso no indica que va ocurrir el desove. Aunque el autor insiste que: “si bien no alcanza un máximo, el hecho de que aumente es un indicio de que hay actividad reproductiva”.

Se destaca que puede haber un error en la determinación del IGS por la estimación de talla.

La evaluación de stock indirecta de la merluza de cola (Ignacio Payá)

El modelo conceptual se construye sobre la base de una población cerrada. Las fuentes de información básicas consisten en tres matrices de captura a la edad, la austral, la de cerco y la de arrastre del Sur.

Los pesos promedios a la edad son distintos para cada flota y existen datos para prácticamente todos los años (dependiendo de la flota). En la actualidad se utiliza un modelo edad estructurado, ya que evaluaciones previas habían indicado muy pocas diferencias con una modelo talla estructurado.

Se discute los factores que explicarían la ausencia de merluza de cola a la flota de cerco en algunos años. Se propuso dos alternativas: (a) la falla del reclutamiento para la zona CS, aunque se encontraron juveniles en aguas exteriores en el sur; (b) hay movimientos estacionales de juveniles y la falta de capturas de cerco es debido a que éstos se encuentran a mayor profundidad y no se han hecho disponibles para la flota de cerco.

Se discute la utilización de un mismo valor de capturabilidad (q) para la serie de evaluaciones de biomasa juveniles. Se indica que de estimarse un q para cada año, esto le quitaría la mayor parte de la información a la data.

**Uso de la flota pesquera como plataforma de investigación hidroacústica:
avances con el EBS pollock (Dr. Jim Ianelli)**

El área principal de esta pesquería de Pollock se extiende desde las islas Aleutianas, hasta la frontera oceánica entre USA y Rusia. Esto corresponde a una extensa área geográfica que debe ser monitoreada. Bienalmente se realiza una evaluación acústica, la cual usa como un índice relativo de abundancia. Por otro lado se realiza en forma anual una evaluación directa a través de área barrida. Una gran flota industrial opera sobre una extensa área geográfica durante un período largo de tiempo. Esto ha motivado a desarrollar un programa de monitoreo hidroacústico, utilizando las embarcaciones de pesca industrial como plataforma de trabajo. Hasta el momento la gran cantidad de información recolectada permite tener una mejor percepción de la distribución espacio temporal del recurso, pero esta información aun no ha sido directamente utilizada en las evaluaciones indirectas.

Con motivo del segundo taller los investigadores Giussi y Wöhler desarrollaron una detallada investigación para tratar de contrastar la hipótesis sobre una migración de reclutas desde el sur de la plataforma Argentina (asumiendo que los adultos de merluza de cola se reproducen al lado chileno) hacia zonas mas boreales.

UN INTENTO POR ESTABLECER PATRONES MIGRATORIOS DE LA MERLUZA DE COLA EN EL SECTOR SUR DE LA PLATAFORMA PATAGÓNICA ARGENTINA

Por

Analia R. Giussi & Otto C. Wöhler

Introducción

Los movimientos migratorios realizados por los peces han sido motivo de numerosas investigaciones en todos los mares del mundo. La facilidad en la interpretación de dichos movimientos no está sólo relacionada con el grado de complejidad del proceso, sino además, con la accesibilidad a la información y al conocimiento de los distintos eventos que se suceden en el ciclo de vida. En algunas oportunidades, la actividad extractiva producida por la pesca contribuye de manera significativa en la dilucidación de los patrones migratorios.

La merluza de cola es una especie demersal pelágica de amplia distribución (Angelescu & Gneri, 1960; Giussi, 1996), tanto en el Océano Atlántico como en el Pacífico (Arana, 1970), con interrogantes acerca de la unidad de los efectivos de ambos lados del Continente Americano. En el Atlántico Sudoccidental, la escasa evidencia en cuanto a la actividad reproductiva y a la imposibilidad de detectar áreas de cría de individuos juveniles de menos de un año de edad que sustenten los elevados valores de biomasa, hace suponer que las migraciones de la especie pueden ser sumamente relevantes, tanto por el número de peces que podrían estar

involucrados como por la importancia de los procesos que se llevarían a cabo. Ciertas evidencias demuestran que la especie desarrolla movimientos migratorios cuyo origen y finalidad se desconocen (Giussi, 1996), ya que la localización y dimensiones de las áreas de concentración del recurso suelen variar en el transcurso de las distintas épocas del año. Determinados procesos biológicos no han sido aún identificados en el Mar Argentino o la significativa ausencia de individuos pequeños pertenecientes al grupo de edad 0, por lo que se desconoce si pueden ocurrir en áreas no visitadas usualmente por los buques de investigación o por la flota comercial que opera en forma dirigida sobre el recurso (Hansen & Wöhler, 2003; Sánchez, 2004; Giussi, 2005). Por lo tanto, se espera que el análisis de la composición de longitudes de la merluza de cola en sentido latitudinal y en períodos mensuales, junto a la detección de individuos juveniles en ciertas áreas, contribuya a inferir o comprender en forma indirecta, acerca de la procedencia y desplazamiento espacial de dichos ejemplares, aportando información para conocer los movimientos migratorios del efectivo presente en el Mar Argentino.

Material y métodos

Los datos básicos fueron obtenidos en el marco del Proyecto Observadores a bordo de Buques Comerciales desarrollado por el INIDEP durante el año 2003. Fueron registrados datos de longitud total, medida al cm inferior, de los individuos capturados durante algunos de los lances de pesca que realizara cada buque durante las mareas. El período considerado se extendió entre los meses de enero a diciembre en las áreas visitadas por la flota comercial al sur del paralelo 48°S, incluyéndose la información de un total de 903 lances de pesca.

Las distribuciones de frecuencia de longitudes por lance se agruparon por grado de latitud y por mes a los efectos de detectar la direccionalidad de los posibles movimientos migratorios efectuados por la especie en el sector sudoccidental del Océano Atlántico. Dichas distribuciones se compararon gráficamente, identificándose, además, los valores modales.

A los efectos de reconocer las áreas y épocas en las que se concentran los individuos juveniles, el área total se dividió en cuadrículas de un grado de latitud por uno de longitud y se asociaron las distribuciones de frecuencias de longitudes obtenidas en forma mensual. Para ello se consideraron solamente los individuos menores de 40 cm LT, los que a su vez se reagruparon en dos rangos de longitudes, mayores y menores 30 cm LT. La división se realizó en dicha talla debido a que hasta esa longitud se identifican individuos de los grupos de edad 1 y 2, mientras que los mayores de 30 cm LT incluyen además el grupo de edad 3. Se consideraron para el análisis posterior aquellas cuadrículas en las que la presencia de individuos menores de 30 cm LT en la captura superó el 5 %.

Las distribuciones de frecuencias, en proporción por clase de longitud de 1 cm, que correspondieron a las cuadrículas seleccionadas previamente se analizaron a los efectos de establecer grupos homogéneos similares entre sí, mediante un análisis de agrupamiento jerárquico, utilizando el ligamiento de Ward y las medidas de la distancia Euclideana al cuadrado (Sokal & Rohlf, 1981).

Se realizó un seguimiento mensual de las distribuciones de frecuencias de longitudes incluyendo, además a los adultos, para identificar los meses en los que podría efectuarse la incorporación de los efectivos a la pesquería.

Resultados y Discusión

Las zonas visitadas variaron, durante el período anual, de acuerdo a las áreas de mayor concentración de la merluza de cola, por ser ésta generalmente la especie objetivo de la captura (Giussi, 2005) (Figura 123).

Análisis de las distribuciones de longitudes por latitud

Las distribuciones de frecuencia de longitudes anuales, correspondientes a cada latitud analizada, variaron de netamente unimodales hasta levemente polimodales (Figura 124). Dichas distribuciones de longitudes pudieron agruparse debido a la gran similitud que presentaron entre si, tanto respecto del rango total como de los porcentajes de cada intervalo de longitud.

Entre las latitudes de 48° a 50°S se observaron distribuciones bimodales. En ellas se detectó una moda correspondiente a juveniles de aproximadamente un año de edad, con un porcentaje variable de acuerdo a la presencia en cada latitud, observándose individuos de menores longitudes en la latitud de 50°S. La longitud modal fue de 40 cm LT en las latitudes 48° y 49°S, mientras en los 50°S fue cercana a los 35 cm LT. La segunda moda estuvo integrada en su mayoría por individuos de longitudes próximas a la primera madurez y adultos. En todas las latitudes el valor modal correspondió a los 62 cm LT, aproximadamente. El rango de longitudes observado en ese sector geográfico fue de 26 a 106 cm LT.

En la latitud 51°S se observó una distribución unimodal cuya moda fue 62 cm LT, aproximadamente, dentro del rango 20 a 106 cm LT. En esta zona se detectaron casi exclusivamente adultos, estando los juveniles presentes en muy baja proporción.

En las áreas que se extienden al sur de los 52°S las distribuciones fueron levemente bimodales. Si bien, las longitudes correspondientes a los adultos fueron las más notorias, los porcentajes máximos se encontraron cercanos al 5%. La presencia de juveniles fue escasa (1%) siendo más notorios a los 54°S, donde se observaron porcentajes similares a los de los adultos (2,8%). Los rangos de longitudes capturados se encontraron entre 19 y 113 cm LT.

Al sur de los 52°S y hasta los 56°S las distribuciones fueron levemente bimodales o polimodales. Si bien los adultos fueron más frecuentemente capturados, se observaron juveniles de pequeña talla representando hasta un 5% de las capturas. La presencia de juveniles fue escasa (1%) siendo más notoria a los 54°S, donde se observaron porcentajes similares a los de los adultos (2,8%). Los rangos de

longitudes capturadas se encontraron entre 19 y 113 cm LT. Los individuos más pequeños, de 19 cm LT, fueron capturados durante el mes de julio a los 55°S.

Análisis de las distribuciones de longitudes por latitud y por mes

Para el análisis mensual, tanto de las áreas visitadas como de las distribuciones de longitudes resultantes, no se contó con información de todos los meses del año. En los 48°S se obtuvieron muestras durante los meses de marzo, julio a septiembre, noviembre y diciembre. Las distribuciones de longitudes fueron variables en cuanto a la presencia de juveniles, observándose que los más pequeños aparecieron principalmente durante los meses de julio y agosto. Durante el mes de noviembre también fueron detectados, aunque las longitudes observadas fueron mayores (Figura 125).

En los 49°S se obtuvieron muestras de todos los meses del año, excepto de septiembre. Se detectaron principalmente adultos, mientras que un grupo muy importante de juveniles se observó durante el mes de junio. Otra moda de juveniles menos evidente y de longitudes levemente mayores se evidenció durante el mes de noviembre (Figura 126).

El área que se extiende entre 50° y 50°59'S fue visitada durante los trimestres primero y cuarto y en los meses de abril y julio. Los adultos y sub-adultos aparecieron en todos los meses analizados, excepto durante el mes de julio en el que se detectaron solamente juveniles, mientras que durante los meses de noviembre y diciembre, si bien se encontraron conjuntamente con los adultos, los porcentajes de juveniles fueron más elevados (Figura 127).

A los 51°S también fueron visitados los mismos trimestres que en la latitud que en la latitud analizada precedentemente y los meses de abril y mayo. Los juveniles de pequeña talla aparecieron en el mes de mayo y durante los meses de noviembre y

diciembre en porcentajes similares a los adultos. Las distribuciones de longitudes observadas evidenciaron una elevada similitud entre los meses en ambas latitudes. Se pudo notar el aumento de la presencia de juveniles a partir del mes de mayo y luego entre los meses de noviembre y diciembre (Figura 128).

En los 52°S se contó con muestras de todos los meses. Como fue observado en las latitudes anteriormente analizadas, las distribuciones de longitudes correspondientes al primer trimestre fueron unimodales con un rango de longitudes más acotado, y un valor modal de 55 cm LT. Los juveniles comenzaron a evidenciarse a partir del mes de mayo y hasta el mes de septiembre en pequeñas modas aunque independientes de las de adultos, que fueron más conspicuas. En los últimos meses del año, se detectaron individuos juveniles en porcentajes algo menores que los adultos, pero formando parte de la misma distribución, sin observarse la bimodalidad manifestada anteriormente. Durante el mes de diciembre se detectaron los mayores porcentajes de las menores longitudes observadas (Figura 129).

En la latitud 53°S, si bien no se contó con información de todos los meses, pues los meses julio y agosto se hallan ausentes en los muestreos, las distribuciones de longitudes evidenciaron ciertas peculiaridades. Fue notoria la presencia de juveniles durante el mes de marzo, mientras que en el resto del trimestre se encontraron solo adultos. Durante el mes de mayo aparecieron nuevamente los juveniles en moda separada de los adultos, en una típica distribución polimodal, mientras que en octubre y diciembre la presencia de juveniles se manifestó pero como parte de una distribución bimodal (Figura 130).

Las distribuciones de frecuencias de longitudes de la latitud 54°S fueron similares, pues durante el mes de marzo se detectaron juveniles de una manera muy notoria, evidenciándose adultos de longitudes y porcentajes variados en el resto de los meses analizados. Cabe destacar que la presencia de juveniles volvió a hacerse evidente entre los meses julio a diciembre en porcentajes variables, desconociéndose lo sucedido durante el mes de septiembre por falta de información. Es en esta latitud

donde se detectaron individuos juveniles en la mayoría de los meses, excepto durante el verano (Figura 131).

La elevada presencia de juveniles que se manifestara a partir de los 54°S se incrementó aún más y se adelantó temporalmente al sur de los 55°S. En esta latitud las menores tallas se detectaron a partir del mes de enero para evidenciar su máximo durante el mes de febrero. Entre los meses de abril y mayo solo se capturaron adultos para aparecer nuevamente juveniles, de mayores longitudes que en los meses anteriores, durante el período junio a diciembre, con diferentes rangos de longitudes y proporciones dentro de la distribución (Figura 132).

Al sur de los 56°S, lamentablemente la información fue la más escasa, pues solo pudieron analizarse los meses de mayo y junio y el período de octubre a diciembre. En los primeros se detectó mayor presencia de individuos adultos, mientras que en los tres últimos se evidenciaron además los juveniles, en un amplio rango de longitudes (Figura 133).

Áreas de concentración de juveniles

A los efectos de detectar posibles áreas de concentración de juveniles se analizaron separadamente los individuos menores de 40 cm LT por cuadrícula y por mes, observándose ampliamente distribuidos en distintas proporciones. De este grupo, los más pequeños, individuos menores 30 cm LT (de aproximadamente 1 año de edad) se detectaron al sur de la latitud 51°S en porcentajes variables y en la mayoría de los meses analizados. Así se observó que los mayores porcentajes se capturaron en los meses de febrero, marzo y diciembre en cuadrículas cercanas (Figura 134). En estas cuadrículas las menores longitudes aparecieron entre los meses de abril y julio en el sector más austral de su distribución, en la cuadrícula 55°S-65°W. Asimismo, en el mes de diciembre se hallaron en la cuadrícula 52°S-64°W.

El análisis de agrupamiento jerárquico asoció distribuciones de longitudes similares por cuadrícula, generándose tres grupos significativos. (Figura 135). El primero, (Grupo I), en el que aparecieron los individuos más pequeños, relacionados con los meses de septiembre y diciembre en las latitudes 52° y 53°S. El Grupo II, también evidenció juveniles pero en el sector sur (55°S) durante los meses de abril y julio. El Grupo III asoció distribuciones de tallas intermedias entre los meses de febrero y marzo, que podrían estar relacionadas más estrechamente con un desplazamiento de los efectivos (Figura 136).

En base a los resultados obtenidos a partir del porcentaje de individuos menores de 30 cm LT y el análisis de agrupamiento jerárquico, y con las limitaciones propias de los datos que fueron utilizados, podría suponerse el ingreso de individuos durante el primer semestre principalmente, y el posterior desplazamiento de los individuos en dirección norte, produciéndose una mezcla de estos ejemplares con los que permanecen en la plataforma todo el período anual. En los meses siguientes se encontraron más dispersos en dirección norte, aunque levemente asociados a sectores cercanos a la isobata de 200 m hasta los 51°S (Figura 137).

Debido a que la menor longitud capturada correspondió a 19 cm LT, cabría suponer que la incorporación de los individuos al área de distribución de la plataforma patagónica, ocurriría entre las edades de 1 y 2 años. Si bien con esta metodología no puede detectarse un patrón claro de ingreso de los individuos de merluza de cola a la plataforma sudpatagónica, mediante el análisis realizado surgen algunas evidencias que indicarían que esta incorporación de reclutas a la plataforma sudpatagónica de Argentina se produciría desde el sector más austral del Mar Argentino, en latitudes superiores a los 55°S, aunque no queda claro si se trata de un fenómeno estacional o si ocurre a lo largo de todo el período anual. En el caso de existir presencia de individuos de menores tamaños, como ha ocurrido en escasas oportunidades, la misma podría estar relacionada con reclutamientos extraordinarios (Giussi, 1996, Giussi et al., 1999), y no con los eventos comunes o periódicos que ocurren todos los años.

Análisis de las distribuciones de longitudes por latitud en las zonas de juveniles

Las composiciones de longitudes observadas por cuadrado estadístico localizadas al sur de los 55°S pudieron ser comparadas durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, ya que durante el resto del año la información estuvo fragmentada, y el seguimiento de las modas resultó complejo. Las cuadrículas consideradas fueron 5565, 5566, 5666 y 5667. En esas cuadrículas, las capturas correspondientes a los meses de octubre y noviembre evidenciaron distribuciones de longitudes similares. La presencia de juveniles y adultos, caracterizada por una marcada bimodalidad, se observó en los tres primeros cuadrados estadísticos, mientras que en la cuadrícula 5667, los individuos menores de 40 cm LT estuvieron ausentes (Figura 138).

En el mes de diciembre, en cambio, la presencia de juveniles resultó notoria en todas las cuadrículas, siendo más numerosos en la 5565 y en la 5667. Por lo tanto, si bien la coexistencia de individuos juveniles y adultos observada durante los meses analizados no permite asegurar la procedencia de los juveniles, cabría suponer que la incorporación de ellos al efectivo pesquero se realizaría a partir de algún sector cercano de las latitudes 55° y 56°S. La mayor presencia de juveniles durante diciembre, podría reflejar la incorporación de peces inmaduros desde el sur hacia menores latitudes. En alguna medida, este hecho podría estar favorecido por la disponibilidad de alimento en regiones localizadas más al norte, sobre la plataforma sudpatagónica argentina y en particular el sector de Bahía Grande (Sabatini et al., 2004) y por la fuerza y la dirección de las corrientes oceánicas del sector (Piola & Rivas, 1997). Aunque es sabido que los juveniles de estas tallas no son pasivamente transportados, puede suponerse que las corrientes imperantes en dicho sector favorezcan la movilidad de los cardúmenes.

Conclusiones

Sobre la base de las observaciones realizadas, el área total considerada en el presente análisis podría dividirse a partir de la latitud 53°S. Si bien existieron leves diferencias entre los mismos meses en las distintas latitudes, se observó que las composiciones de longitudes se repetían y permitieron esbozar un esquema preliminar de los movimientos migratorios realizados por al menos parte del efectivo. En el área norte (entre 48°S y 52°59'S) se observó que la presencia mayoritaria de adultos, si bien en distintos meses del año se observa la presencia de juveniles, aproximadamente de 2 años de edad (Giussi & Abachián, 2005), que pudieran estar relacionados con las áreas de concentración de individuos inmaduros localizada durante todo el año al norte de 48°S (Giussi et al., 2003).

En el área que se extendió al sur de 53°S, los juveniles, por lo general mayores de 1 año, suelen hacerse presentes en las capturas principalmente durante el primer trimestre. En este sector se evidenció un posible movimiento migratorio de estos individuos caracterizado por la aparición en el área desde el sur (55°S), con un leve desplazamiento de las clases de talla modales hacia valores mayores y en meses posteriores en dirección norte (entre los 54°S y los 53°S).

La amplia distribución de los juveniles y su baja proporcionalidad en las capturas comerciales dificultan la clara detección de los movimientos migratorios que realizan los mismos para incorporarse al área de distribución de los adultos. Debido a ello, no puede establecerse de manera confiable la época de reclutamiento ni dilucidar un patrón migratorio de manera certera. Hasta aquí no han sido considerados los factores abióticos ni tampoco los requerimientos específicos en cuanto a alimento se refiere, que podrán ser incorporados en análisis posteriores en la medida que se cuente con la información necesaria para el análisis.

Por otra parte, no puede dejar de mencionarse que la distribución de frecuencias de longitudes de la merluza de cola suele depender en gran medida de la

fuerza de las distintas clases anuales que se reclutan a la población, y que se han estimado como muy variables (Giussi & Wöhler, 2005), además de la segregación específica ocurrida en las distintas etapas del ciclo de vida.

5.5. OBJETIVO ESPECIFICO 5

Proponer y describir el procedimiento más adecuado (directo o indirecto) para evaluar el reclutamiento de merluza de cola en la zona centro-sur, indicando ventajas y desventajas; o, si procede, proponer modificaciones al método actualmente utilizado.

Reclutamiento de la merluza de cola

A pesar de un alto grado confusión en el uso de la palabra reclutamiento en los términos básicos de referencia, se puede desprender que se requiere de una metodología que permita estimar el reclutamiento (en forma absoluta o relativa) de toda la población de merluza de cola en la costa de Chile. Nosotros entendemos por reclutamiento como una fracción del stock juvenil (e.g. edad 1 = reclutamiento biológico) que se incorpora a la población en un proceso anual de renovación del recurso.

Modelo conceptual

A través de los resultados del presente proyecto se verificó que la data existente no corrobora la hipótesis de migración juvenil entre las zonas centro-sur y sur-austral. A la luz de la información existente, y por la falta de muestreos en la zona centro sur en otras épocas, la carencia de merluza de cola juvenil en la flota cerquera hacia fines del verano se podría explicar por un factor de intencionalidad de la flota durante la presencia del jurel y/o baja en la disponibilidad de la merluza de cola a esta flota fuera del período de surgencia.

La presencia de juveniles durante el año entre la X y XII regiones, sugiere que su distribución real se extiende a lo largo de la plataforma continental entre las regiones V y XII. Estimaciones presentadas por Pantoja et al (1973), durante el crucero de verano (Enero) entre Bahía Corral e isla Guablín, mediante la

metodología de área barrida, indican una gran abundancia de juveniles en la plataforma. Cualquier esfuerzo por tratar de generar un índice de abundancia para juveniles de este recurso, requiere de abordar el problema en su totalidad de la extensión geográfica. Si queremos desarrollar un índice solo para la zona centro-sur y desconocemos absolutamente la dinámica espacio temporal del recurso, entonces esta estimación se conectará al modelo de dinámica poblacional solo a través de grandes supuestos con muy poca base empírica.

Metodología utilizada internacionalmente

De la revisión bibliográfica sobre las metodologías empleadas internacionalmente para la estimación del reclutamiento, hay amplia ventaja de los métodos indirectos. Tanto en Argentina como Nueva Zelanda se utilizan modelos edad estructurados de distinto tipo para estimar la fuerza de las clases anuales. Ambos países además realizan en verano cruceros de evaluación directa mediante área barrida. Estos cubren una extensa área geográfica y consideran múltiples grupos de edad. En el caso Neocelandés se utiliza un diseño de muestreo estratificado y aleatorio para estimar todos los grupos de edad en zonas no reproductivas durante el verano y utilizando área barrida. Estos índices han demostrado ser los más consistentes en el tiempo, y su uso en la calibración de los modelos integrados se ha impuesto sobre las estimaciones hidroacústicas del stock desovante. En el caso de Argentina, la metodología de área barrida se ha venido aplicando desde hace bastante tiempo con buenos resultados. Es importante destacar que en ninguno de estos países se busca una metodología para estimar el reclutamiento, sino más bien el problema se aborda tratando de desarrollar índices consistentes que permitan calibrar satisfactoriamente el modelo integrado de abundancia poblacional.

Metodología propuesta para estimar el reclutamiento

Basado en los resultados obtenidos en el presente proyecto se propone que la estimación del reclutamiento de la merluza de cola se haga a través de *métodos indirectos*. Las fuentes de información disponibles consisten en lo indicado en la sección 4.3.5. La metodología de este enfoque quedará sujeta al modelo de evaluación de stock indirecto, debiendo ser lo suficientemente flexible para incluir múltiples fuentes de información que se generen en el tiempo, tanto del monitoreo de las pesquerías, como de evaluaciones directas. Dada la naturaleza del problema (metodología indirecta y su diversidad de piezas de información) se hace impracticable el cálculo económico de esta metodología.

Adicionalmente se propone que se implemente un crucero de investigación de verano, anual o bienal, que involucre toda la extensión geográfica del recurso (V-XII). Este no iría dirigido solo a la fracción juvenil, sino más bien a caracterizar la abundancia de todos los grupos etéreos en una amplia distribución geográfica. Esta evaluación sería una versión extendida de la evaluación realizada por Pantoja et al (1973). Esta metodología ha sido extensamente aplicada en Argentina y Nueva Zelanda con muy buenos resultados. Un enfoque de este tipo permitiría adicionalmente recolectar información sobre abundancia de otros recursos demersales, situación que la metodología hidroacústica no logra resolver apropiadamente cuando el grado de mezcla de las especies es muy alto.

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis bibliográfico llevado a cabo en esta revisión ha considerado casi exclusivamente los antecedentes recogidos sobre la distribución espacial de los distintos estadios de vida en especies de los géneros *Macruronus* y *Merluccius* (definidas en conjunto como “merluzas”), y su dinámica espacial y temporal durante su desarrollo ontogenético. Las principales razones por las cuales se ha incorporado el género *Merluccius* en esta revisión del género *Macruronus* tienen que ver con su similitud en el tipo de hábitat donde desarrollan su ciclo de vida, y por que ambos géneros son los principales y más abundantes de la familia Merluccidae, aún cuando no se debe dejar de mencionar que hoy en día continúa en discusión la cercanía filogenética entre ambos géneros (Lloris et al., 2003).

El ciclo de vida de las merluzas se encuentra fuertemente asociado a las masas de agua por sobre la plataforma, quiebre de la plataforma y borde superior del talud continental. Durante una parte de su ciclo de vida (específicamente a nivel de huevos y larvas), los individuos se distribuyen en la columna de agua a distintos niveles de profundidad, y a medida que su desarrollo ontogenético avanza, su vida se desarrolla más asociada al fondo. Este patrón de distribución batimétrica y desarrollo ontogenético es lo que permite definir al grupo como de hábito pelágico y demersal.

El desove de las merluzas ocurre, en general, en el borde inferior de la plataforma y quiebre de la misma, de tal manera que durante el primer tiempo de vida los huevos se encuentran en torno a la región de puesta. Posteriormente, los huevos de mayor edad y las larvas pueden mantenerse en la columna de agua, aunque en un rango batimétrico más amplio, o ser transportados advectivamente hacia aguas más someras por sobre la plataforma. En el primer caso, la estrategia de la especie consiste en que las larvas en estado de post-flexión y los individuos pre-reclutas nadan hacia aguas por sobre el borde de la plataforma para ser transportados desde

ahí hacia la costa, lugar donde se produce el proceso de reclutamiento biológico a la población.

Dependiendo de la batimetría del fondo y de las condiciones hidrográficas, las áreas de crianza pueden localizarse a una distancia más cercana o alejada de la zona de puesta. En estas áreas de crianza se alimentan y desarrollan las edades más juveniles, aún cuando también pueden permanecer grupos de edad más viejos pero siempre con una proporción menor en comparación a las edades más tempranas. La excepción ocurre cuando se produce una clase anual fuerte la cual pueden dar cuenta de una fracción importante de la abundancia tanto en número como en peso durante varios años consecutivos. Los individuos adultos están más ampliamente distribuidos y presentan áreas de alimentación distintas y alejadas de aquellas donde se alimentan los ejemplares más jóvenes.

Entre las áreas de desove, crianza y alimentación, las merluzas realizan migraciones estacionales, cuya amplitud está fuertemente ligada a los patrones de circulación de las masas de agua donde desarrollan su vida. La extensión de estas masas de agua influye directamente sobre el tamaño del área de distribución, condición que favorece la generación de grupos que si bien mantienen un flujo génico que permite identificarlos como una misma población genética, pueden presentar distintos patrones de crecimiento y tasas de sobrevivencia, características a partir de las pueden ser reconocidos como diferentes poblaciones ecológicas, las que en estricto rigor deberían estar sujetas a distintas tasas de explotación.

Las mayores diferencias entre *Macruronus* y *Merluccius* están determinadas por la estrategia reproductiva. En el primer género, las especies exhiben un solo período con actividad reproductiva el cual termina con una estación desove de aproximadamente 2 meses; mientras que los representantes del segundo género presentan actividad reproductiva durante todo el año con 1 y 2 eventos de desove (excepto algunos casos puntuales, i.e. merluza del sur). Lo anterior se debe a que en el proceso de maduración ovárica de *Macruronus* una sola moda de ovocitos va

madurando sincrónicamente durante todo el período de desarrollo. En cambio, en *Merluccius* varias modas de ovocitos van madurando asincrónicamente al interior del ovario, de tal manera que se pueden generar varias tandas de desove en el transcurso de un año. Esta estrategia reproductiva en *Merluccius* sería el resultado de un proceso evolutivo adaptativo que conduce a la población a mantenerse a lo largo del tiempo (Heath, 1992). Esto podría explicar la amplia distribución espacial que presenta el género en aguas de prácticamente todos los océanos del mundo.

Esta estrategia reproductiva también le ha permitido a *Merluccius* habitar el ambiente asociado a la plataforma continental bajo distintas condiciones batimétricas e hidrográficas, que en el caso de *M. merluccius* ha llevado a identificar por lo menos cuatro poblaciones separadas, las cuales presentan disímiles áreas de desove, crianza y alimentación, y con patrones poblacionales del mismo modo diferentes.

La estrategia reproductiva en *Macruronus* es menos plástica en comparación con *Merluccius*, sin embargo, al interior del área de distribución de cada especie se pueden encontrar poblaciones genéticamente distintas como es el caso de “blue grenadier” en Australia y Tamanca, y “hoki” en Nueva Zelandia. En esta última población se distinguen, además, dos stocks con áreas de desove separadas y desiguales patrones de migración.

Estos antecedentes permiten plantear que en el área de distribución de *M. magellanicus* existen por lo menos dos áreas de desove, una de estas claramente identificada en el Pacífico Suroriental entre Islas Guafo y Guablín, y a lo largo de la costa en la zona más austral de Chile, esta última posiblemente conectada con el stock del Atlántico. De ser así, estas áreas de desove deberían estar asociadas a diferentes áreas de reclutamiento, una de las cuales se presenta en la zona centro-sur/sur-austral de Chile y la otra en el Atlántico. Sin embargo, los antecedentes hasta ahora aportados por los proyectos de investigación realizados en ambos lados del continente no permiten explicar la ausencia en determinados años del grupo de edad 1, el cual tiempo después aparece representado en la pesquería con una edad mayor.

Sin duda aún quedan determinar muchas más piezas de información que permitan establecer de mejor manera el patrón de distribución espacial de *M. magellanicus* durante su ciclo de vida.

El “hoki” es una especie demersal que durante gran parte de su vida se encuentra asociado a las masas de agua por sobre la plataforma y quiebre de la plataforma continental del área donde habita. El desove se produce en aguas profundas entre el borde de la plataforma, quiebre de la plataforma e incluso el borde superior del talud continental, en una época del año donde las condiciones hidrográficas favorecen el movimiento de las masas de agua desde esta área hacia la región más costera, facilitando el transporte de los productos del desove hacia zonas donde la productividad es mayor en comparación con el sitio de puesta. Esta estrategia de desove aumenta la sobrevivencia de larvas, post-larvas y juveniles tempranos de “hoki” al tener la posibilidad de desarrollar sus primeros estadios de vida en áreas donde el alimento es abundante.

La fuerza de las clases anuales del “hoki” se ve aumentada cuando las condiciones climáticas durante la estación de puesta mejoran aún más el transporte neto de agua desde la zona de desove hacia la costa, y adicionalmente, incrementan la productividad de aquellas especies del fito y zooplancton importantes en la dieta de sus primeros estadios de vida.

Los antecedentes anteriormente expuestos sobre el ciclo de vida, dinámica espacial y factores ambientales que favorecen el reclutamiento del “hoki”, sugieren que las hipótesis que explican de mejor manera la estrategia, su vida y la fuerza de las clases anuales son aquellas relacionadas con el transporte de los productos del desove hacia zonas en promedio de mayor productividad en comparación con la áreas de puesta. Entre estas se pueden citar: la Hipótesis de la Triada de Bakun y la Hipótesis del Área de Retención larval.

Si bien, la sobrevivencia de larvas y post-larvas depende en última instancia del alimento consumido, las hipótesis relacionadas con el transporte son más adecuadas para explicar la variabilidad en el reclutamiento del “hoki” en comparación con las hipótesis de predación, ya que la estrategia del desove en esta especie es favorecer el transporte advectivo hacia la costa, mecanismo que aunque también favorece una mayor productividad en aguas costeras, no necesariamente debe transportar los productos del desove hacia zonas donde la productividad es máxima. Lo anterior se sustenta en los resultados reportados por Murdoch (1990), quien indica que las larvas de “hoki” recién eclosionadas están adaptadas para alimentarse en condiciones de baja densidad de alimento y que su sobrevivencia aumenta a medida que existe un mayor transporte hacia la costa.

Los resultados del presente estudio han permitido, mediante la recopilación de información antes dispersa en bases de datos e informes técnicos o bien no existente hasta la fecha (proyectos en ejecución), ampliar nuestro conocimiento de una serie de aspectos sobre la biología y ecología de *M. magellanicus*. En particular, se ha obtenido nueva información sobre meses de desove en la zona sur-austral de Chile, ubicación de las zonas de desove a lo largo de Chile, posibles cambios de distribución entre zonas de desove y crianza, y sobre la distribución vertical de huevos y larvas y características hidrográficas de algunas áreas de desove específicas.

Es interesante destacar que la posición latitudinal de la CDO tiene un ciclo decadal y que la fuerza de las clases anuales de la merluza de cola también ha mostrado un ciclo de aproximadamente 10 años. La serie de reclutamiento proveniente de la calibración del modelo edad estructurado de la merluza de cola Argentina también tiene una señal de entre 8-10 años. Esto podría estar relacionado, en el caso de Argentina, con una señal de baja frecuencia propia del sistema Atlántico, o indicar que la fuerza de las clases anuales de merluza de cola Argentina está regulada por las señales en el Pacífico. Los niveles de correlación de la serie

para un desfase de 2 años es bastante alto (-0.8), lo cual motiva futuras iniciativas para tratar de entender las causalidades que regulan este proceso.

Es inevitable preguntarse sobre cuales serían los mecanismos que pudiesen explicar las asociaciones encontradas entre la posición latitudinal de la Corriente de Deriva del Oeste y el reclutamiento de merluza de cola. Se pueden plantear algunas hipótesis, tales como: (H1) La posición de la Corriente de Deriva del Oeste afecta la dinámica de importe / exporte de huevos y larvas entre los canales australes y la zona exterior produciendo cambios significativos en la sobrevivencia de estadios tempranos; (H2) La posición de la Corriente de Deriva del Oeste afecta los patrones migratorios de los ejemplares adultos del stock variando la importancia relativa de las distintas zonas de desove. Esto último podría estar relacionado con la sobrevivencia posterior de huevos, larvas y juveniles de merluza de cola.

Livingston (2000) y Bull & Livingston (2001) investigaron la correlación entre fuerza de las clases anuales de “hoki” de Nueva Zelanda y factores abióticos. Estos autores concluyen que condiciones favorables para la sobrevivencia larval del stock oeste estarían correlacionadas con anomalías negativas en el Índice de Oscilación del Sur durante otoño. El flujo hacia el oeste (zona de fiordos de Nueva Zelanda) estaría relacionado con esta señal de baja frecuencia.

Los resultados del Objetivo 1 nos señalan que *M. magellanicus* no desovaría en la zona central de Chile (V a X Región-exterior) al menos durante los meses de Agosto y Septiembre, meses bien cubiertos espacialmente al menos hasta una profundidad de 100 m. En la zona costera entre Bahía Concepción y la desembocadura del Río Itata (área monitoreada todo el año), tampoco se observó evidencia de desoves. En la zona sur austral se observó desoves entre los meses de Agosto y Noviembre. Como la data existente sólo cubre esos meses, se desconoce si existiría o no desove en otro momento. Las máximas abundancias de huevos ocurrieron en el mes de Agosto en la XI Región. Dada la limitada data sobre la XII Región, se desconoce si más al sur este mes coincide con el máximo desove, sin

embargo, la data de larvas de la XII Región muestra valores tan altos como los observados en Agosto en la XI Región.

La información utilizada para el Objetivo 3 (zonas de retención o migración ontogenética entre huevos y larvas) fue muy limitada dado que no hubo cruceros en meses consecutivos en ningún año. Sin embargo, los resultados de los análisis de distribución entre huevos y larvas durante un mismo mes (especialmente Agosto 2003 en la XI Región), permiten esbozar al menos un par de hipótesis que darían cuenta de la inexistencia de altas abundancias de huevos en el sector externo a los canales así como la mayor abundancia de larvas en ese mismo el sector. Una primera hipótesis dice relación con un probable desove en profundidades mayores a las muestreadas en el crucero de Septiembre-Octubre 1996 (250m), y que sería seguido por el ascenso de las larvas recién eclosionadas hacia estratos más someros. Apoyo para esta hipótesis podría provenir de observaciones de hembras desovantes a mayores profundidades en la zona exterior a los canales de la XI Región (Informes FIP previos). Muestreos ictioplanctónicos estratificados a mayor profundidad permitirían contrastar esta hipótesis en el futuro. Una segunda hipótesis dice relación con el posible desove en la zona de los canales y el potencial desarrollo posterior de las larvas tanto en los canales como en la zona externa adyacente. Apoyarían esta hipótesis las observaciones de distribución a lo largo de los canales transversales de la XI Región, así como los rangos de temperatura y salinidad en que huevos y larvas fueron observados en los mismos canales (huevos en menores temperaturas y menores salinidades que las larvas; Objetivo 4). En la región sur de Australia se ha documentado que otras especies de *Macronurus* (*M. novazelandiae*) son transportadas en sus estadios larvales desde áreas de desove ubicadas en la costa oeste de Tasmania hacia hábitats a lo largo de las costas este y sudeste (Thresher et al., 1988). Adicionalmente, también se ha observado en latitudes menores (37°S) de la costa este zonas en con larvas de *M. novazelandiae*. De los análisis de edad y crecimiento larval, en conjunto con modelos de circulación, se pudo constatar que las larvas fueron probablemente advectadas desde la zona de eastern Bass Strait, región ubicada más al sur al área de colecta de larvas (Bruce et al., 2001). En la actualidad

se desconoce si este cambio de hábitats via transporte pasivo por corrientes es una característica de el género *Macruronus* durante los primeros estadios de desarrollo. Análisis de correntometría, de distribución de huevos y larvas en conjunto, así como de determinación de edades larvales permitirían en el futuro probar estas hipótesis para *Macruronus magellanicus* en la zona sur austral de Chile.

En Chile y Argentina se reconoce una sola unidad taxonómica de merluza de cola, la cual pertenece al Orden Gadiformes y Familia Macruronidae. La especie presenta una amplia distribución geográfica bordeando el cono sur de América del Sur, desde los 37°S en el Atlántico hasta Coquimbo en Chile, y extendiéndose hacia los montes submarinos Bajo O'Higgins frente a Chile, así como en las Islas Malvinas en el Atlántico. A su vez, estudios genéticos confirman la existencia de una sola unidad poblacional de merluza de cola en el área de distribución frente a Chile (Galleguillos et al., 1999).

Sin embargo, se desconoce la conectividad entre las fracciones que explota la unidad de pesquería pelágica de la zona centro-sur y sur-austral de Chile, y a su vez con la fracción explotada en Argentina.

La estructura poblacional sugiere una segregación batimétrica entre la fracción juvenil (aquella menor a 55 cm de longitud total) y la adulta, con los juveniles habitando la columna de agua más superficial, entre la capa de mezcla y aproximadamente los 150 m de profundidad. En primavera-verano, la fracción juvenil incrementa su disponibilidad en aguas superficiales, lo que favorece a la pesquería pelágica de cerco de la zona centro-sur.

Se ha postulado una migración estacional de la fracción juvenil de merluza de cola en primavera, desde la zona sur-austral hacia el norte. Las observaciones que sustentan esta hipótesis se encuentran en la fuerte estacionalidad de la pesquería de cerco, con mayores rendimientos asociados a la estación de surgencias costeras, y la

dominancia de la fracción juvenil en la estructura de tallas de las capturas de esta flota.

Si la flota industrial de cerco opera sobre el pulso de juveniles que migra desde la zona sur-austral hacia el norte, se esperaba encontrar que el centro de gravedad de las capturas de esta flota migrara hacia el norte conforme avanza la estación de pesca. Se esperaba que los centroides, un mes, dos meses y al final de la temporada se distribuyera consistentemente bajo una línea de 1:1 al momento de graficar la latitud de los centroides 1, 2 meses y al final de temporada respecto del inicio de temporada. Algunos años sugieren tal comportamiento, pero en general los centroides parecen ser bastante estacionarios. Es probable que los resultados estén influenciados por los cambios en la estructura de la flota. Entre 1986 y 1991, operaban embarcaciones con una capacidad de bodega menor a 700 m³. A partir de 1992-93, la capacidad de bodega se incrementó hacia embarcaciones de más de 800 m³. Esta situación explica el núcleo casi permanente de operación frente a la VIII Región entre 1986 y 1991-92, con centroides bastante estacionarios. Las embarcaciones de mayor tamaño y autonomía, determinaron una mayor variabilidad en los centros de gravedad los que se desplazaron al sur de los 37°10'S y no más allá de los 39°S. En consecuencia, la estructura y dimensión de la flota puede estar afectando los resultados obtenidos, y han obscurecido cualquier patrón que pueda detectarse de estos datos.

En el periodo 1997-2003, la estructura de tallas analizada por cada grado de latitud revela que al norte de los 37°S se presenta una mayor incidencia de ejemplares mayores a los 55 cm, pero siempre dominando la fracción de juveniles. Una situación similar ocurre al sur de los 39°S. Solamente entre los 37° y 38°S una moda bien evidente de juveniles centrada en los 40 cm LT domina en la estructura de tallas. Por lo tanto, en los datos de frecuencia de tamaños de la flota de cerco no se observa algún patrón que permita sugerir un desplazamiento modal conforme la estación de pesca progresa.

Al respecto, la observación de una progresión de la talla modal juvenil en un sentido sur-norte se observó solamente en el estudio de evaluación acústica FIP 99-06 (Lillo et al., 2000), pero el estudio también revela que la fracción juvenil es importante al sur de los 40°S en primavera. Otras observaciones, como la pesca de investigación de captura de merluza de cola con red de media agua realizado durante el 2003 y 2004 (Melo et al., 2004), evidencia que la fracción adulta está presente durante todo el año en la zona centro-sur. Asimismo, debido a que en la fracción más juvenil, grupos de edad 2 al 5, se han observado en la zona centro-sur el paso de clases anuales fuertes a través de la estructura de edades revela que la fracción juvenil también permanecería a lo largo del año en la zona (Barbieri et al., 2003). El hecho que tal proceso no se observe en otras estaciones (otoño-invierno), se podría deber al hecho de las capturas más oceánicas que realiza la flota sobre el jurel y/o cambios en el comportamiento y estructuración de las agregaciones y cardúmenes de merluza de cola juvenil.

En consecuencia, aparentemente la hipótesis de una migración estacional de merluza de cola no sería adecuada en términos de la estructura poblacional de la especie, habiendo presencia de juveniles y de adultos en todo el rango distribucional. Más bien, se postula que la presencia de juveniles en la pesca de cerco, durante primavera, se debe solamente a un incremento en su disponibilidad por razones tróficas. En efecto, en dicha época ocurre un incremento importante en los eventos de surgencia costera y, por ende, una mayor productividad biológica (Arcos y Navarro, 1986; Daneri et al., 2000).

En relación con la estructura poblacional, se postula que la fracción juvenil se segrega de la fracción adulta en función de la profundidad de la columna de agua. Los juveniles habitarían el estrato de 0 – 150 m de profundidad, y conforme se acercan a la talla de primera madurez, irían migrando ontogenéticamente hacia aguas más profundas y a su vez, estableciendo una asociación más estrecha con el fondo (hábitos demersales). Se desconoce si la merluza de cola que habita bajo los 300 m en la zona centro-sur migra hacia el área principal de desove localizada en Guambllín.

Los procesos biológicos que permitirían la segregación espacial entre la fracción juvenil y adulta del stock se podría deber a: i) comportamiento trófico, relacionado con la mayor productividad que se da en los frentes oceánicos de surgencia frente a Chile centro-sur; ii) intensificación de la rama costera del sistema de corrientes de Humboldt o cambios interanuales en la Corriente de Deriva del Oeste; y iii), escape de depredadores, lo que implica evadir el impacto del canibalismo por la fracción adulta y la depredación por merluza del sur.

El análisis espacio-temporal de los peces “maduros y en desove”, indica que el proceso de reproducción en merluza de cola ocurre a lo largo de la costa de Chile sobre el talud continental, formándose varias agregaciones de desove con diferencias temporales en su ocurrencia. Esto indica que no existe una sola gran área de desove como se ha postulado, si no que por el contrario se trataría de un proceso desgregado, que ocurre en varias áreas a lo largo de su distribución en la costa de Chile.

Nosotros hemos distinguido una gran área entre Chiloé y península de Taitao, constituida por agregaciones menores y, dos áreas en el extremo sur de Chile frente a la boca occidental del Estrecho de Magallanes (52° a 54° S) y una más Austral (entre los 56° y 57° S). La formación de estas agregaciones reproductivas no es simultánea, si no que por el contrario existe una variabilidad temporal importante de considerar. Primero se conforma la agregación en el extremo sur de Chile en mayo y junio de cada año, posteriormente en forma paulatina se van formando las agregaciones de más al norte, de manera que entre julio a septiembre, toman importancia las agregaciones reproductivas de Chiloé, Isla Guamblin y un probable foco al sur de Isla Mocha.

La importante presencia de peces “maduros y en desove” en otoño en la parte sur-austral, no debiera extrañarnos si se considera que peces en avanzado estado de madurez en el área al sur de la boca occidental del Estrecho de Magallanes, deberían viajar una distancia considerable a desovar al área de Isla Guamblin, pensando en el

enorme gasto energético que significaría para un pez, que por su anatomía, no parece estar diseñado para efectuar largas y rápidas migraciones. Por otro lado, no se pueden soslayar los antecedentes aportados por Analía Giussi del Instituto de Nacional de Investigaciones Pesqueras de Argentina, en el taller de trabajo de este mismo proyecto en Concepción, quien indicó: i) que después de varios años de investigación, no han encontrado áreas de reproducción importantes en las aguas jurisdiccionales de su país, que sustenten la abundancia y la pesquería Argentina, ii) que investigadores del INIDEP identifican dos probables áreas de reproducción de la merluza de cola en el mar Argentino, independiente de la que ocurriría en el sector de Malvinas (Midleton et al., 2001), la primera ubicada en los 32-34 ° S y la segunda prácticamente en la frontera con Chile en los 55° S (Figura 139), iii) que han detectado larvas de merluza de cola en la zona fronteriza con Chile específicamente en la Zona exterior de Canal Beagle, suponiendo que estas podrían provenir de algún área cercana o probablemente desde el lado chileno (Figura 140).

La presencia huevos y larvas, derivados de una serie de proyectos CIMAR-FIORDO, en conjunto con las corrientes que ocurren en la zona de Guamblin avalan la presencia de una zona reproductiva en dicha área, lo cual no ocurre con el área “al sur de Isla Mocha”, donde los estudios de ictiopláncton no han detectado la presencia de huevos y larvas de merluza de cola. Respecto de las áreas más australes no podemos decir lo mismo, pues existe una carencia de estudios en esa línea que permita testear su presencia de dichos estadios en esas áreas.

Los resultados encontrados indican que la hipótesis de una sola área reproductiva más que a una realidad obedece a una sobre simplificación del proceso y del ciclo de vida de merluza de cola en Chile. El proceso reproductivo parece ocurrir a lo largo de la costa sobre el talud, con evidentemente, varias agregaciones que difieren en el espacio y en el tiempo. La importancia, relativa de cada una de estas agregaciones no está clara, y es una tarea que debe ser enfrentada con prontitud, ya que del conocimiento de procesos básicos como el reproductivo también depende el adecuado aprovechamiento, manejo y conservación de nuestros recursos.

Bajo el supuesto de que las biomazas estimadas por el modelo de evaluación indirecta son las correctas, entonces las estimaciones hidroacústicas tienden a subestimar la biomasa de juveniles. De esta forma las estimaciones hidroacústicas representarían sólo una fracción de la biomasa de los grupos 2-4 o 2-6 (ver resultados A1-3, B1-3, C1-3). Esto podría explicarse a través de disponibilidad a la edad o un factor de vulnerabilidad proporcional para todo el grupo (q). Estas diferencias no son despreciables (3 a 4 veces dependiendo de los escenarios y biomazas estimadas).

Tomando en consideración las limitaciones de todas las fuentes de información, se hace obviamente cuestionable la veracidad de los resultados obtenidos por la calibración indirecta. No obstante los escenarios básicos, pero contrastantes que aquí se presentan, indican claramente que las estimaciones de biomazas de juveniles no representan ni a la totalidad de ciertos grupos de juveniles, ni a un índice consistente interanualmente. Esto motivaría el uso de selectividades variables y coeficientes de disponibilidad variables entre años. Si en el modelo de estimación se incorporan ambos procesos (estimación de selectividades y capturabilidades variables) se postula que estas piezas de información aportarían muy poco a las capacidades de capturar la dinámica de este recurso. El hecho de tener selectividades variables en el tiempo, enmascarar la señal de la fuerza relativa de las clases anuales, sobre todo en los últimos años.

Las ponderaciones consideradas en el caso A son más realistas que los otros escenarios o lo adoptado por Paya et al. (2004). Estimaciones relativas o absolutas de abundancia en datos pesqueros tienen que ser excepcionalmente buenas para que tengan un coeficiente de variación menor al 20%. Habría que reanalizar esta información con el objetivo de obtener no solamente las estimaciones puntuales, sino la incertidumbre asociada.

Los datos de estructura de edad requieren probablemente también de una inspección detallada o reanálisis respecto de las ponderaciones por área y tiempo, al momento de construir la estructura de edad para una pesquería en un año en particular. Se sugiere además que se investigue el error asociado a las asignaciones de edad, factor que puede estar influyendo en la homogenización horizontal de las cohortes en las distintas pesquerías.

Bajo estas condiciones se duda del aporte real que pueda tener este índice en la calibración global del modelo de evaluación indirecta. Es importante señalar que no se duda de la importancia de un buen índice de abundancia relativa como herramienta predictiva en un modelo de calibración indirecta, sino más bien de las características reales del índice de juveniles disponible para la merluza de cola.

Estos resultados (subestimación de biomasa del índice hidroacústico) estarían además en concordancia con lo obtenido en la sección de revisión estadística.

Desde el punto de vista de la estadística, el principal problema del crucero hidroacústico de juveniles de merluza de cola es la indeterminación en el tamaño y número de las agregaciones en el eje norte-sur. Esto nos ha obligado a realizar nuestros análisis y simulaciones condicionalmente a que la variación espacial es la misma en el eje norte-sur así como es en el eje este-oeste. Considerando esta condicionalidad, tanto las simulaciones del stock juvenil como nuestros análisis con geoestadística convencional y nuestros análisis geoestadística basada en la función de verosimilitud (escenario de agregaciones conectada en el eje norte-sur) apuntan a un stock del orden de 30 millones de toneladas, dos órdenes de magnitud superiores a la estimación del IFOP. Esto se debe a que en los tres resultados citados se ha supuesto que la gran área no observada entre transectas contiene tantas agregaciones y del mismo tamaño como la fracción observada en las transectas. Cuando realizamos presunciones más conservadoras respecto de lo que ocurre en las áreas no observadas entre transectas, de todas maneras nuestros análisis apuntan a biomazas más altas que las de IFOP, un orden de magnitud más altas,

cerca de 3 millones de toneladas en ambos años. Es aparente que los resultados obtenidos por IFOP en ambos proyectos son cuestionables, más que por los métodos de análisis empleados, por el diseño de muestreo, que cubre un área demasiado grande con demasiado pocas transectas, cuya configuración espacial provoca indeterminación en uno de los aspectos claves de la estimación. Es necesario aumentar el número de transectas y/o modificar el diseño de muestreo para resolver el problema de la biomasa de merluza de cola juvenil en la zona centro-sur.

Respecto de las preguntas básicas planteadas en la simulación: (1) Es posible obtener una estimación insesgada de la biomasa de merluza de cola juvenil utilizando el diseño de tracks sistemáticos, paralelos y aproximadamente equidistantes que ha sido utilizado en los proyectos de 1999 y 2001?, (2) es posible ganar en la descripción de la forma de las agregaciones en el eje norte-sur sin perder mucho insesgamiento al aplicar un diseño de muestreo adaptativo en lugar de un diseño sistemático?, y (3) ¿queda bien cubierta toda el área planeada de prospección al aplicar un diseño adaptativo sin aumentar el número de transectos? Condicional a (a) los parámetros estimados en el análisis geoestadístico basado en la función de verosimilitud (incluyendo la indeterminación de la variación espacial en el eje norte-sur), (2) la geometría del área cubierta, y (3) la probabilidad observada de obtener valores positivos de densidad, la respuesta a la pregunta (1) es SI, la respuesta a la pregunta (2) es SI, y la respuesta a la pregunta (3) es NO. El primer SI sin embargo es cuestionable porque se ha debido suponer que el tamaño y frecuencia de las agregaciones en las áreas no observadas entre transectas fueron idénticos a lo observado en las transectas, con demasiado pocas transectas para un área muy extensa.

Los resultados de la simulación demuestran otros dos aspectos potencialmente útiles. Si se utiliza un diseño adaptativo para intentar observar la variación espacial en el eje norte-sur, se consigue una estimación de biomasa tan buena como la de un diseño sistemático pero observando solo la mitad del rango latitudinal. Tomando en cuenta que la realización de transectas vecinas en el diseño adaptativo disminuye los costos

de navegación, es muy posible que se pueda cubrir la mayor parte del área planeada de prospección aumentando el número de transectas. Nosotros no tuvimos información sobre los costos de navegación así que tuvimos que suponer que las restricciones presupuestarias del proyecto de evaluación hidroacústica hacían fijo el número de transectas. Pero si el número de transectas en un diseño adaptativo puede ser incrementado, respecto de un diseño sistemático, gracias a los ahorros en navegación, entonces el diseño adaptativo puede ser tan bueno como el diseño sistemático en términos de insesgamiento y de cobertura del área planeada de prospección. El segundo aspecto es que con el diseño adaptativo se obtienen varios casos de transectos uno junto a otro, y eso permitiría de hecho estimar el tamaño de los cardumenes y la frecuencia de su presencia en el eje norte-sur. Tomando en cuenta entonces que un diseño adaptativo puede ser tan bueno como uno sistemático en la cobertura del área planeada de prospección y que permitiría resolver la indeterminación de la variación espacial en el eje norte-sur, resulta recomendable investigar la alternativa de realizar cruceros hidroacústicos de diseño adaptativo.

Hemos identificado varias, posiblemente todas, las fuentes de incerteza en la estimación de la biomasa con un crucero hidroacústico y hemos proporcionado una metodología para transportar esas fuentes de incerteza de manera objetiva y matemáticamente simple, hacia la varianza de estimación de la biomasa. La aplicación de este enfoque, que 'sinceraría' el coeficiente de variación reportado para el estimado de biomasa, requiere de un esfuerzo de programación que está más allá de los alcances de este proyecto. En efecto, es necesario alterar el código fuente del paquete geoR para incorporar la matriz $\hat{\Psi}$ en la función de log-verosimilitud. Esto es posible, pues geoR, and R, es software libre, y los códigos fuentes son accesibles. En este caso se trataría de una generalización de geoR para incluir el caso en que hay 'error' en la determinación de la variable regionalizada.

La revisión de la metodología hidroacústica empleada en los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21 indica deficiencias principalmente en los siguientes temas: (1) uso de múltiples plataformas de trabajo, (2) fuerza de blanco, (3) actividades diurnas y

nocturnas en el muestreo, (4) especificación de los criterios en la determinación del número y posición de lances exploratorios, (5) logística de muestreo bajo la hipótesis de migración estacional. Tanto los cruceros hidroacústicos y los de área barrida en la pesquería neocelandesa de hoki como la evaluación hidroacústica trienal de la merluza de pacífico norte muestran una fuerte tendencia a utilizar una única plataforma de trabajo, o en el caso de utilizar dos, se someten a intensos procesos de intercalibración. El crucero del año 2001 se realizó a bordo de 4 embarcaciones pesqueras con distintas características. Además del problema que se genera para poder comparar los resultados obtenidos en cada una de las áreas visitadas durante ese año, se hace difícil comparar el estadístico de biomasa con la estimación del año 1999. Se recomienda fuertemente la utilización de una plataforma estándar de trabajo tanto para evaluaciones hidroacústicas como área barrida.

La utilización del modelo de fuerza de blanco de Do y Surti (1990) es cuestionable debido a que es una metodología basada en un modelo, cuyas características proviene fundamentalmente de individuos en condición reproductiva. Es sabido que la condición fisiológica afecta la fuerza de blanco, por ende se recomienda realizar un estudio in situ para esta especie en el area centro-sur.

Livingston et al (2002) señalan que existe un claro efecto diurno-nocturno en la capturabilidad del hoki neocelandes (utilizando área barrida en zona del Chatham rise), pudiendo haber al menos un factor de 1.6 entre día y la noche. De tal forma que estos investigadores recomiendan realizar los lances sólo durante el día, para generar información comparable. Este factor fue ignorado en las evaluaciones o por lo menos no quedo formalmente explicitado la forma en que se abordó este problema.

A la luz de los resultados obtenidos en los proyectos FIP 1999-06, 2001-21 y 2002-07, y de la estructura de edades presentes en las capturas de las 3 pesquerías (Payá et al 2005) se pone en tela de juicio la representatividad de las evaluaciones directas hidroacústicas en la zona centro-sur como estimaciones de juveniles y se propone reevaluar el contexto de las estimaciones directas hidroacústicas en la zona

centro-sur. Las estimaciones de abundancia de los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21 abordan una fracción juvenil de edad variable y no constituyen una estimación de reclutamiento de la población. En otros sistemas (Nueva Zelanda y Argentina) el reclutamiento se estima a través de métodos indirectos, utilizando múltiples fuentes de información. Para el caso de Nueva Zelanda se realizan estimaciones de abundancia en invierno y verano, dirigiéndose esta última a una fracción de la población que abarca múltiples grupos de edad y una amplia extensión geográfica.

A raíz de los resultados de este proyecto se recomienda que la estimación del reclutamiento de la población de merluza de cola se realice a través de métodos indirectos y que se instaure un crucero de estimación de abundancia (de preferencia área barrida) en verano que cubra las zonas centro-sur y sur-austral.

De esta forma se podrá además avanzar en la caracterización espacio temporal del recurso, para ir consolidando un modelo conceptual de dinámica para este recurso.

7 CONCLUSIONES

- El ciclo de vida de las merluzas (*Macruronus* y *Merluccius*) se encuentra asociado a la columna de agua por sobre la plataforma continental y quiebre de la misma, y el borde superior del talud. Junto con el desarrollo ontogenético los representantes de ambos géneros pasan de un hábito pelágico a otro demersal.
- El desove de las merluzas ocurre cercano al borde inferior de la plataforma y borde de la misma. Posteriormente, y gracias a eventos de surgencia costera, las larvas son transportadas advectivamente en dirección a la costa hacia aguas más someras.
- Las áreas de crianza pueden localizarse a una distancia más o menos alejada de la zona de puesta, dependiendo de la batimetría del fondo y de las condiciones hidrográficas.
- Las merluzas presentan áreas de crianza, alimentación y desove separadas espacialmente, y entre las cuales realizan migraciones estacionales.
- Los representantes del género *Macruronus* presentan un ciclo reproductivo anual, en el cual se observa una sola estación de desove de aproximadamente 2 meses de duración. En cambio, los representantes del género *Merluccius* exhiben 1 o más eventos de desove, los que en algunos casos pueden cubrir casi todo un año.
- El reclutamiento en *Macruronus novaezelandiae* es influenciado por las condiciones hidrográficas en las áreas de desove y crianza. El éxito del reclutamiento aumenta cuando las condiciones climáticas durante la estación de puesta mejoran el transporte neto de agua desde la zona de desove hacia la

costa. Esta condición influencia positivamente, además, la producción y disponibilidad de alimento para las larvas, lo que favorece la sobrevivencia larval.

- Las hipótesis que explican de mejor manera la variabilidad en el reclutamiento de *Macruronus novaezelandiae* son aquellas relacionadas con el transporte, esto es, la Hipótesis de la Triada de Bakun y la Hipótesis del Área de Retención larval (taller I).
- Tanto la merluza de cola de Chile y Argentina tiene *peaks* de fuerzas de clases anuales con una periodicidad de aproximadamente 10 años.
- La posición latitudinal de la corriente de deriva del oeste tb tiene una periodicidad de aproximadamente 10 años.
- Existe una correlación negativa entre el reclutamiento de la merluza de cola de Chile y el promedio anual de la posición latitudinal de la CDO.
- La revisión del estado del arte respecto de la distribución espacio-temporal de huevos y larvas sugiere que no habrían desoves entre la V y X regiones (taller I)
- Se documenta la existencia de huevos y larvas tanto en la XI y XII región, sugiriéndose la presencia de una segunda zona de desove al sur de Guamblin hasta los 57° S (taller I)
- La revisión bibliográfica internacional respecto de las metodologías empleadas para estimar el reclutamiento arrojan dos grupos principales, las evaluaciones directas y las indirectas, primando las segundas en la caracterización de las fuerzas de las clases anuales (taller I)

- La implementación de la metodología directa aplicada sobre el ictioplancton (edad 0+, utilizada para merluza del Pacífico norte) se ve costosa de implementar para el caso de la merluza de cola, dado la gran extensión geográfica XI – XII regiones.
- Los métodos de área barrida e hidroacústicos parecen buenos candidatos para estimar juveniles y adultos de merluza de cola. Su elección dependerá del grado de mezcla en el que se encuentren las especies objetivo respecto de la fauna acompañante.
- El método de área barrida es la técnica utilizada para estimar grupos juveniles y adultos en períodos no reproductivos en las pesquerías del hoki neocelandés y argentino (taller I).
- Se detectan varias deficiencias en la metodología de las evaluaciones hidroacústicas, siendo las principales (1) falta de una determinación apropiada de la zona de muestreo (“zona de reclutamiento”), (2) falta de una correcta caracterización de la disponibilidad del recurso, bajo la hipótesis de una migración trófica; (3) falta de un modelo de fuerza de blanco para la especie, (4) uso de múltiples plataformas de trabajo sin un debido proceso de intercalibración (taller I)
- Se detectaron grandes diferencias (que fluctúan aproximadamente en un orden de magnitud) entre las estimaciones de biomasa reportadas en los proyectos FIP 1999-06 y 2001-21 y las estimaciones de nuestro proyecto, siendo la causa más plausible supuestos adicionales no especificados ni en los reportes ni en las bases de datos. Nuestro trabajo abordó las diferentes filosofías de estimación geoestadística tradicional distribution-free y la geoestadística formal basada en la función de verosimilitud, arrojando grandes diferencias con los resultados de ambos informes.

- Para ambos proyectos, entonces, no fue posible repetir los resultados de biomasa estimada de merluza de cola juvenil de IFOP partiendo de la misma base de datos, incluso cuando se uso la misma metodología geoestadística.
- Existe una indeterminación básica de la variación espacial del stock de merluza de cola juvenil en el eje norte-sur producida por el diseño de muestreo y el bajo número de transectas, que impide obtener una estimación objetiva de la biomasa.
- Es recomendable investigar la factibilidad de realizar un diseño por transectas adaptativo para determinar la variación espacial del stock de merluza de cola en el eje norte-sur.
- Es posible transportar varias, y posiblemente todas, las fuentes de incerteza que inciden es la estimación de biomasa por un crucero hidroacústico al generalizar la función de verosimilitud en un análisis geoestadístico con modelo formal de probabilidad para los datos.
- Existen diferencias marcadas en las estimaciones de biomasa juvenil provenientes de las evaluaciones indirectas y las directas.
- Se encontró evidencia de un claro patrón migratorio de la flota de la PDA con una fuerte componente latitudinal de carácter estacional en torno al caladero de Guamblín. Este patrón se observa tanto en la flota de AF como AH, siendo más marcado en la primera debido a la mayor autonomía de estas naves y mayor extensión de su área de operación.
- Los movimientos migratorios de la flota ocurren a dos escalas diferentes: macro y micro escala. En la macro escala los desplazamientos se relacionarían con factores que determinan la asignación del esfuerzo entre diferentes caladeros que visita la flota a través del año. Entre estos factores se deben

considerar a otras especies que junto a merluza de cola concurren en el área de la PDA (merluza del sur y merluza de tres aletas, entre otras). Asimismo, no se debe dejar de considerar el interés de parte de la flota por incursionar en la pesquería de arrastre de la zona Centro Sur.

- No obstante, dos movimientos estacionales que se detectan, centrado en el foco de desove de Guamblín, apoyan la hipótesis de migraciones reproductivas del stock adulto, pero en un rango espacial más restringido que el sugerido por los desplazamientos de la flota en la macro escala.
- En la micro escala, los movimientos convergentes y divergentes de la flotas en el cañón submarino de Guamblín otorgan mérito a la hipótesis alternativa de movimientos dispersivos direccionales de carácter local, en lugar del traslado masivo de stock adulto desde zonas alejadas, de la índole que se postula para merluza de tres aletas. En estos movimientos locales podría ser importante el traslado de peces hacia y desde el talud en relación con los cañones submarinos presentes frente a la X región.
- Se ha encontrado evidencia que sugiere una migración diferencial por tamaños en el foco de desove de Guamblín, pero no se sabe por el momento cuan constante es este fenómeno entre años y hacia donde se movilizarían los “adultos jóvenes” al abandonar el cañón de Guamblín. Una posibilidad es que se recluten al talud.
- La fuerte componente de dinámica local entre el talud y los cañones en el área de desove sugieren que las evaluaciones acústicas que se realizan en esa área pueden estar sujetas a sesgos derivados no solamente de “turnover” en sentido horizontal sino también por desplazamientos en profundidad y migración diferencial por tamaños.

- Los resultados del análisis espacial de individuos maduros indica que existirían múltiples zonas de desove, tanto en la zona centro-sur, X, XI y XII regiones.
- Estudios sobre la distribución espacio-temporal de las frecuencia de tallas de individuos juveniles de merluza de cola en el mar argentino, sugieren preliminarmente que podría existir una migración de juveniles desde la zona sur austral chilena hacia la plataforma argentina.
- La revisión de la data y bibliografía disponible hasta la fecha reveló que no existe evidencia para suponer que la mayor parte del stock juvenil de la población de merluza de cola en aguas chilenas se encuentra disponible en la zona centro-sur durante el verano. Históricamente también se han encontrado importantes focos de juveniles en los canales y mar adyacente de la X y XI regiones.
- La hipótesis de migración juvenil estacional desde la zona sur-austral a la zona centro-sur a comienzos de verano y su posterior migración meridional hacia la zona sur-austral no se encuentra respaldada con la información disponible.
- Se proponen modificaciones al modelo conceptual de dinámica poblacional de tal forma que existirían múltiples zonas de desove a lo largo del país en el período de invierno (principalmente entre la X-XII regiones), lo cual implicaría una revisión de la metodología implicada en la estimación del stock desovante.
- A su vez los juveniles se encontrarían disponibles desde zona centro-sur hacia el cono sur durante el verano (cruceros en los canales, crucero del año 1973, disponibilidad de huevos y larvas, posible migración de juveniles hacia la plataforma argentina).

- En ausencia de información básica sobre la distribución espacio-temporal de la abundancia de juveniles a lo largo de la plataforma continental chilena y la actual estructura del modelo de evaluación indirecta del recurso se cuestiona rotundamente la utilidad/validez de las evaluaciones hidroacústicas de la fracción juvenil en la zona centro-sur y su capacidad para entregar información confiable hacia el manejo de toda la pesquería.
- La fracciones estimadas durante los proyectos FIP 1999-06 y FIP 2001-21 corresponden a fracciones juveniles de la población de la población de merluza de cola y no constituyen una estimación del reclutamiento de la población.
- La metodología internacional utilizada para estimar el *reclutamiento* biológico de esta especie se basa principalmente en métodos indirectos, los cuales integran múltiples fuentes de información.
- A la luz de estos resultados se recomienda utilizar métodos indirectos para estimar el reclutamiento de la población de merluza de cola del territorio nacional.
- Se recomienda implementar un programa de verano de estimación de abundancia de la población a lo largo de la plataforma en las zonas centro-sur y sur-austral. Esto incluiría múltiples grupos de edad y permitiría ganar conocimiento sobre la distribución espacio temporal del recurso.
- Considerando la metodología aplicada en Nueva Zelanda y Argentina para un recurso similar (mismo género, misma época de muestreo, condiciones no reproductivas) se recomienda el uso del método de área barrida.

8 BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, P., Motos, L., Uriarte, A. & J. Egana. 2001. Spatial and temporal distribution of European hake, *Merluccius merluccius* (L.), eggs and larvae in relation to hydrographical conditions in the Bay of Biscay. *Fisheries Research*, 50: 111-128.

Angelescu, V. & F. Gneri. 1960. Contribución al conocimiento bioecológico de la merluza de cola (*Macruronus magellanicus* Lönnberg.). Actas y trabajos del Primer Congreso Sudamericano de Zoología (La Plata) 12-24/10/59 CIC. CNICT I(I). *Ecología*: 3-18.

Arancibia, H. & L. Cubillos. 1993. Análisis de la pesquería industrial de cerco, dinámica poblacional y situación del recurso jurel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Doc. Téc. Inst. Invest. Pesq. (IIP), Talcahuano, Vol. 2, Núm. 1, 23 págs. + 27 figs.

Arancibia, H., Alarcón, R., Cubillos, L., Núñez, S., Toledo, I., Vilugrón, L., Veloso, C. & H. Peña. 1994. Evaluación indirecta del stock de merluza de cola en VIII Región. Informe Final Proyecto FIP N°93-09.

Arcos, D. & N. Navarro. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37° S). *Investigación Pesquera (Chile)*, 33: 91-98.

Bailey, K.M. 1982. The early life history of the Pacific hake, *Merluccius productus*. *Fishery Bulletin*, 80: 589-598.

Bailey, K.M., Francis, R.C. & PR Stevens. 1982. The life history and fishery of Pacific whiting, *Merluccius productus*. *CalCOFI Rep.*, 23: 81-98.

Bailey, K.M., Francis, R.C. and K.F. Mais. 1986. Evaluating incidental catches of 0-age pacific hake to forecast recruitment. *CalCOFI Rep.*, 27: 109-112.

Bailey, K.M. & E.D. Houde 1989. Predation on egg and larvae of marine fishes and the recruitment problem. *Advances in Marine Biology*, 25: 1-83.

Bakun, A. 1996. Reproductive activity has a time and place. Chapter 10. In: Bakun, A "Patterns in the ocean". 323 pp.

Bakun, A. 1998. Ocean triads and radical interdecadal stock variability: bane and boon for fishery management science. En: *Reinventing Fisheries Management*. Pitcher, T.J., Hart, P.J.B. and D. Pauly (eds) London: Chapman & Hall, pp. 331-358.

Barbieri, M.A., Lillo, S., Saavedra, A., Céspedes, R., Adasme, L., Ojeda, V., López, A., Cid, L., Rojas, P., Menares, B., & V. Catasti. 2003. Evaluación del reclutamiento de merluza de cola, año 2001. Informe Final Proyecto FIP N°2001-21.

Begg, G.A. & G. Marteinsdottir. 2002. Environmental and stock effects on spawning origins and recruitment of cod *Gadus morhua*. *Marine Ecology Progress Series*, 229: 263-277.

Benson, A.J., McFarlane, G.A., Allen, S.E. & J.F. Dower. 2002. Changes in Pacific hake (*Merluccius productus*) migration patterns and juvenile growth related to the 1989 regime shift. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59: 1969-1979.

Beverton, R.J.H. & S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish Investig Ser II Mar Fish GB Minist Agric Fish Food*, 19: 1-533.

Bezzi, S.I., Verazay, G.A. & C.V. Dato. 1995. Biology and fisheries of Argentine hakes (*M. hubbsi* and *M. australis*). In *Hake: Biology, fisheries and markets* (Alheit, J. & T.J. Pitcher eds). Chapman & Hall. First edition. 239-267 pp.

Bolles, K.L. & G.A. Begg. 2000. Distinction between silver hake (*Merluccius bilinearis*) stocks in U.S. waters of the northwest Atlantic based on whole otolith morphometrics. Fishery Bulletin, 98: 451-462.

Bradford, J.M. 1983. Physical and chemical oceanographic observations off Westland, New Zealand, June 1979. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 20: 253-279.

Bradford-Grieve, J.M., Murdoch, R.C., James, M.R. & J. Hall. 1996. Vertical distribution of zooplankton >39 mm in relation to the physical environment off the west coast of the South Island, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 30: 285-300.

Broadziak, J. 2001. Silver Hake. <<http://www.nefsc.nmfs.gov/sos/spsyn/pg/silverhake/silverhake.pdf>>

Brodziak, J.K.T., Holmes, E.M., Sosebee, K.A. & R.K. Mayo. 2001. Assessment of the silver hake resource in the northwest Atlantic in 2000. A report of the 32nd Northeast Regional Stock Assessment Workshop. NEFSC Ref. Doc. 01-03.

Brown, D., Leonarduzzi, E. & L. Machinandarena. 2002. Edad, crecimiento y mortalidad de larvas de merluza (*Merluccius hubbsi*) en el litoral norpatagónico durante enero y febrero de 2001. Informe Técnico Interno INIDEP, 4: 16 pp.

Bruce, B.D., Condie, S.A. & C.A. Sutton. 2001. Larval distribution of blue grenadier (*Macruronus novaezelandiae* Hector) in south-eastern Australia: further evidence for a second spawning area. Marine and Freshwater Research, 52: 603-610.

Bulman, C.M., Koslow, J.A., and Haskard, K.A. 1999. Estimation of the spawning stock biomass of blue grenadier (*Macruronus novaezelandiae*) off western Tasmania

based upon the annual egg production method. *Marine and Freshwater Research*, 50:197-207.

Bull, B. & M.E. Livingston. 2001. Links between climate variation and year class strength of New Zealand hoki (*Macruronus novaezelandiae*): an update. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 35: 871-880.

Burati, C.C. 2003. Distribución de juveniles de merluza (*Merluccius hubbsi*) y de otras especies de peces capturadas en las campañas de evaluación del efectivo norte de 41°S en 1994, 1999 y 2001. Informe Técnico Interno INIDEP, 122: 16 pp.

Caballero L, A. Aranís, R. Céspedes, R. Tascheri, M. Nilo & J. Merino. 2003. Programa de seguimiento del estado de las principales pesquerías nacionales. Proyecto: Análisis integrado de la merluza de cola, 2003. Informe de avance complementario IFOP-SUBPESCA.

Casey, J. & J. Pereiro. 1995. European hake (*M. merluccius*) in the North-east Atlantic. In *Hake: Biology, fisheries and markets* (Alheit, J. & T.J. Pitcher eds). Chapman & Hall. First edition. 125-147 pp.

Castro, L.R., Salinas, G.R. & E.H. Hernández. 2000 Environmental influences on winter spawning of the anchoveta, *Engraulis rigens*, off Central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 197: 247-258.

Checkley, D.M., Raman, S., Maillet, G.L. & K.M. Mason. 1988. Winter storm effects on the spawning and larval drift of a pelagic fish. *Nature*, 335: 346-348.

Chong, J. 2002. Revisión de la reproducción en merluza de cola y en merluza de tres aletas. Proyecto FIP 2000-15. En: Payá, I., P. Rubilar, H. Pool, R. Céspedes, H. Reyes, N. Ehrhardt, L. Adasme & H. Hidalgo. 2002. Evaluación de merluza de cola y merluza de tres aletas. Informe final Proyecto FIP 2000-15. 171 pp.

Cooke, J.G. 1984. Glossary of technical terms. In *Exploitation of Marine Communities*, R.M. May (ed), Springer-Verlag.

Cooke, K, Saunders, W., Andrew, W. and Kieser, R. 1996. A hydroacoustic survey on Pacific hake on the continental shelf off British Columbia from the Canada/U.S. boundary of Queen Charlotte Sound: August 15-31, 1994. *Can. Manuscript Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2363, 51 p.

Coombs, R.F., & P.L. Cordue. 1995. Evolution of a stock assessment tool: acoustic surveys of spawning hoki (*Macruronus novaezelandiae*) off the West Coast of South Island, New-Zealand, 1985-91. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 29: 175-194.

Coombs, S.H. & C.E. Mitchell. 1982. The development rate of eggs and larvae of the hake, *Merluccius merluccius* (L.), and their distribution to the west of the British Isles. *Cons. Int. Explor. Mer.*, 40: 119-126.

Cowan, J.H. & R.S. Shaw. 2002. Chapter 4. Recruitment. Pags. 88-111. In: LA Fuiman & RG Werner (Editors). "Fishery Science. The unique contribution of early life stages. Blackwell Publishing. 326 pp.

Cury, P. & C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 46: 670-680.

Cushing, D. 1973. Chapter 20. The natural regulation of fish populations. pp.399-401. In: *Sea Fish. Res.* (Editor. FR Harden Jones).

Cushing, D.H. 1975. *Marine ecology and fisheries*. Cambridge University Press, London. 278 pp.

Cushing, D.H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Advances in Marine Biology*, 26: 250-294.

Daneri, G., V. Dellarosa, R. Quiñones, B. Jacob, P. Montero & O. Ulloa. 2000. Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. *Marine Ecology Progress Series*, 197:41-49.

Dato, C., Villarino, M.F. & M. Pérez. 2001. Resultados de la campaña global de merluza (*Merluccius hubbsi*). Area al sur de 41°S. Julio/octubre de 2001. Comparación con los resultados del 2000. Informe Técnico Interno INIDEP, 96: 10 pp.

D'Orazio M. 2003. Estimating the variance of the sample mean in two-dimensional systematic sample. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 8:280-295

Dorn, M.W. 1995. The effects of age composition and oceanographic conditions on the annual migration of pacific whiting, *Merluccius productus*. *CalCOFI Rep.*, 36: 97-105.

Ellertsen, B., Fossum, P., Solemdal, P. & S. Sundby. 1989. Relation between temperature and survival of eggs and first feeding larvae of North east Arctic cod (*Gadus morhua*). *Rapports et Procès-verbaux des Réunions, Conseil international pour l' Exploration de la Mer*, 191: 209-219.

Francis, R. 1983. Population and trophic dynamics of Pacific hake (*Merluccius productus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40: 1925-1943.

Francis, R. 1984. An adaptive strategy for stratified random trawl surveys. *N.Z. Journal of Marine and Freshwater Research* 18: 59–71.

Francis, R. 2004. Assessment of hoki (*Macruronus novaezelandiae*) in 2003. New Zealand Fisheries Assessment Report No. 2004/15. 95 p.

Francis, R.I.C.C. & R.L. O'Driscoll. 2004. Proposed design for a 2004 west coast South Island hoki survey combining acoustic and trawl data. New Zealand Fisheries Assessment Report No. 2004/3. 28 p.

Frank, K.T. & W.C. Leggett. 1982. Coastal water mass replacement: its effect on zooplankton dynamics and predator prey complex associated with larval capelin (*Mallotus villosus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39: 991-1003.

Frank, K.T. & W.C. Leggett. 1983. Multispecies larval fish associations; accident or adaptation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 40: 754-763.

Fuiman LA & RG Werner 2002. Fishery Science. The unique contribution of early life stages. Blackwell Publishing. 326 pp.

Galleguillos, R., Montoya, R., Troncoso, L., Oliva, M. & C. Oyarzún. 1999. Identificación de unidades de stock en el recurso merluza de cola en el área de distribución de la pesquería. Informe Final Proyecto FIP N°96-30.

Garrison, L.P. & J.S. Link. 2000. Diets of five hake species in the northeast United States continental shelf ecosystem. Marine Ecology Progress Series, 2004: 243-255.

Gibson, R.N. 1994. Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes. Netherlands Journal of Sea Research, 32: 191-206.

Giussi, A.R. 1996. Estudio de algunos aspectos del ciclo vital de la merluza de cola *Macruronus magellanicus*, Lönnberg, 1907. Tesis Doctoral. Univ. Nac. Mar del Plata, 151 pp.

Giussi, A.R. 2004. Parámetros poblacionales de la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) del Atlántico Sudoccidental. Año 2003. Informe Técnico Interno INIDEP, 38: 8 pp.

Giussi, A.R., García de la Rosa, S.B. & M.F. Sánchez. 2000. Distribución espacial y por tallas de la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*, Macruronidae) entre 34° y 48°S, en el período 1997-1999, Res. IV Jorn. Nac. Cs. Mar, Puerto Madryn, 11-15 Setiembre 2000: 70.

Giussi, A.R., Hansen, J.E. & O. Wöhler. 2002. Estimated total abundance and numbers-at-age of longtail hake (*Macruronus magellanicus*) in the Southwest Atlantic during the years 1987-2000. Scientia Marina, 66: 283-291.

Giussi, A.R., Sánchez, F., and N.R. Marí. 2003a. Estimación de la abundancia, estructura de la población y otros parámetros de interés pesquero de merluza de cola entre 37° y 43° LS durante el otoño. Período 1996-2001. Informe Técnico Interno INIDEP, 68: 14 pp.

Giussi, A.R., Scarlato, N. and O.C. Wöhler. 2003b. Informe sobre la campaña de prospección pesquera de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en el sector externo de la plataforma y talud continental entre 37°15' y 48°00'S en el año 2002. Informe Técnico Interno INIDEP, 76: 31 pp.

Giussi, A.R., Sánchez, F., Marí, N.R. and O.C. Wöhler. 2003c. Análisis de las capturas de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) y su fauna acompañante en el mar Argentino al norte de los 48°S años 1998-2003. Informe Técnico Interno INIDEP, 116: 22 pp.

Gordoa, A., Macpherson, E. & M.P. Olivar. 1995. Biology and fisheries of Namibian hakes (*M. paradoxus* y *M. capensis*). In Hake: Biology, fisheries and markets (Alheit, J. and T.J. Pitcher eds). Chapman & Hall. First edition. 49-88 pp.

Grimes, C.B. & J.H. Finucane 1991. Spatial distribution and abundance of larval and juvenile fish, chlorophyll and macrozooplankton around the Mississippi River discharge plume, and the role of the plume in fish recruitment. Marine Ecology Progress Series, 75: 109-119

Grimes, C.B. & M.J. Kingsford. 1996. How do riverine plumes of different sizes influence fish larvae: do they enhance recruitment? Marine and Freshwater Research, 47: 191-208.

Gunn, J.S., Bruce, B.D., Furlani, D.M., Thresher, R.E. & S.J.M. Blader. 1989. Timing and location of spawning of blue grenadier, *Macruronus novaezelandiae* (Teleostei: Merluccidae) in Australian coastal waters. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 40: 97-112.

Guttormsen, K., Wilson, C., Cooke, K, Saunders, M., McKelvey, D. and Kieser, R. 2003. Echo integration-trawl survey of Pacific Hake, *Merluccius productus*, off the Pacific coast of the United States and Canada during June-August 2001. NOAA AFSC Processed report 2003-12.

Hansen, J.E & O.C. Wöhler. 2003. La pesquería Argentina de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) entre 1995 y 2002, e índices de abundancia derivados de la flota comercial. Informe Técnico Interno INIDEP, 11: 14 pp.

Healt, M.R. 1992. Field investigations on the early life stages of marine fish. Advances in Marine Biology, 28: 1-33

Helser, T.E. 1996. Growth of silver hake within the U.S. continental shelf ecosystem of the northwest Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 48: 159-1073.

Helser, T.E., Almeida, F.P. & D.E. Waldron. 1995. Biology and fisheries of North-west Atlantic hake (silver hake: *M. bilinearis*) pp. 203-237. In: J. Alheit & T.J. Pitcher (ed.) *Hake: Biology, Fisheries and Markets*, Chapman and Hall, London.

Helser, T., Methot, R. and Fleischer, G. 2004. Stock Assessment of Pacific Hake (Whiting) in U.S. and Canadian Waters in 2003.

Hernández, D.R. & R.O. Castrucci. Comparación de los índices de abundancia relativos entre los años 1999 y 2000, del efectivo de merluza al norte de 41°S, obtenidos de las campañas de investigación. Informe Técnico Interno INIDEP, 45: 8 pp.

Hilborn, R. & C. Walters. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment*. Chapman and Hall, New York.

Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. *Rapports et Proces-verbaux des Réunions, international pour l'Exploration de la Mer*, 20: 1-228.

Hollowed, A.B. 1992. Spatial and temporal distribution of pacific hake, *Merluccius productus*, larvae and estimates of survival during early life stages. *CalCOFI Rep.*, 33: 100-123.

Horne, J.K. & P.E. Smith. 1997. Space and time scales in pacific hake recruitment process: latitudinal variation over annual cycles. *CalCOFI Rep.*, 38: 90-102.

Horne, J.K., Smith, P.E. & D.C. Schneider. 1999. Comparative examination of scale-explicit biological and physical processes: recruitment of Pacific hake (*Merluccius*

productus). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56 (Suppl. 1): 170-179.

Houde, E.D. 1987. Early life dynamics and recruitment variability. Amer. Fish. Soc. Symposium 2: 17-29.

Hunter, J.R. 1984. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: Lasker, R. (Editor), "Marine fish larvae. Morphology, ecology and relation to fisheries. University of Washington Press. Seattle. 131pp.

Iles, T.D & M. Sinclair. 1982. Atlantic herring: stock discreteness and abundance. Science, 215: 627-633.

Isaacs, E.H. & R.M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford Univ Press, NY.

Iwamoto, E., Ford, M.J. & R.G. Gustafson. 2004. Genetic population structure of Pacific hake, *Merluccius productus*, in the Pacific Northwest. Environmental Biology of Fishes, 69: 187-199.

Iwatsuki, Y., Nakata, H. & Hirano. 1989. The thermohaline front in relation to fish larvae. Rapports et Proces-verbaux des Réunions, Conseil international pour l'Exploration de la Mer, 191: 119-126

Journel, A.G. & C.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, London.

Karnella, C. 1973. The systematic status of *Merluccius* in the tropical western Atlantic Ocean including the Gulf of Mexico. Fishery Bulletin, 71: 83-91.

Koslow, J.A., Brault, S., Dugas, J. & F. Page. 1985. Anatomy of an apparent year-class failure: the early life history of the 1983 Browns Bank Haddock *Melanogrammus aeglefinus*. Transactions of the American Fisheries Society, 114:478-489.

Krautz, MC, M González & LR Castro. 2003. Detection of anchoveta (*Engraulis ringens*) eggs in euphausiid diets using immunoassays (ELYSA). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 294: 27-39.

Landaeta, M. & L.R. Castro 2002. Spring spawning and early nursery zone of the mesopelagic fish *Maurolicus parvipinnis* at the coastal upwelling zone off Talcahuano, central Chile. Marine Ecology Progress Series, 226: 170-191.

Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: The relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fishery Bulletin, 73: 453-462.

Lasker, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California current: identification of factors contributing to recruitment failure. Rapports et Proces-verbaux des Réunions, Conseil international pour l'Exploration de la Mer, 173: 212-230.

Lasker, R. (Ed.). 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Technical Report NMFS No. 36. 99 pp.

Laurence, G.C. 1990. Growth, survival and recruitment in large marine ecosystems. In: Sherman, K., Alexander, L.M. & B.D. Gold (ed) Large marine ecosystems: patterns, processes and yields: 132-150. American Association for the Advancement of Science. Washington.

Leggett, W.C. & E. Deblois. 1994. Recruitment in marine fishes: is it regulated by starvation and predation in the egg and larval stages? *Netherland Journal of Sea Research*, 32: 119-134.

Lenarz, W.H., Larson, R.J. & S. Ralston. 1991. Depth distributions of late larvae and pelagic juveniles of some fishes of the California Current. *CalCOFI Rep.*, 32: 41-46.

Lillo, S. & A. Paillamán. 1996. Evaluación acústica y distribución espacial del stock de merluza común. En: Informe Final Proyecto FIP 95–14. Evaluación hidroacústica del stock de merluza común en la zona centro sur.

Lillo, S., Céspedes, R., Balbontín, F., Ojeda, V. & A. Saavedra. 2004. Evaluación del stock desovante de merluza del sur y merluza de cola en la zona sur-austral, año 2003. Informe Final Corregido Proyecto FIP N°2003-09.

Lillo, S., Céspedes, R., Barbieri, M., Saavedra, A., Gálvez, P. 2004a Programa temporal de evaluación hidroacústica de merluza del sur en aguas interiores de la X y XI regiones, año 2002. FIP 2002-07.

Lillo, S., Céspedes, R., Ojeda, V., Vega, R., Adasme, L. & H. Hidalgo. 2000. Evaluación directa de merluza de cola en la zona centro-sur 1999. Informe Final Proyecto FIP N°99-06.

Lillo, S., Céspedes, R., Ojeda, V., Balbontín, F., Aguayo, M., Adasme, L., Saavedra, A. 2001. Evaluación acústica del stock desovante de merluza del sur en aguas exteriores. FIP 2000-14.

Lillo, S., Córdova, J. & M. Rojas. 1998. Evaluación hidroacústica y distribución espacial del stock de merluza común. En: Pre-informe Final Proyecto FIP 97–12. Evaluación hidroacústica del stock de merluza común en la zona centro sur.

Lillo, S., Espejo, M., Céspedes, R., Adasme, L., Blanco, J., Letelier, J. Braun, M. & V. Valenzuela. 1997. Evaluación directa del stock de merluza de cola en la X y XI Regiones. Informe Final Proyecto FIP N°95-18.

Lillo, S., Ojeda, V., Céspedes, R., Balbontín, F., Saavedra, A., Bravo, A., Adasme, L., Rojas, M. 2002. Evaluación hidroacústica de merluza del sur y merluza de cola, 2001. FIP 2001-19.

Lillo, S., Saavedra, A., Espejo, M., Barbieri, M.A., Rojas, M., Céspedes, R., Ojeda, V., Céspedes, I., Olivares, J., Hidalgo, H., Adasme, L., Balbontín, F., Bravo, R. & C. Vera. 2003. Evaluación hidroacústica del stock desovante de merluza del sur y merluza de cola en la zona sur austral, año 2002. Informe Final Proyecto FIP N°2002-19.

Litvak, M.K. & W.C. Leggett. 1992. Age and size-selective predation on larval fishes: the bigger is better hypothesis revisited. *Marine Ecology Progress Series*, 81: 13-24.

Livingston, M.E. 2000. Links between climate variation and the year class strength of New Zealand hoki (*Macruronus novaezelandiae*) Hector. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 34: 55-69.

Livingston, M.E. & K.A. Schofield. 1996. Stock discrimination of hoki (*Macruronus novaezelandiae*, Merlucciidae) in New Zealand waters using morphometrics. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 30: 197-208.

Livingston, M.E.; Vignaux, M.; Schofield, K.A. 1997. Estimating the annual proportion of nonspawning adults in New Zealand hoki, *Macruronus novaezelandiae*. *Fishery Bulletin* 95: 99–113.

Livingston, M. 2001. An overview of the life histories, fisheries and stock assessment of New Zealand hoki (*Macruronus novaezelandiae*). En: Payá, I., Rubilar, P., Pool, H.,

Céspedes, R., Reyes, H., Ehrhardt, N., Adasme, L. & H. Hidalgo. 2002. Evaluación de merluza de cola y merluza de tres aletas. Informe Final Proyecto FIP N°2000-15.

Livingston, M., Bull, B., Stevens, D. and Bagley, N. 2002. A review of hoki and middle depth trawl surveys of the Chatham Rise, January 1992-2001. NIWA Technical Report 113. ISSN 1174-2631.

Lloret, J., Lleonart, J., Sole, I. and J.-M. Fromentin. 2001. Fluctuations of landings and environmental conditions in the north-western Mediterranean Sea. Fisheries Oceanography, 10: 33-50.

Lloris, D., Matallanas, J. & P. Oliver. 2003. Merluzas del mundo (Familia Merlucciidae). Catálogo comentado e ilustrado de las merluzas conocidas. FAO Catálogo de Especies para los Fines de la Pesca. No. 2. Roma, FAO, 2003. 57p. 12 colour plates.

Lock, M.C. & D.B. Packer. 2004. Essential fish habitat source document: silver hake, *Merluccius bilinearis*, life history and habitat characteristics (2nd edition). NOAA Tech Memo NMFS NE-186. 68 p.

Macchi, G.J, Pájaro, M. & M. Ehrlich. 2004. Seasonal egg production pattern of the Patagonian stock of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). Fisheries Research, 67: 25-38.

Mackenzie B.R. & W.C. Leggett. 1991. Quantifying the contribution of small-scale turbulence to the encounter rates between larval fish and their zooplankton prey: effects of wind and tide. Marine Ecology Progress Series, 73: 149-160.

Maynou, F., Lleonart, J. & J.E. Cartes. 2003. Seasonal and spatial variability of hake (*Merluccius merluccius* L.) recruitment in the NW Mediterranean. Fisheries Research, 60: 65-78.

Melo, T., Rojas, P., Hurtado, C., Queirolo, D., Cerda, D., Martínez, A., Montenegro, I., Gaete, E., Menares, B., Hidalgo, G., Escobar, R., Snack, G., Gallardo, F. & V. Zamora. 2004. Evaluación de la interacción entre merluza de cola – merluza común con redes de arrastre de media agua en la pesquería centro-sur (Resolución N° 438-Subsecretaría de Pesca). Estudios y Documentos N° 03/2004, PUCV, Escuela de Ciencias del Mar, 104 p. + anexos.

Method, R.D. & M.W. Dorn. 1995. Biology and fisheries of North Pacific hake (*Merluccius productus*). pp. 389-414. In: J. Alheit & T.J. Pitcher (ed.) Hake: Biology, Fisheries and Markets, Chapman and Hall, London.

Middleton, D., A. Arkhipkin, & R. Grzebielec. 2001. The biology of *Macruronus magellanicus* in Falkland Islands waters. Falkland Island Fisheries Department, Stanley, Falkland Islands. En: Payá, I., P. Rubilar, H. Pool, R. Céspedes, H. Reyes, N. Ehrhardt, L. Adasme & H. Hidalgo. 2002. Evaluación de merluza de cola y merluza de tres aletas. Preinforme final Proyecto FIP 2000-15. 171 pp.

Milton, D.A. & J.B. Shaklee. 1987. Biochemical genetics and population structure of blue grenadier, *Macruronus novaezelandiae* (Hector) (Pisces: Merluccidae), from Australian waters. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 38: 727-742.

Morse, W.W., Johnson, D.L., Berrien, P.L. & S.J. Wilk. 1999. Essential fish habitat source document: Silver hake, *Merluccius bilinearis*, life history and habitat characteristics. NOAA Tech. Mem. NMFS-NE-135. 42 p.

Murdoch, R.C. 1990. Diet of hoki larvae (*Macruronus novaezelandiae*) off Westland, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 24: 519-527.

Murdoch, R.C. & B.E. Chapman. 1989. Occurrence of hoki (*Macruronus novaezelandiae*) eggs and larvae in eastern Cook Strait. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 23: 61-67.

Murdoch, R.C., Guo, R. & a. McCrone. 1990. Distribution of hoki (*Maruronus novaezelandiae*) eggs and larvae in relation to hydrography in eastern Cook Strait, September 1987. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 24: 533-543.

Myers, R.A. & K. Drinkwater. 1989. The influence of warm core rings on recruitment of the Northwest Atlantic. Journal of Marine Research, 47: 635-656.

Nelson, M. and Dark, T. 1985. Results of the coastal Pacific Hake, *Merluccius productus*, survey. Mar. Fish. Rev. 47(2): 82-94.

Norbis, W., Lorenzo, M.I. & G.J. Torres. 1999. Intra-annual growth variations of young-of-the-year hake (*Merluccius hubbsi*) of the Uruguayan continental shelf based on otolith analysis. Fisheries Research, 44: 129-137.

O'Driscoll, R.L. 2002. Review of acoustic data inputs for the 2002 hoki stock assessment. New Zealand Fisheries Assessment Report No. 2002/36. 66 p.

O'Driscoll, R.L. 2003. Acoustic survey of spawning hoki in Cook Strait during winter 2002. New Zealand Fisheries Assessment Report No. 2003/27. 34 p.

O'Driscoll, R.L. 2003. Acoustic survey of spawning hoki off the east coast South Island in September 2002. New Zealand Fisheries Assessment Report No. 2003/28. 26 p.

O'Driscoll, R.L. 2004. Estimating uncertainty associated with acoustic surveys of spawning hoki (*Macruronus novaezelandiae*) in Cook Strait New Zealand. ICES Journal of Marine Science, 61: 84-97.

O'Driscoll, R. and Bagley, N. 2003. Trawl survey of middle depth species in the Southland and Sub-Antarctic areas, November–December 2002 (TAN0219). New Zealand Fisheries Assessment Report 2003/x.

O'Driscoll, R.L. & P.J. McMillan. 2004. Acoustic survey of spawning hoki in Cook Strait during winter 2003. New Zealand Fisheries Assessment Report No. 2004/20. 39 p.

O'Driscoll, R.L., Bagley, N.W. & A. Dunn. 2004. Further analysis of an acoustic survey of spawning hoki off the west coast South Island in winter 2000. New Zealand Fisheries Assessment Report No. 2004/2. 53 p.

Ojeda, V., Cerca, F., Chong, J., Aguayo, M. & I. Payá. 1998. Estudio de crecimiento y construcción de claves talla edad de merluza de tres aletas y merluza de cola. Informe Final Proyecto FIP N°97-15.

Okubo, A. 1980. Diffusion and ecological problems: mathematical models. Springer-Verlag, NY, USA.

Olivar, M.P., Rubies, P. & J. Salat. 1988. Early life history and spawning of *Merluccius capensis* Castelnau in the northern Benguela Current. South African Journal of Marine Science, 6: 245-254.

Olivar, M.P., Rubies, P. & J. Salat. 1992. Horizontal and vertical distribution patterns of ichthyoplankton under intense upwelling regimes off Namibian. In: Benguela Trophic Functioning (eds A.I.L. Payne, Brink, K.H., Mann, K.H. & R. Hilborn). South African Journal of Marine Science, 12: 71-82.

Oliver, P. & E. Massutí. 1995. Biology and fisheries of western Mediterranean hake (*M. merluccius*). In: J. Alheit & T.J. Pitcher (ed.) Hake: Biology, Fisheries and Markets, Chapman and Hall, London.

Orsi Relini, L.O., Papaconstantinou, C., Jukic-Peladic, S., Souplet, A., De Sola, L.G., Piccinetti, C., Kavadas, S. & M. Rossi. 2002. Distribution of the Mediterranean hake populations (*Merluccius merluccius smiridus* Rafinesque, 1810) (Osteichthyes: Gadiformes) based on six years monitoring by trawl-surveys: some implications for management. *Scientia Marina*, 66(supl. 2): 21-38.

Page, F.H., Sinclair, M., Naimie, C.E., Loder, J.W., Losier, R.J., Berrien, P.L & R.G. Lough. 1999. Cod and haddock spawning on Georges Bank in relation to water residence times. *Fisheries Oceanography*, 8: 212-226.

Pájaro, M. & G.J. Macchi. 2001. Distribución espacial y estimación de la talla de primera maduración de stock patagónico de merluza (*Merluccius hubbsi*) en el período de puesta diciembre-abril 2000-2001. Informe Técnico Interno INIDEP, 100: 14 pp.

Pájaro, M., Macchi, G.J., Machinandiaarena, L. & N.A. Scarlato. 2002. Análisis temporal y espacial del proceso de maduración ovárica de la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*). Informe Técnico Interno INIDEP, 39: 14 pp.

Pájaro, M., Macchi, G.J., Wöhler, O.C. & E. Leonarduzzi. 2004. Análisis de la condición de maduración ovárica y talla de primera maduración de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en el período agosto-septiembre de 2003. Informe Técnico Interno INIDEP, 46: 14 pp.

Pantoja, V, Orellana, F y Alarcón, E. 1973. Evaluación preliminar de los recursos potencialmente explotables situados entre la bahía de Corral e isla Guamblín. Instituto de Fomento Pesquero. Publicación n.- 53, Santiago, Chile.

Papaconstantinou, C. & K.I. Stergiou. 1995. Biology and fisheries of eastern Mediterranean hake (*M. merluccius*). In: J. Alheit & T.J. Pitcher (ed.) Hake: Biology, Fisheries and Markets, Chapman and Hall, London.

Parrish R.H., Nelson, C.S. & A Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California current. *Biological Oceanography*, 1: 175-203.

Patchell. G.J., Allen, M.S. & D.J. Dreadon. 1987. Egg and larval development of the New Zealand hoki *Macruronus novaezelandiae*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 301-313.

Payá, I., L. Caballero, H. Hidalgo & M. Montecinos. 2003. Investigación CTP regionalizada de merluza de cola, 2003. Informe técnico. IFOP-SUBPESCA. Circulación restringida.

Payá, I., C. Canales, H. Pool & C. Montenegro. 1999. Investigación CTP regionalizada de merluza de cola, 1999. Informe técnico. IFOP-SUBPESCA. Circulación restringida.

Payá, I., N. Ehrhardt, P. Rubilar, C. Montenegro & V. Espejo. 2000. Investigación CTP regionalizada de merluza de cola, 2000. Informe técnico. IFOP-SUBPESCA. Circulación restringida.

Paya, I., Montecinos, M., Gonzalez, J., Céspedes, R., Adasme, L., Ojeda, V., Lillo, S. 2004. Investigación CTP Regionalizada de merluza de cola, 2005 Fase II. Informe Final. Subsecretaría de Pesca, Valparaíso, Chile.

Payá, I., & P. Rubilar. 2000. Investigación CTP regionalizada de merluza de cola, 2001. Informe final. IFOP-SUBPESCA. 96pp.

Payá, I., & P. Rubilar. 2001. Investigación CTP regionalizada de merluza de cola, 2002. Informe final. IFOP-SUBPESCA. 46pp.

Payá, I., Rubilar, P., Pool, H., Céspedes, R., Reyes, H., Ehrhardt, N., Adasme, L. & H. Hidalgo. 2002. Evaluación de merluza de cola y merluza de tres aletas. Informe Final Proyecto FIP N°2000-15. Tomo 1. 263 pp.

Payá, I., Sepúlveda, S., Balbontín, F., Tascheri, R. & L. Adarme. 1998. Dinámica del stock de merluza común y su relación con el medio ambiente. Informe Final Proyecto FIP 96-28.

Payne, A.I.L. & A.E. Punt. 1995. Biology and fisheries of South African Cape hakes (*M. capensis* and *M. paradoxus*). In Hake: Biology, fisheries and markets (Alheit, J. and T.J. Pitcher eds). Chapman & Hall. First edition. 15-47 pp.

Pepin, P. & R.A. Myers. 1991. Significance of egg and larval size to recruitment variability of temperate marine fish. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 48: 1802-1828.

Peterman, M.R. & M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). Science 235: 354-356.

Petitgas, P. 2001. Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications. Fish and Fisheries, 2:231-249.

Petitgas, P. & T. Lafont. 1997. EVA2: estimation variance. Version 2. A geostatistical software on Windows 95 for the precision of fish stock assessment surveys. ICES CM 1997/Y:22.

Pillar, S.C. & I.S. Wilkinson. 1995. The diet of Cape hake *Merluccius capensis* on the South Coast of South Africa. South African Journal of Marine Science, 15: 225-239.

Podestá, G. 1989. Migratory pattern of Argentine hake *Merluccius hubssi* and oceanic process in the Southwestern Atlantic Ocean. Fishery Bulletin, 88: 167-177.

Pool, H., Balbontín, F., Montenegro, C., Cortés, N. & M. Arriaza. 1997. Interacciones tróficas en recursos demersales en la zona sur-austral. Informe Final Proyecto FIP N°94-32.

Punt, A.E., Smith, D.C., Thomson, R.B., Haddon, M., He, X. & J. Lyle. 2001. Stock assessment of the blue grenadier *Macruronus novaezelandiae* resource off south-eastern Australia. Marine and Freshwater Research, 52: 701-17.

Ramos, A. & L. Fernández. 1995. Biology and fisheries of North-west African hakes (*M. merluccius*, *M. senegalensis* and *M. polli*). In Hake: Biology, fisheries and markets (Alheit, J. and T.J. Pitcher eds). Chapman & Hall. First edition. 89-124 pp.

Recasens, L., Lombarte, A., Morales-Nin, B. & G.L. Torres. 1998. Spatiotemporal variations in the population structure of the European hake in the northwestern Mediterranean. Journal of Fish Biology, 53: 387-401.

Ribeiro Jr, P.J, Diggle, P.J. 2001. geoR. A package for geostatistical analysis. R-New Vol. 1, No 2., ISSN 1609-3631.

Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Board. Can, 11: 559-623.

Rijnsdorp, A.D., Van Beek, F.A., Flatman, S., Millner, R.M., Riley, J.D., Giret, M. & R. De Clerck. 1992. Recruitment in Sole stocks, *Solea solea* (L.) in the northeast Atlantic. Netherland Journal of Sea Research, 29: 173-192.

Rikhter, V.A., Sigaev, I.K., Vinogradov, V.A. & V.I. Isakov. 2001. Silver hake of Scotian Shelf: fishery, environmental conditions, distribution, and biology and abundance dynamics. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 29: 51-92.

Rothschild B.J. & T.R. Osborn. 1988. Small-scale turbulence and plankton contact rates. *Journal of Plankton Research*, 10: 465-474.

Rowlingson, B. & P. Diggle. *splancs: Spatial and Space-Time Point Pattern Analysis*. R package version 2.01-15.

Roy, C. 1998. An upwelling induced retention area off Senegal: a mechanism to link upwelling and retention processes. *South African Journal of Marine Science*, 19: 89-98.

Royall, R. 1997. *Statistical inference. A likelihood approach*. Chapman & Hall.

Ryan, T., Kloser, R., Geen, G., and Lewis, M. 2003. Development of a sustainable industry-based observation system for blue grenadier at the primary spawning sites. Progress Report 1 to the Fisheries Research and Development Corporation. December 2003. FRDC Project – 2003/044.

Sakuma, K.M. & S. Ralston. 1997. Vertical and horizontal distribution of juvenile pacific whiting (*Merluccius productus*) in relation to hydrography off California. *CalCOFI Rep.*, 38: 137-146.

Sánchez, F. & J. Gil. 2000. Hydrographic mesoscale structures and Poleward Current as a determinant of hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in southern Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 152-170.

Saunders, M.W. & G.A. McFarlane. 1997. Observations on the spawning distribution and biology of offshore pacific hake (*Merluccius productus*). *CalCOFI Rep.*, 38: 147-157.

Scarlato, N.A. & O.C. Wöhler. 2001. Resultados de la primera etapa de la Campaña B/P COALSA SEGUNDO 2001. Prospección pesquera y localización de áreas de reproducción de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) entre 37°15'S y 48°S, en aguas próximas al talud continental. Informe Técnico Interno INIDEP, 87: 27 pp.

Schlather, M. 2001. Simulation and analysis of random fields. R News 1/2:18-20.

Sinclair, M. 1988. Marine populations: an essay on population regulation and speciation. Washington Sea Grant Program, Seattle, Washington. 252 pp.

Sinclair, M & M.J. Tremblay. 1984. Timing of spawning of atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) populations and the match-mismatch theory. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41: 1055-1065

Smith, B.D., McFarlane, G.A. & M.W. Saunders. 1990. Variation in Pacific hake (*Merluccius productus*) summer length-at-age near southern Vancouver Island and its relationship to fishing and oceanography. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 47: 2195-2211.

Smith, P.E. 1995. Development of the population biology of the pacific hake, *Merluccius productus*. CalCOFI Rep., 36: 144-152.

Smith, T. 1998. Blue grenadier 1998, Stock Assessment Report. Blue grenadier assessment group, South East Fishery. (Australian Fisheries Management Authority: Canberra).

Sundby, S. 1996. Turbulence and ichthyoplankton: influence in vertical distributions and encounter rates. In: C. Marrase, E. saiz & J.M. Redondo (eds.) "Lecture notes on plankton and turbulence. Scientia Marina, 61(Supl. 1): 159-176

Tascheri R, J. Sateler, J. Merino, O. Carrasco, J. González, E. Díaz, V. Ojeda, J. Olivares, R. Gili, R. Bravo & L. Cid. 2003. Investigación situación pesquería demersal Centro Sur, 2002, Programa de seguimiento del estado de situación de las principales pesquerías nacionales. SUBPESCA. Informa Final. IOFOP, 308 pp (más anexos)

Thresher, R.E., Bruce, B.D., Furlani, D.M. & J.S. Gunn. 1988. Distribution, advection, and growth of larvae of the Southern temperate gadoid, *Macruronus novaezelandiae* (Teleostei: Merluccidae), in Australian coastal waters. Fishery Bulletin, 87: 29-48.

Tuck, G, Thomson, R., Smith, D., Talman, S. and Punt, A. 2005. The quantitative stock assessment for blue grenadier (*Macruronus novaezelandiae*) in the south east Fishery, 2004. South East Fishery. (Australian Fisheries Management Authority: Canberra).

Uikkanen, E. 2005. USERS MANUAL OF PROGRAM GEOCONV. Disponible en el sitio web: <http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/geoconvgb/>

Vargas, C., Valenzuela, G., Núñez, S. & D. Arcos. 1997. Abundance, spatial distribution and size frequency of chilean hake (*Merluccius gayi* Guichenot, 1848) larvae in an upwelling system off Central-South Chile. Role of oceanic processes. Arch. Fish. Mar. Res., 45: 201-222.

Vignaux, M. 1996. Analysis of spatial structure in fish distribution using commercial catch and effort data from the New Zealand hoki fishery. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53: 963-973.

Ware, D.M. 1978. Bioenergetics of pelagic fish: theoretical change in swimming speed and ration with body size. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 35: 220-228.

Whittle P. 1954. On stationary processes in the plane. Biometrika 41:434-449.

Wilson, C.D., M.A. Guttormsen, K. Cooke, M.W. Saunders & R. Kieser. 2000. Echo integration-trawl survey of Pacific hake, *Merluccius productus*, off the Pacific coast of the United States and Canada during July-August, 1998. NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-118, 103 pp.

Wöhler, O. & A. Giussi. 2001. La merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en el mar argentino. INIDEP. Argentina. 46 pp. En: Payá, I., P. Rubilar, H. Pool, R. Céspedes, H. Reyes, N. Ehrhardt, L. Adasme & H. Hidalgo. 2002. Evaluación de merluza de cola y merluza de tres aletas. Preinforme Final Proyecto FIP 2000-15. 171 pp.

Wöhler, O.C. & A.R. Giussi. 2002. La merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) del Mar Argentino. En: Informe Final Proyecto FIP N°2000-15 “Evaluación de merluza de cola y merluza de tres aletas”.

Wöhler, O.C. & A.R. Giussi. 2004. Evaluación de la abundancia de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en el Atlántico Sudoccidental, período 1985-2003. Informe Técnico Interno INIDEP, 36: 38 pp.

Wöhler, O.C. & J.E. Hansen. 2003. Evaluación de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en el Atlántico Sudoccidental, período 1985-2002. Informe Técnico Interno INIDEP, 34: 23 pp.

Wöhler, O.C., Hansen, J.E., Giussi, A.R. & H.C. Héctor. 2002. Evaluación de merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) en el Atlántico Sudoccidental, período 1985-2001. Informe Técnico Interno INIDEP, 27: 38 pp.

Young, Z., Chong, J., Robotham, H., Galvez, P. & H. González. 1998. Análisis de la pesquería de merluza de cola en la zona sur-austral. Informe Final Proyecto FIP N°96-37.

Zeldis, J.R. 1993. Applicability of egg surveys for spawning-stock biomass estimation of snapper, orange roughy, and hoki in New Zealand. *Bulletin of Marine Science*, 53: 864-890.

Zeldis, J.R., Murdoch, R.C., Cordue, P.L. & M.J. Page. 1998. Distribution of hoki (*Macruronus novaezelandiae*) eggs, larvae, and adults off Westland, New Zealand, and the design of an egg production survey to estimate hoki biomass. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55: 1682-1694.

9 ANEXOS

ANEXO 1 FIGURAS

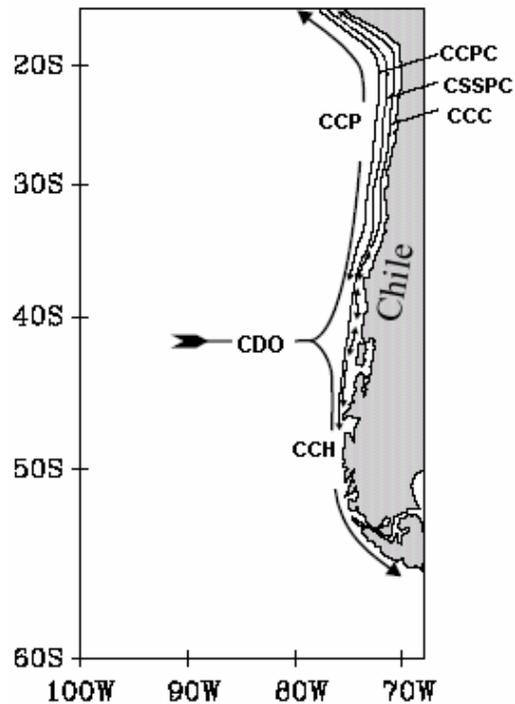


Figura 1. Representación esquemática del sistema de corrientes del Pacífico Sur. Las líneas delgadas señalan corrientes subsuperficiales. Las principales corrientes (líneas gruesas) son: Corriente de deriva de los vientos del oeste (CDO), Corriente Chile-Perú (CCP), Corriente del Cabo de Hornos (CCH), Contracorriente Perú-Chile (CCPC) y Corriente Costera de Chile (CCC) y Corriente Sub-superficial Perú-Chile (CSSPC) (Modificado de Leth, 2000).

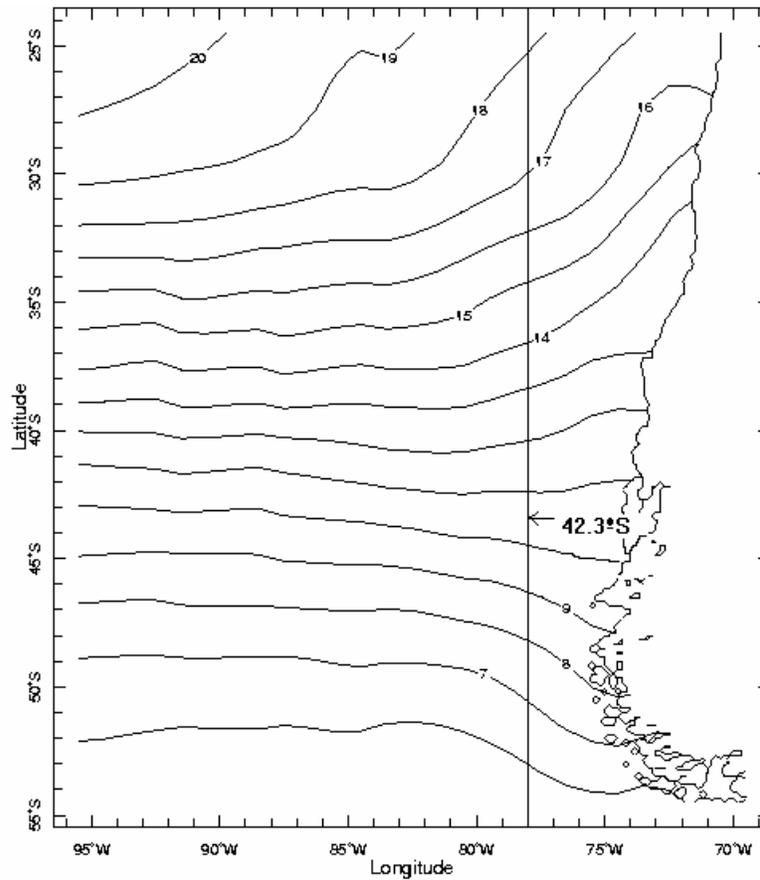


Figura 2: Gráfico de las isolíneas de temperatura superficial. Línea vertical corresponde a los 78°W (figura proporcionada por R. Quiñones, 2005).

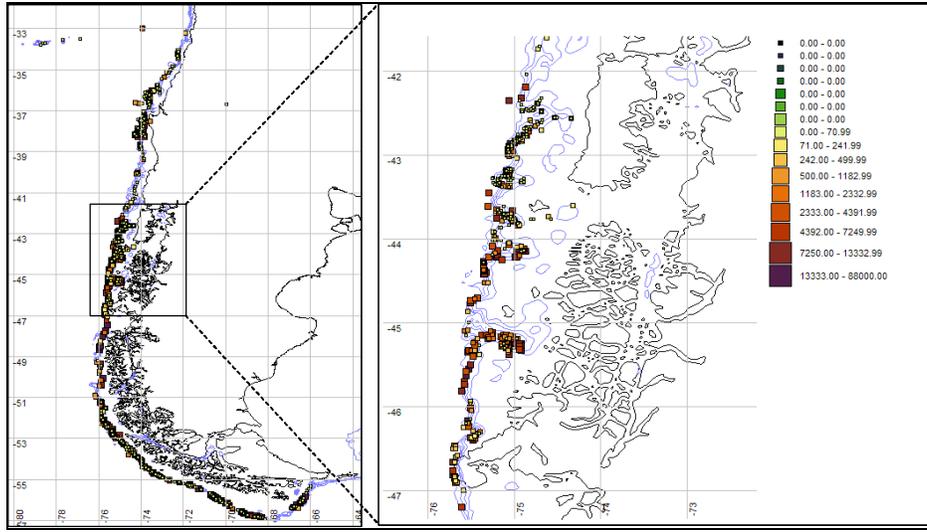


Figura 3. Distribución de las agregaciones reproductivas (cuadro de la izquierda) y área de desove principal (cuadro de la derecha).

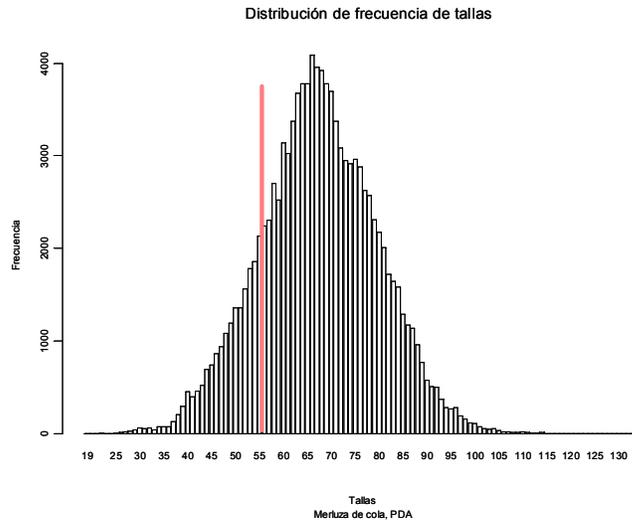


Figura 4. Distribución de tallas en la captura de merluza de cola de la serie 2000-2004. La línea roja vertical muestra la posición de la talla primera madurez cuyo valor es 54 cm de longitud total.

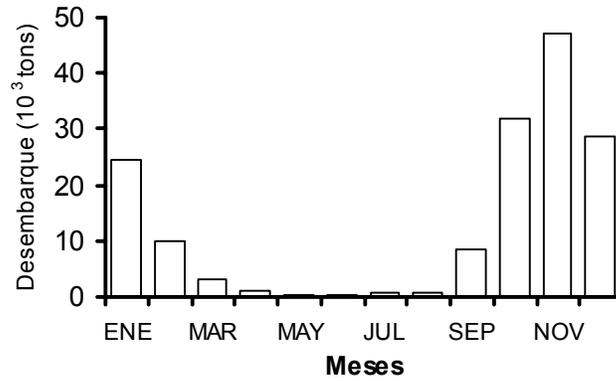


Figura 5. Estacionalidad de los desembarques de merluza de cola en la unidad de pesquería pelágica de la zona centro-sur de Chile (promedio del periodo 1989-2003, Fuente: SERNAPESCA).

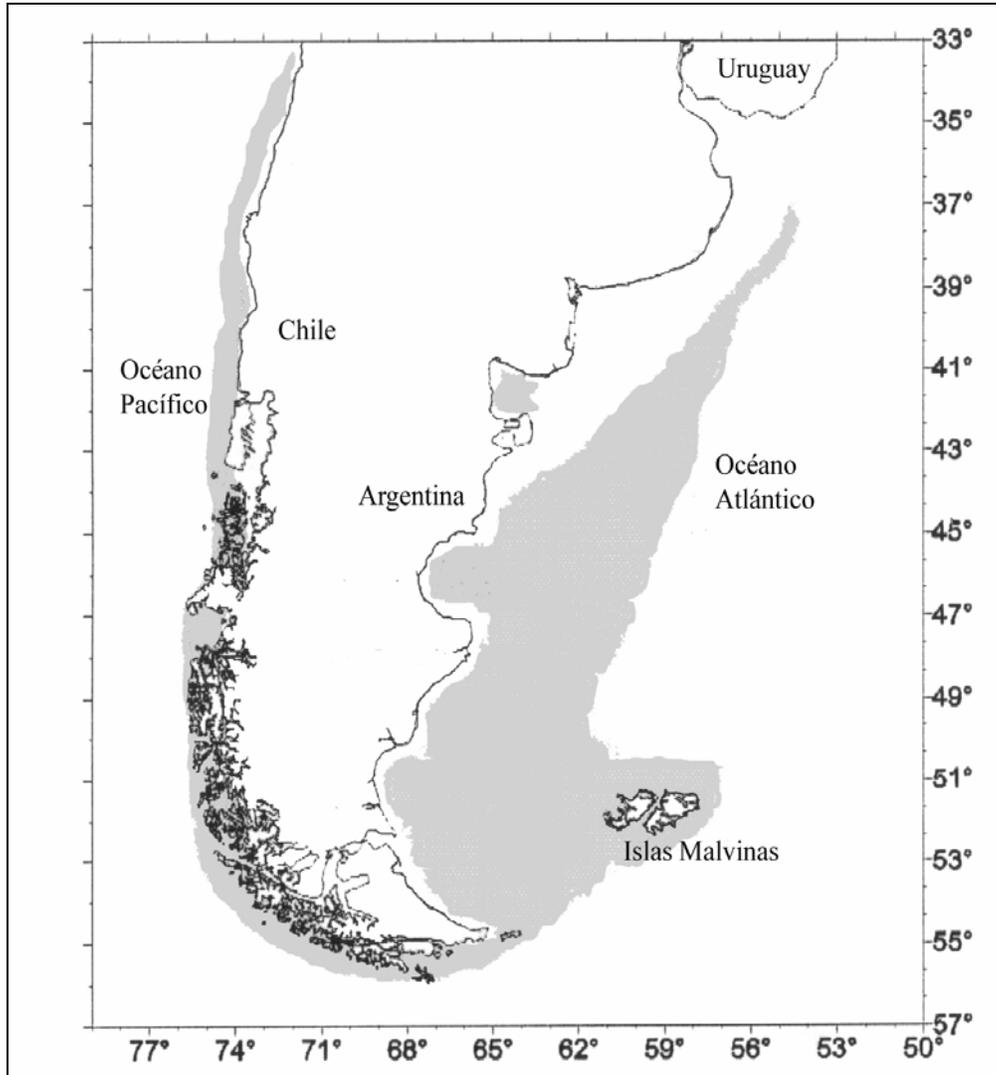


Figura 6. Distribución de la merluza de cola en aguas del cono sur de América.

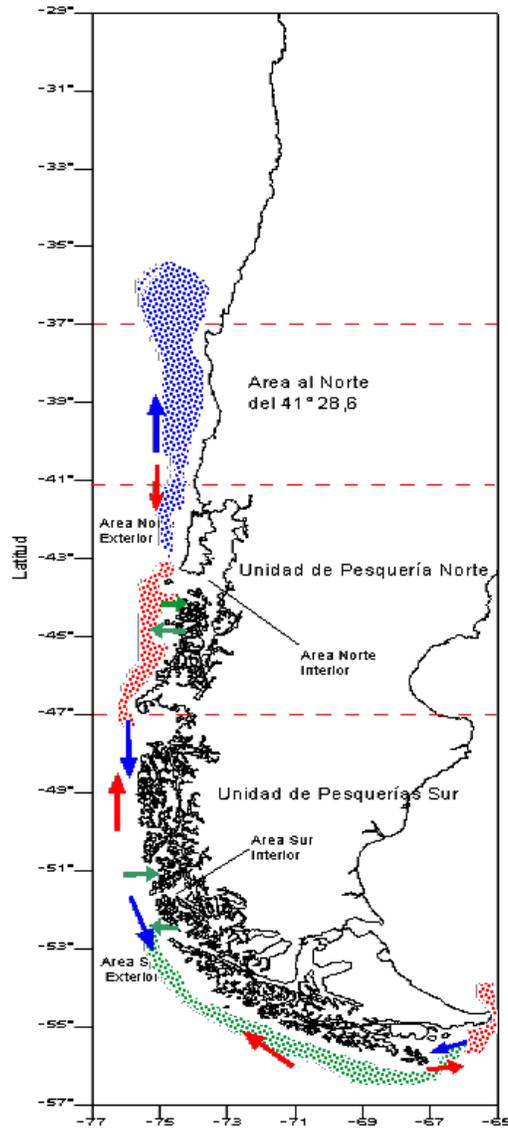


Figura 7. Distribución de los patrones de migración sugeridos para merluza de cola en aguas chilenas, basados principalmente en información de la pesquería sur austral, las zonas de color rojo indican áreas de desove (Tomada de Céspedes y Adasme, en Payá et al., 2001).

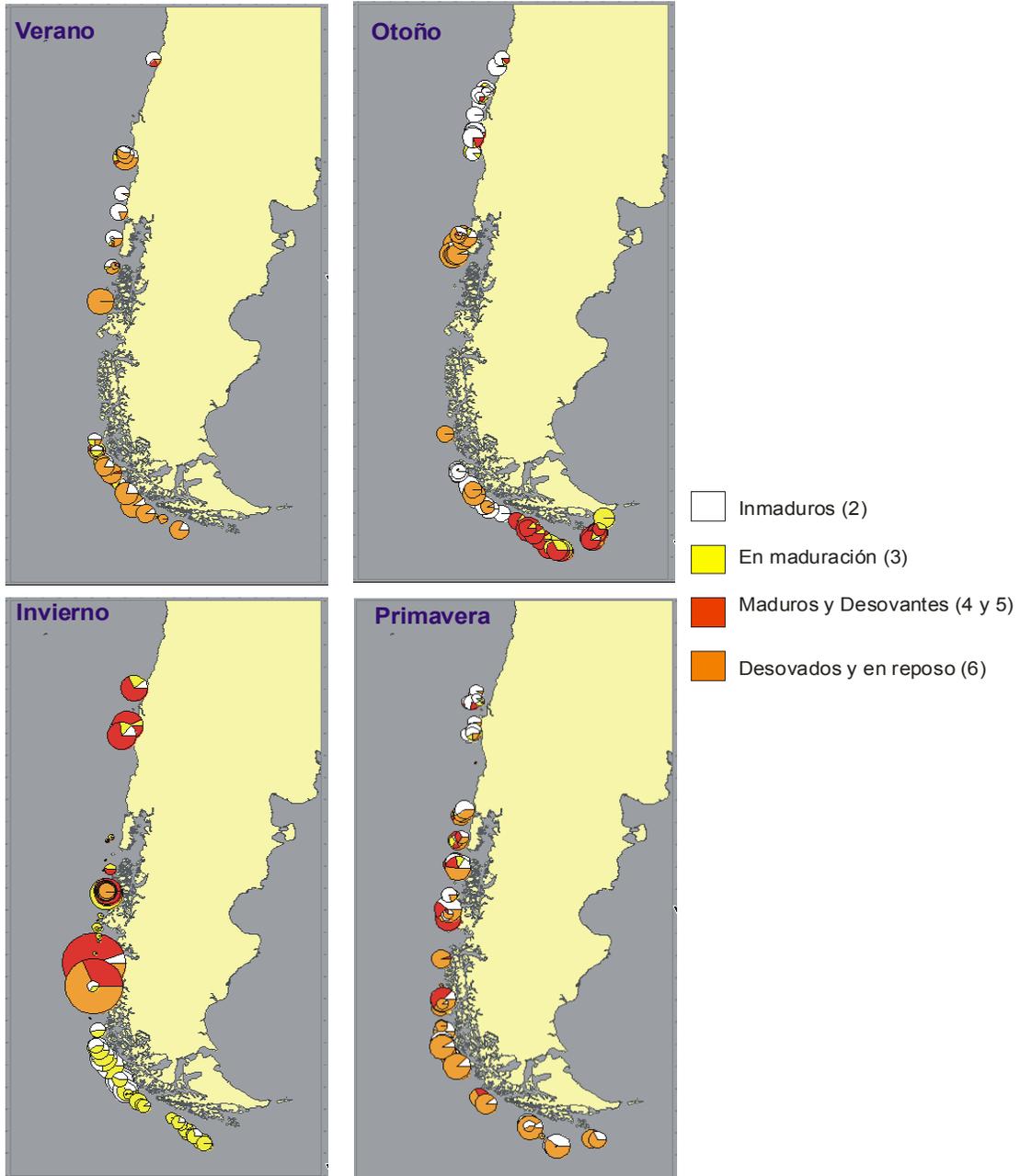


Figura 8. Variación espacial y temporal de los distintos estadios de madurez en hembras de merluza de cola, en las unidades de pesquería V-X y XI-XII.

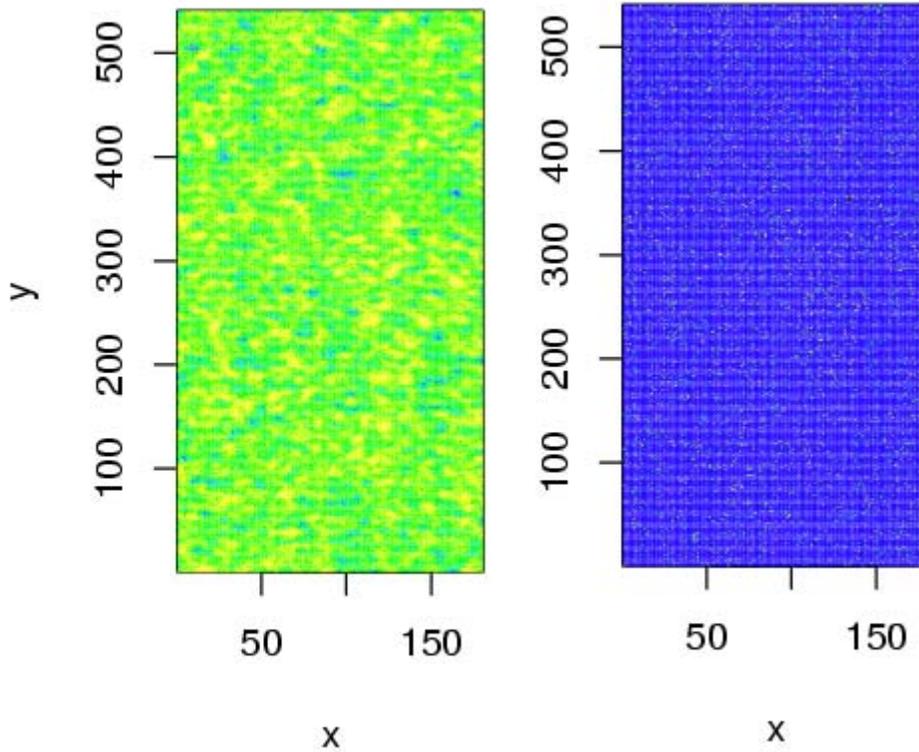


Figura 9. Ejemplo de simulaciones de cardúmenes de merluza de cola juvenil. (a) Proceso espacial Gaussiano descrito por los cardúmenes cuando sólo se consideran los parámetros de la correlación espacial, (b) proceso espacial descrito por los cardúmenes cuando además se incluye un proceso binomial para la aparición del proceso Gaussiano (ver App. 4).

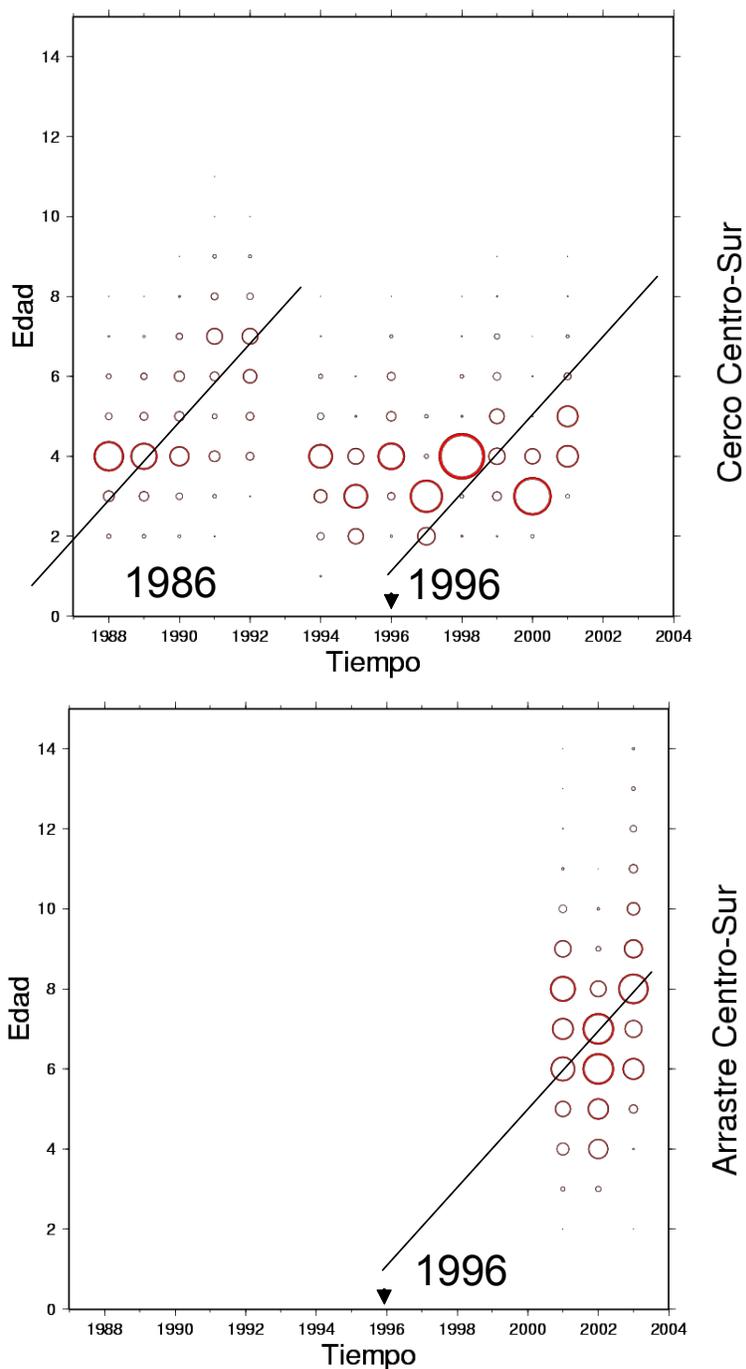


Figura 10. Serie histórica de proporciones a la edad en la capturas de las pesquerías CCS y DCS. Diámetro de la circunferencia linealmente dependiente de la proporción a la edad. Línea y años corresponden a clases anuales sugeridas por inspección visual.

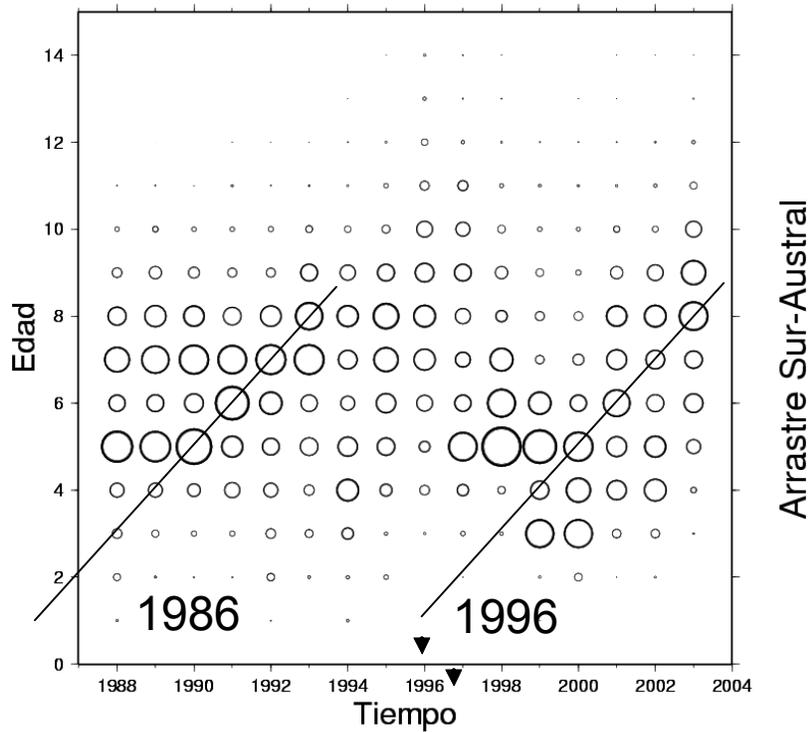


Figura 11. Serie histórica de proporciones a la edad en la capturas de la pesquería DSA. Diámetro de la circunferencia linealmente dependiente de la proporción a la edad. Línea y años corresponden a clases anuales sugeridas por inspección visual.

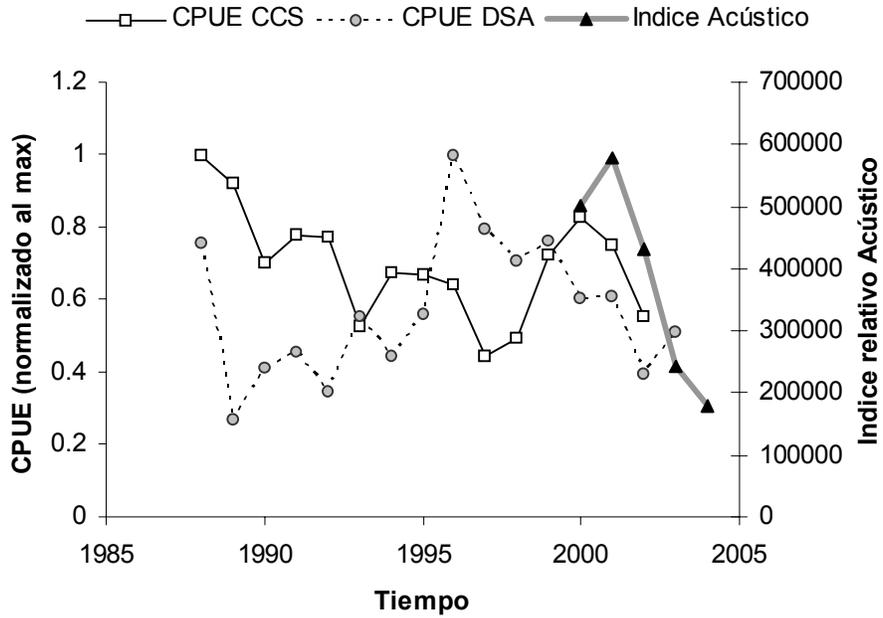


Figura 12. Índices relativos utilizados en la calibración del modelo de edad estructurado.

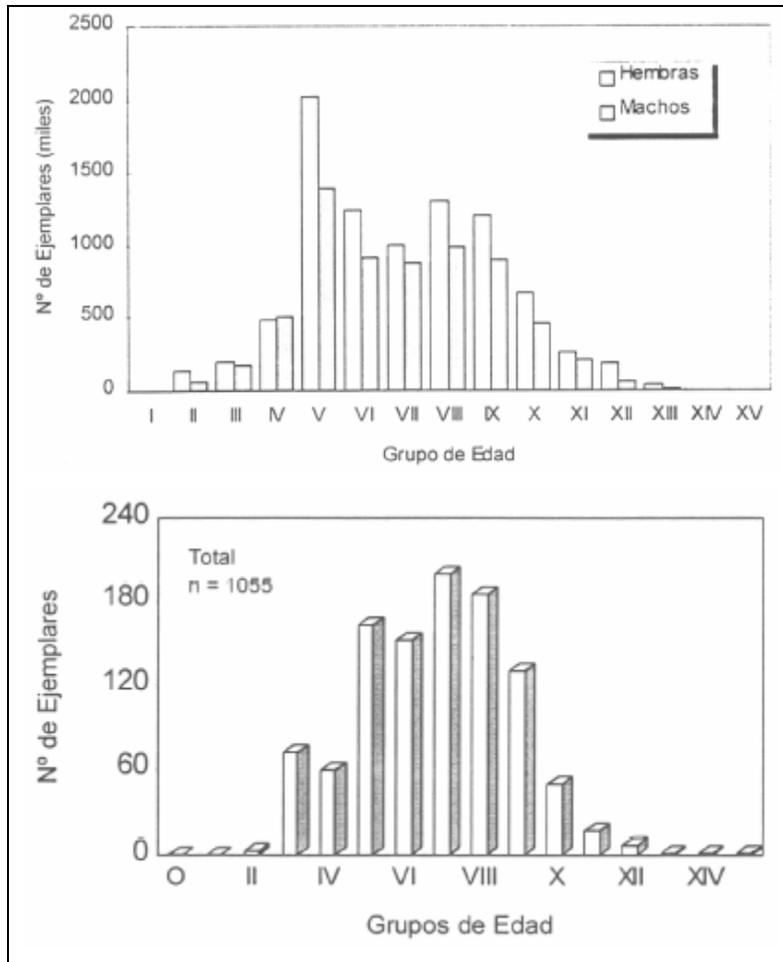


Figura 13. Composición por grupo de edad de las capturas de merluza de cola registradas en la pesquería demersal sur-austral. Año 1982 (superior). Año 1996 (inferior). (Extraído de Young et al., 1998).

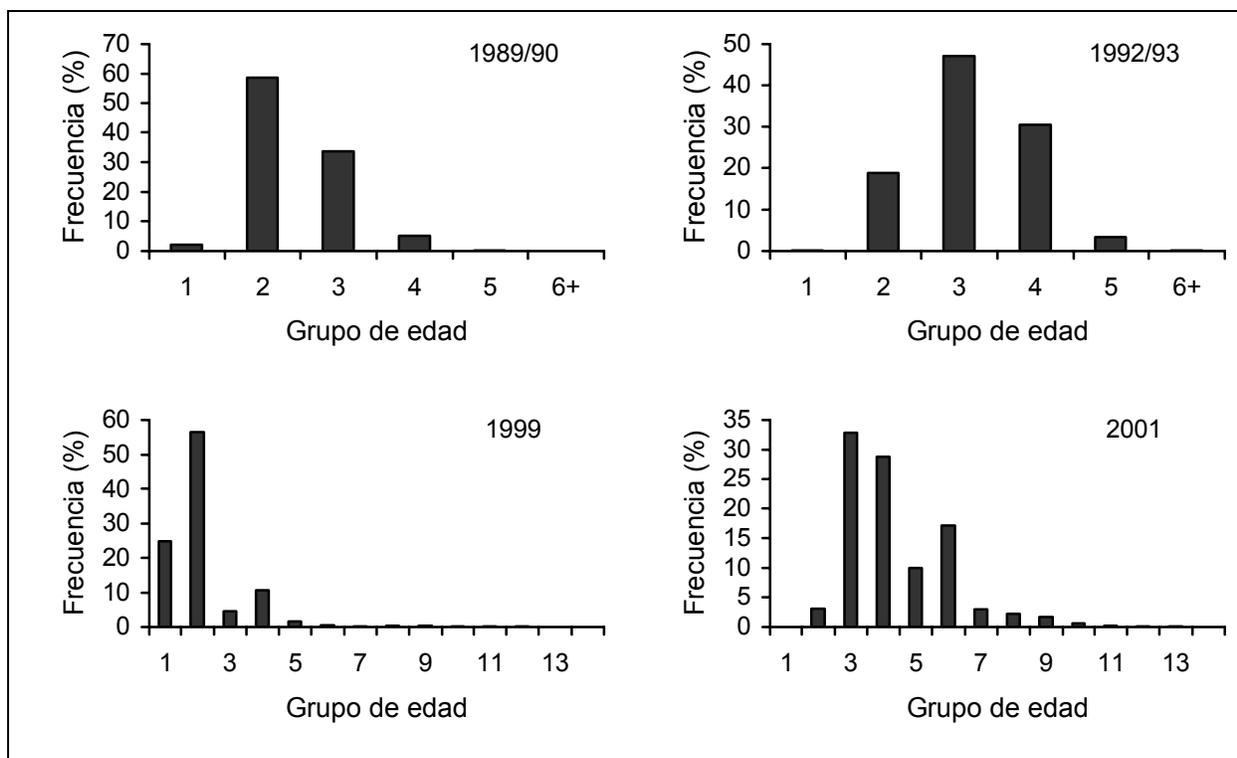


Figura 14. Composición por grupo de edad de las capturas de merluza de cola registradas en la pesquería de cerco centro-sur, durante la temporada de pesca 1989/90 y 1992/93 (Arancibia et al., 1994) y en las evaluaciones directas de 1999 (Lillo et al., 2000) y 2001 (Barbieri et al., 2003).

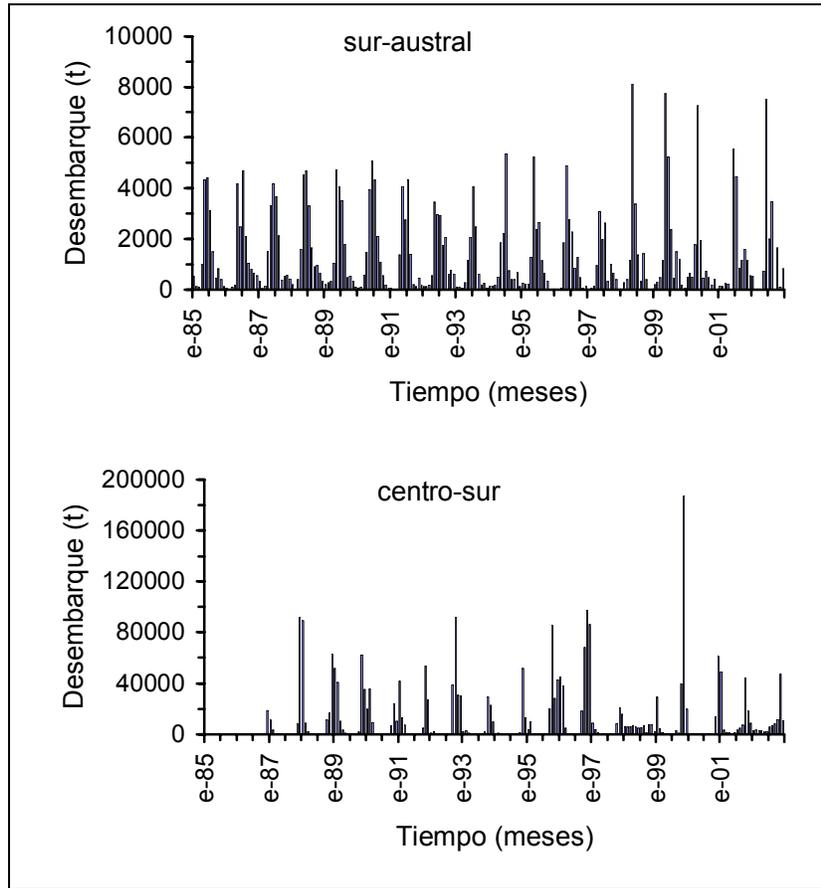


Figura 15. Desembarque mensual de merluza de cola registrado para la pesquería demersal sur-austral (arriba) y cerco centro-sur (abajo) durante el período 1985-2002. (Fuente: SERNAPesca).

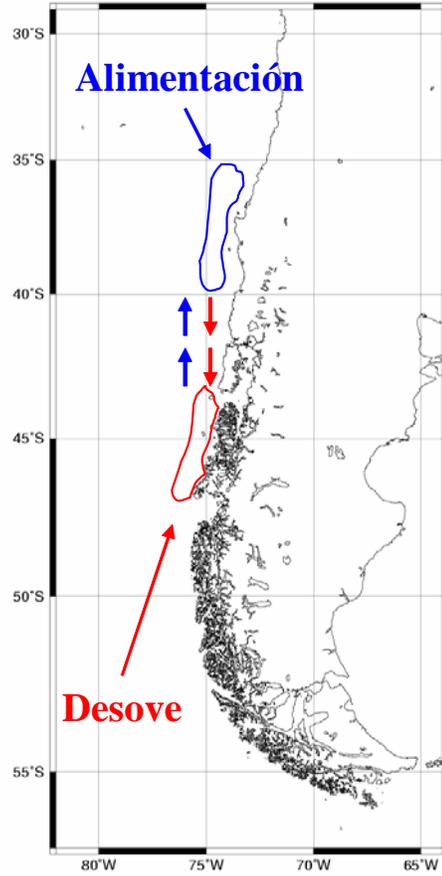


Figura 16. Representación esquemática de la dinámica espacial de merluza de cola en el Pacífico Sur Oriental.

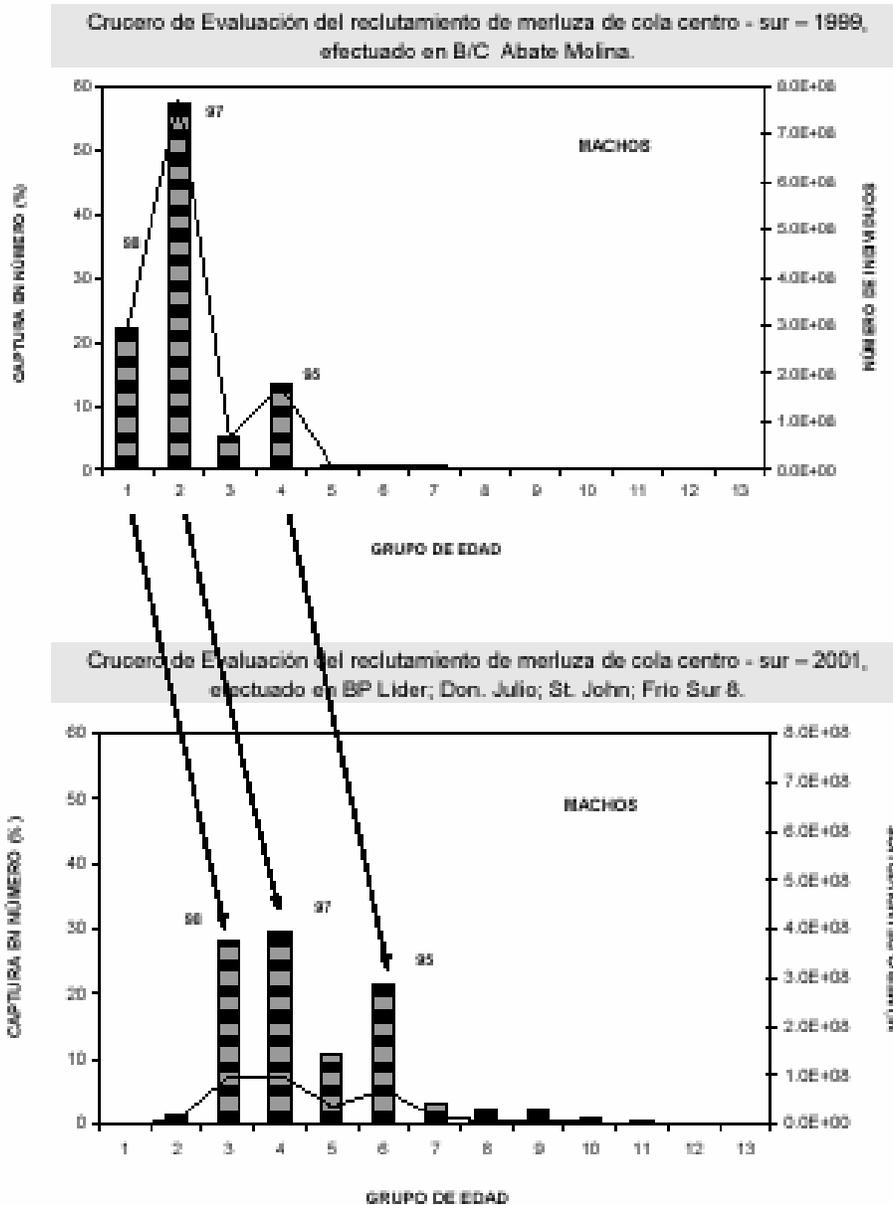


Figura 17. Composición de la abundancia (línea) y porcentaje (barras) por grupos de edad de merluza de cola machos en las evaluaciones directas realizadas en 1999 y 2001. Los números 95, 97 y 98 señalan al año de la clase anual. (Extraído de Barbieri et al., 2003).

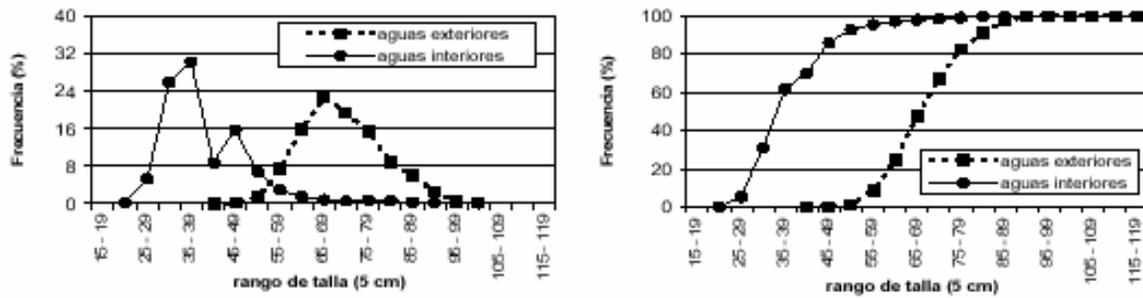


Figura 18. Distribución relativa y acumulada de la talla de merluza de cola por sexo para los cruceros hidroacústicos de aguas exteriores (agosto 2003) y aguas interiores (septiembre 2003) en la X y XI regiones. (Extraído de Lillo et al., 2004)

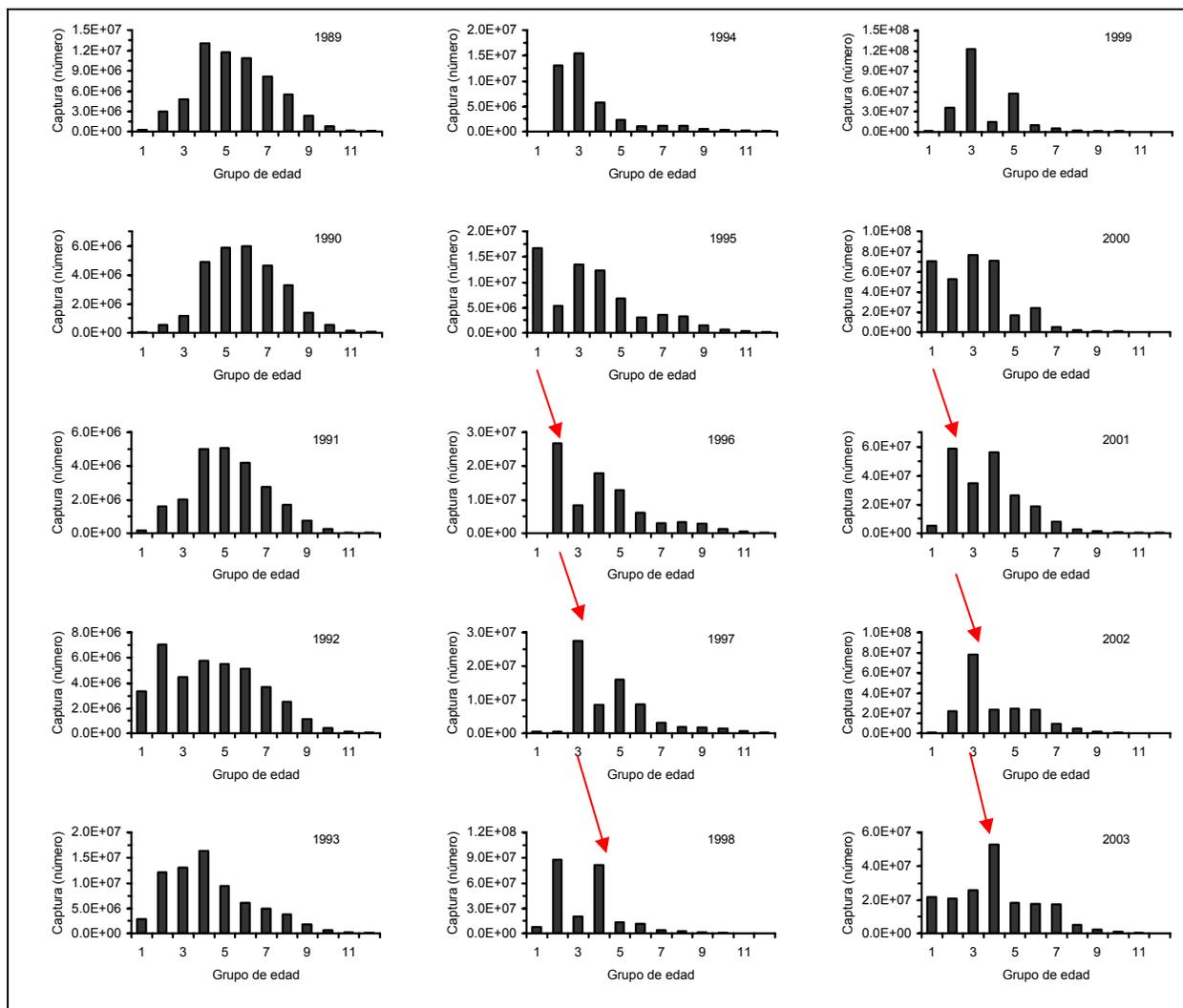


Figura 19. Distribución de la captura en número por edades de merluza de cola extraída en el Atlántico Sudoccidental por la flota argentina durante el período 1989-2003. (Fuente: Wöhler & Giussi, 2004).

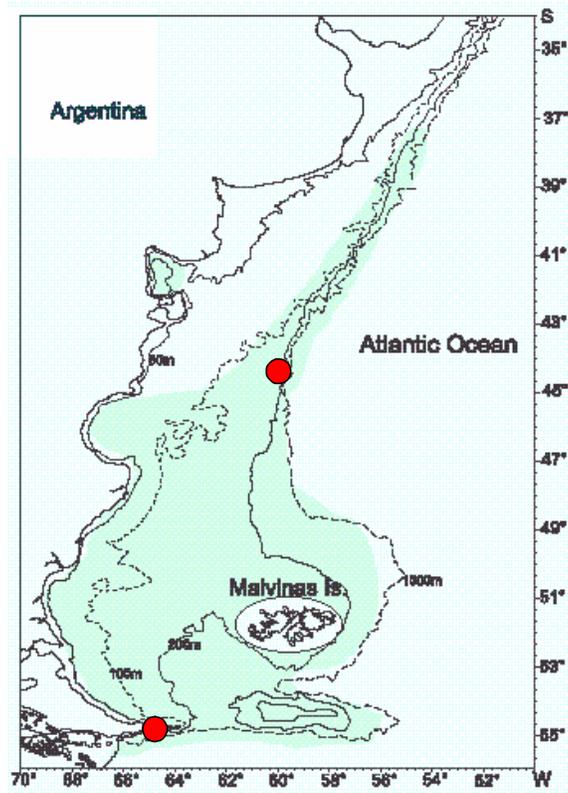


Figura 20. Localización de áreas con actividad reproductiva de merluza de cola en el área de distribución Atlántico Sudoccidental.

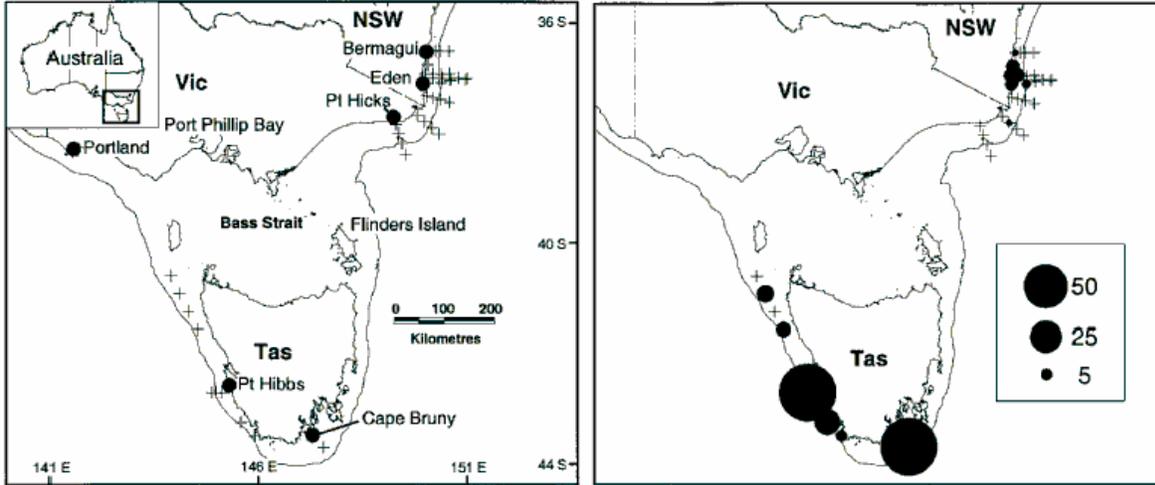


Figura 21. Sitios de muestreo y distribución de larvas de “blue granadier” en Australia sur-este, agosto 1993. La abundancia larval es expresada en número por 1000 m³. (Extraído de Bruce et al., 2001).

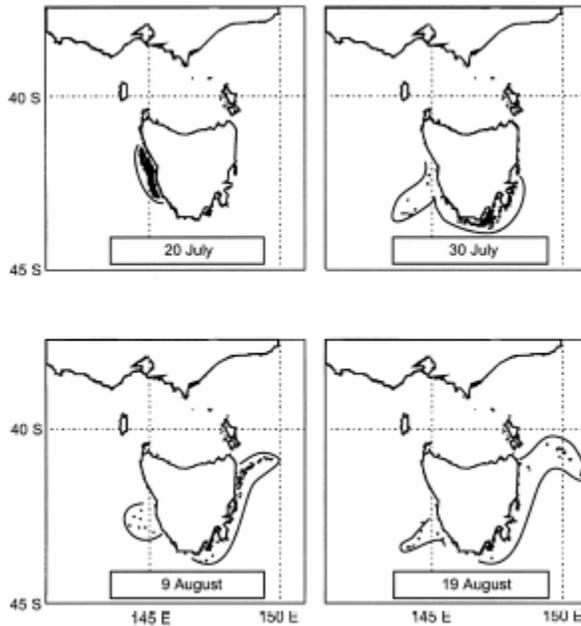


Figura 22. Modelo de dispersión de partículas originadas desde la costa oeste de Tasmania. Las líneas denotan el rango de cobertura de las partículas y su distribución luego de 10, 20 y 30 días de ser originadas. (Extraído de Bruce et al., 2001).

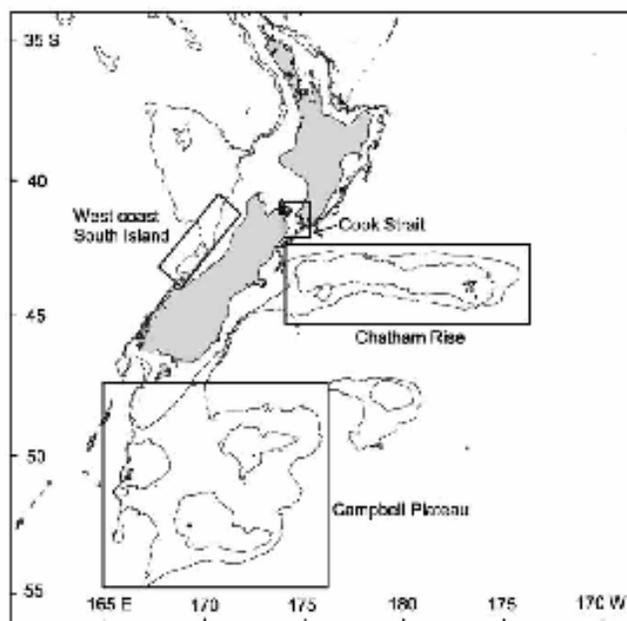


Figura 23. Mapa de Nueva Zelanda mostrando las principales áreas de distribución de “hoki”, *M. novaezelandiae*. (Extraído de O’Driscoll, 2004).

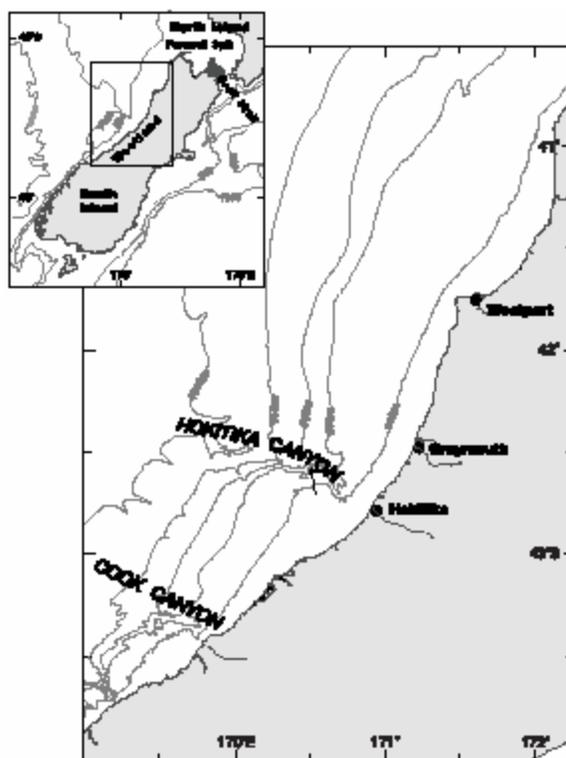


Figura 24. Puntos de localización del stock desovante oste en South Island, Nueva Zelanda (Extraído de Zeldis et al., 1998).

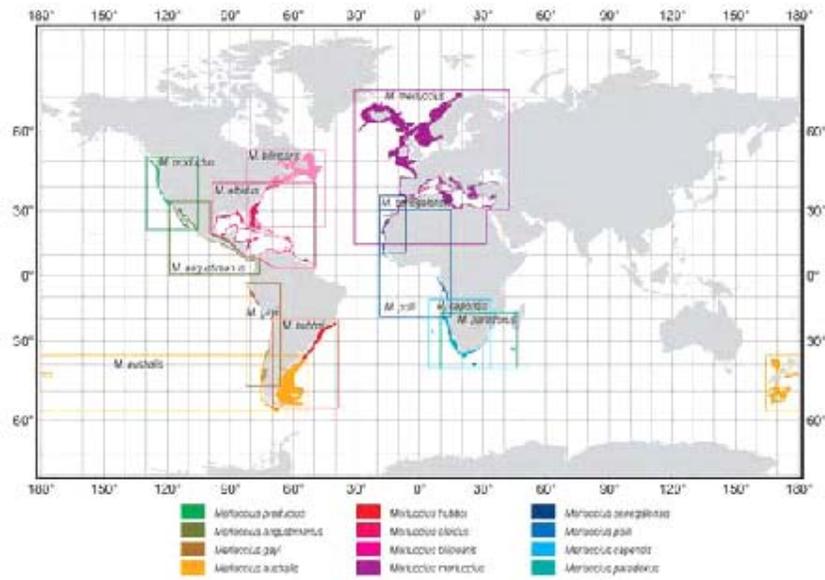


Figura 25. Distribución geográfica del género *Merluccius*. (Extraído de Lloris et al., 1993).

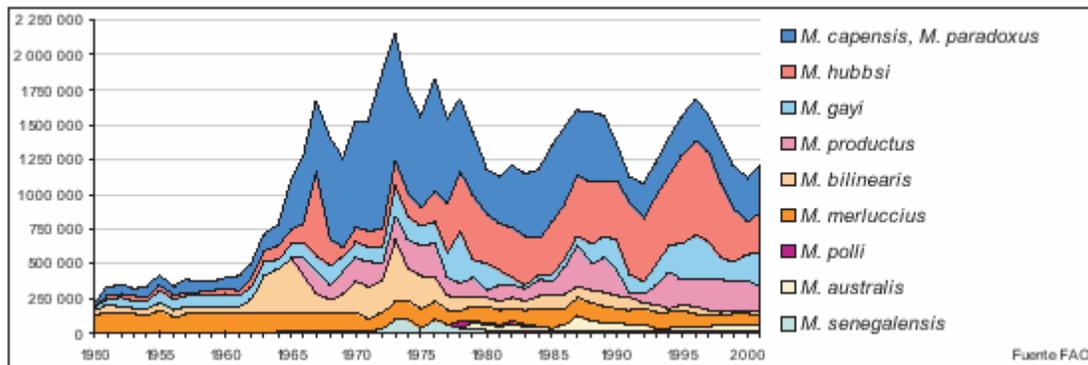


Figura 26. Capturas mundiales (en toneladas) de especies pertenecientes al género *Merluccius* distribuidas en el mundo. (Extraído de Lloris et al., 1993).

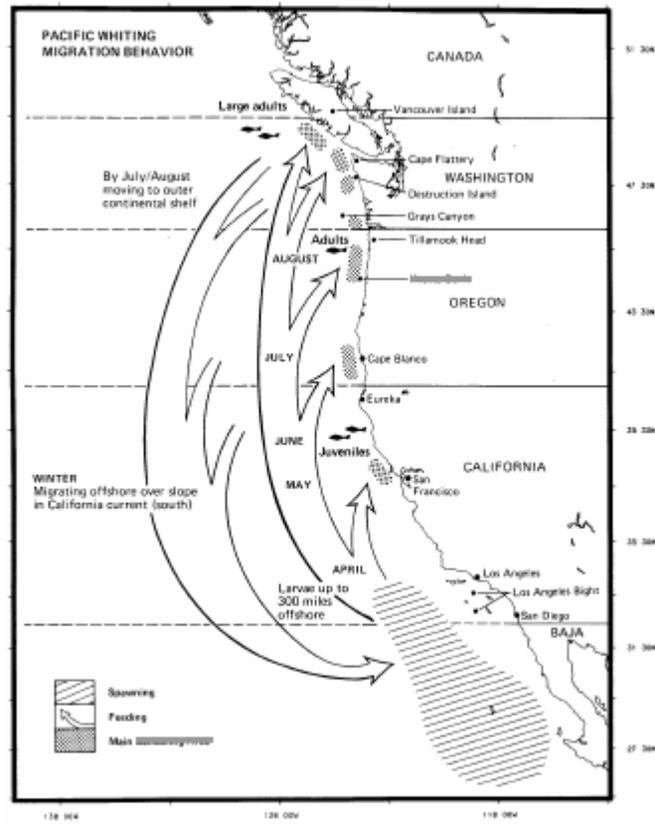


Figura 27. Patrones migratorios de "Pacific hake". (Extraído de Bailey et al., 1982).



Figura 28. Ubicación de las zonas de desove de los stocks de “Pacific hake” en aguas interiores. (Extraído de Iwamoto et al., 2004).

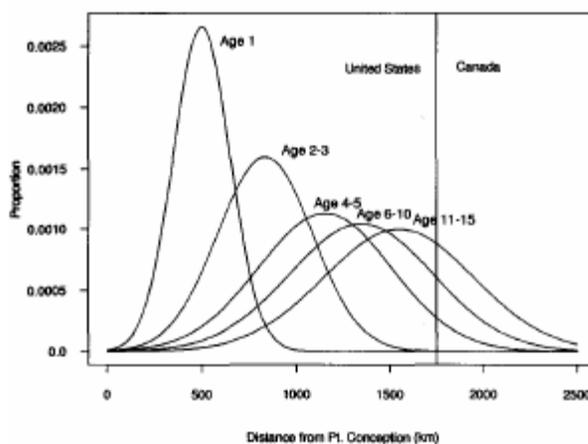


Figura 29. Ilustración esquemática de la distribución por grupo de edad de “Pacific hake”. La línea vertical a los 1750 km muestra la ubicación aproximada del límite en las zonas de Estados Unidos y Canadá (Extraído de Dorn, 1995).

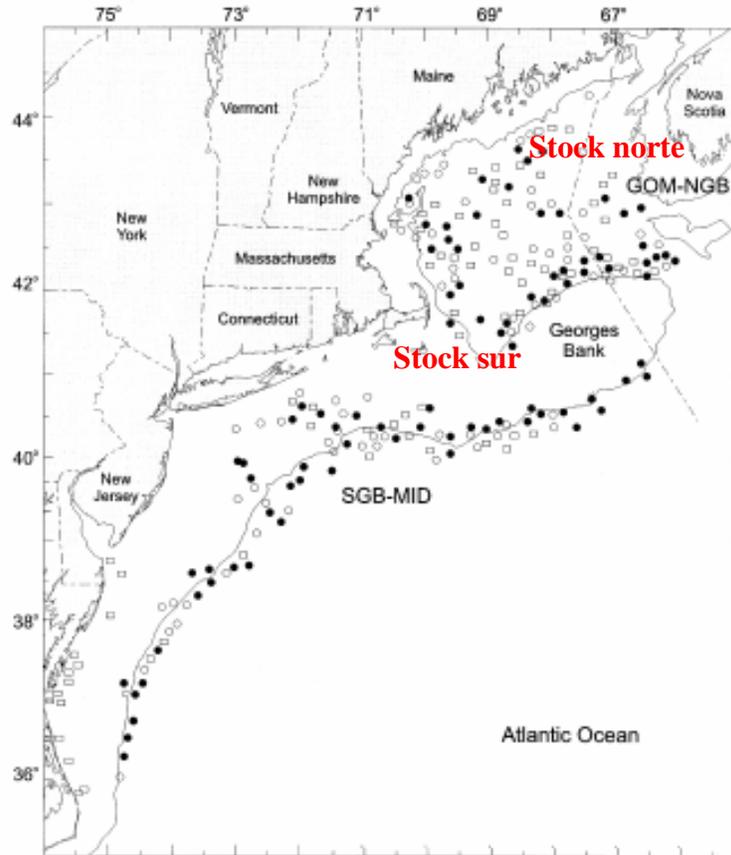


Figura 30. Area de distribución de los stocks norte y sur de “silver hake” (círculos cerrados y abiertos) en el Atlántico Suroeste. La línea punteada marca el límite entre ambos stocks. (Extraído de Bolles & Begg, 2000).

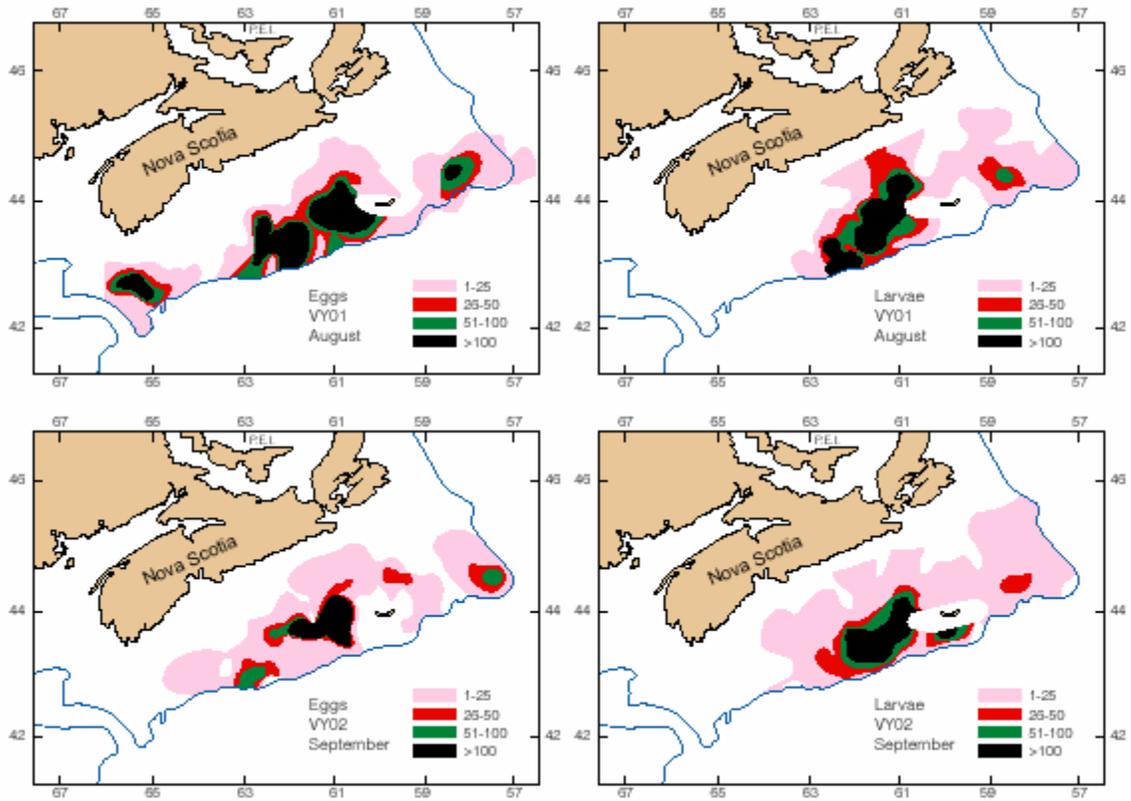


Figura 31. Distribución de huevos y larvas de “silver hake” sobre la plataforma de Nova Scotia. (Extraído de Rikhter et al., 2001).

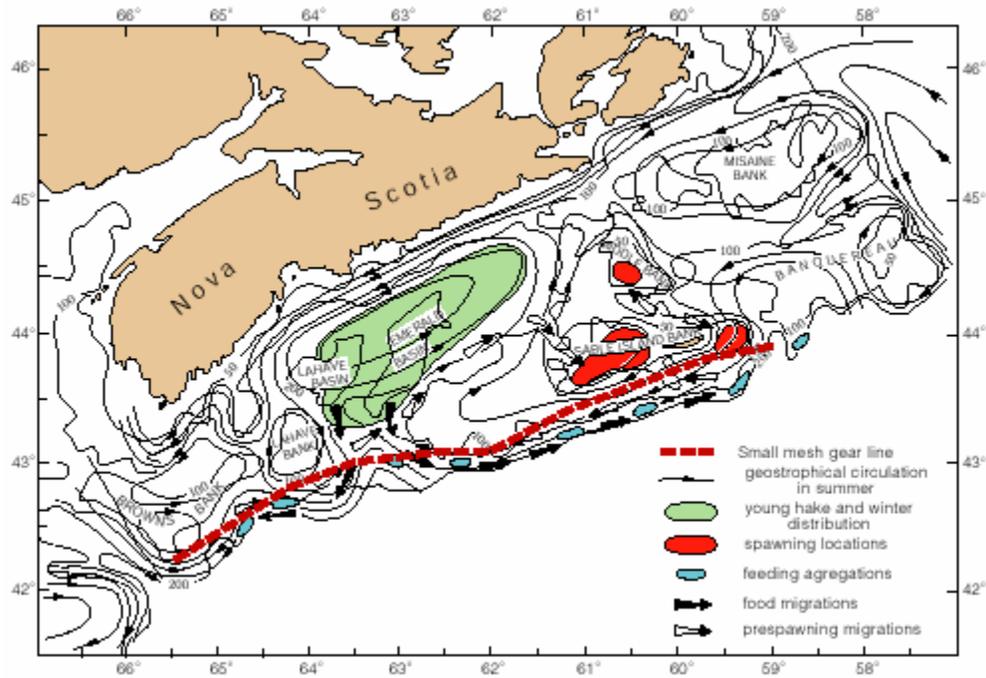


Figura 32. Circulación geostrófica y distribución de “silver hake” sobre la plataforma de Nova Scotia. (Extraído de Rikhter et al., 2001).

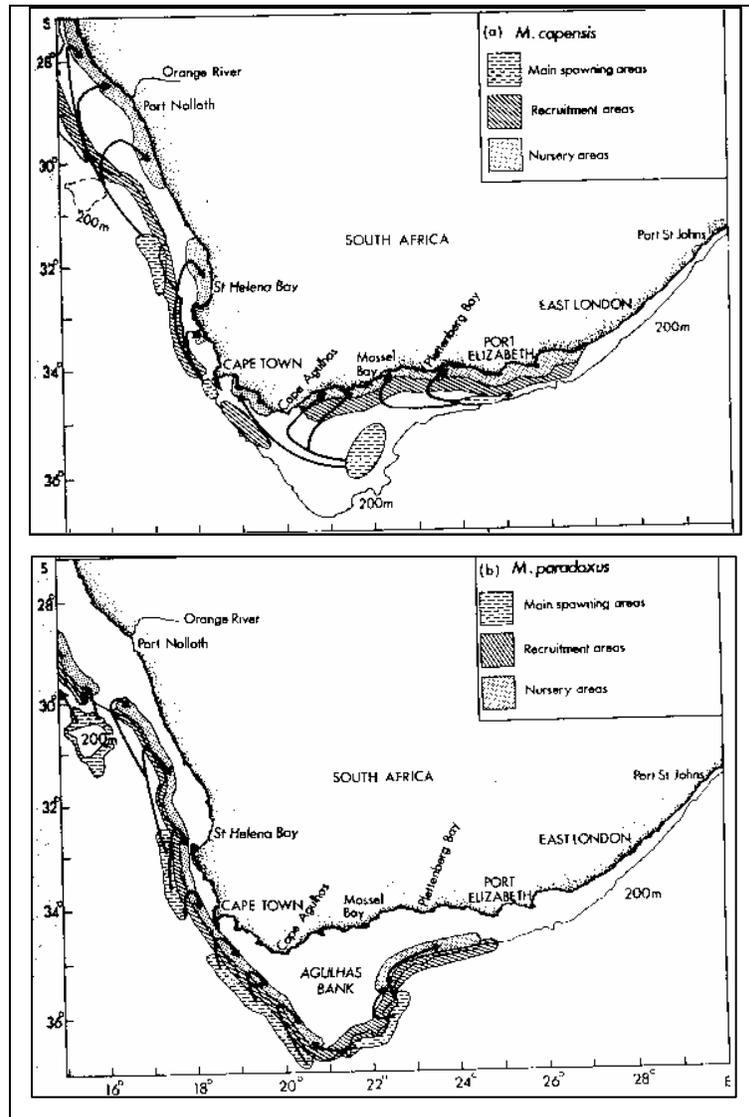


Figura 33. Mapa conceptual de las áreas de desove, crianza y reclutamiento de (a) *M. capensis* y (b) *M. paradoxus* en South Africa. (Extraído de Payne & Punt, 1995).

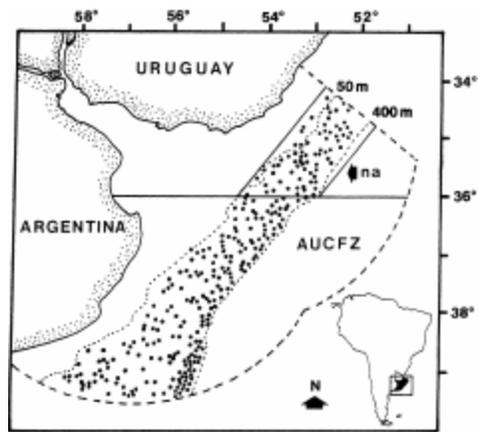


Figura 34. Zona Común de Pesca Argentina-Uruguay (en inglés AUCFZ). Los veriles de 50 y 400 m de profundidad corresponden a los límites donde habitualmente se llevan a cabo los cruceros de evaluación del stock norte de *M. hubbsi*. (Extraído de Norbis et al., 1999).

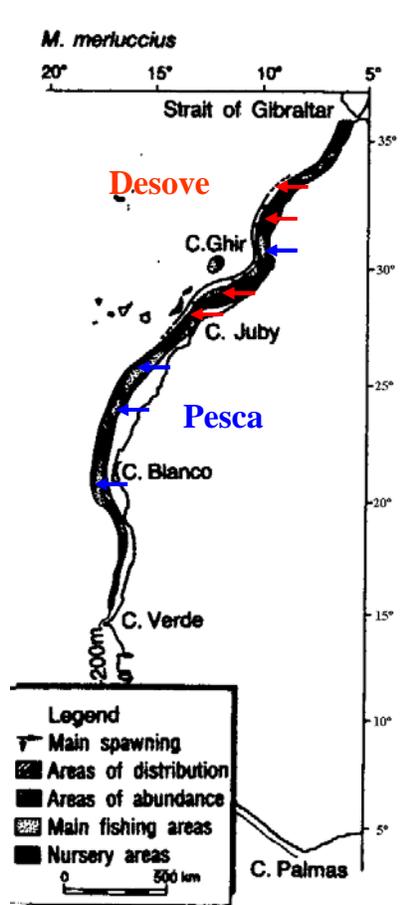


Figura 35. Distribución de las áreas de pesca y desove de *M. merluccius* en aguas del noroeste de Africa. (Extraído de Ramos & Fernández, 1995).

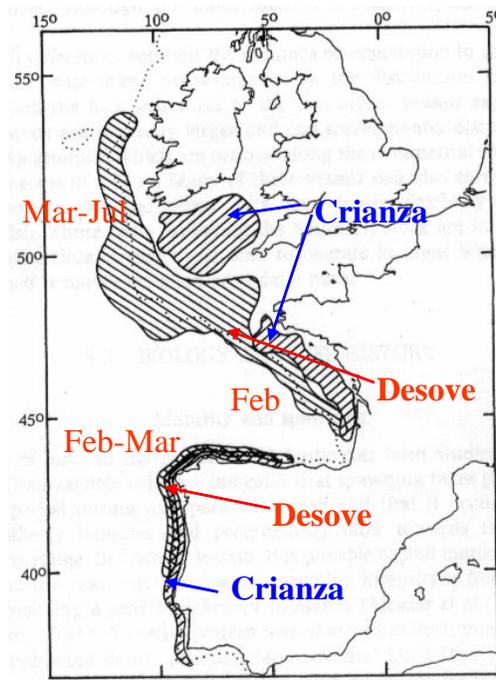


Figura 36. Distribución de las áreas de desove y crianza de *M. merluccius* en aguas europeas del Atlántico noroeste. (Extraído de Casey & Pereiro, 1995).

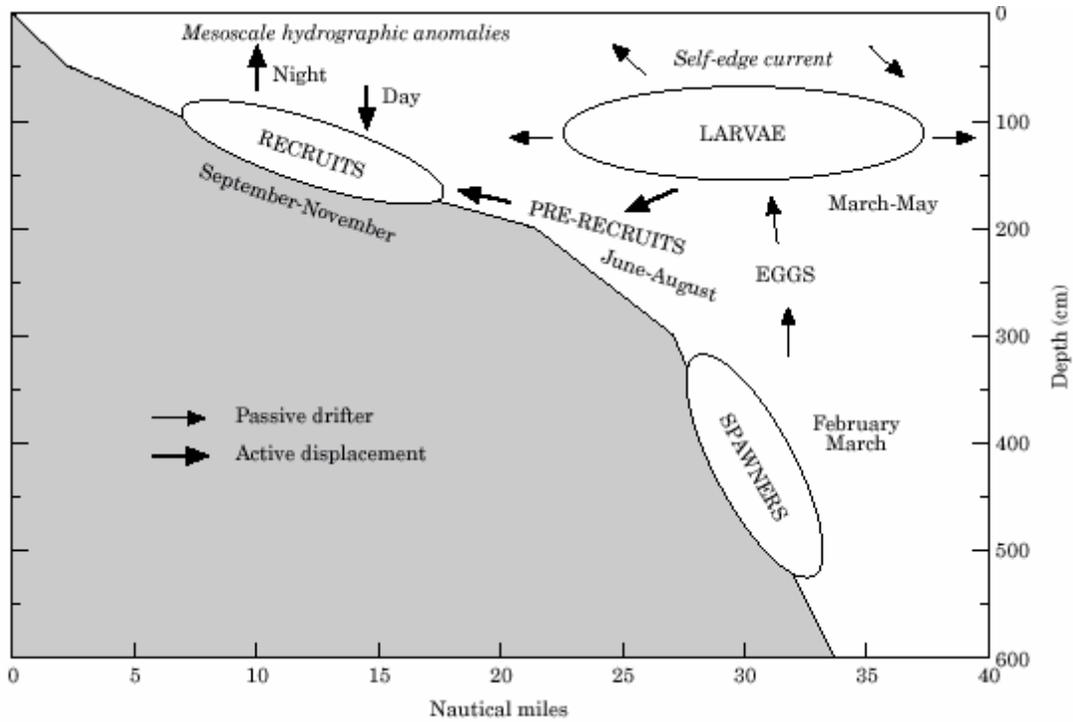


Figura 37. Proceso de reclutamiento de *M. merluccius* en Bay of Biscay. (Extraído de Sánchez & Gil, 2000).

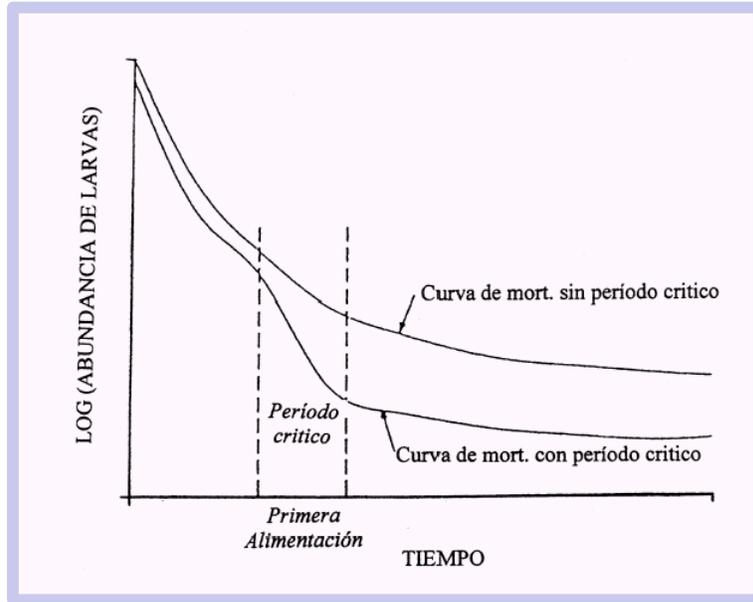


Figura 38. Curvas de mortalidad con y sin el periodo crítico de la primera alimentación postulado por Hjort (1914).

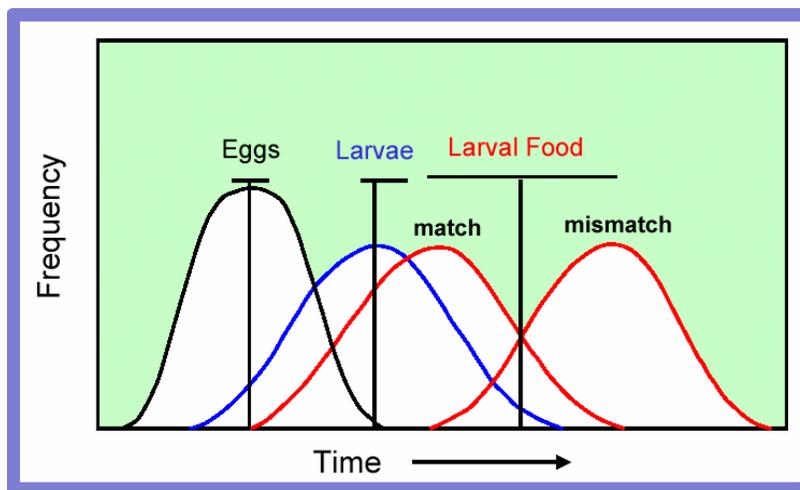


Figura 39. Modelo conceptual de la Hipótesis Match-Mismatch desarrollada por Cushing (1975).

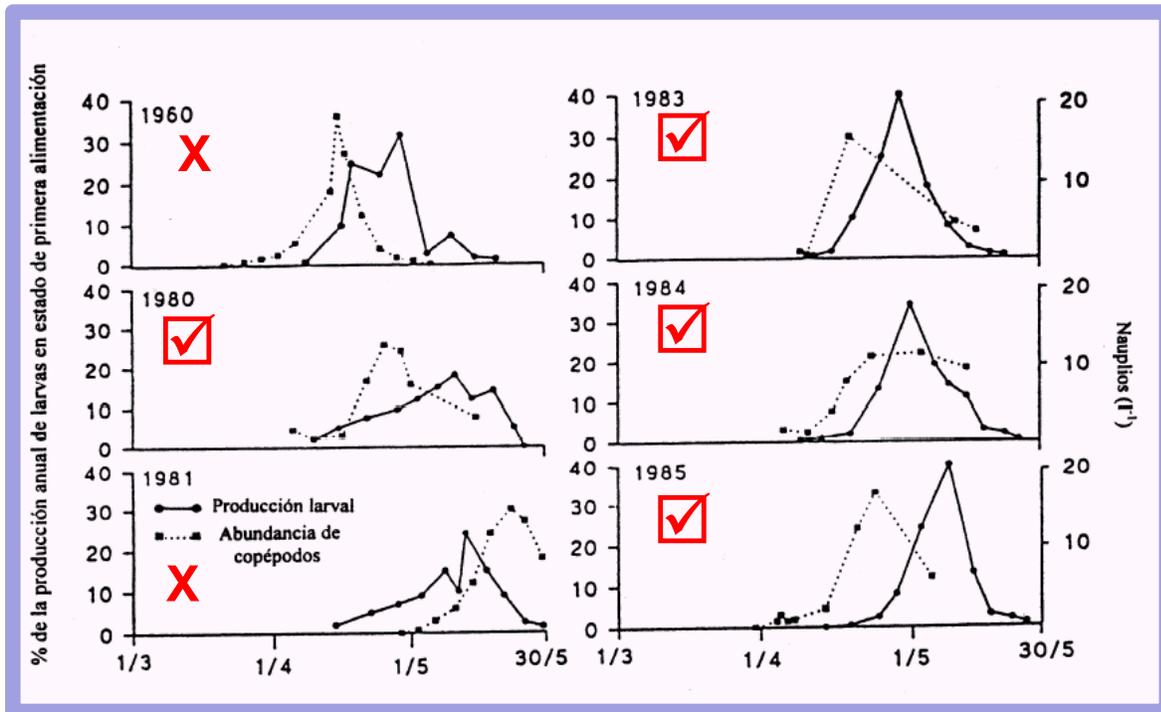


Figura 40. Acople (✓) y desacople (X) entre la abundancia de larvas de bacalao (*Gadus morhua*) en estado de primera alimentación y la abundancia de sus presas (*C. finmarchicus*) (Extraído de Ellertsen et al., 1989).

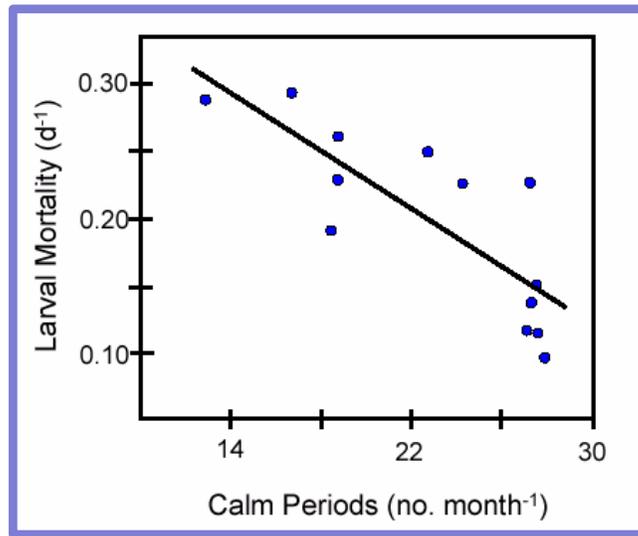


Figura 41. Relación entre la tasa diaria de mortalidad larval en *Engraulix mordax* y el número de periodos de calma por mes durante la estación de desove.

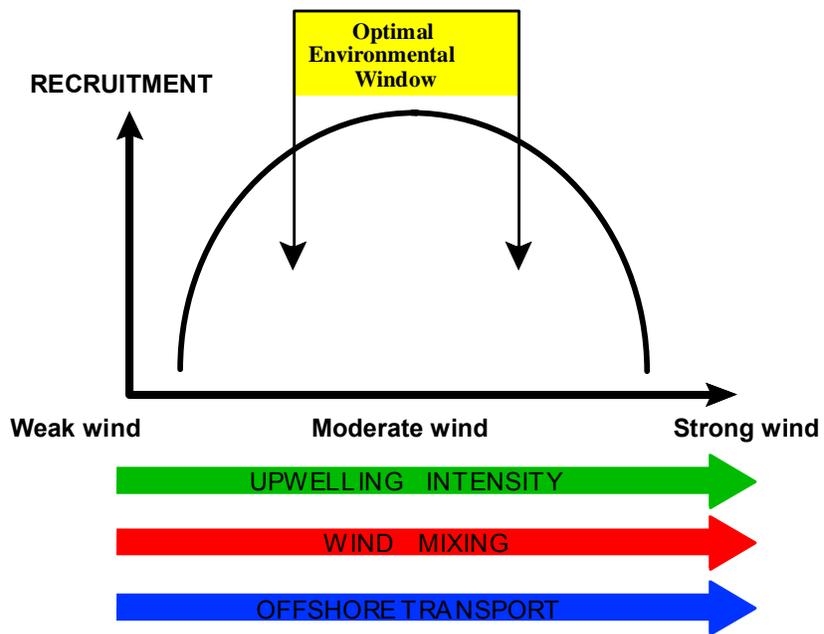


Figura 42. Esquema que resume la Hipótesis de la “Ventana Ambiental óptima”.

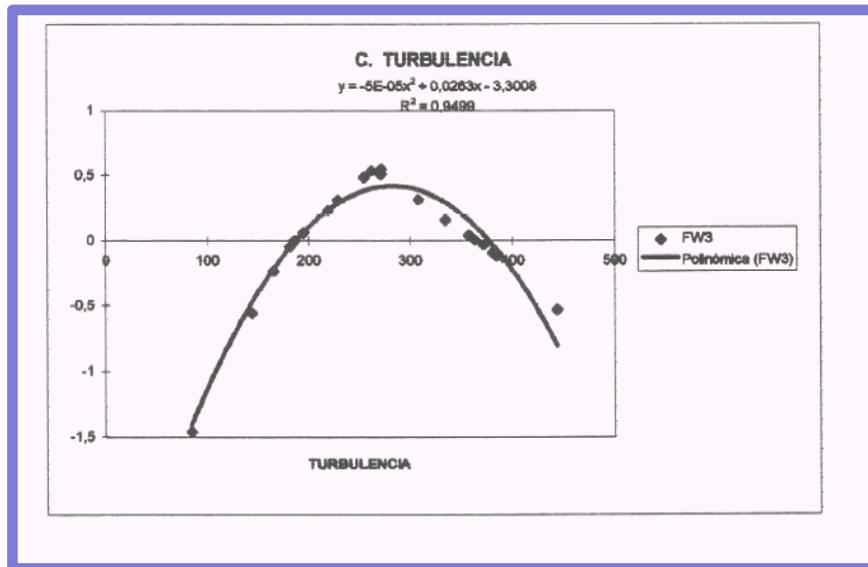


Figura 43. Función que relaciona la intensidad de la turbulencia y la anomalía del reclutamiento. Los puntos sobre el eje de las ordenadas indica reclutamientos positivos. (Extraído de Paya et al., 1998).

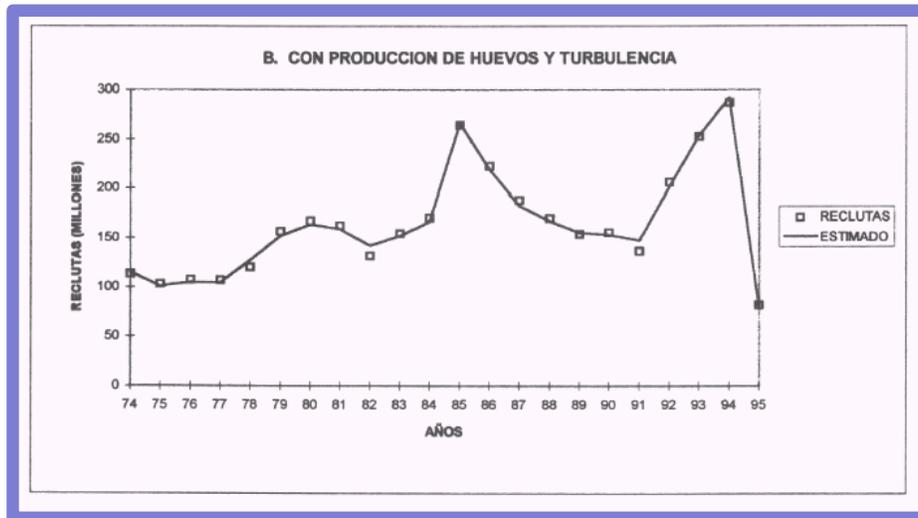


Figura 44. Turbulencia promedio de Talcahuano y Valparaíso registrada en agosto y su relación con la producción de huevos. (Extraído de Paya et al., 1998).

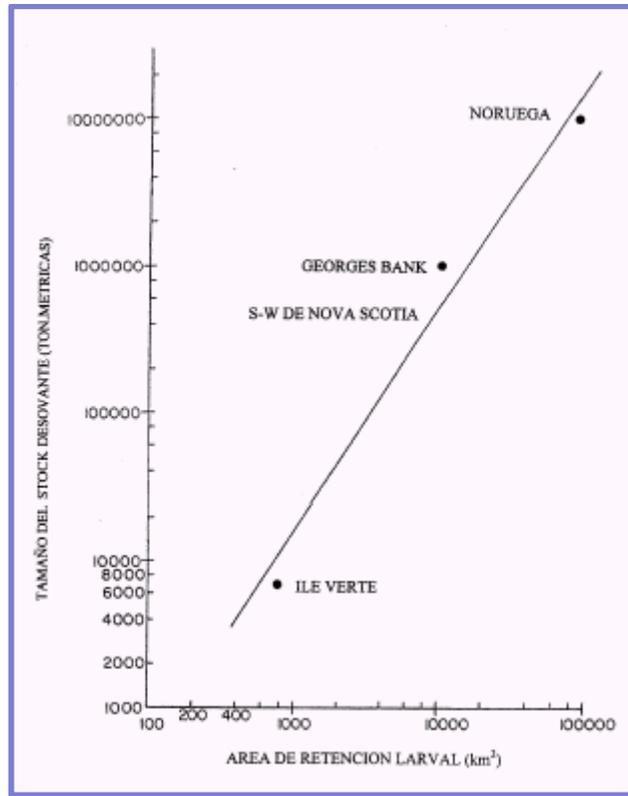


Figura 45. Relación entre el tamaño del stock desovante y el tamaño del área de retención larval en *Clupea harengus*.

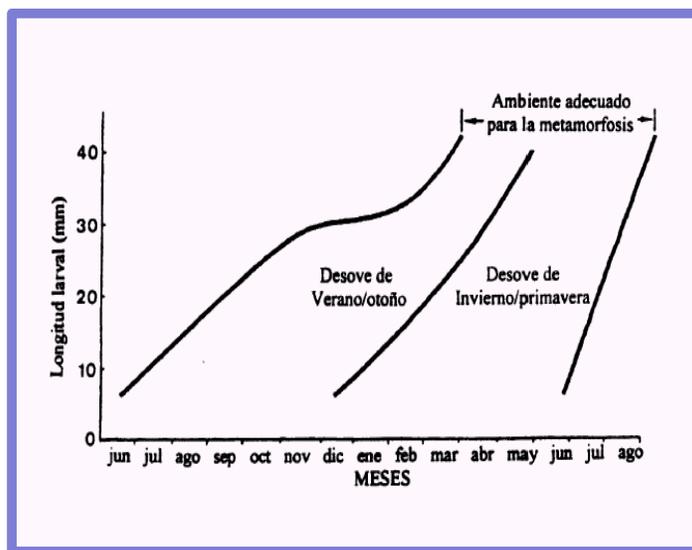


Figura 46. Relación entre el crecimiento larval y el período de desove. (Extraído de Sinclair & Tremblay, 1984).

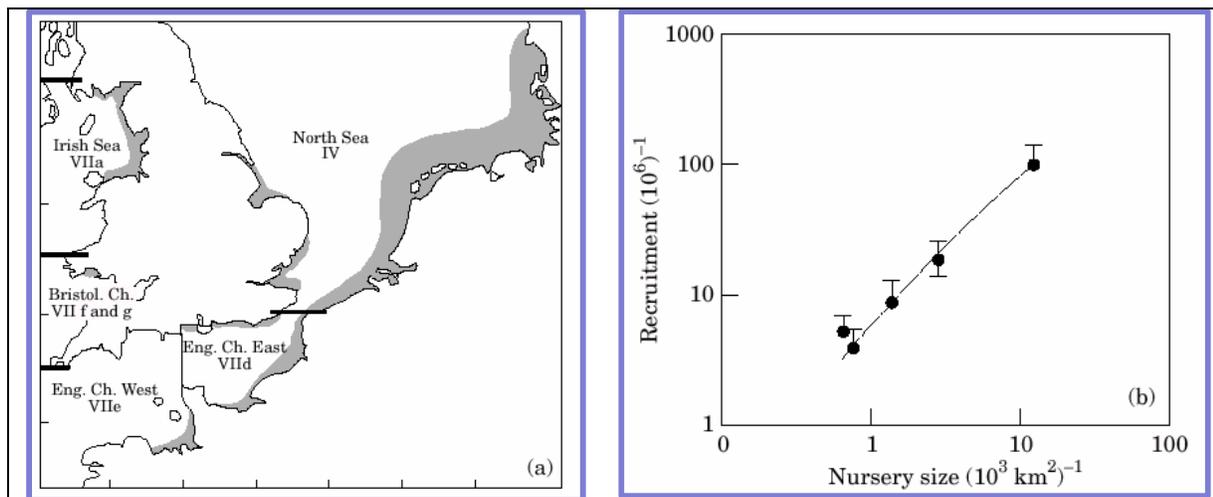


Figura 47. Localización de los stocks de *Solea solea* en el Mar del Norte y relación entre el reclutamiento promedio y el tamaño del área de crianza.

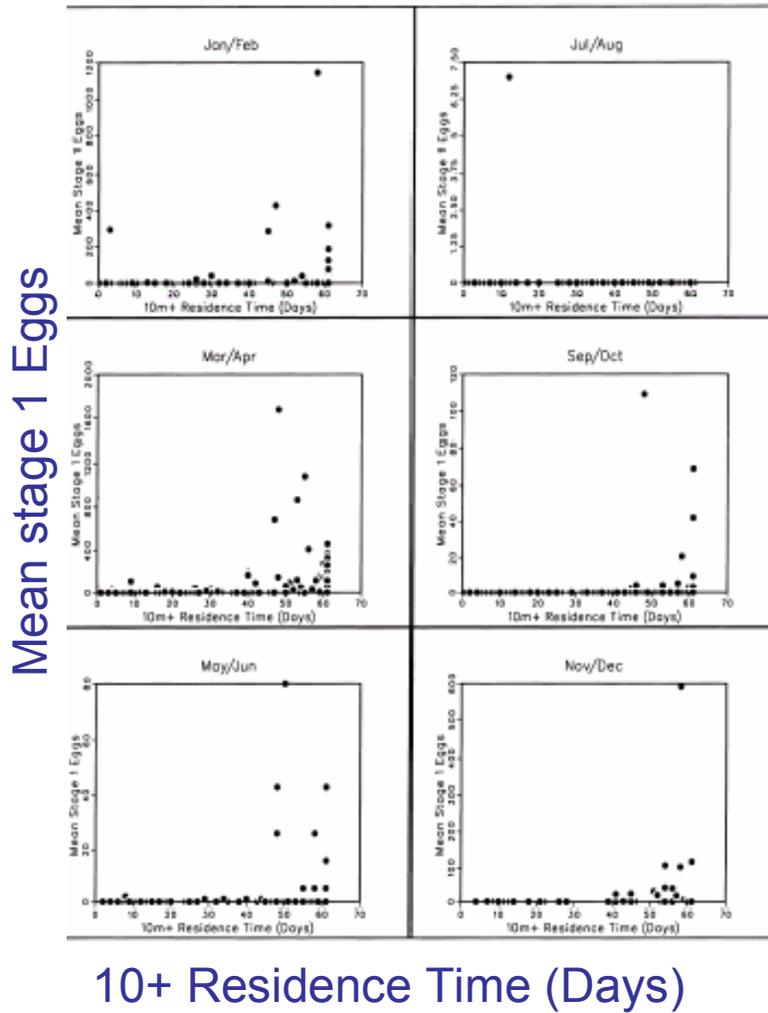


Figura 48. Concentración de huevos de bacalao (número/10 m²) versus tiempo de residencia promedio en el rango de 10-50 m de profundidad.

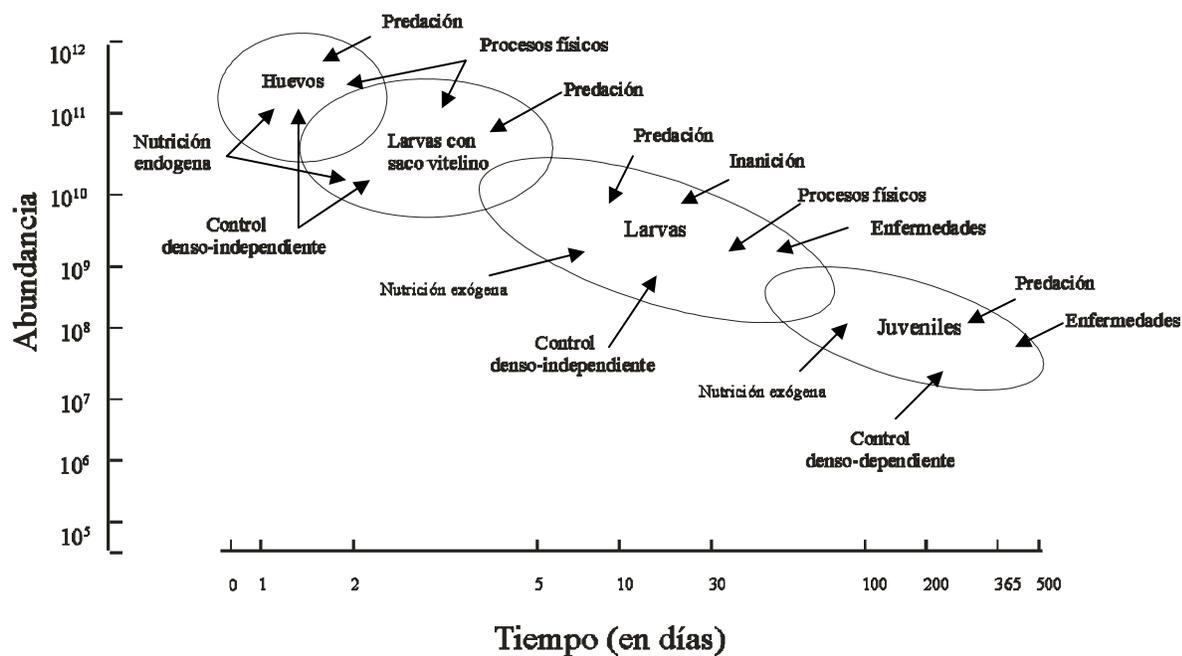


Figura 49. Conceptualización del proceso de reclutamiento incluyendo fuentes de nutrición, probables fuentes de mortalidad y los mecanismos hipotéticos de cuatro estadios de vida tempranos (modificado de Houde, 1987).

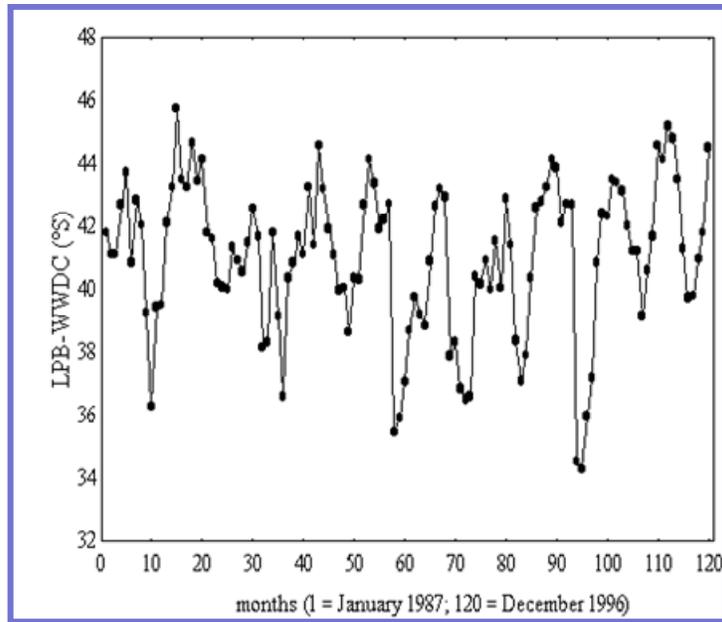


Figura 50. Serie de tiempo mensual de la PLBCDO entre 1987 y 1996 (figura proporcionada por R. Quiñones, 2005).

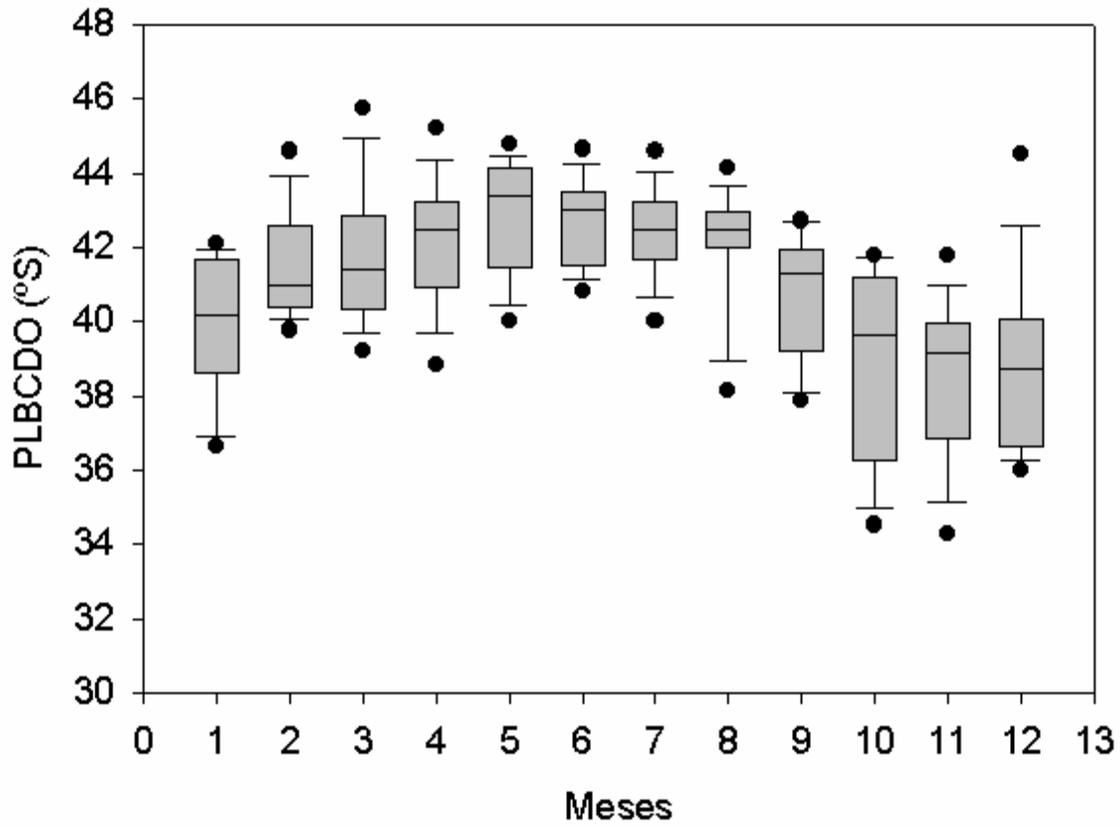


Figura 51. Serie de tiempo mensual de la PLBCDO para todos los años entre 1987 y 1996 (figura proporcionada por R. Quiñones, 2005).

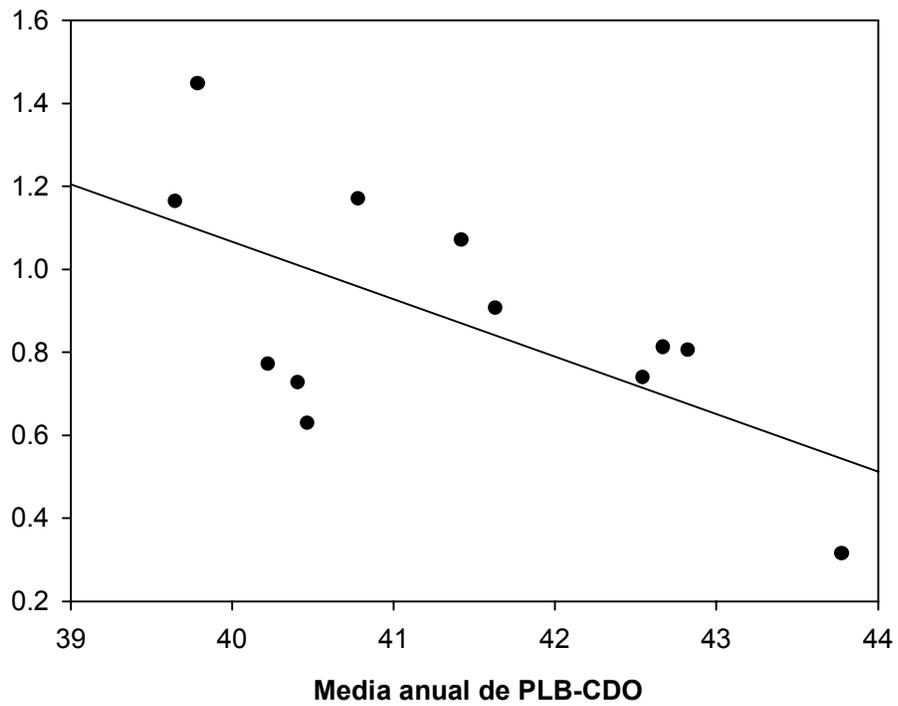


Figura 52. Correlación entre media anual de la posición latitudinal de la CDO y el reclutamiento de merluza de cola (figura proporcionada por R. Quiñones, 2005).

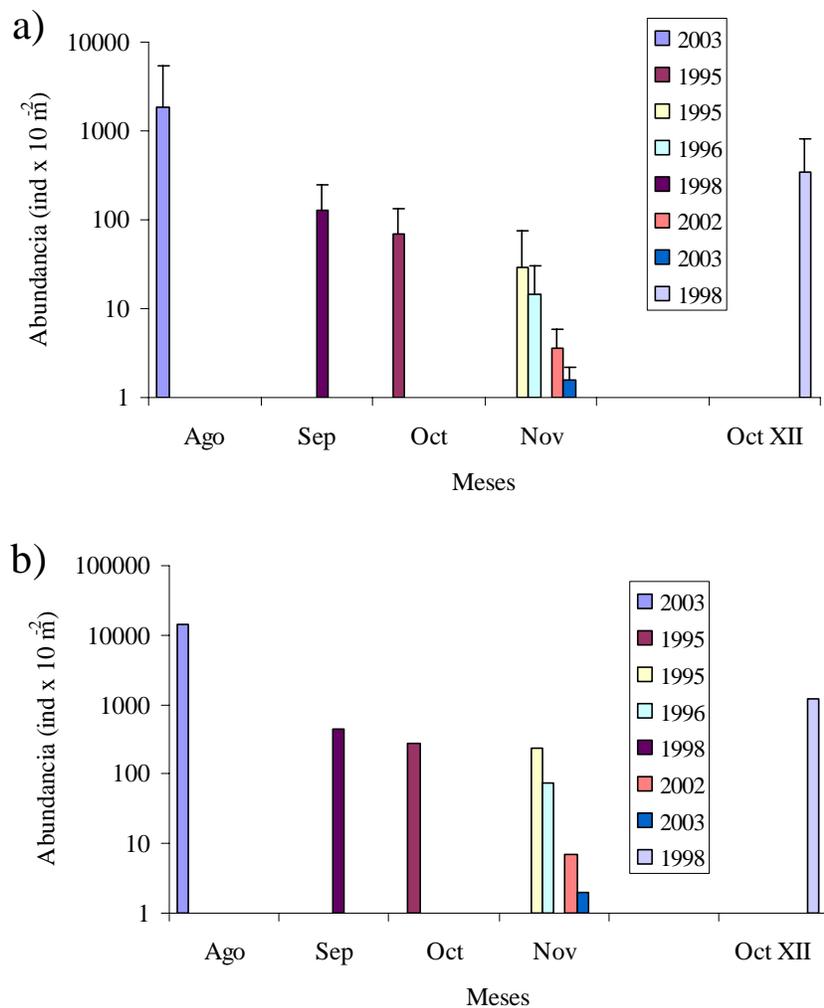


Figura 53. Larvas de merluza de cola, *Macrurus magellanicus*, en la zona interior de los canales de la X-XI Regiones. Oct. XII corresponde a crucero realizado en Octubre en la XII Región. a) abundancia promedio (+ 1 desv. est.). b) abundancia máxima en el crucero (ind x 10 m²).

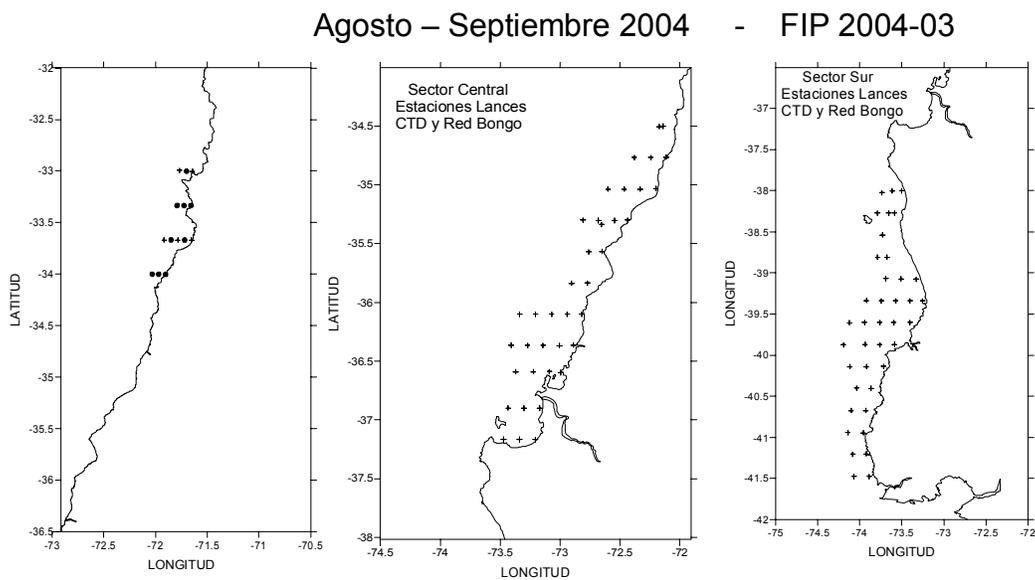
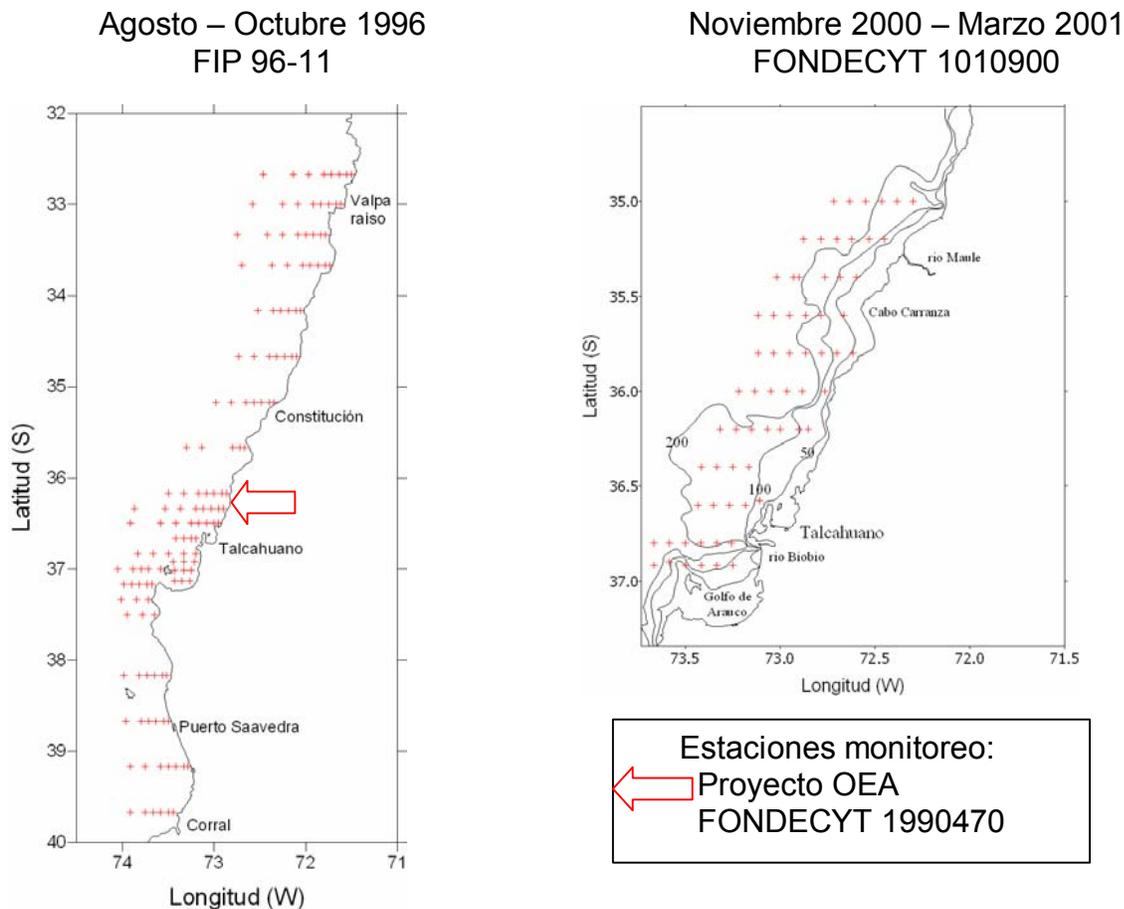


Figura 54. Areas de muestreo de ictioplancton en el Sector Corriente de Humboldt (Regiones V–X) de los proyectos considerados en el presente estudio.

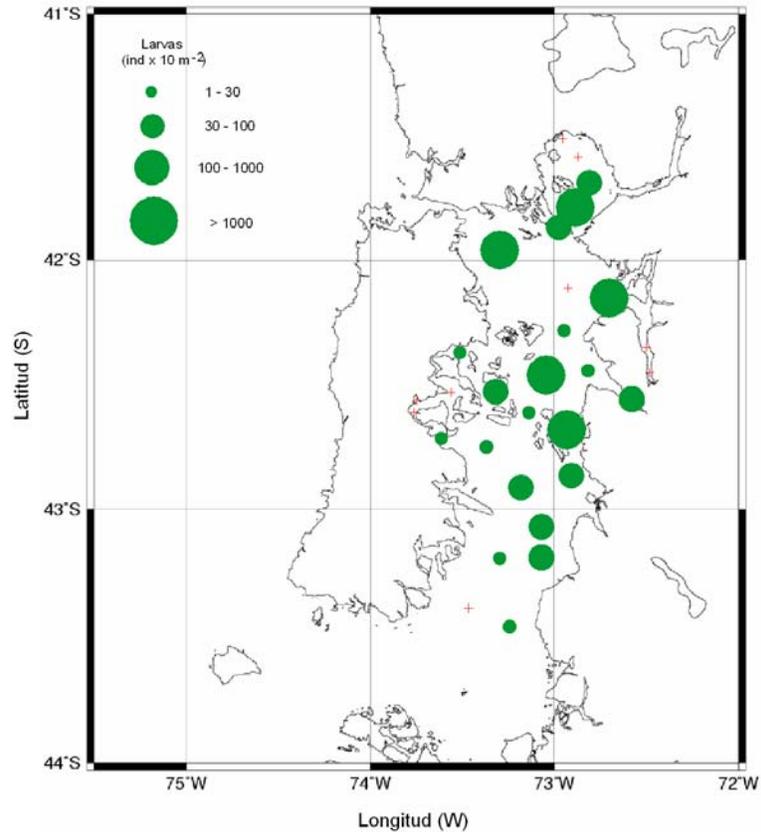
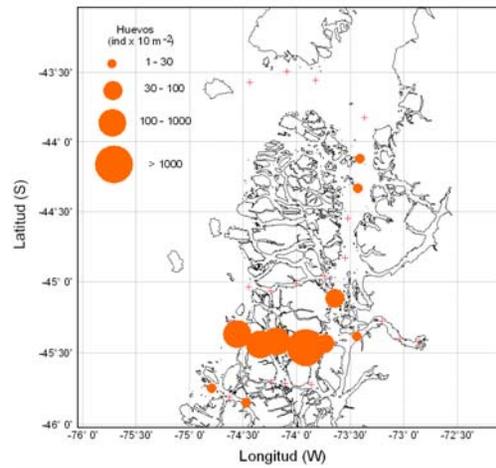
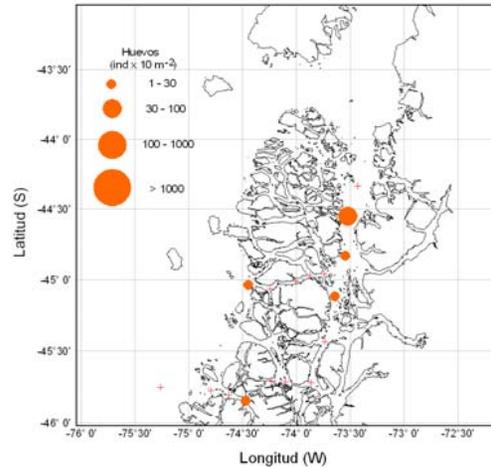


Figura 55. X Región. Larvas de *M. magellanicus* colectadas en Octubre de 1995.

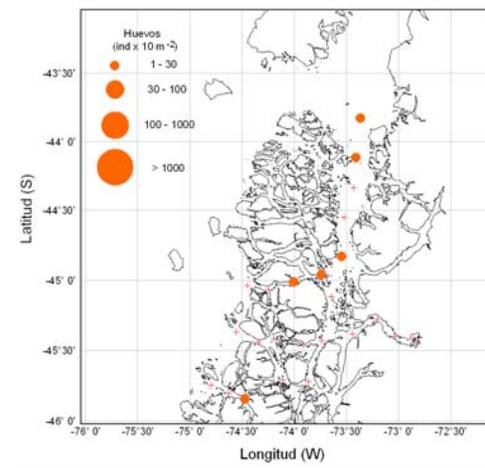
a) Huevos - Agosto 2003



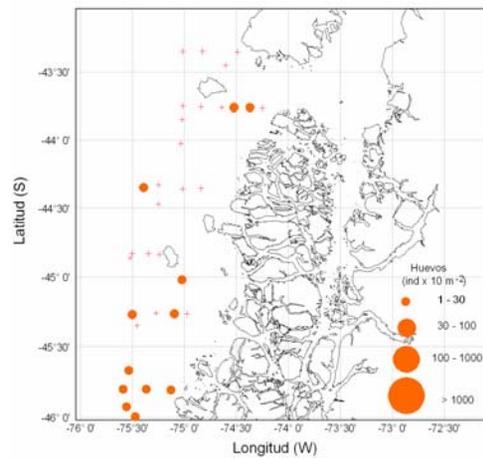
b) Huevos - Noviembre 2002



c) Huevos - Noviembre 2003



XI REGION



d) Huevos – Sept.-Oct. 1996

Figura 56. XI Región. Huevos de *M. magellanicus* colectadas en diferentes cruceros. a – c): Cruceros en los canales. d) Crucero en aguas exteriores.

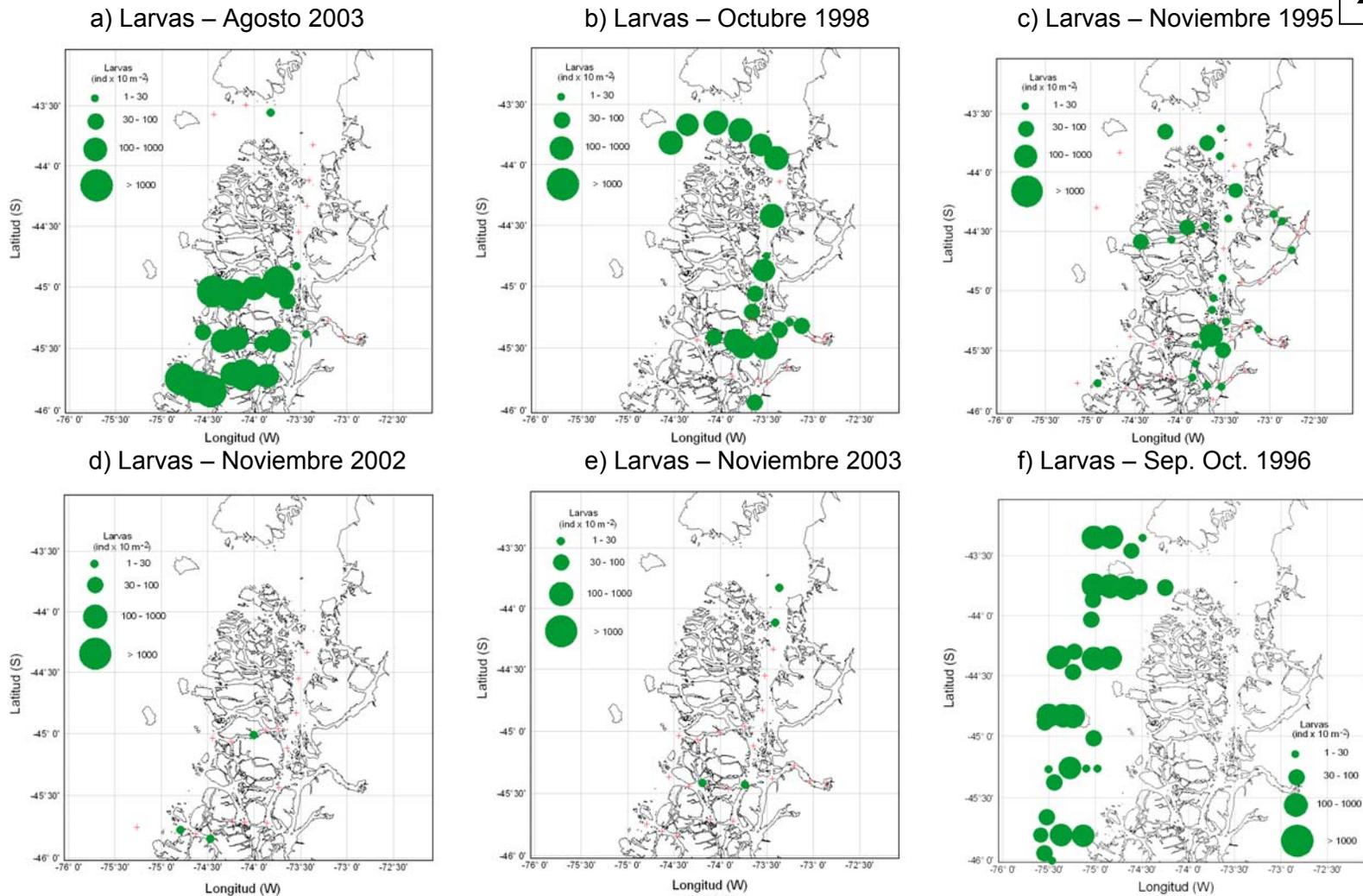


Figura 57. XI Región. Larvas de *M. magellanicus* colectadas en diferentes cruceros. a – e): Cruceros en canales. d) Crucero en aguas exteriores.

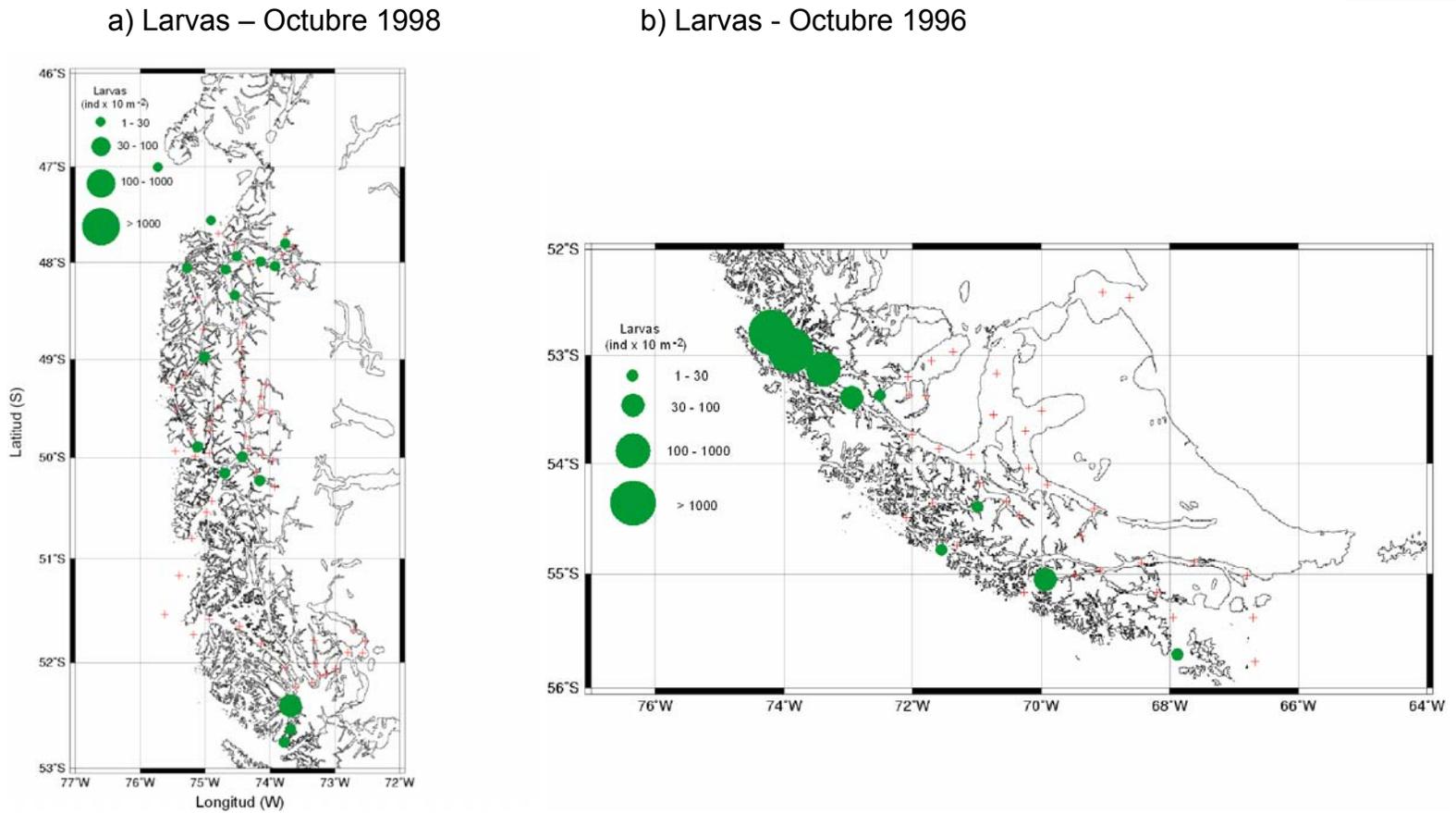


Figura 58. XII Región. Larvas de *M. magellanicus* colectadas en diferentes cruceros.

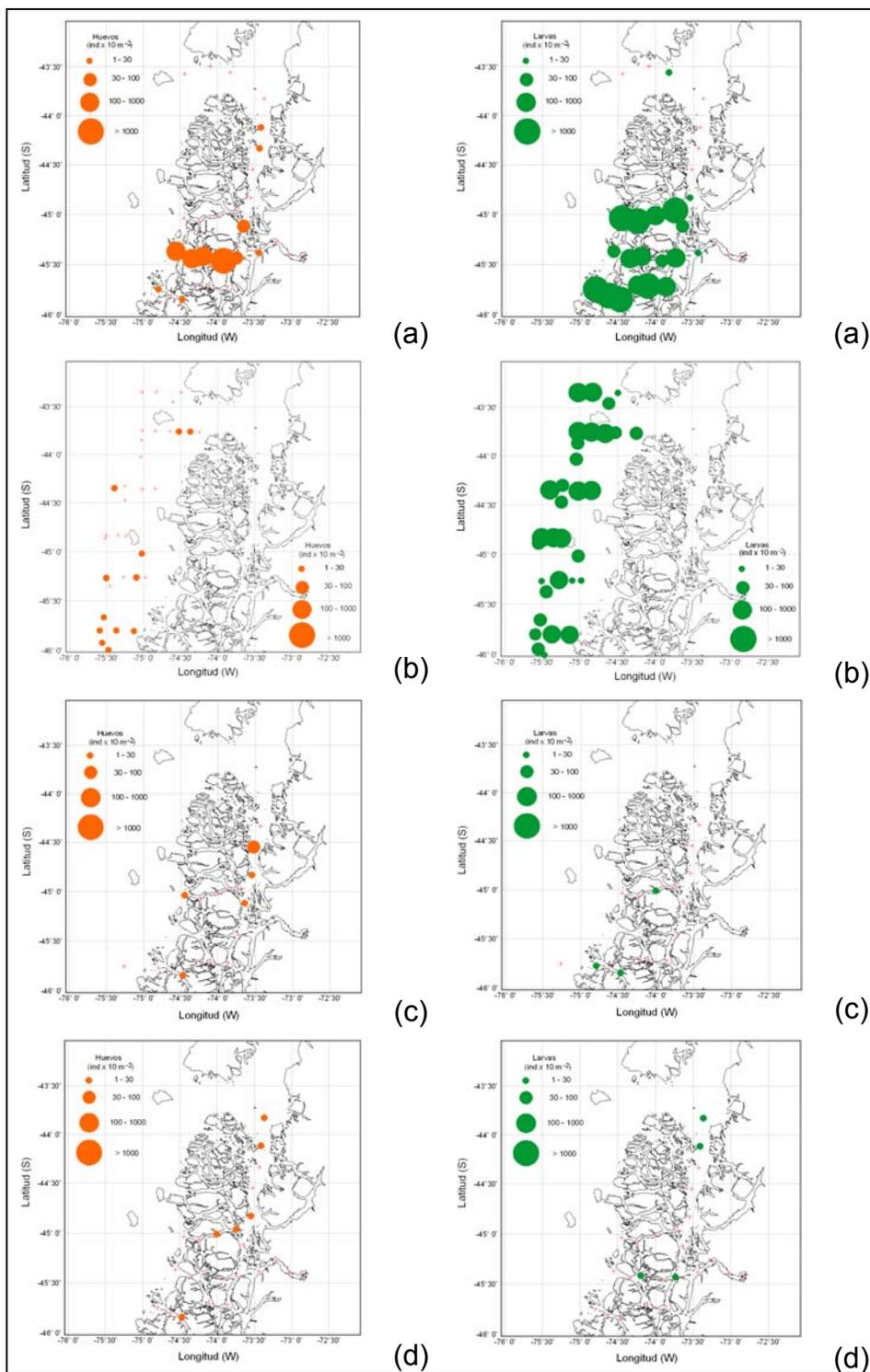
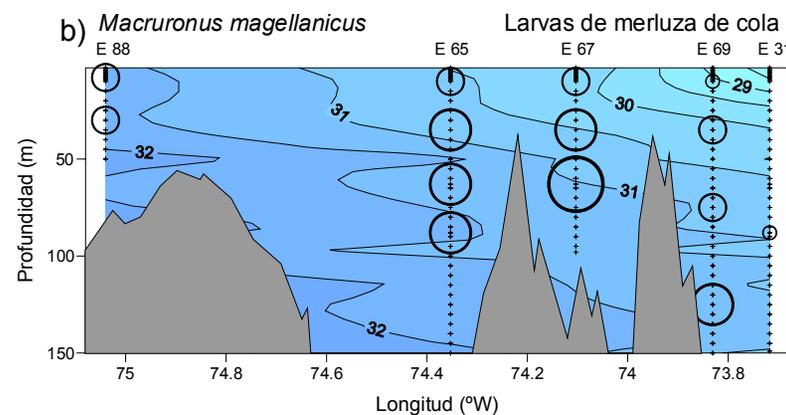
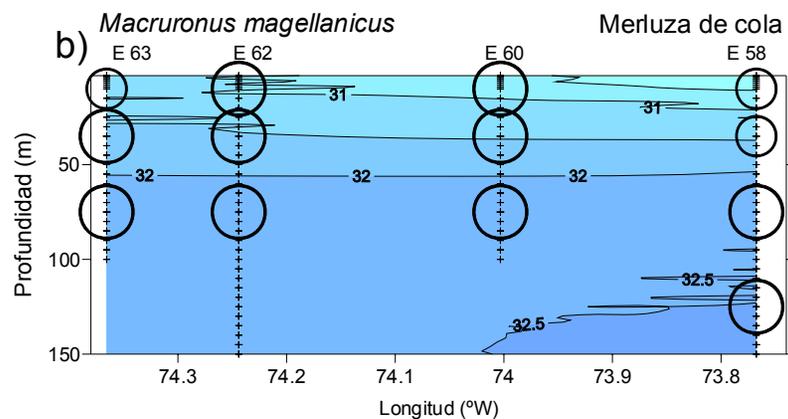
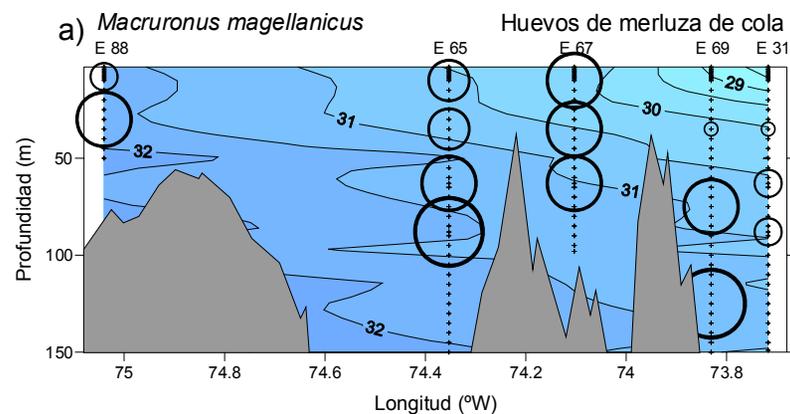
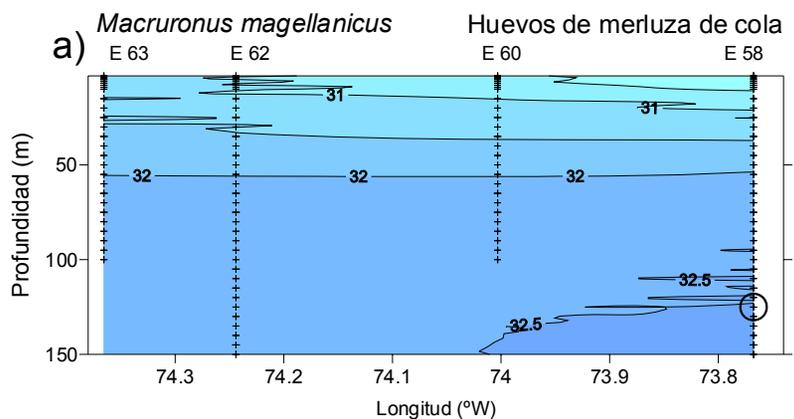


Figura 59. Variaciones en la distribución de huevos y larvas de *M. magellanicus* en aguas interiores (a, c y d) y exteriores (b) de la XI Región. (a) agosto 2003, (b) septiembre-octubre 1996, (c) noviembre 2002, (d) noviembre 2003.



ind x 1000 m⁻³

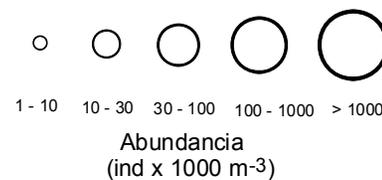
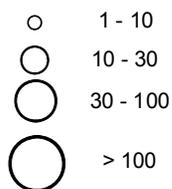


Figura 60. Distribución vertical de huevos y larvas de *M. magellanicus* en los canales Ninhualac y Darwin de la XI Región durante Agosto del 2003.

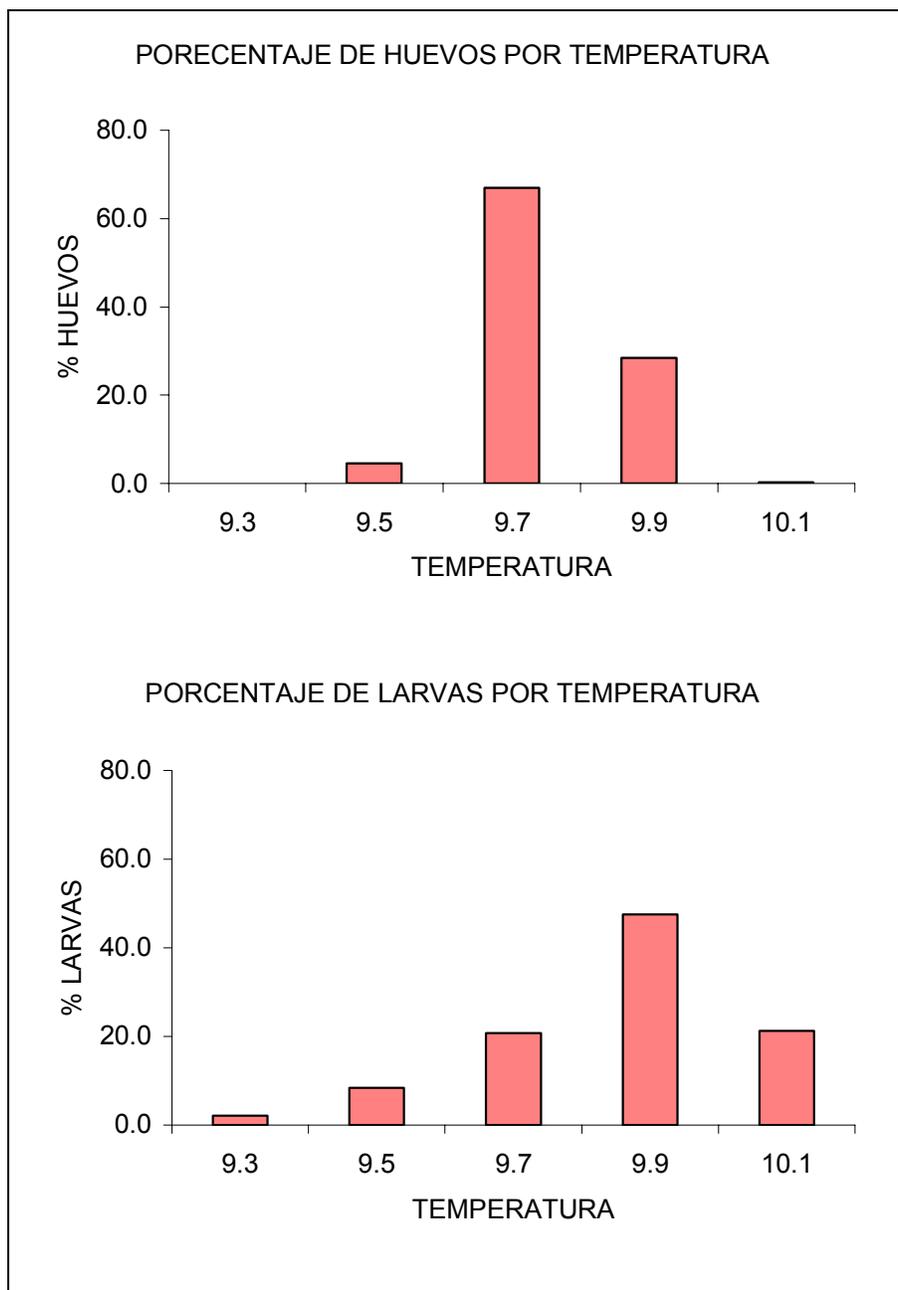


Figura 61. Frecuencia de huevos y larvas de *M magellanicus* colectadas en desde distintas profundidades en los Canales Ninhualac y Darwin Agosto 2003), por rango de temperatura.

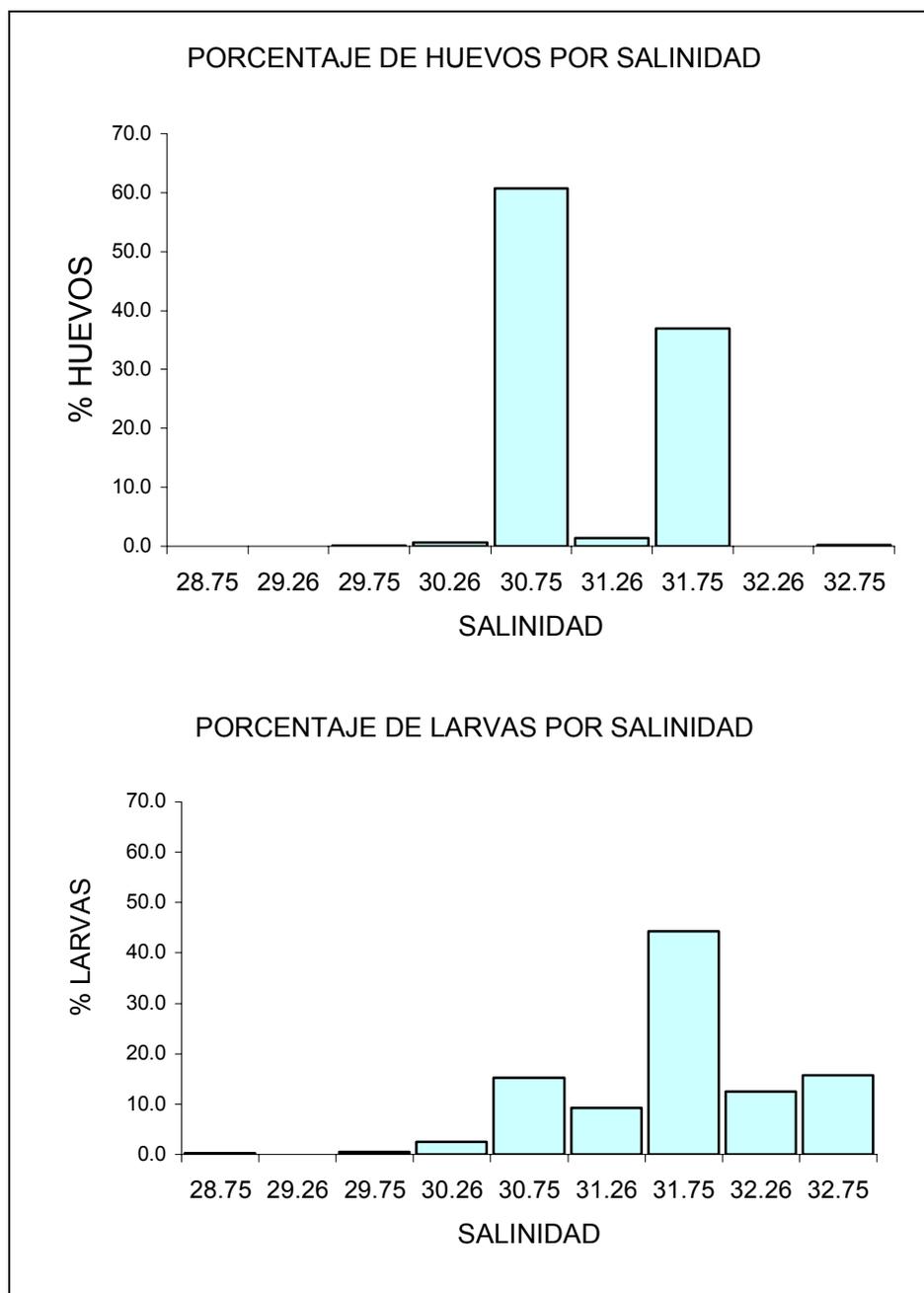


Figura 62. Frecuencia de huevos y larvas de *M. magellanicus* colectadas en desde distintas profundidades en los Canales Ninhualac y Darwin Agosto 2003), por rango de salinidad.

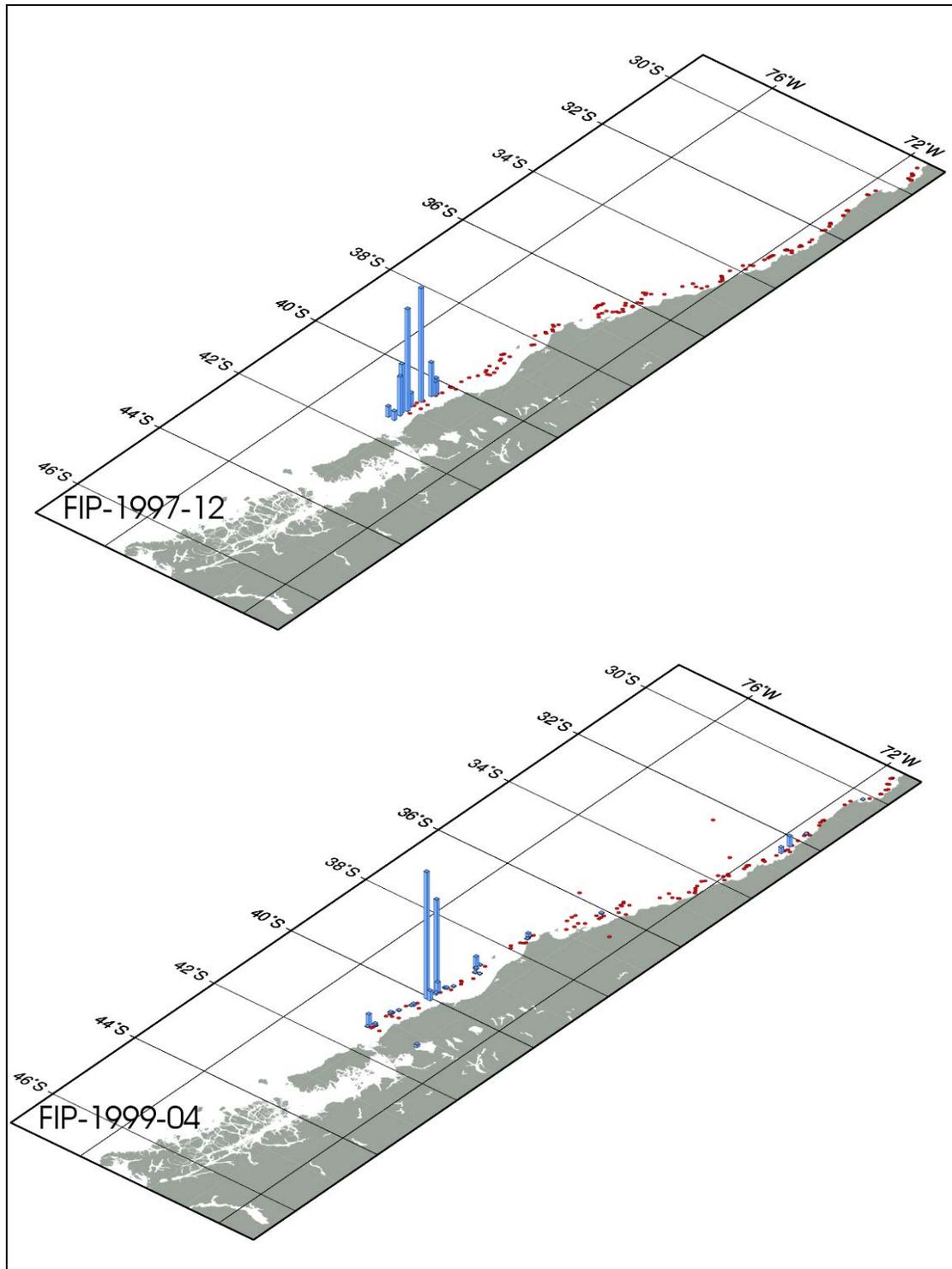


Figura 63. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza común. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

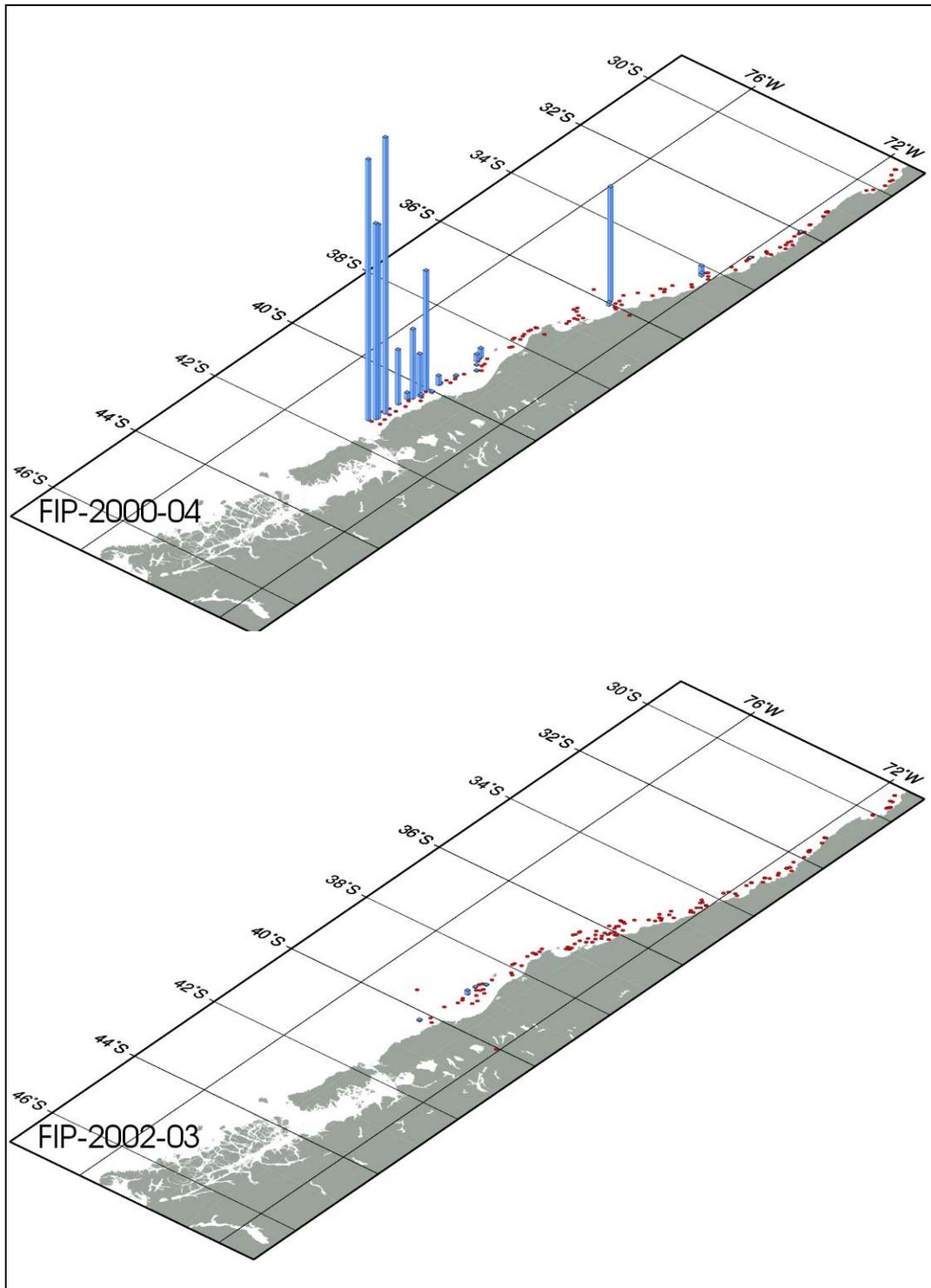


Figura 64. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza común. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

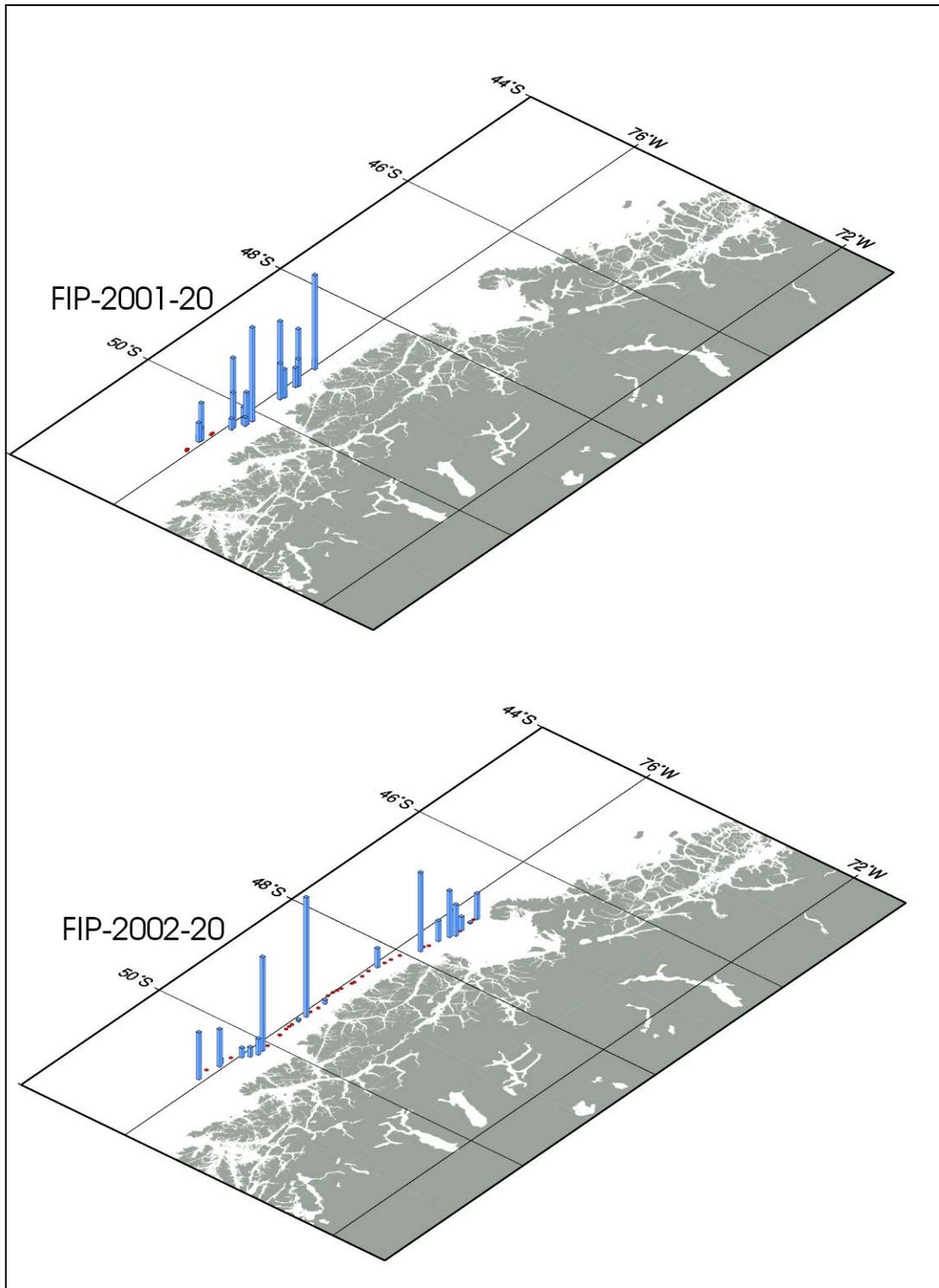


Figura 65. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicas de merluza de 3 aletas. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

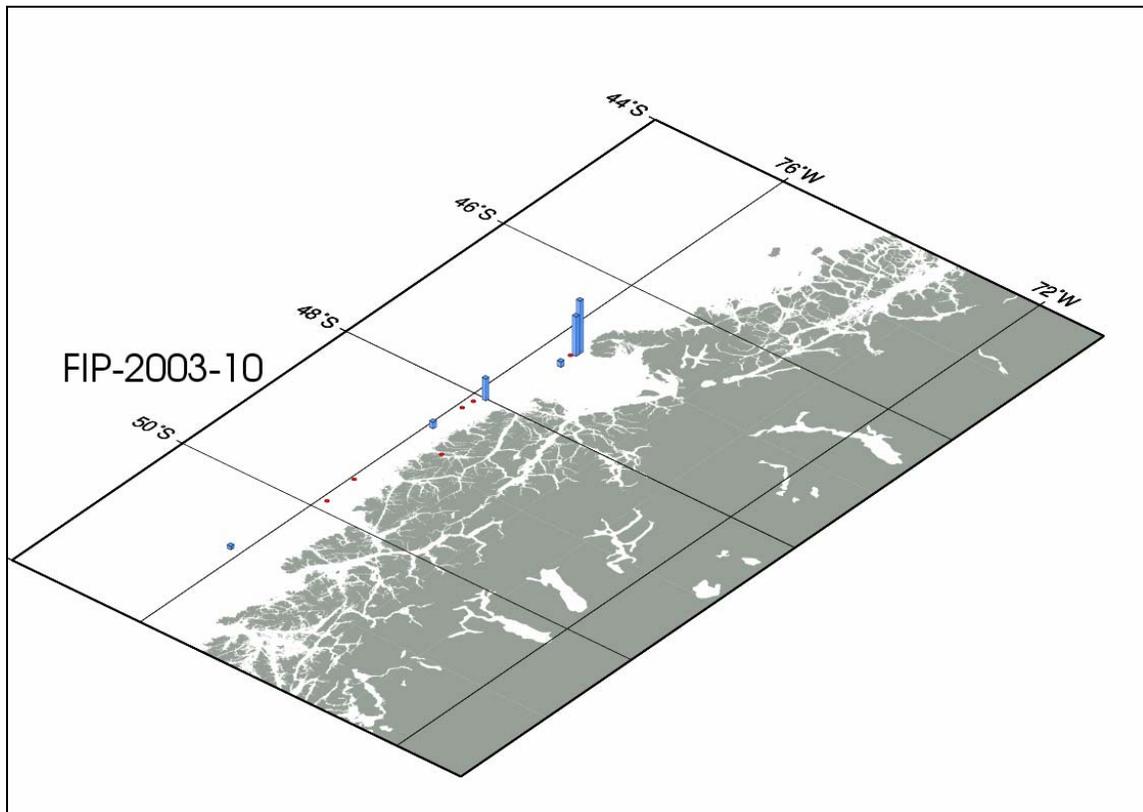


Figura 66. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza de 3 aletas. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

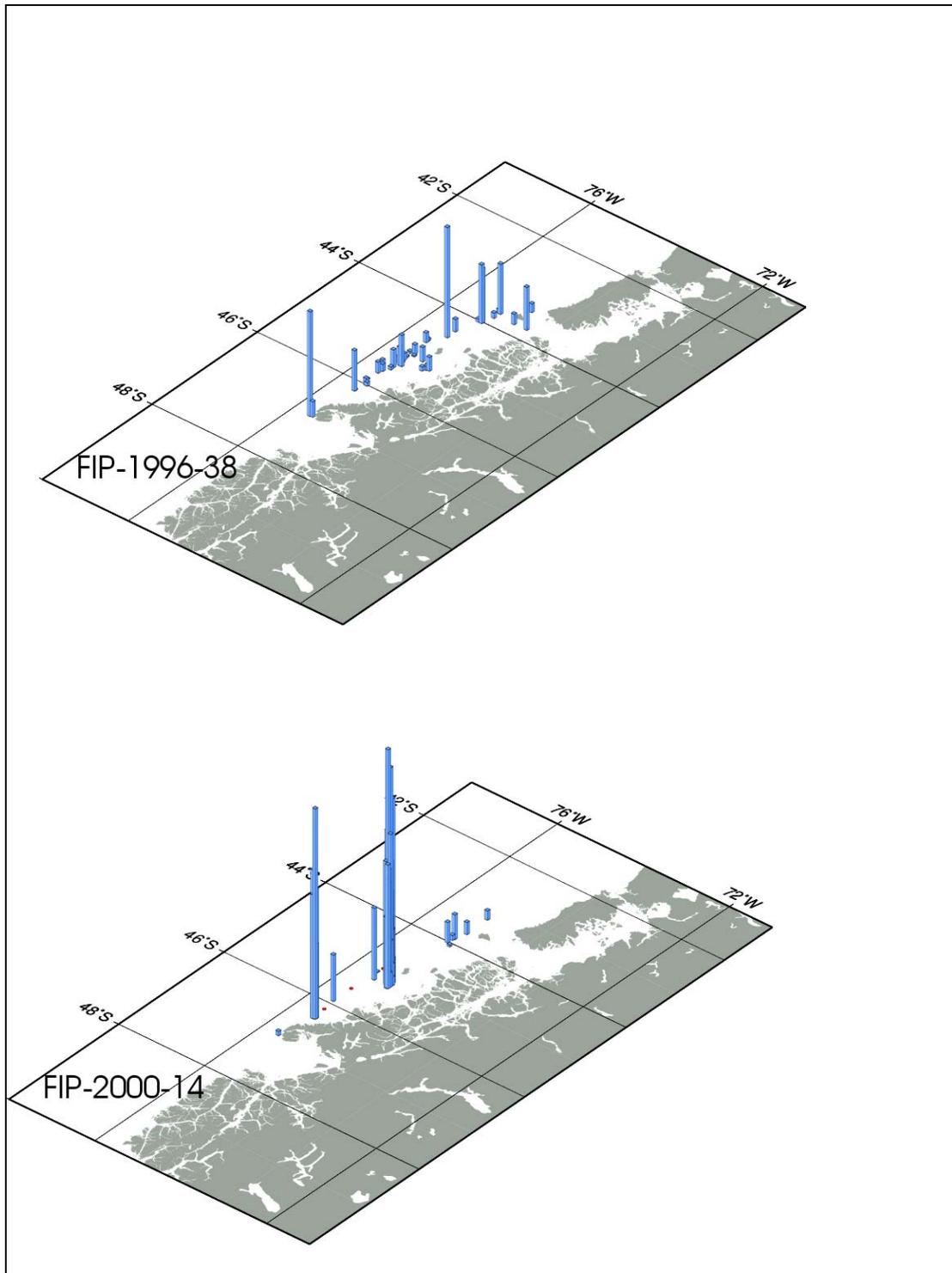


Figura 67. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

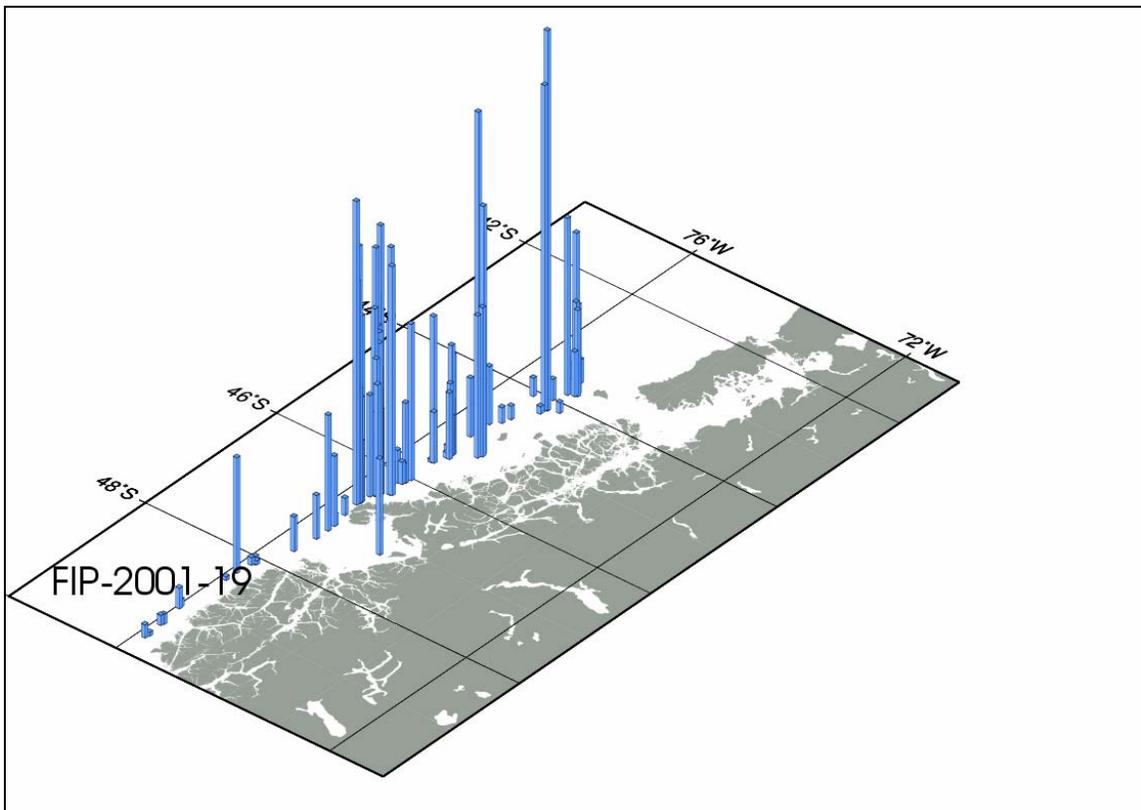


Figura 68. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicas de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

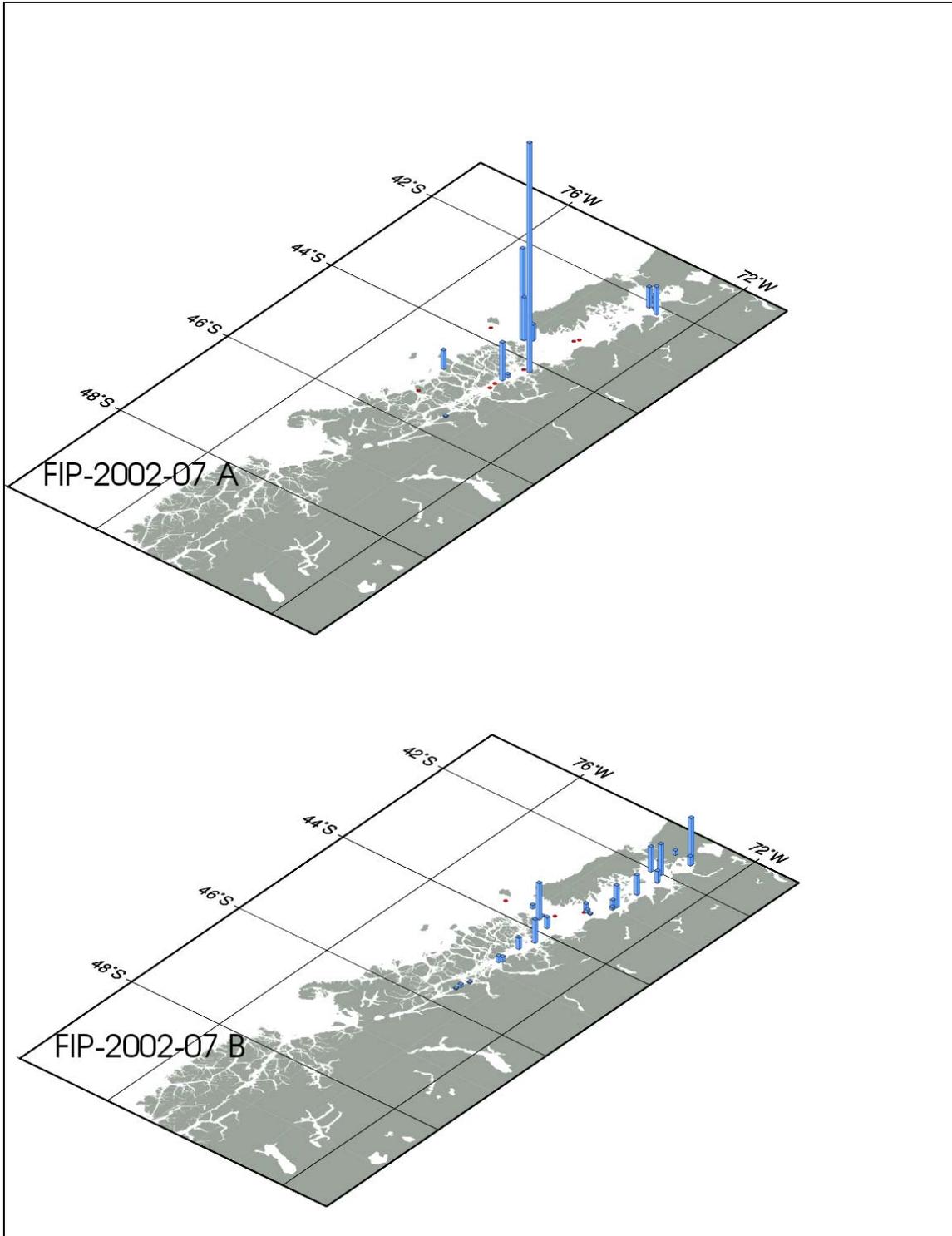


Figura 69. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicas de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

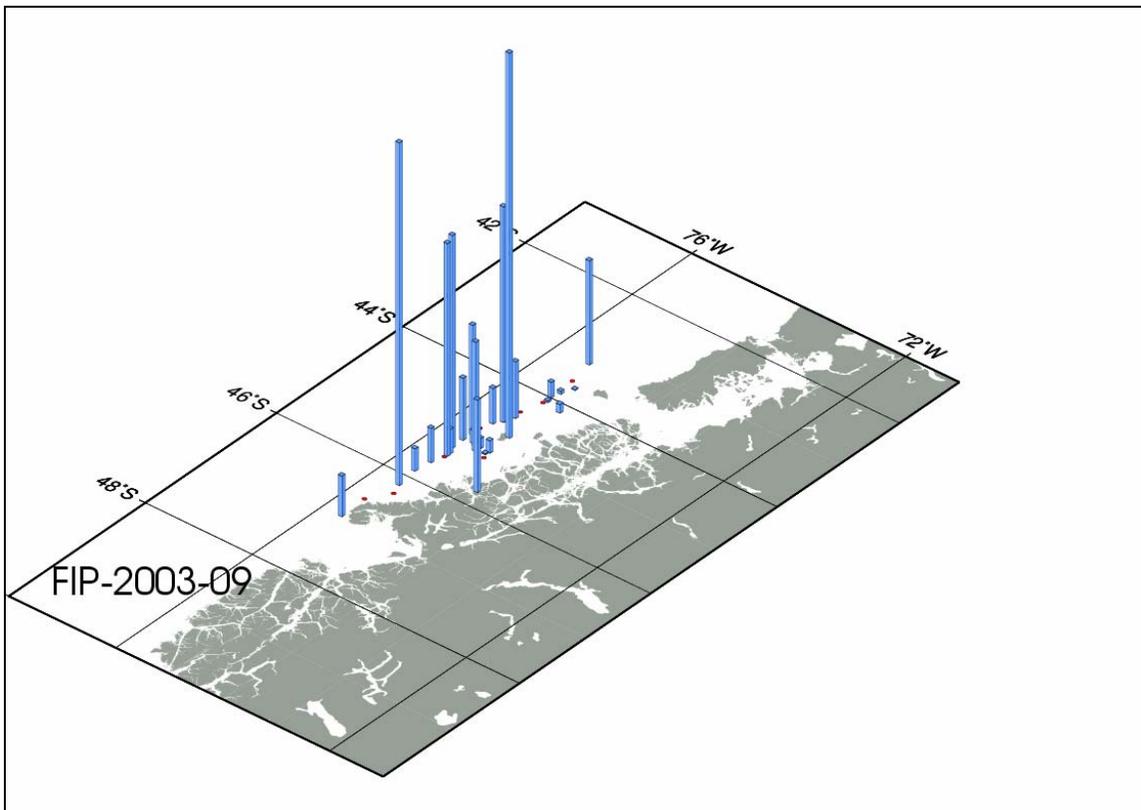


Figura 70. Captura de merluza de cola en lances exploratorios de evaluaciones hidroacústicos de merluza austral. Lances exploratorios en rojo y capturas de merluza de cola en barras azules (escala relativa).

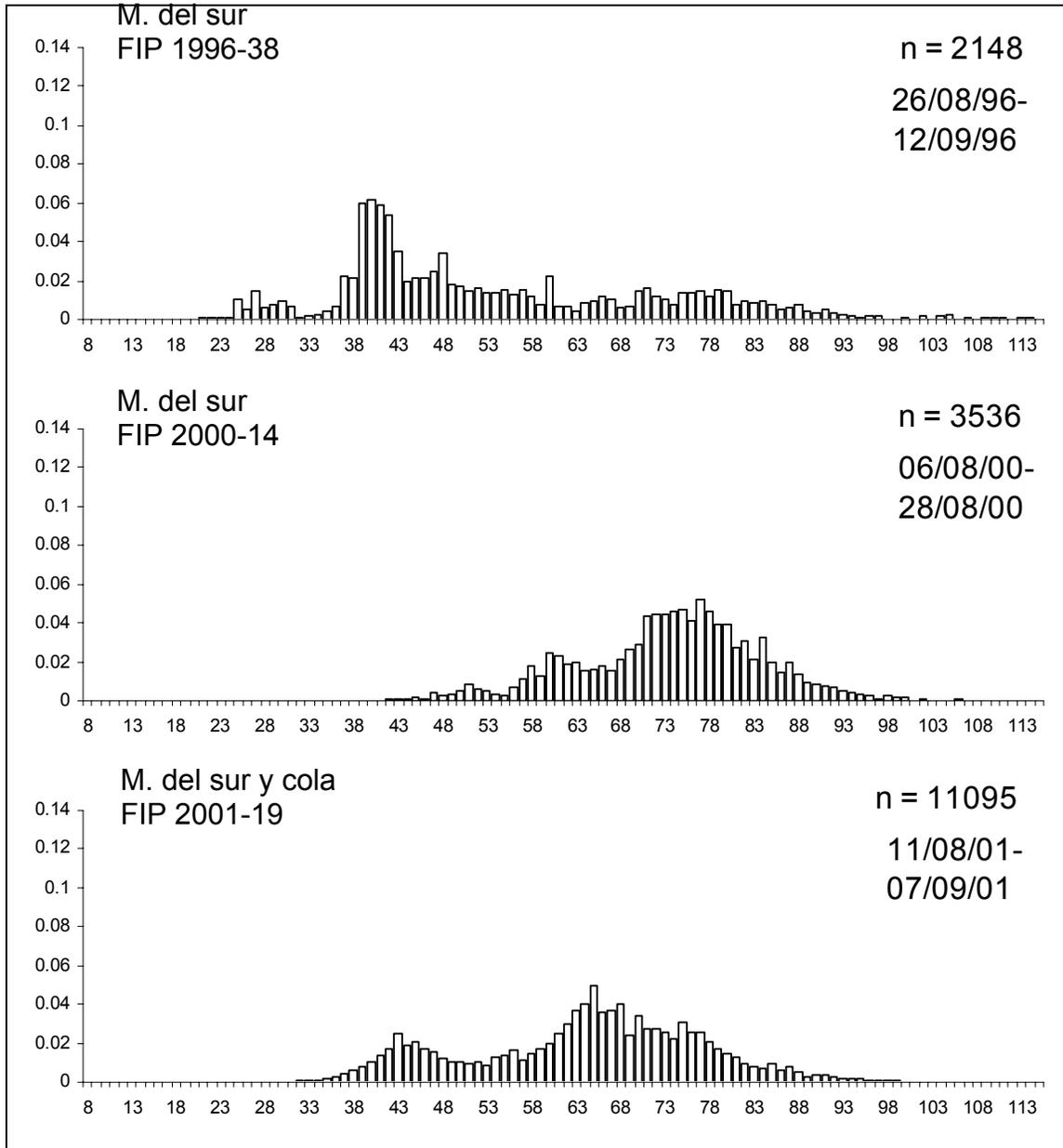


Figura 71. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza del sur/cola.

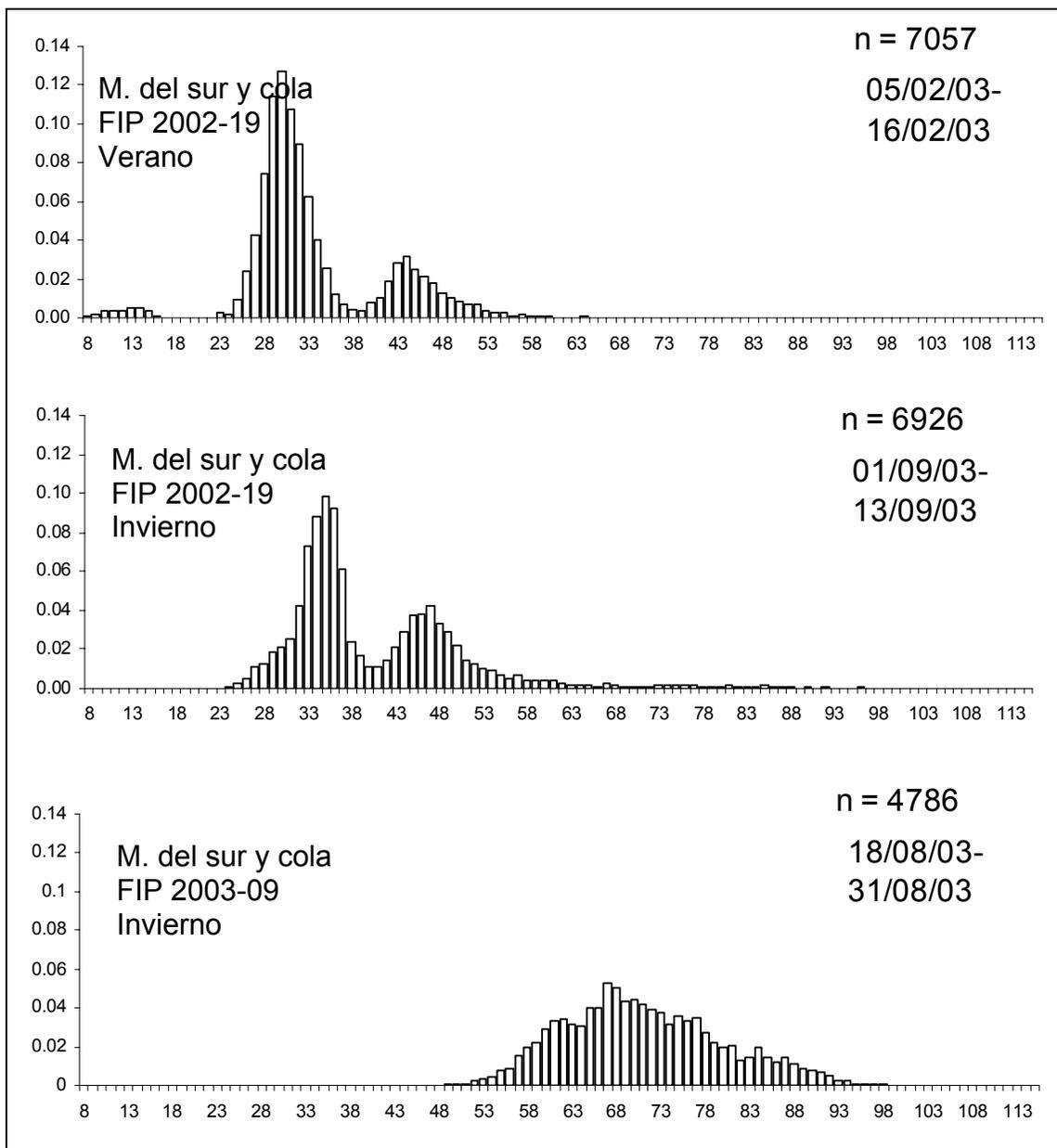


Figura 72. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza del sur/cola.

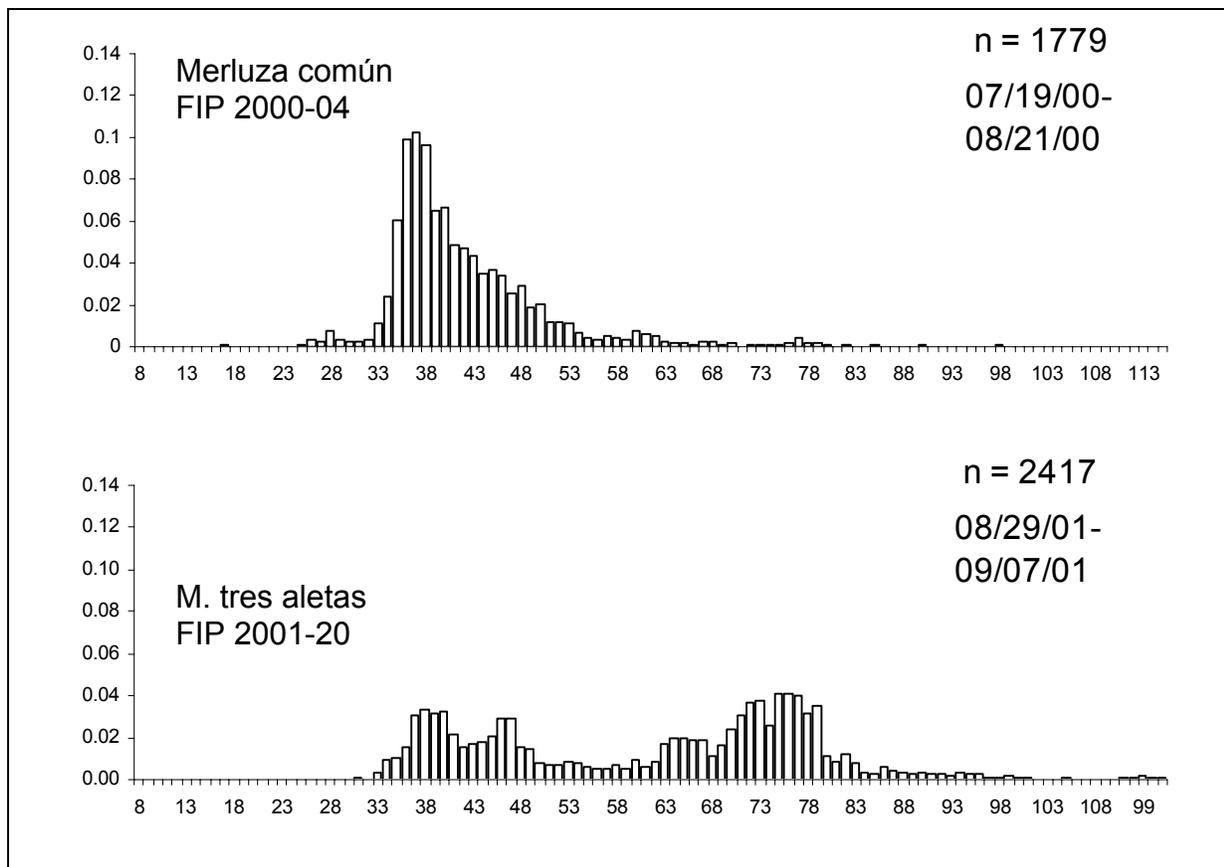


Figura 73. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza común y merluza de 3 aletas.

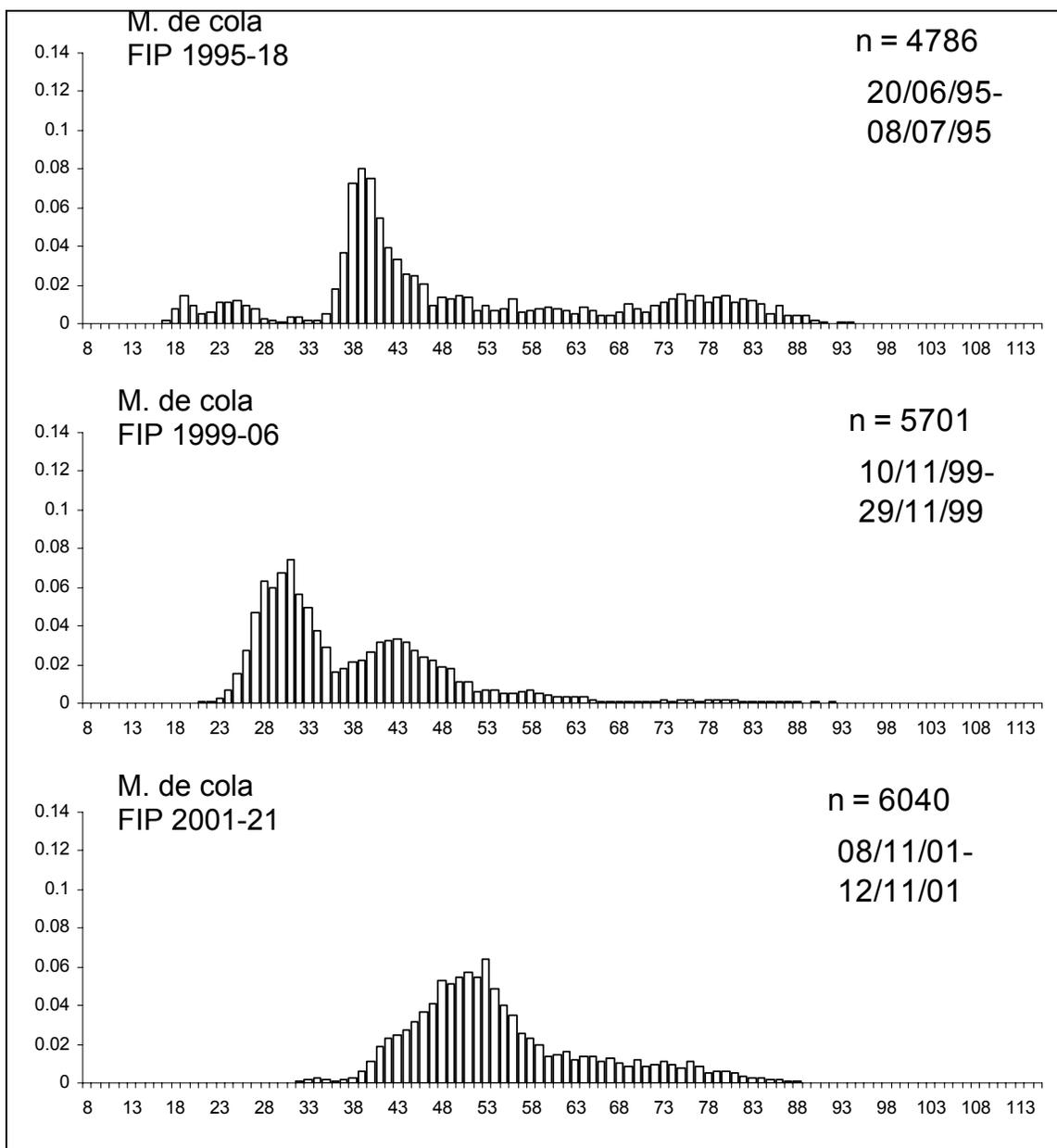


Figura 74. Distribución de frecuencias de tallas de merluza de cola en lances exploratorios de muestreos acústicos para evaluaciones de merluza de cola.

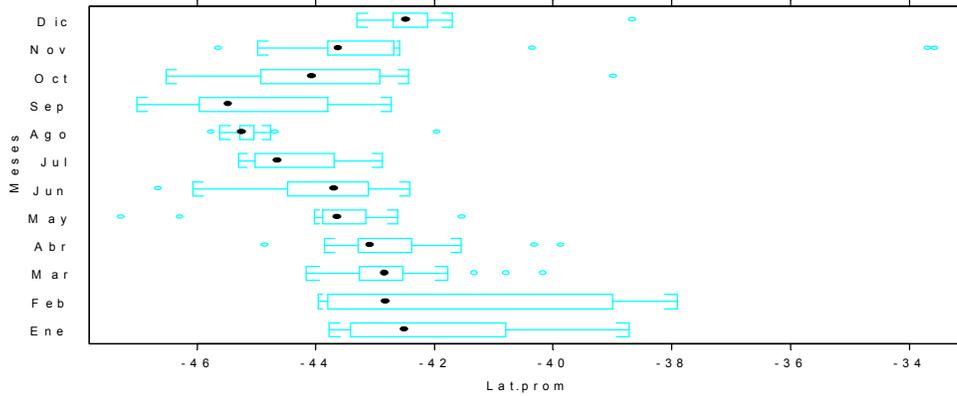


Figura 75. Estacionalidad del patrón migratorio de la flota AH observada en la serie 2000-2004.

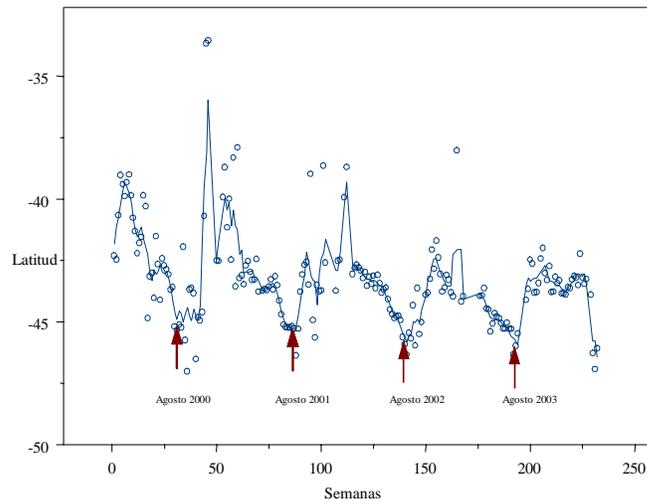


Figura 76. Componente latitudinal de desplazamiento de la flota AH. Las flechas indican el momento cuando la flota se concentra en el caladero al sur de Isla Guablín.

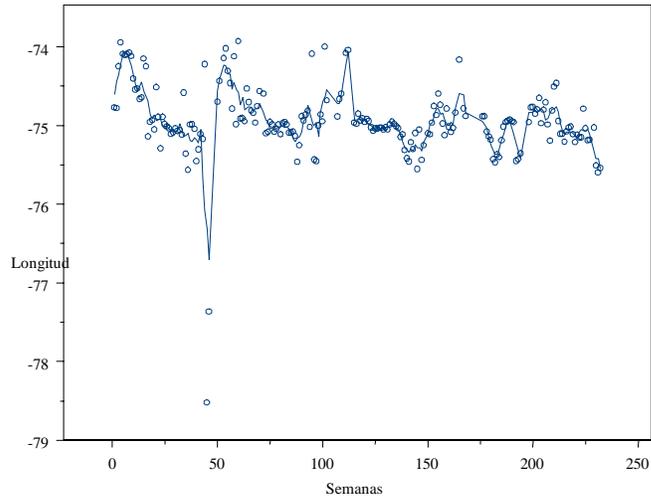


Figura 77. Componente longitudinal de desplazamiento de la flota AH.

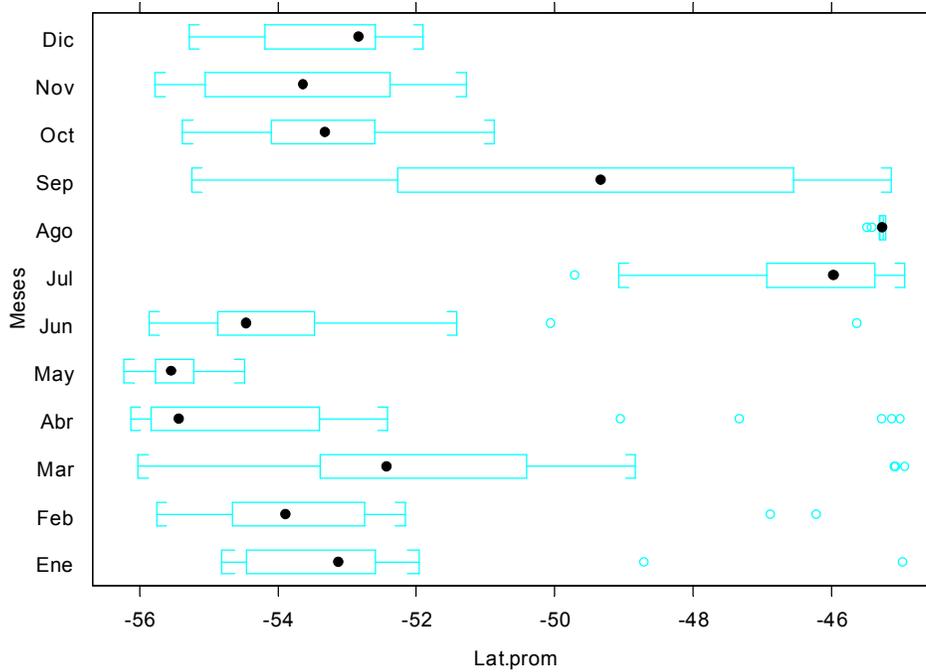


Figura 78. Estacionalidad del patrón migratorio de la flota AF observada en la serie 2000-2004.

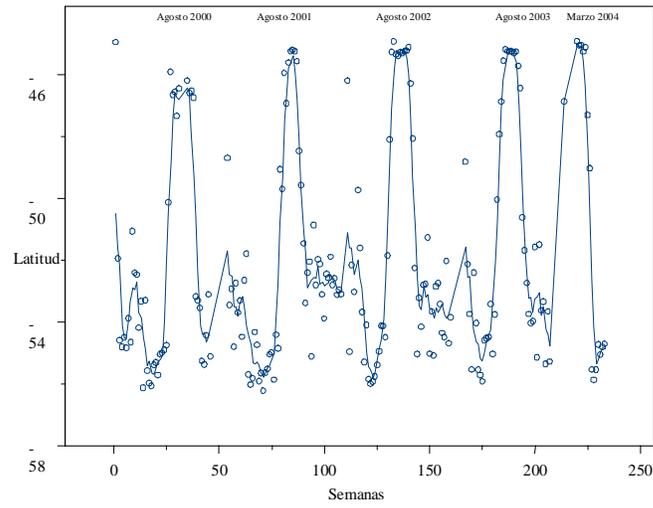


Figura 79. Componente latitudinal de desplazamiento de la flota AF.

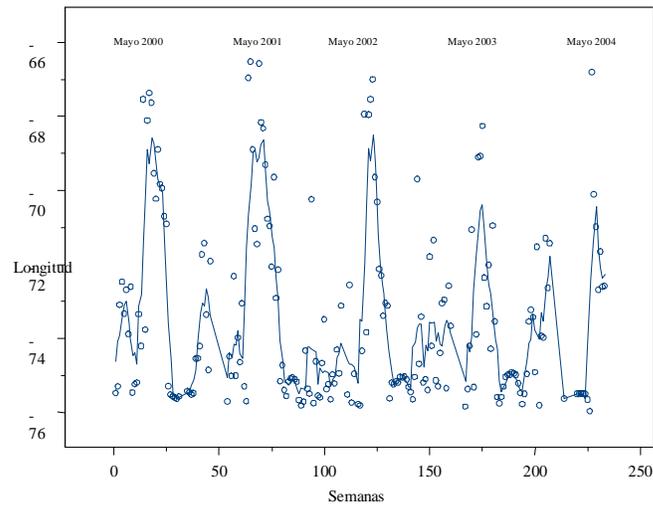


Figura 80. Componente longitudinal de desplazamiento de la flota AF.

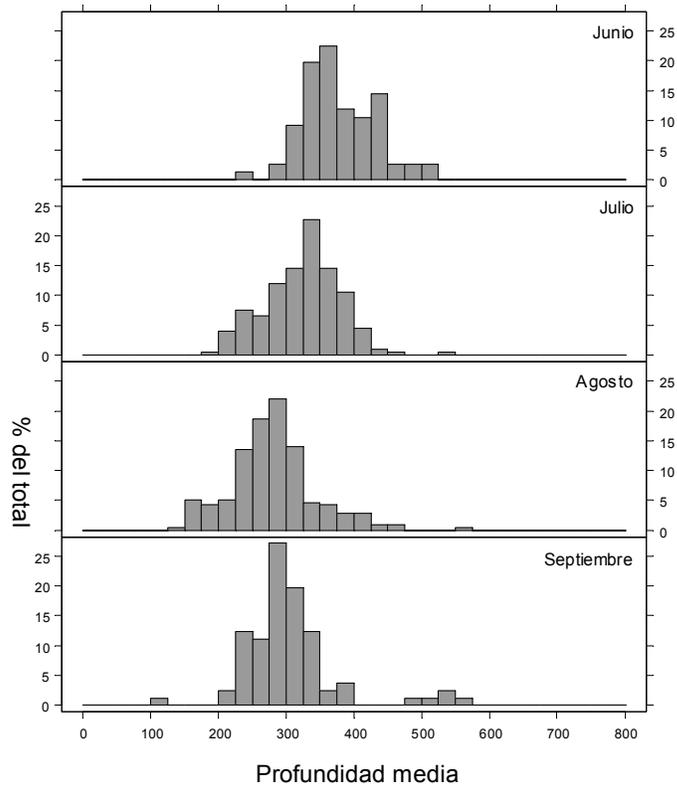


Figura 81. Distribución de lances por profundidad al norte del paralelo 48° S, durante junio-septiembre del año 2003. La profundidad media del lance corresponde al promedio de la profundidad mínima y máxima observada.

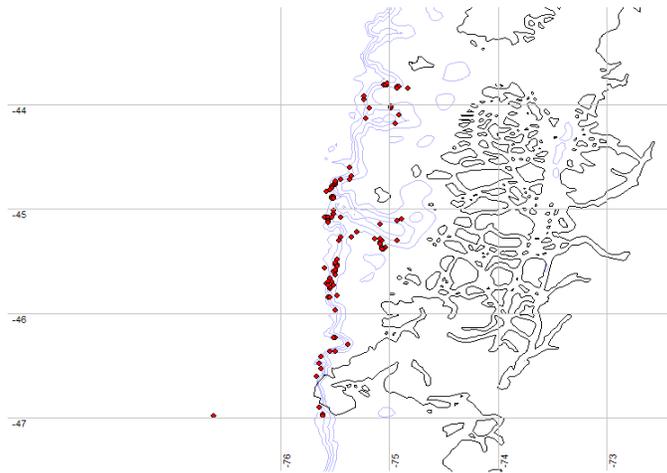


Figura 82. Distribución de lances de la flota de la PDA en junio del 2003.

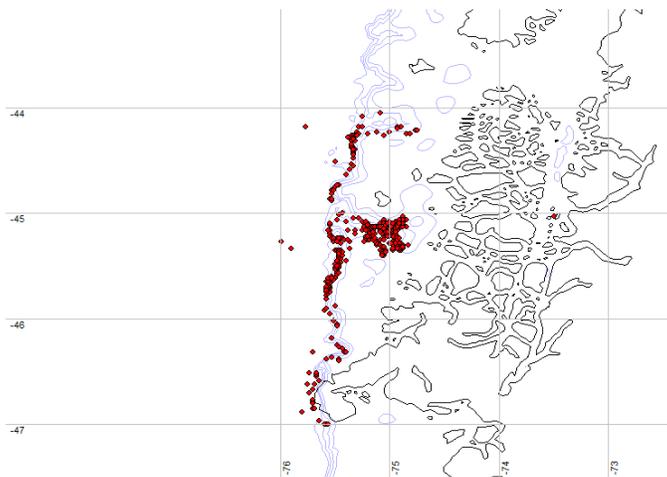


Figura 83. Distribución de lances de la flota de la PDA en julio del 2003.

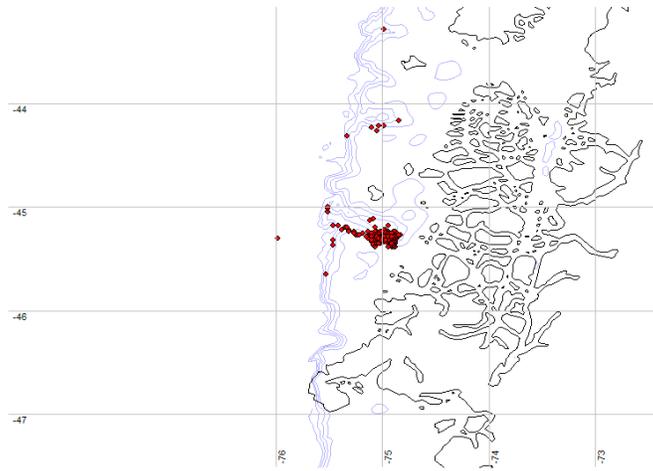


Figura 84. Distribución de lances de la flota de la PDA en agosto del 2003.

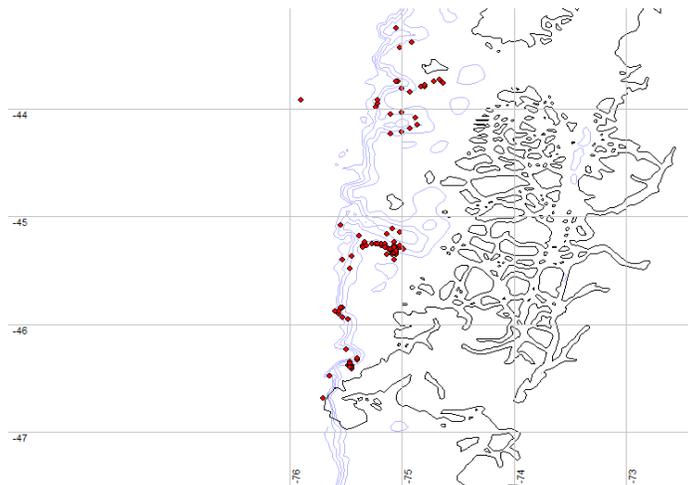


Figura 85. Distribución de lances de la flota de la PDA en septiembre del 2003.

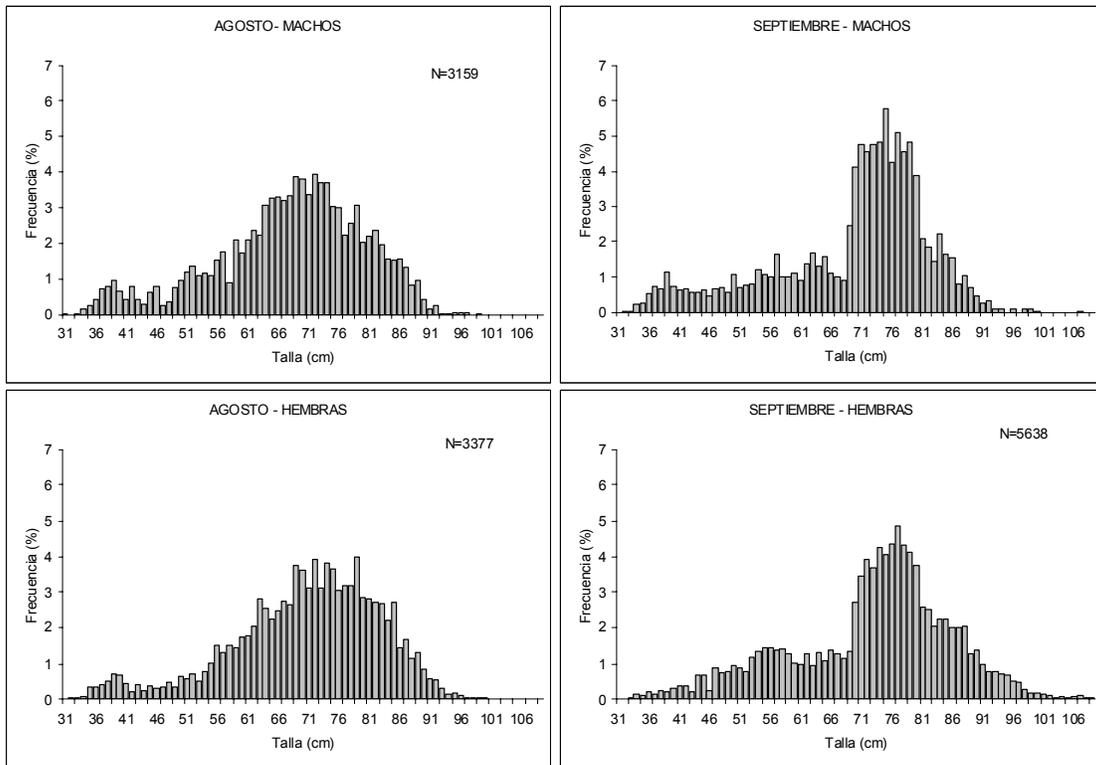


Figura 86. Distribución de tallas obtenidas durante la pesca de investigación de merluza de cola realizada en julio-agosto del 2004.

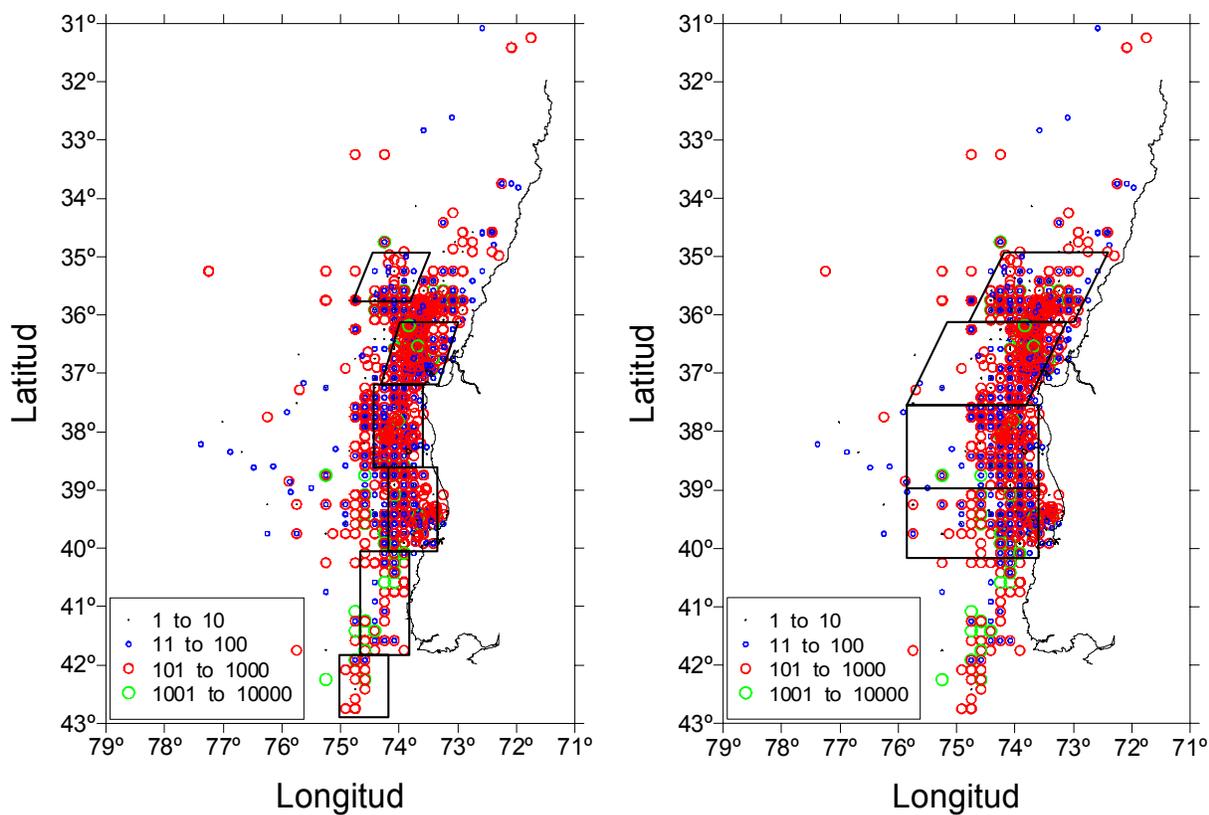


Figura 87. Área de distribución de las capturas de merluza de cola por la flota industrial de cerco en el periodo 1997-2003 (Fuente datos: IFOP). Se sobrepone el área de los cruceros de evaluación de reclutamiento en noviembre de 1999 (FIP 99-09, sólo hasta los 43°S) y el de noviembre-diciembre de 2001 (FIP 2001-21).

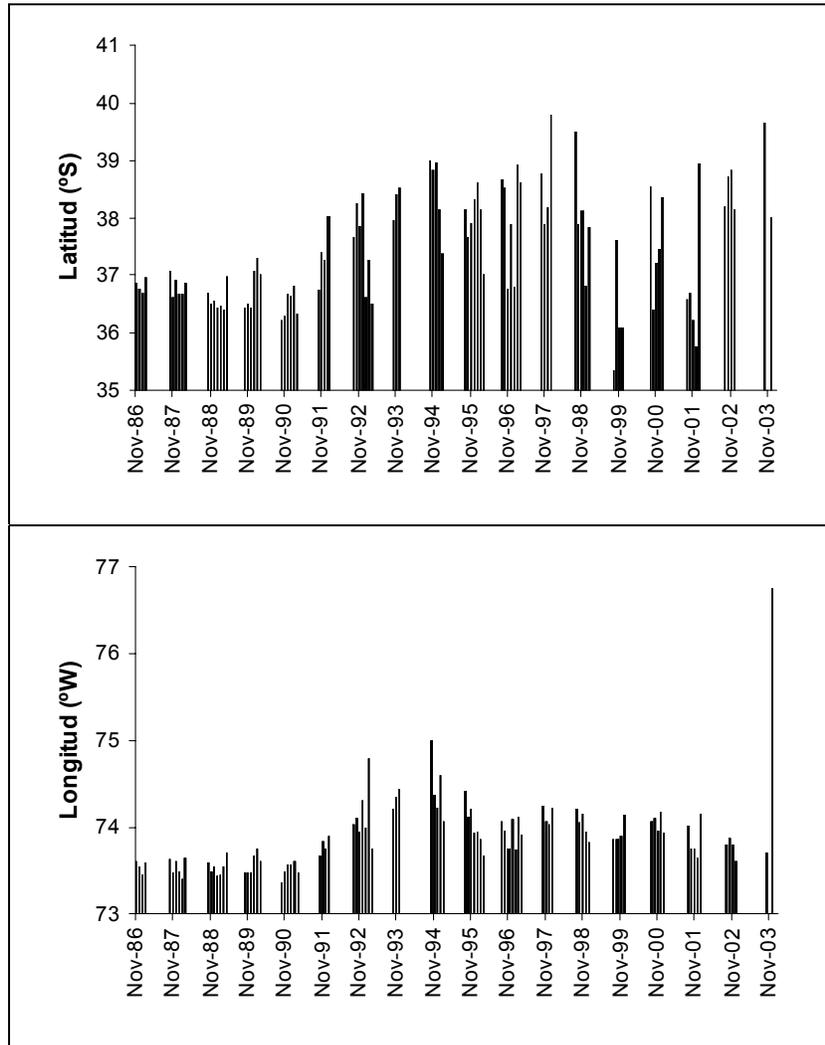


Figura 88. Series de tiempo de la latitud y longitud geográfica de los centros de gravedad de las capturas de merluza de cola. Pesquería pelágica de cerco.

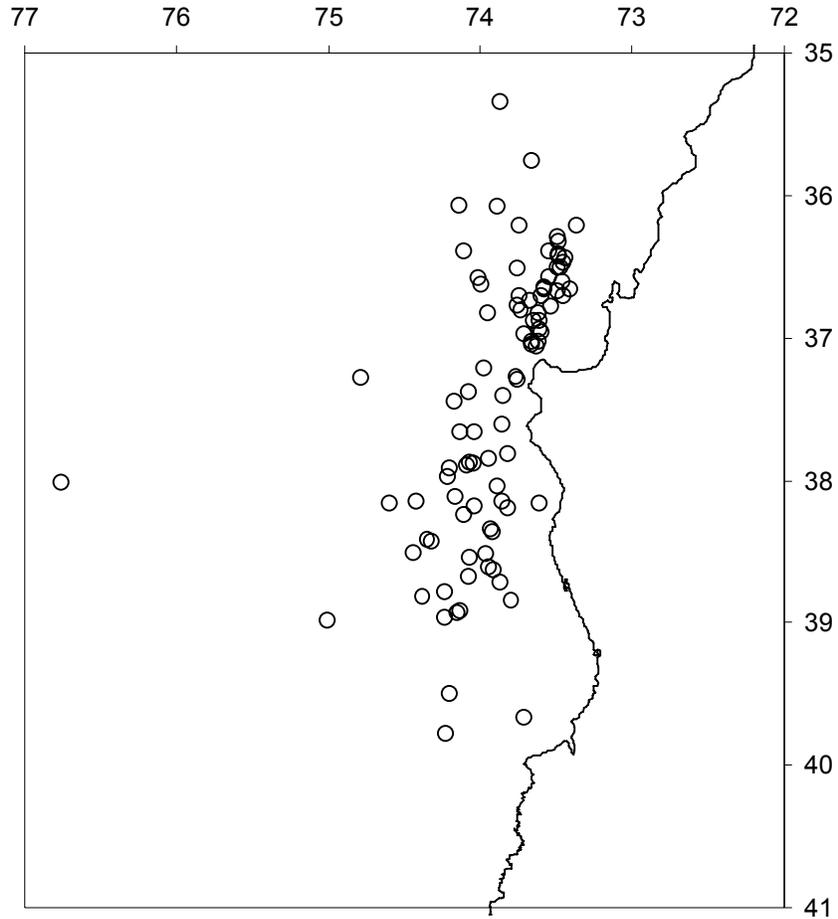


Figura 89. Distribución mensual de los centroides de distribución de las capturas de merluza de cola en el área de operación de la flota industrial de cerco en la zona centro-sur de Chile.

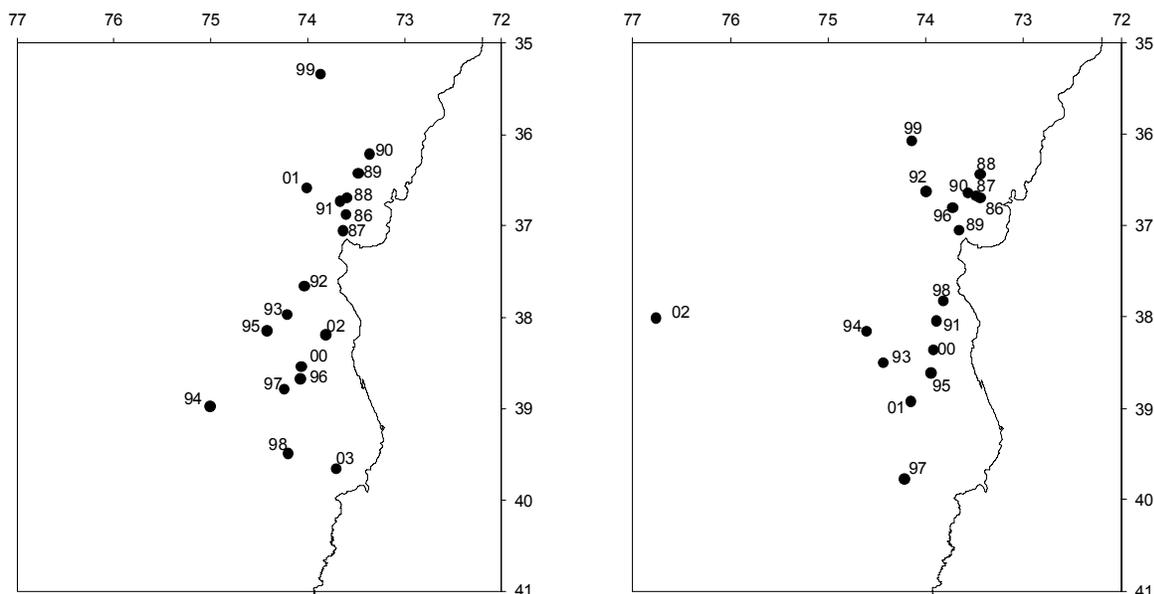


Figura 90. Distribución de los centros de gravedad de las capturas de merluza de cola a inicios de temporada (izquierda) y a fines de temporada (derecha, generalmente enero). Los números se refieren a la temporada de pesca.

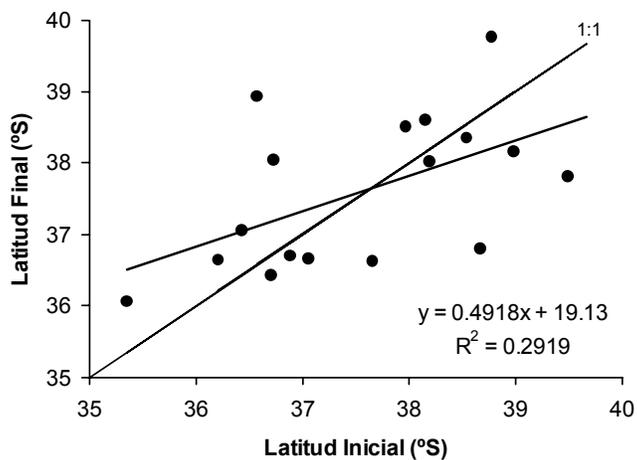


Figura 91. Relación entre la latitud a fines de temporada respecto de la latitud observada a comienzos de temporada.

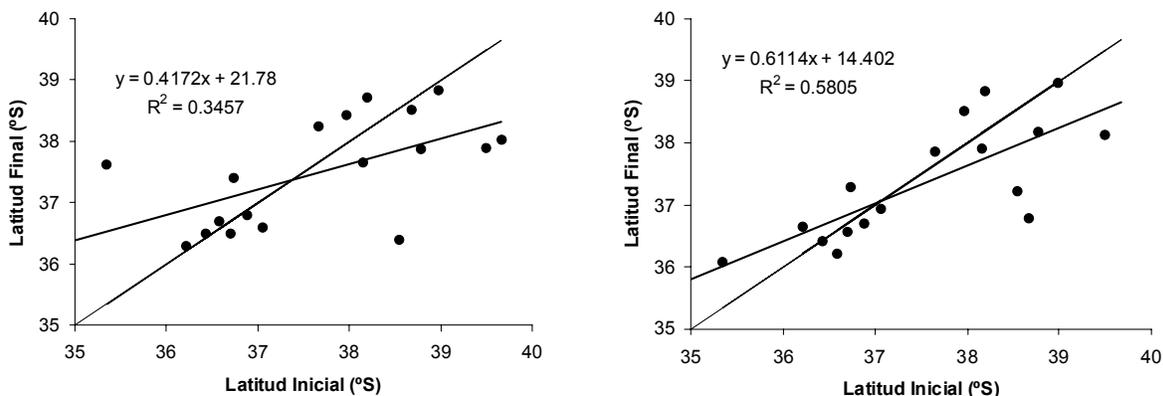


Figura 92. Relación entre la latitud a inicios de temporada y la latitud observada un mes después (izquierda), y dos meses después (derecha).

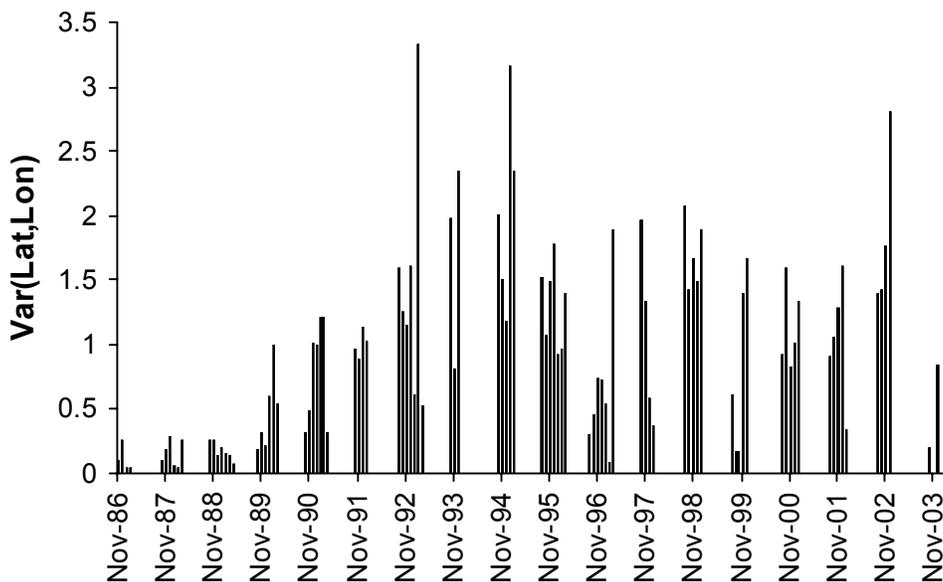


Figura 93. Varianza de los centroides de las capturas de merluza de cola.

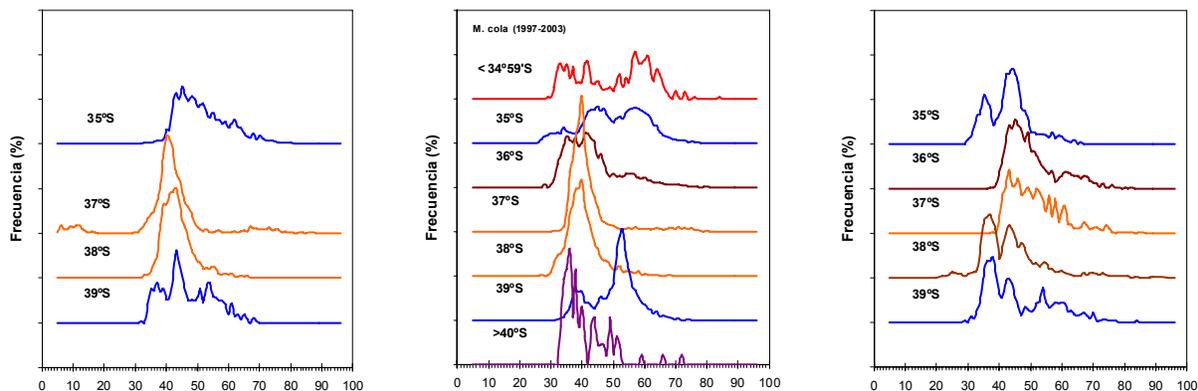


Figura 94. Estructura de tallas de merluza de cola por grados de longitud en la pesquería de cerco de la zona centro-sur (1997-2003).

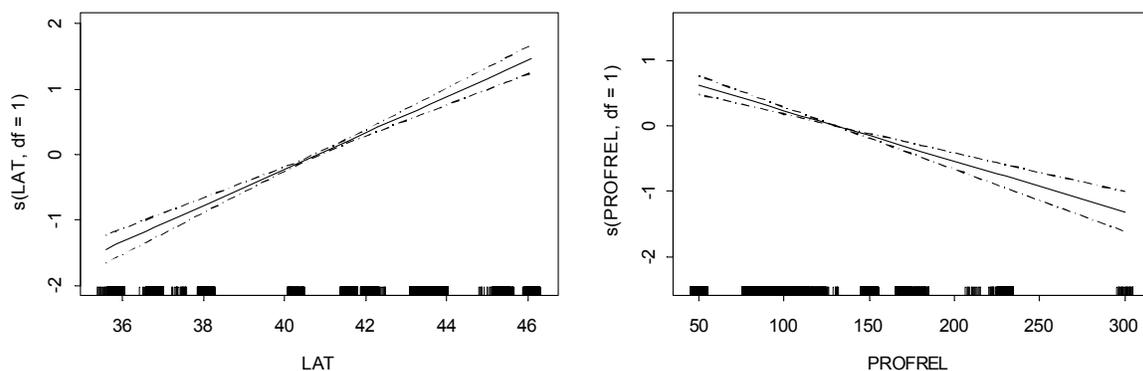


Figura 95. Relación entre la presencia-ausencia de juveniles de merluza de cola en función de la latitud (LAT) y la profundidad del lance (PROFREL). El efecto se analiza con un modelo GAM (familia binomial, enlace logit), con estructura idéntica al Modelo 2 para facilitar la interpretación de los efectos parciales.

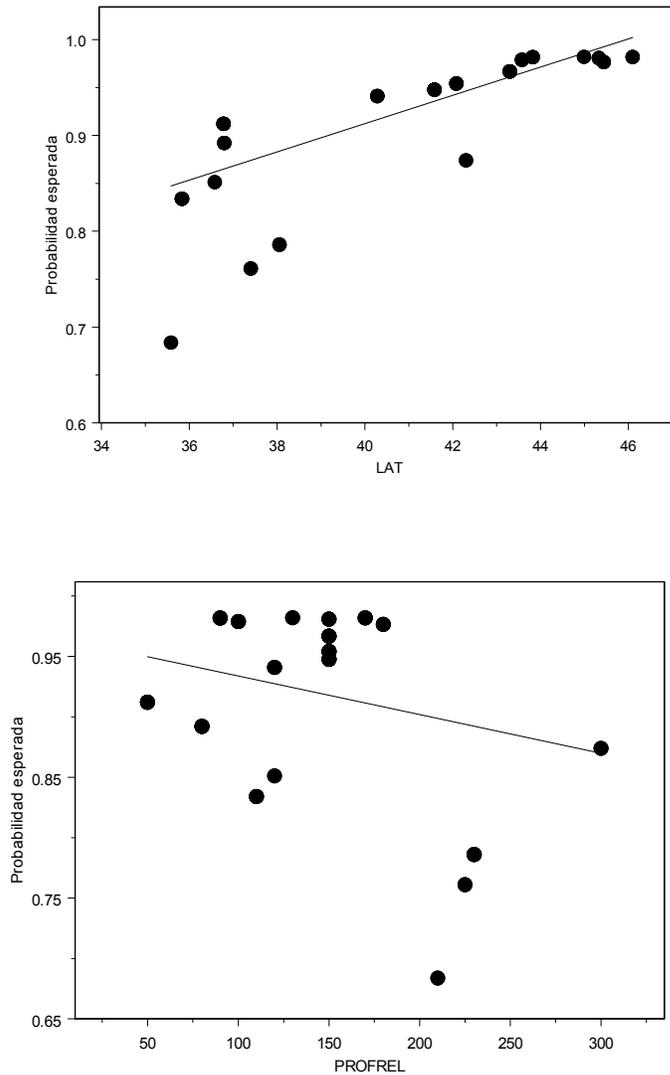


Figura 96. Relaciones entre la probabilidad esperada de presencia de juveniles de merluza de cola en función de la latitud y la profundidad del lance (Noviembre de 1999, datos FIP 99-06).

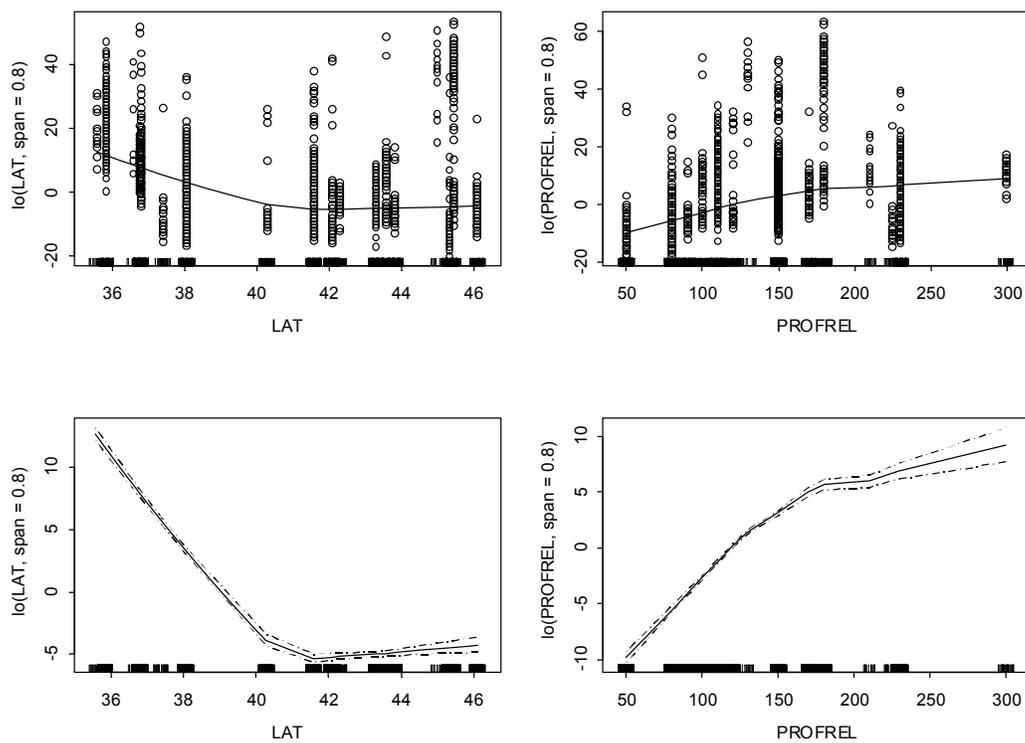


Figura 97. Relación entre la talla de merluza de cola en función de la latitud y la profundidad del lance (Noviembre de 1999, datos FIP 99-06).

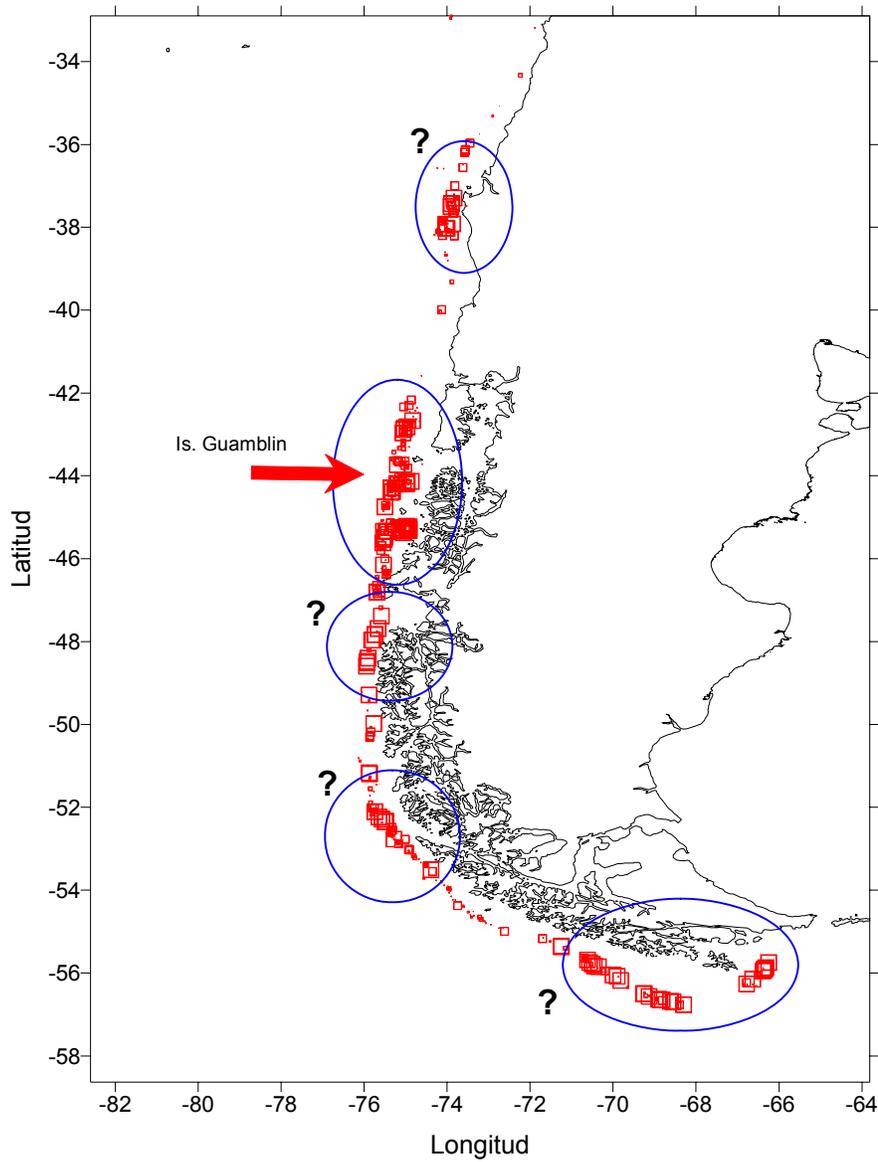


Figura 98. Variación espacial del estadio maduro y en desove de merluza de cola, para datos correspondientes a los años 2000 a 2004. (Latitud y Longitud en grados).

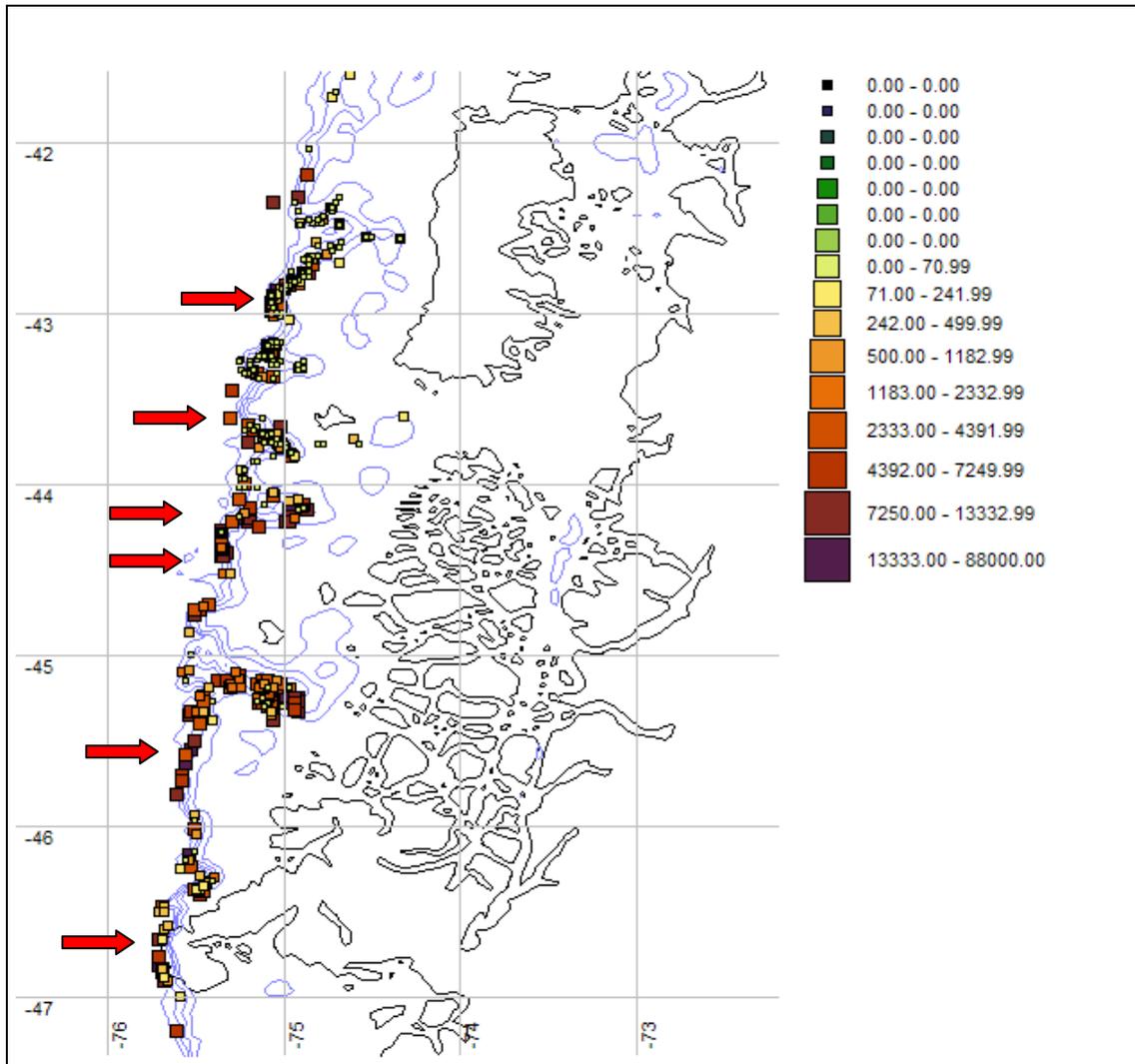


Figura 99. Agregaciones de peces maduros y en desove asociadas a los cañones submarinos en el sector de Chiloé y Península de Taitao, inferida desde los datos del seguimiento de las pesquerías, para los años 2000 a 2004.

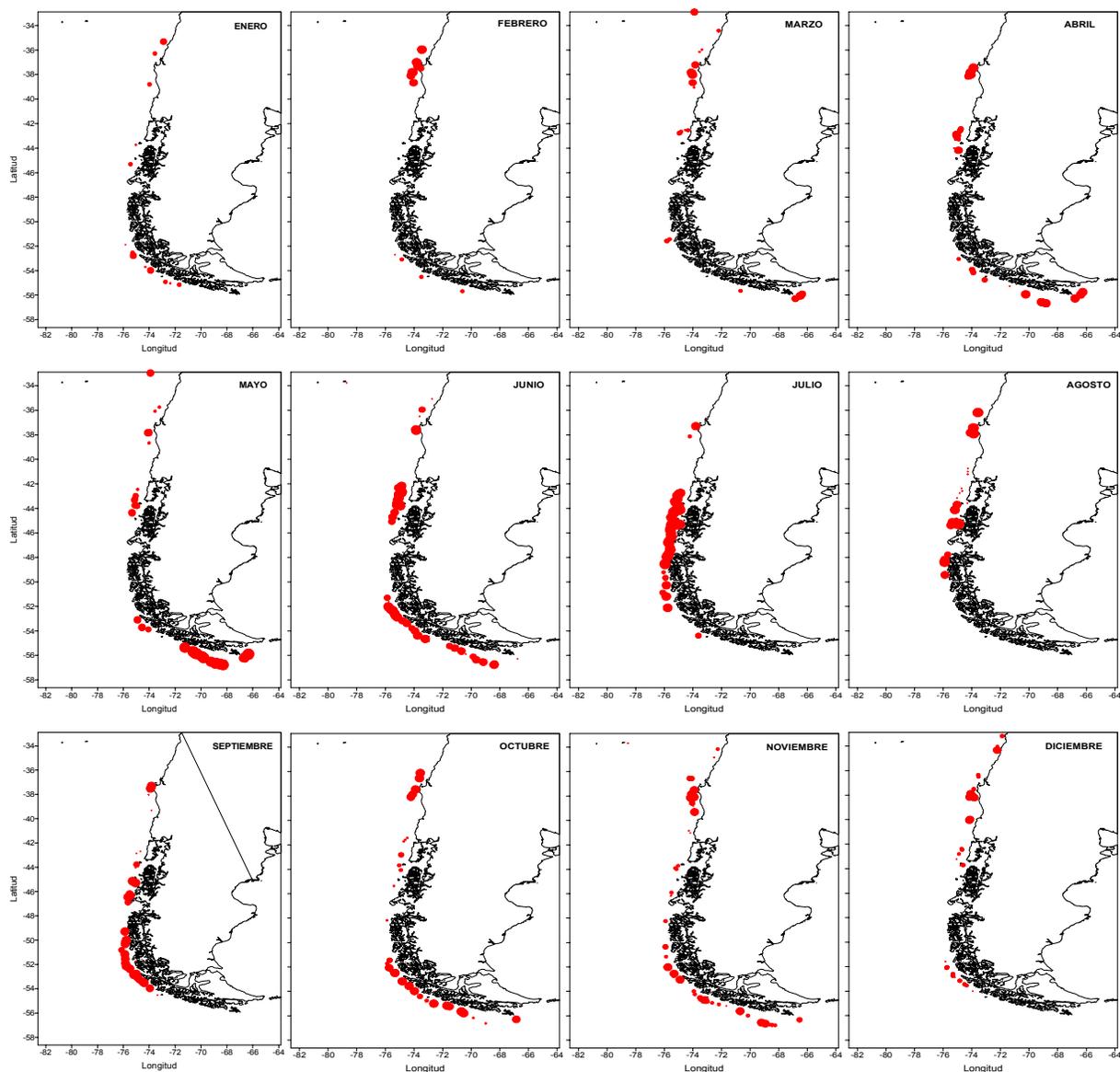


Figura 100. Variación mensual de los individuos maduros y en desove de merluza cola, sin diferenciar años, a partir de los datos recopilados en los programas de seguimiento de la pesquería de merluza de cola en las Unidades de Pesquería V-X y XI–XII, en el periodo 2000 a 2004.

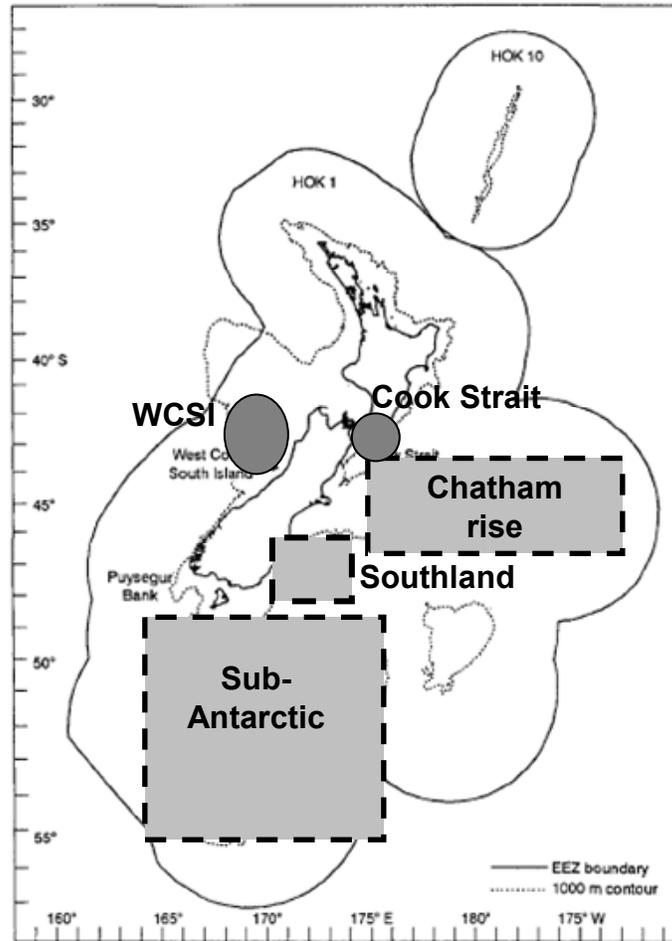


Figura 101. Areas donde se evalúa la abundancia de Hoki a través de hidroacústica (círculo) o área barrida (cuadrado). (Figura modificada de Livingston & Schofield, 1997).

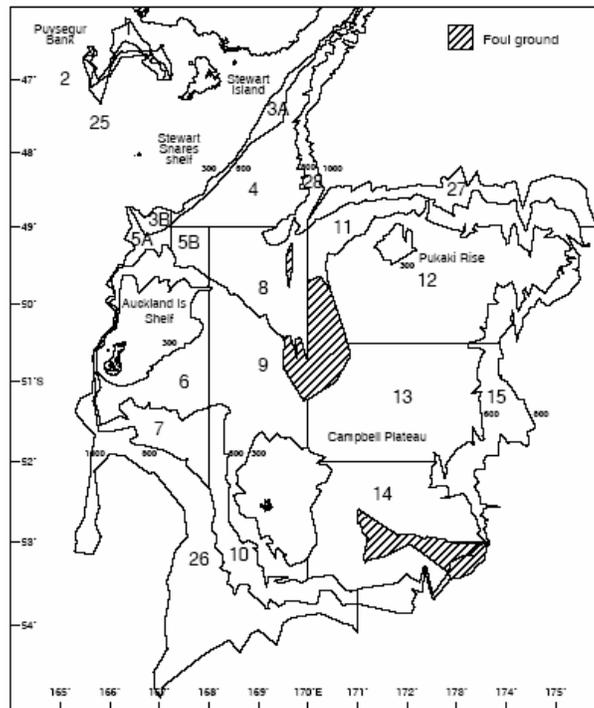


Figura 102. Regiones Southland y Sub-Antarctic donde se realizan evaluaciones con método de área barrida para estimar abundancia de hoki (Extraído de O’Driscoll & Bagley 2003).

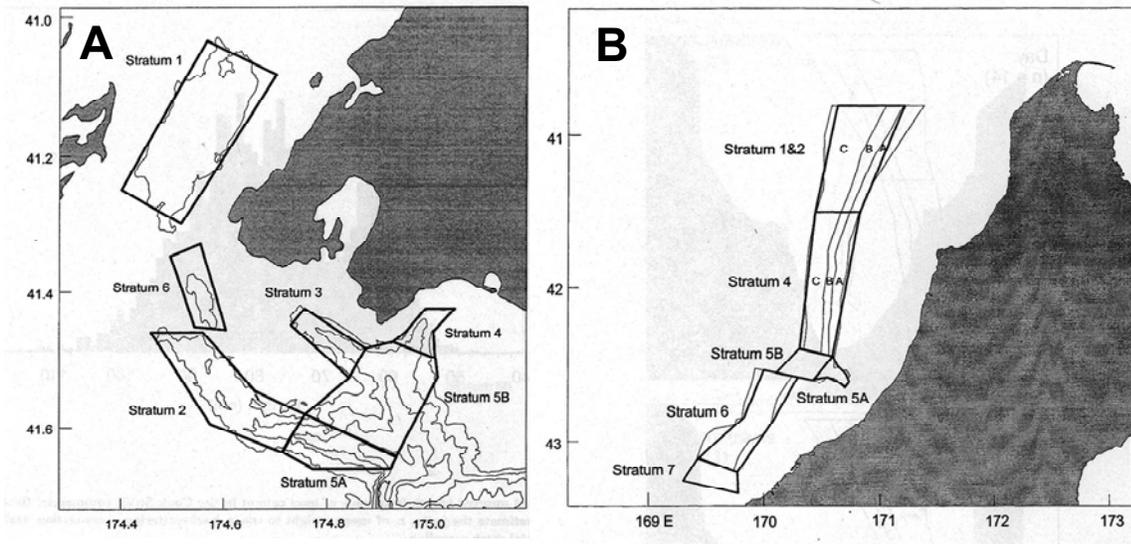


Figura 103. Estratos muestreados durante los cruceros hidroacústicos para las áreas Cook Strait (A) y WCSI (B).

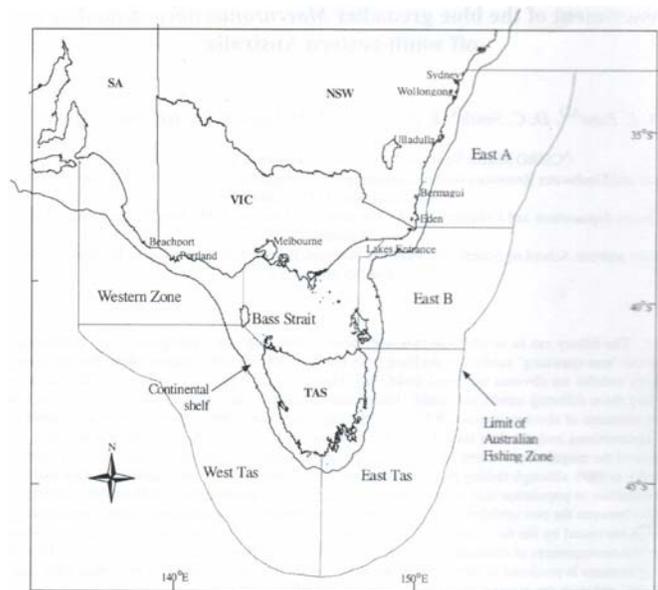


Fig. 1. Map of southern Australia showing the areas mentioned in the text.

Figura 104. Area de distribución del hoki de Australia. (Extraído de Punt et al., 2001)

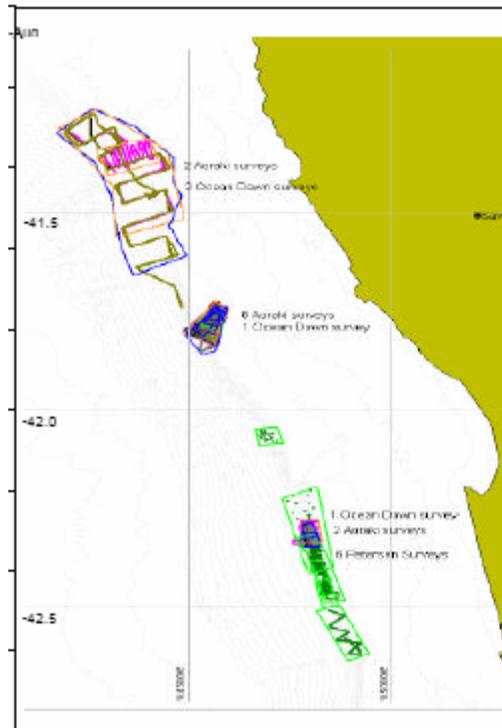


Figura 105. Area de distribución de los lances de evaluación hidroacústica para el stock desovante de la costa de Tasmania (Australia).

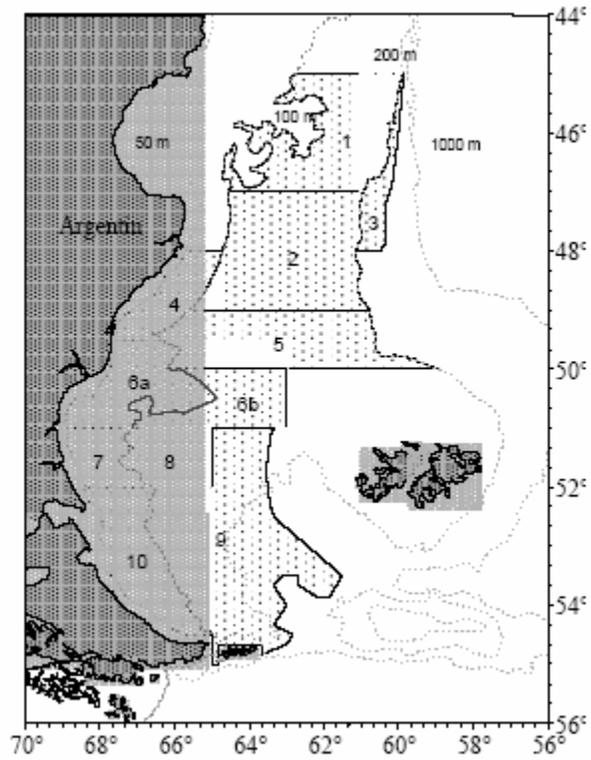


Figura 106. Area de desarrollo de los cruceros de evaluación mediante el método de área barrida en la plataforma Argentina (Extraído de Wöhler & Giussi, 2001).

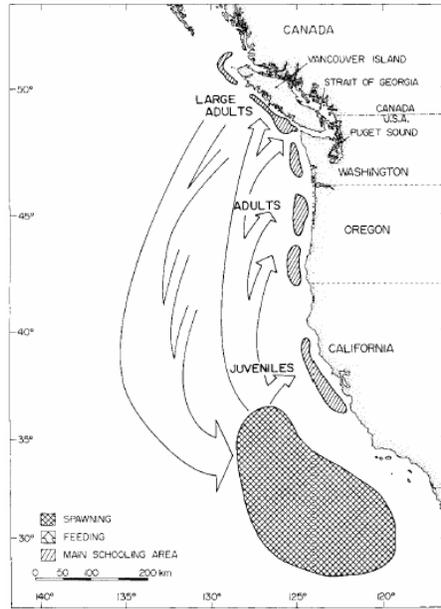


Figura 107. Modelo conceptual de la distribución espacio temporal de la población de merluza del pacífico norte (Extraído de Saunders & McFarlane 1997).

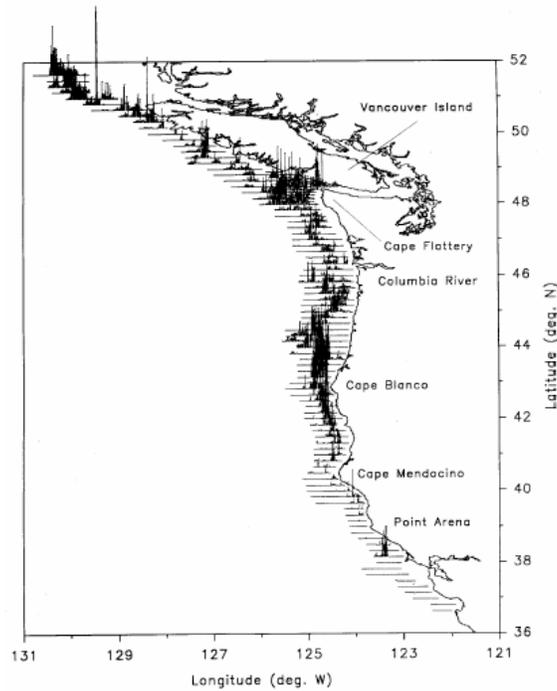


Figura 108. Transectas del muestreo hidroacústico trienal para la merluza del pacífico norte (Extraído de Helser et al., 2004).

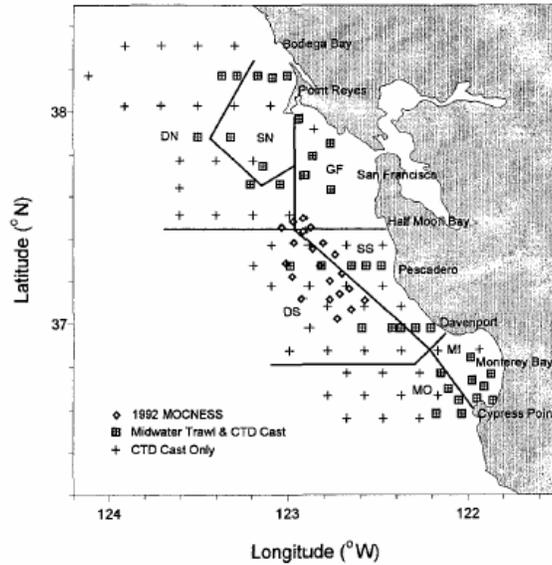


Figura 109. Estaciones regulares de muestreo para la estimación directa del reclutamiento de la merluza del pacífico. (Extraído Sakuma & Ralston, 1997).

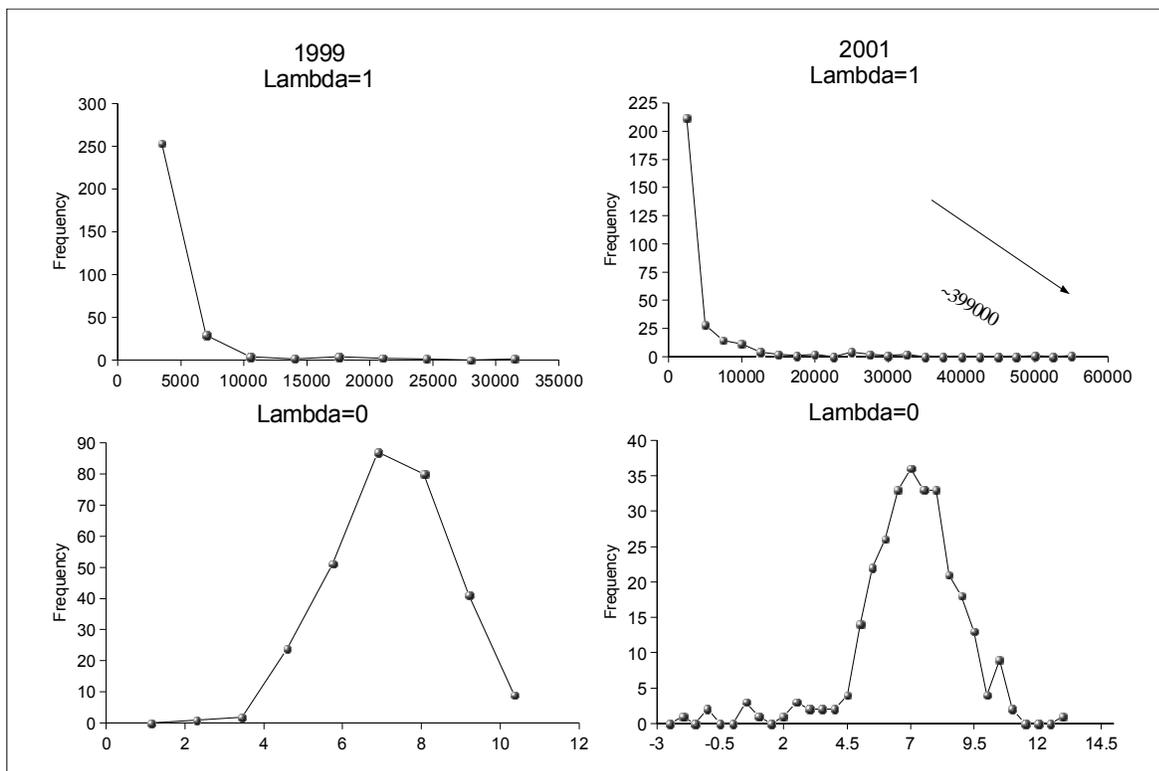


Figura 110. Distribucion de frecuencia de las observaciones crudas de densidad positivas. En el panel correspondiente a 2001 sin transformar a logaritmo, se indica una unica observacion de 399000 g/m².

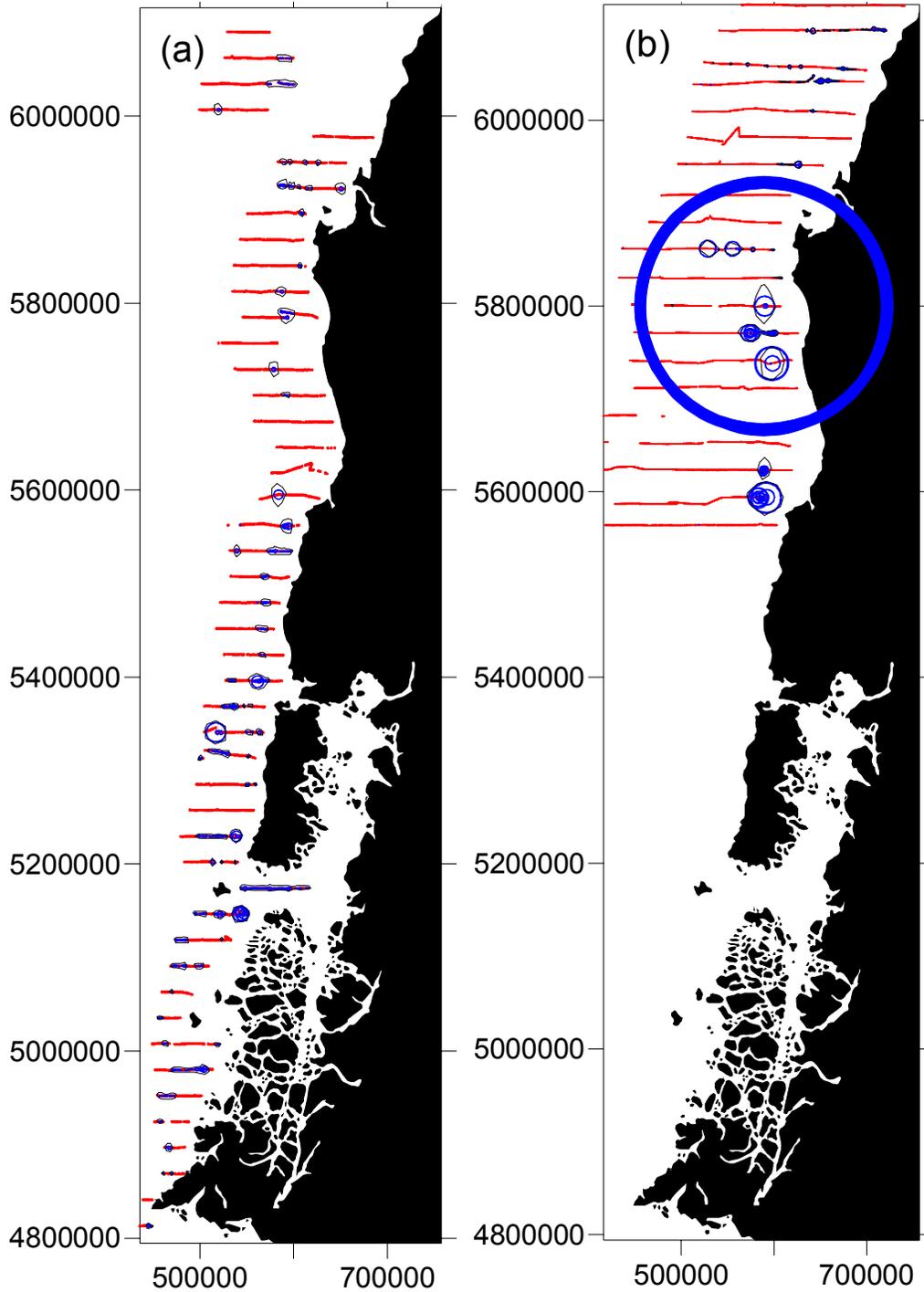


Figura 111. (a) 1999, (b) 2001. Diseño de muestreo en transectas (líneas rojas), observaciones de merluza de cola (círculos azules con tamaño proporcional a densidad observada, y polígono de estimación de biomasa bajo el escenario b).

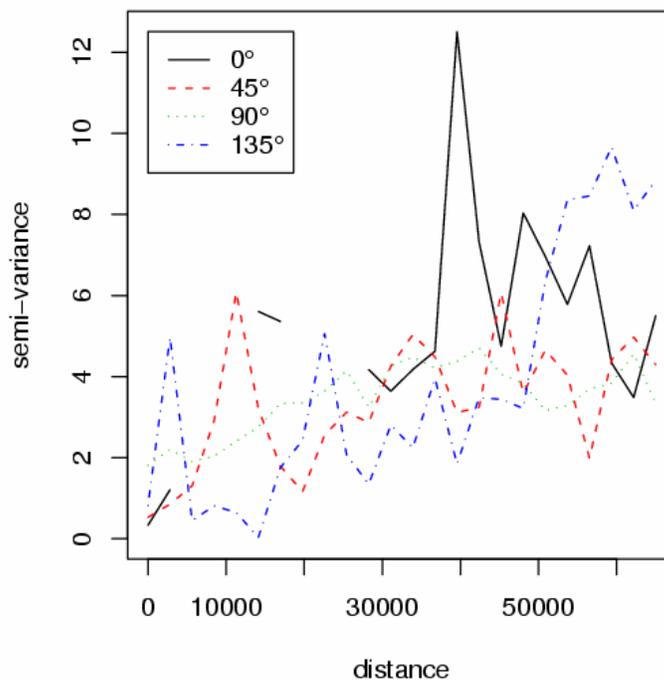
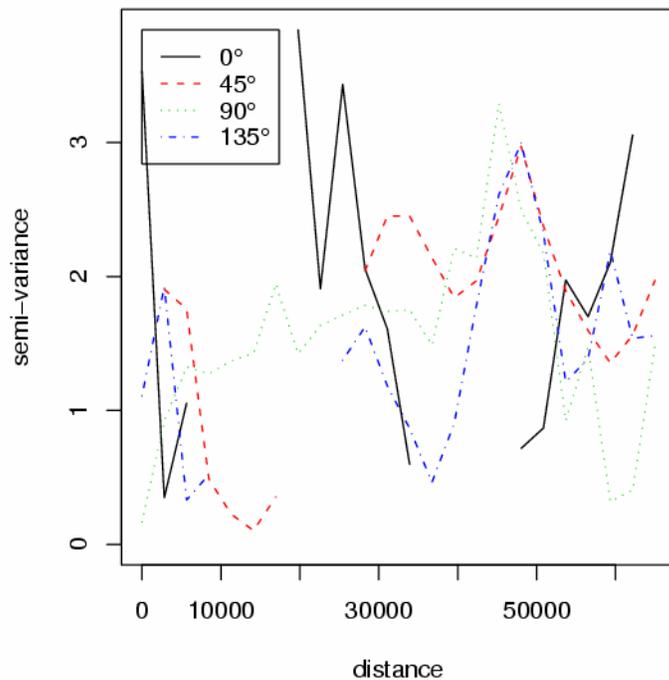
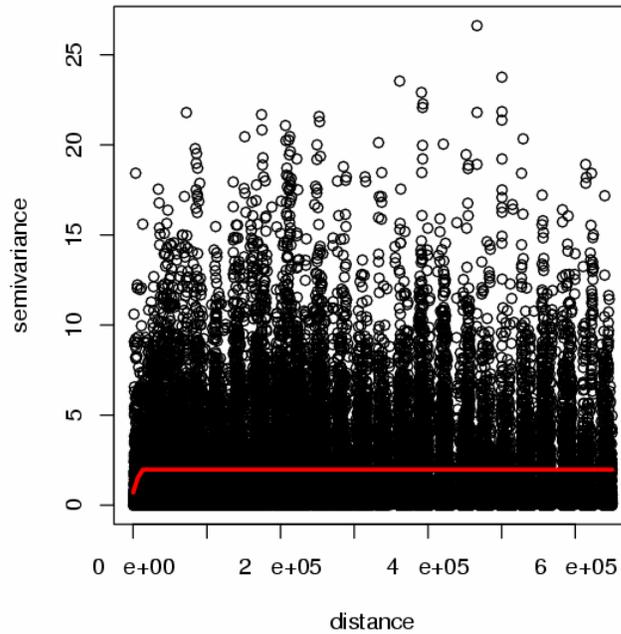


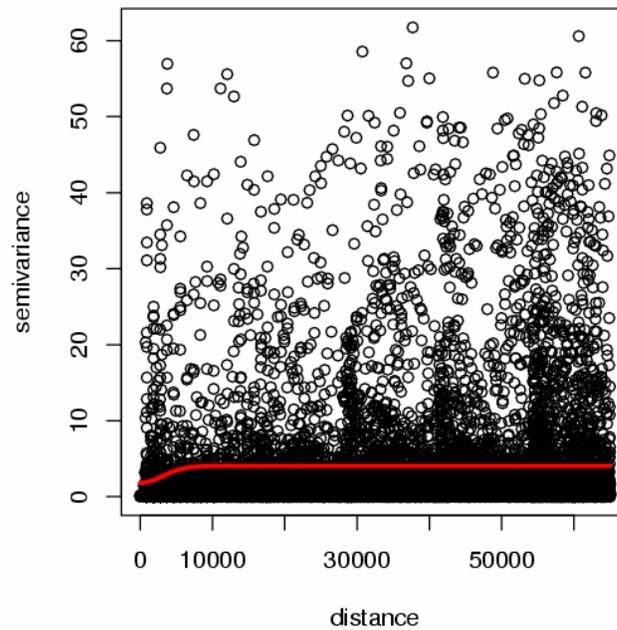
Figura 112. (Superior) 1999, (inferior) 2001. Variogramas direccionales para la densidad de merluza de cola transformada a logaritmo, demostrando ausencia de evidencia de anisotropía.

Variograma de Maxima Verosimilitud



Modelo Gaussian0: Rango=6370 m, Sill=1.279, Nugget=0.7073

Variograma de Maxima Verosimilitud



Modelo Gaussiano: Rango=4360 m, Sill=2.24, Nugget=1.817

Figura 113. Datos crudos de variograma y modelo de variograma ajustado por máxima verosimilitud. (a) 1999, (b) 2001.

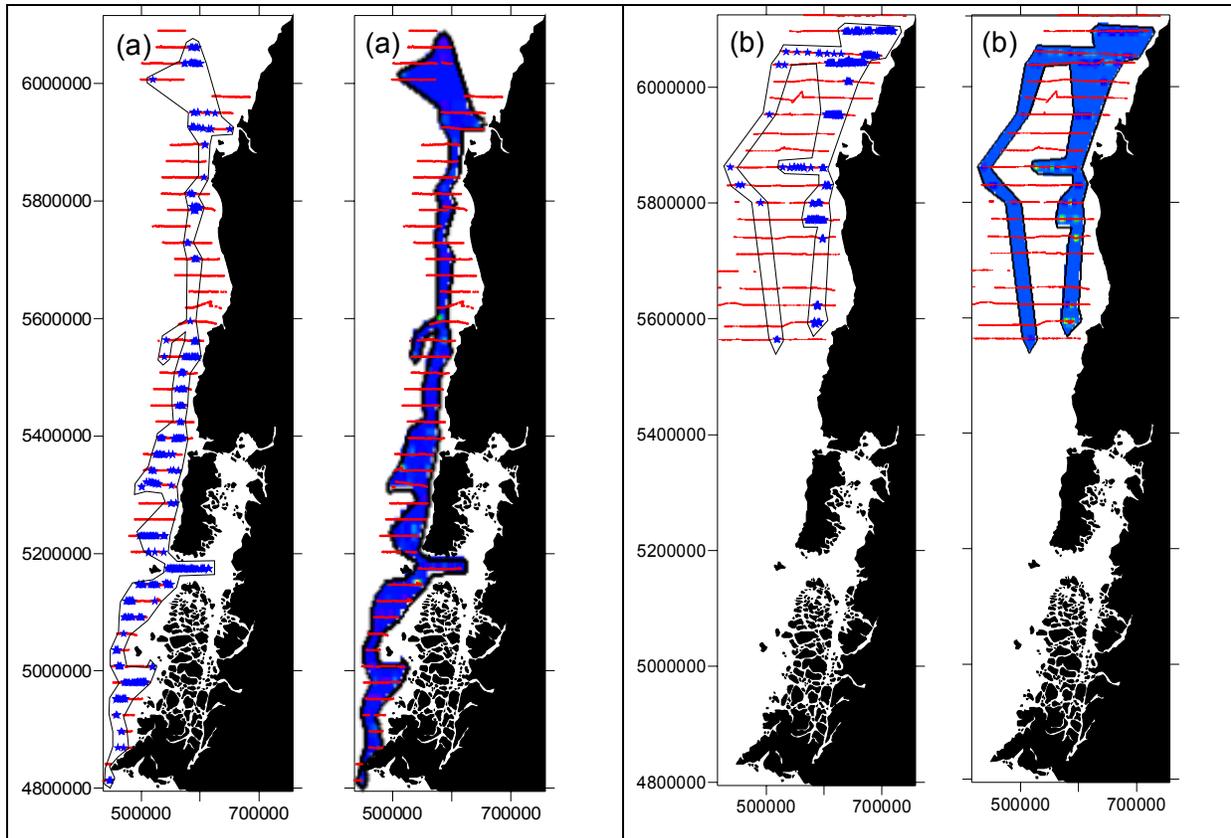


Figura 114. Reconstrucción del proceso espacial Gaussiano descrito por la merluza de cola juvenil mediante kriging puntual ordinario usando todos los datos para la interpolación en cada punto. (a) 1999, (b) 2001.

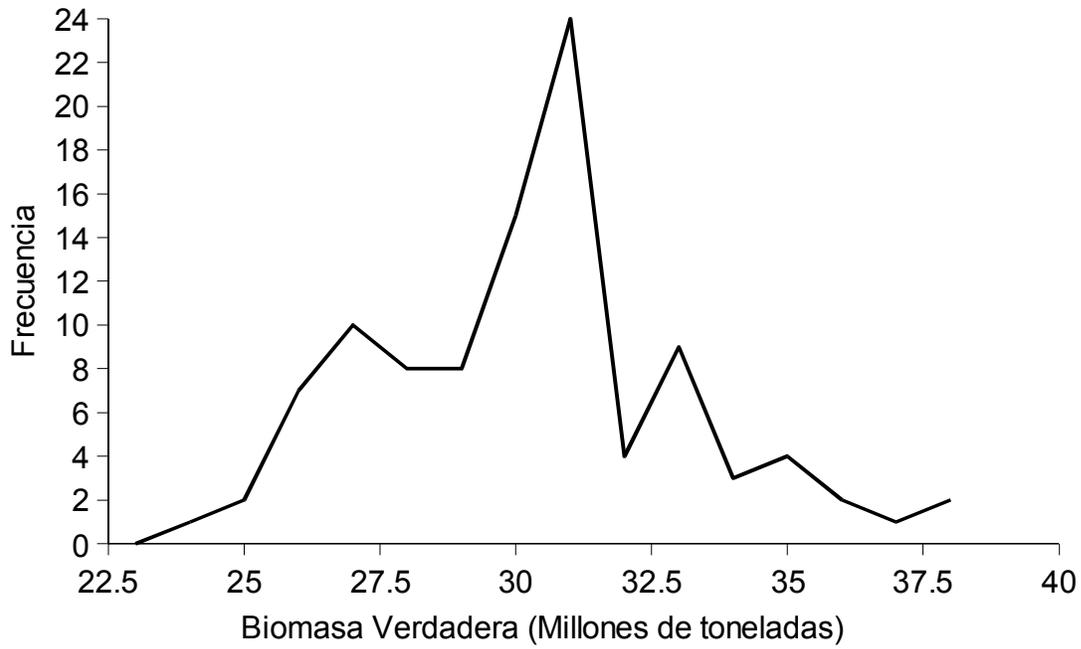


Figura 115. Distribución de frecuencia de la biomasa verdadera en las simulaciones del proceso espacial descrito por la merluza de cola juvenil según los parámetros estimados para los datos del proyecto de 2001.

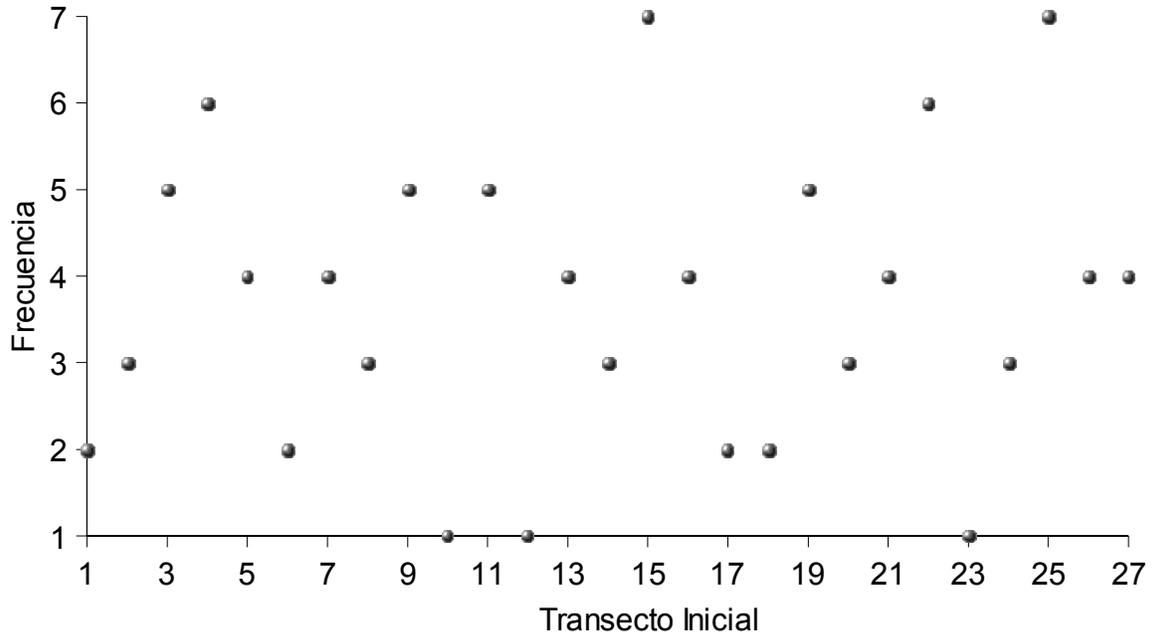


Figura 116. Distribución de frecuencia del primer transecto elegido al azar entre las primeras 27 filas de la grilla que describe aproximadamente la geografía de la zona cubierta en el proyecto de 2001. Válido para ambos diseños de muestreo, sistemático y adaptativo.

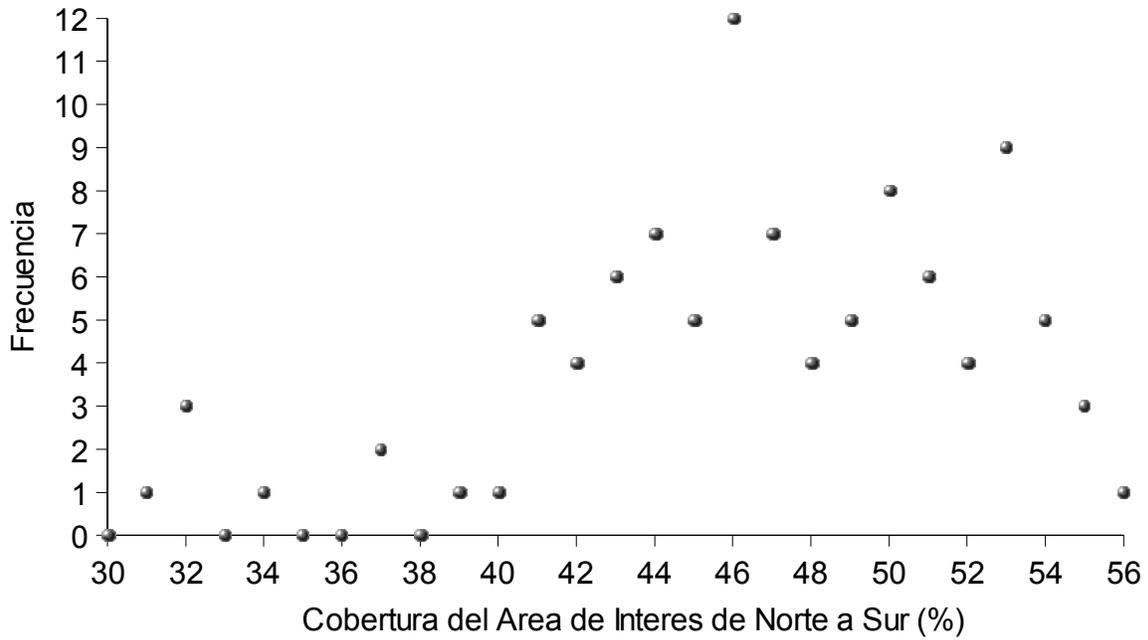


Figura 117. Distribución de frecuencia de la cobertura latitudinal en el diseño de muestreo adaptativo aplicado sobre las simulaciones del proceso descrito por la merluza de cola juvenil.

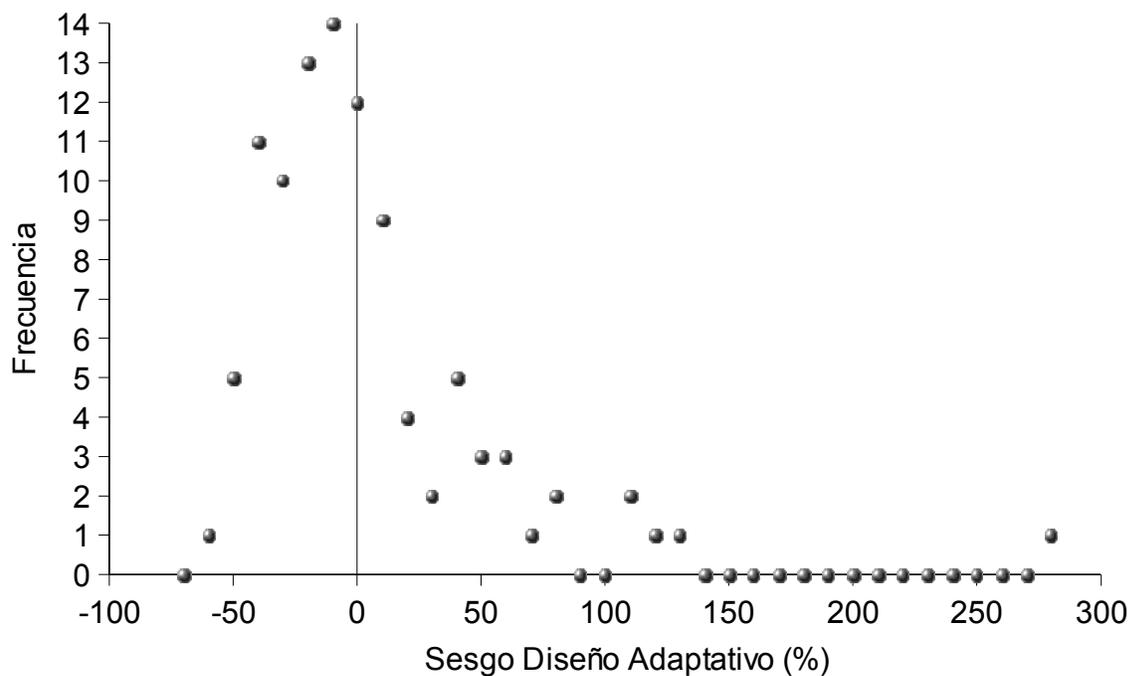
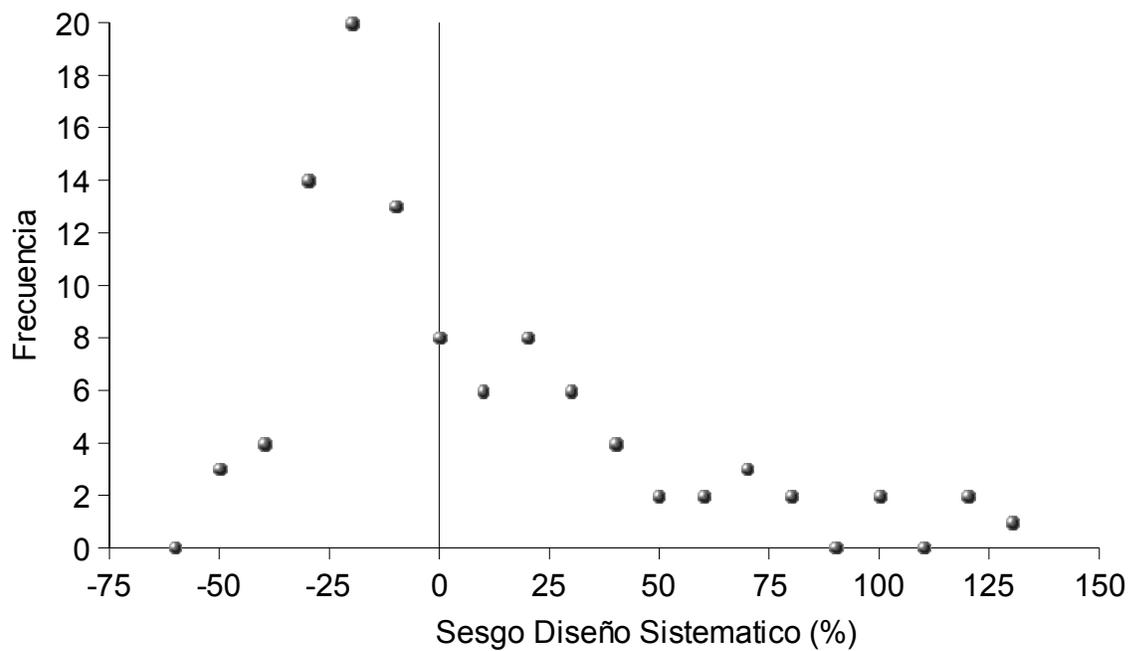


Figura 118. Distribución de frecuencia del sesgo en la estimación de biomasa para ambos tipos de diseño muestral, sistemático y adaptativo.

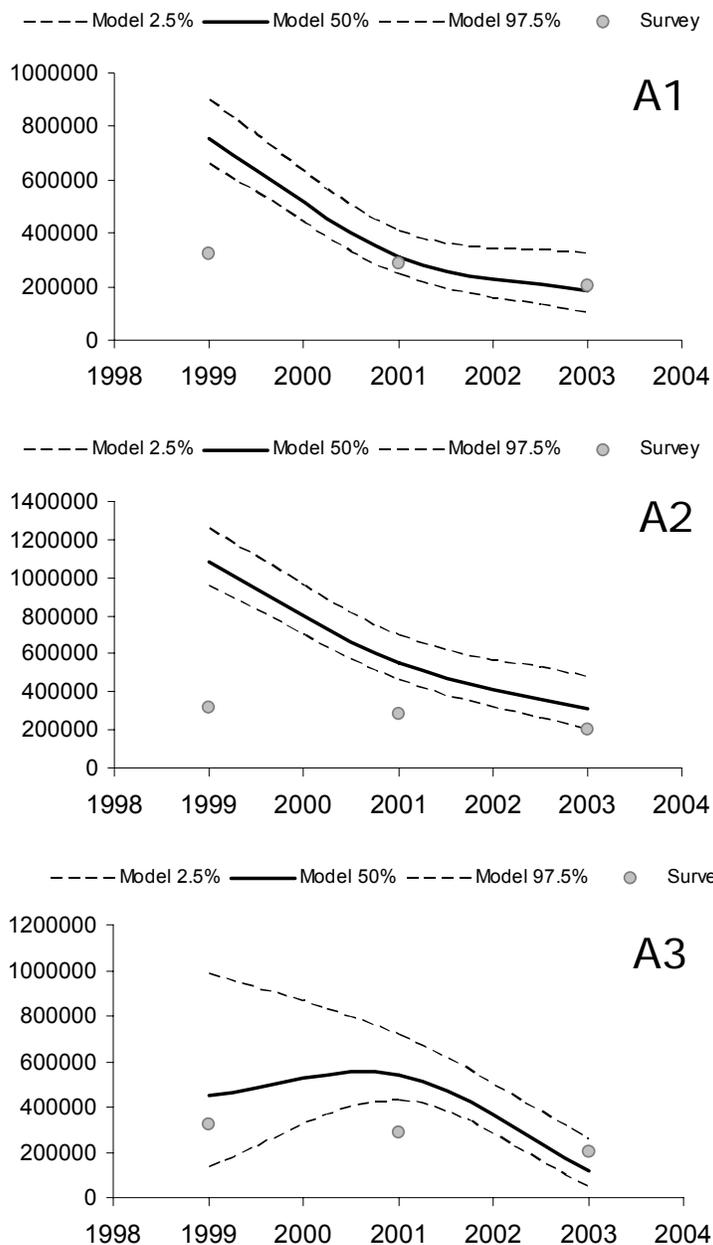


Figura 119. Estimaciones de biomasa para el reclutamiento calculado entre las edades 2 y 4 (A1), 2 y 6 (A2) y en función de las ojivas de selectividad estimadas para los años 1999, 2001 y 2003 (A3). La distribución posterior de la biomasa de reclutas esta representada como percentiles del 2.5 (línea punteada), 50 (línea gruesa) y 97.5% (línea punteada). Puntos grises representan las evaluaciones directas.

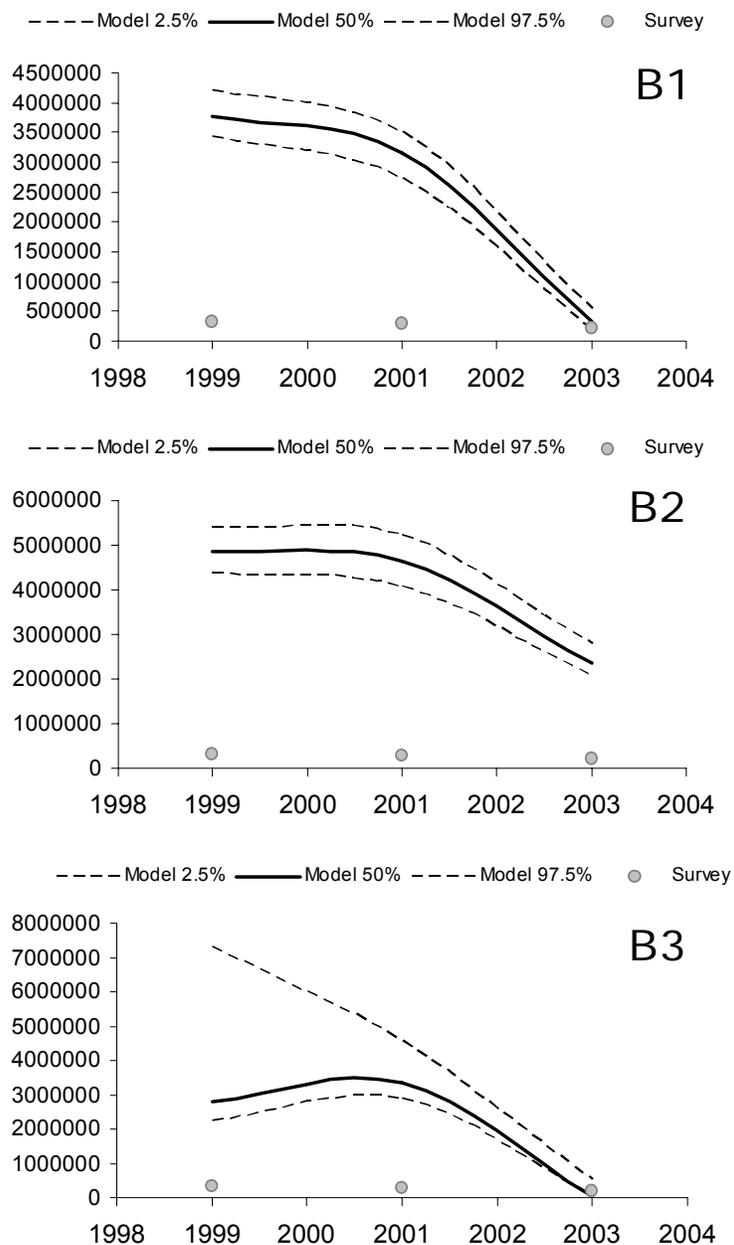


Figura 120. Estimaciones de biomasa para el reclutamiento calculado entre las edades 2 y 4 (B1), 2 y 6 (B2) y en función de las ojivas de selectividad estimadas para los años 1999, 2001 y 2003 (B3). La distribución posterior de la biomasa de reclutas esta representada como percentiles del 2.5 (línea punteada), 50 (línea gruesa) y 97.5% (línea punteada). Puntos grises representan las evaluaciones directas.

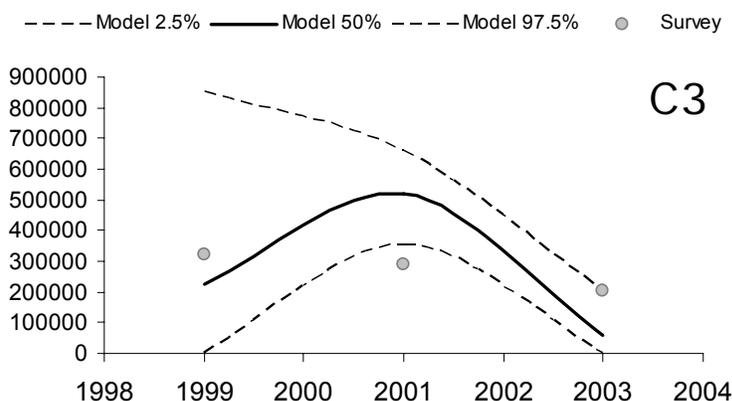
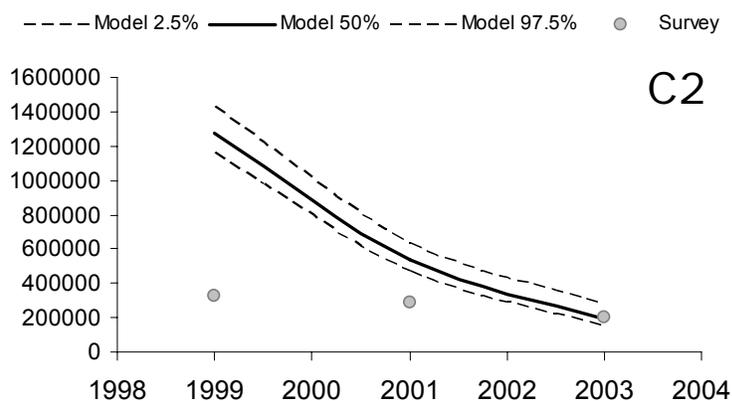
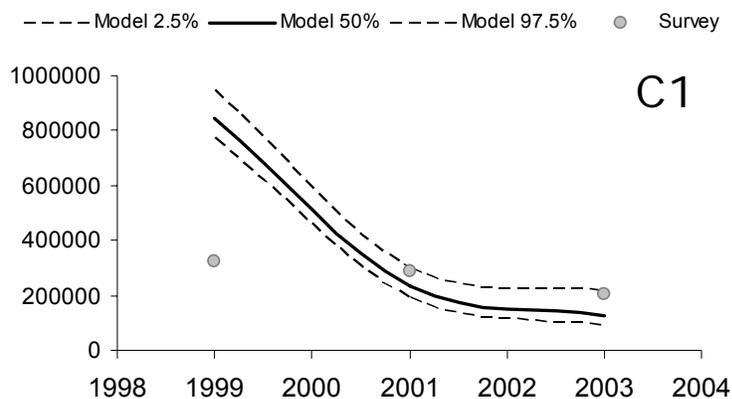


Figura 121: Estimaciones de biomasa para el reclutamiento calculado entre las edades 2 y 4 (C1), 2 y 6 (C2) y en función de las ojivas de selectividad estimadas para los años 1999, 2001 y 2003 (C3). La distribución posterior de la biomasa de reclutas esta representada como percentiles del 2.5 (línea punteada), 50 (línea gruesa) y 97.5% (línea punteada). Puntos grises representan las evaluaciones directas.

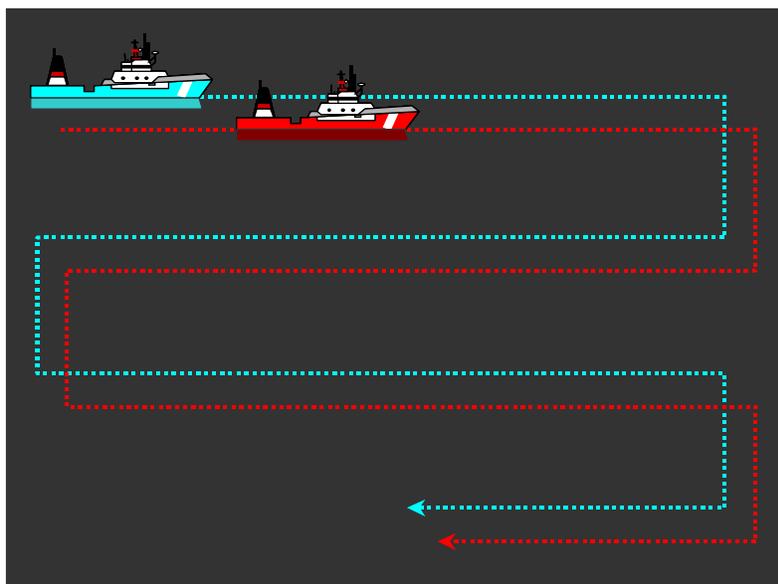


Figura 122. Ejemplo de intercalibración (Resultados barco B = Resultados Barco A + factor de corrección). [Vessel B results = Vessel A results + correction factor]

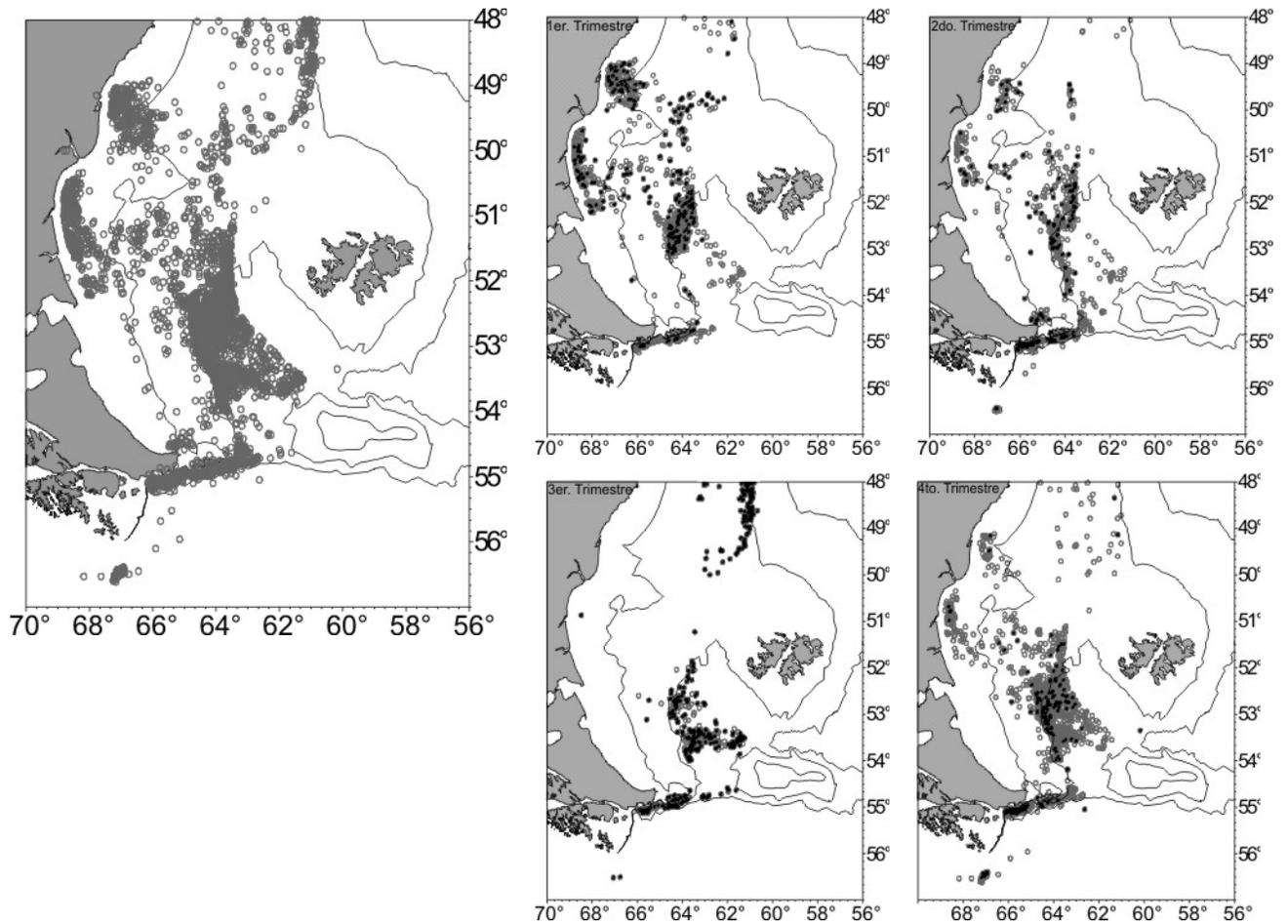


Figura 123. A) Posición geográfica de los lances de pesca realizados por la flota comercial durante el año 2003 al sur de los 48°S, en los que se capturó la merluza de cola. B) Posiciones de los lances realizados por trimestre. Los puntos negros indican las posiciones de las muestras.

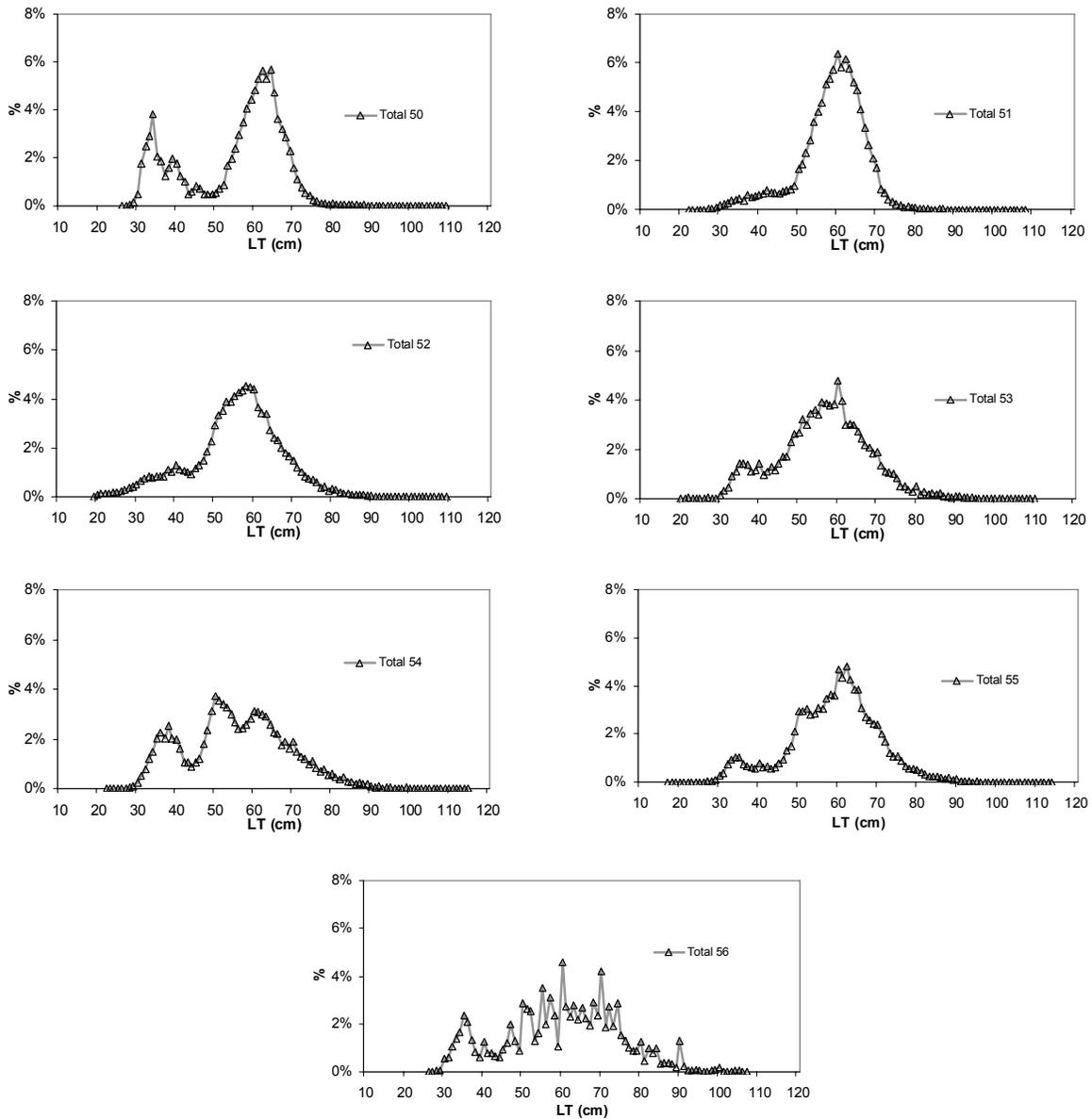


Figura 124. Distribuciones de longitudes, expresadas en porcentajes de frecuencias, estimadas por grado de latitud.

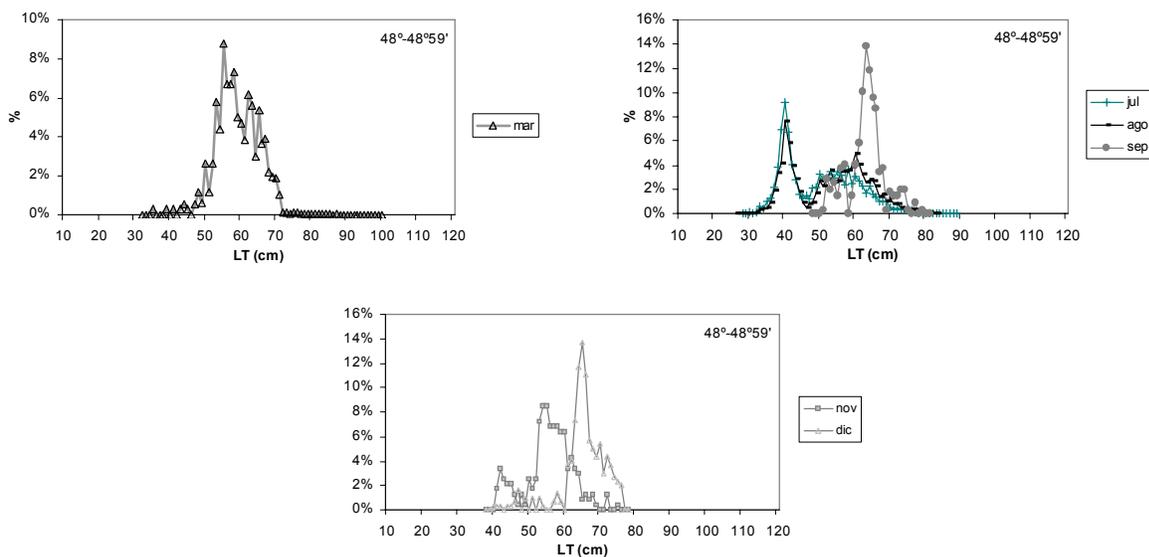


Figura 125. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 48° y 48°59'S.

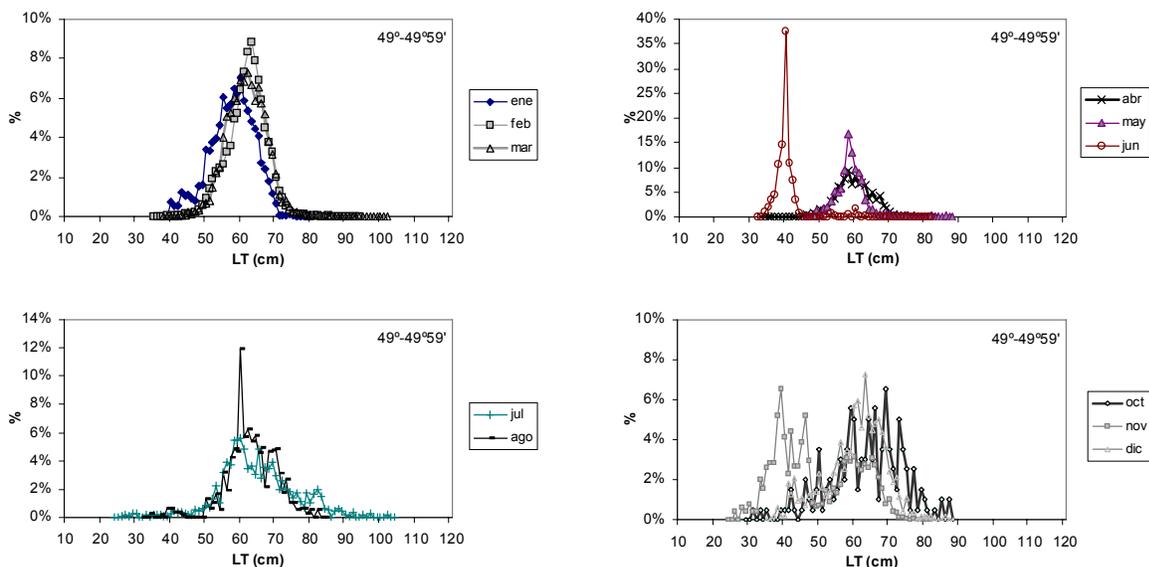


Figura 126. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 49° y 49°59'S.

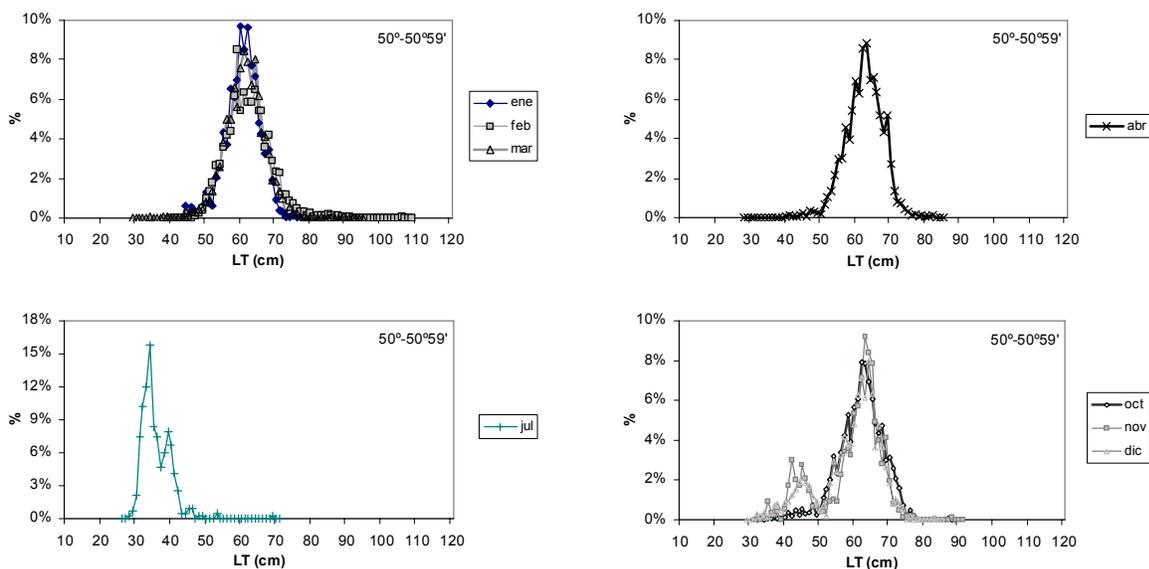


Figura 127. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 50° y 50°59'S.

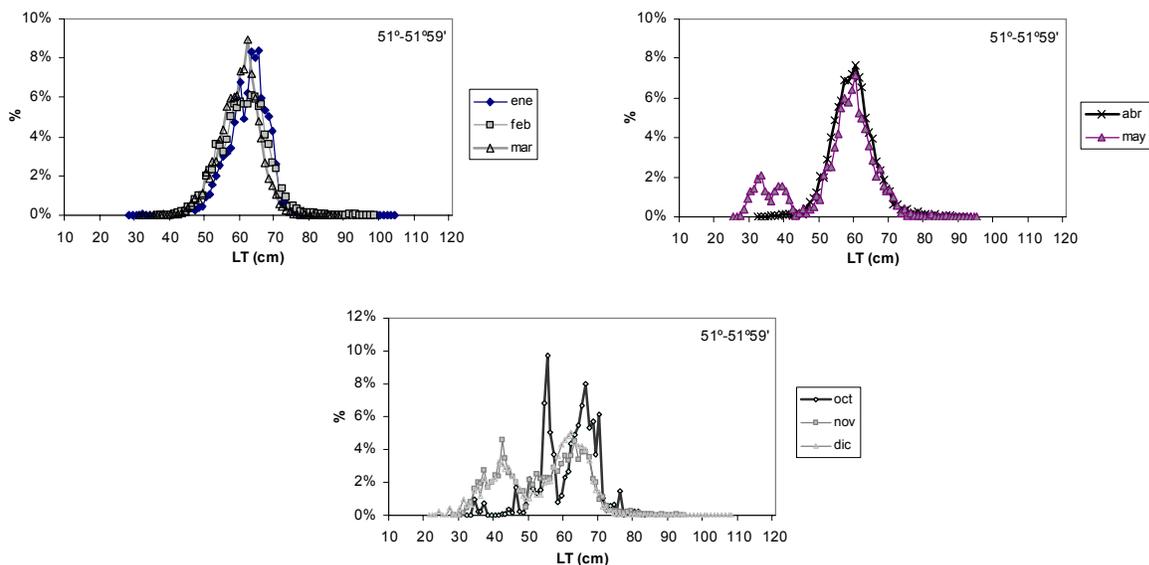


Figura 128. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 51° y 51°59'S.

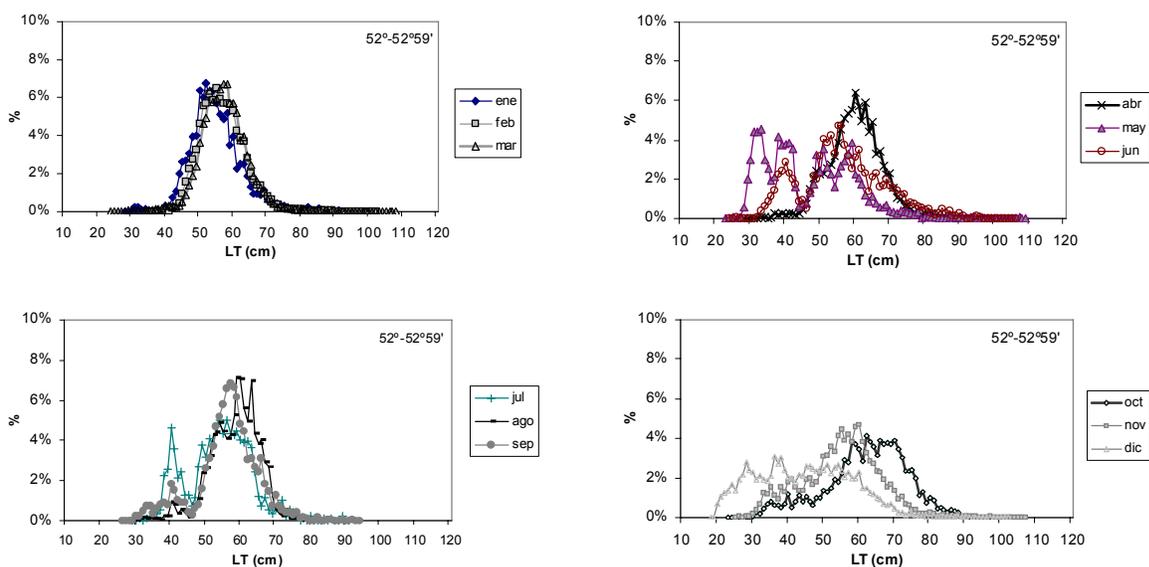


Figura 129. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 52° y 52°59'S.

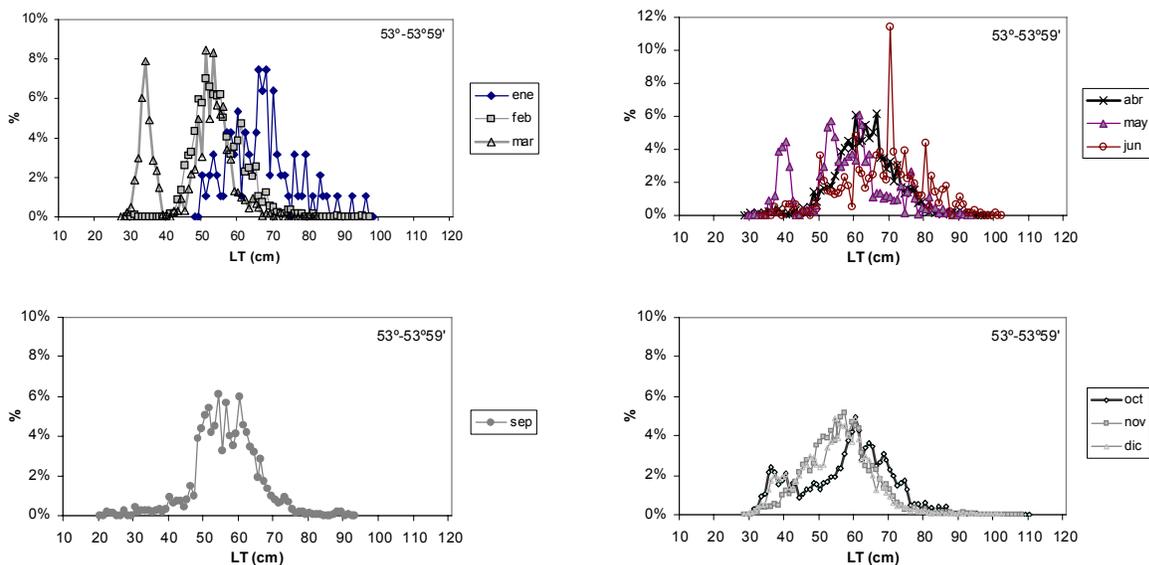


Figura 130. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 53° y 53°59'S.

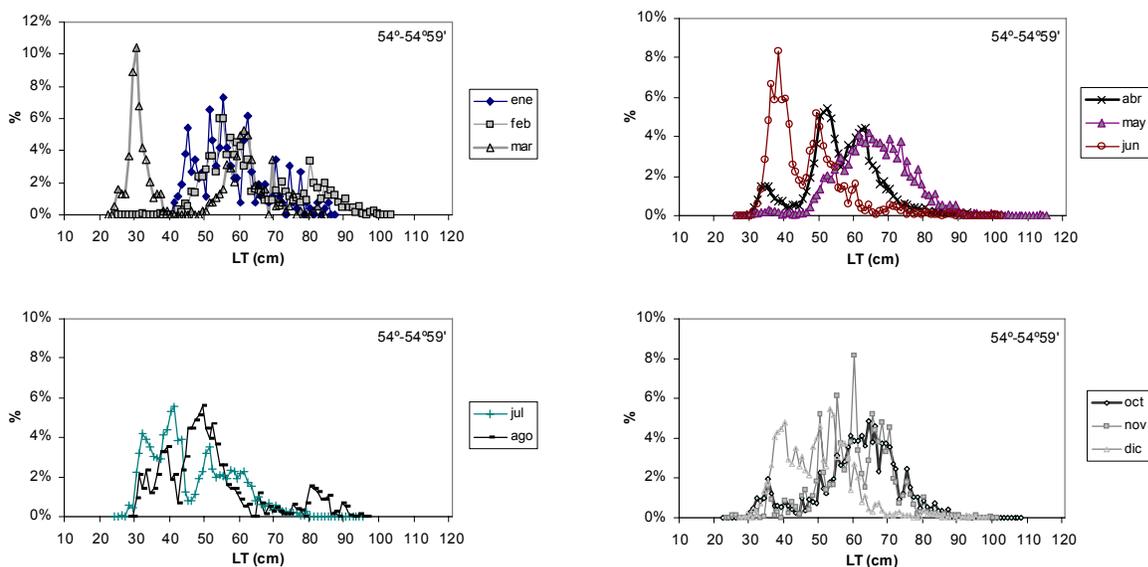


Figura 131. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 54° y 54°59'S.

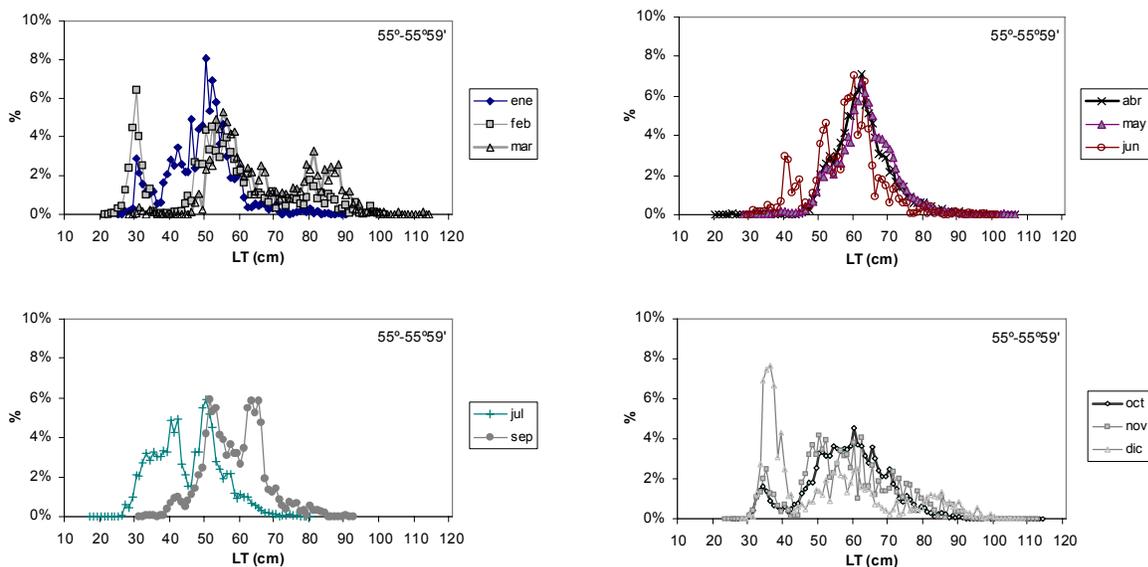


Figura 132. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 55° y 55°59'S.

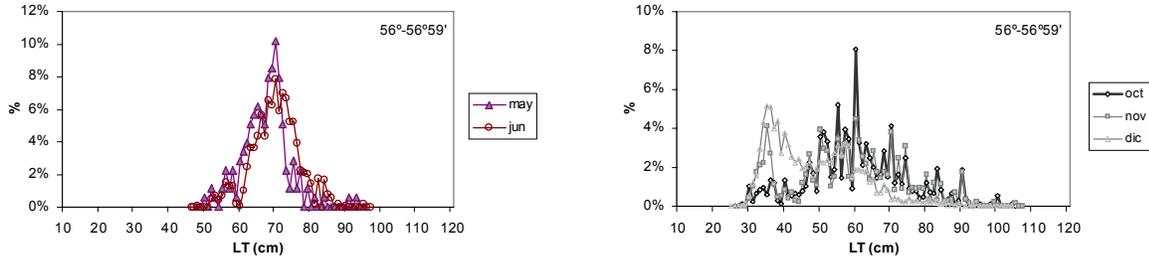


Figura 133. Distribuciones de longitudes mensuales, expresadas en porcentajes, capturadas entre los 56° y 56°59' S.

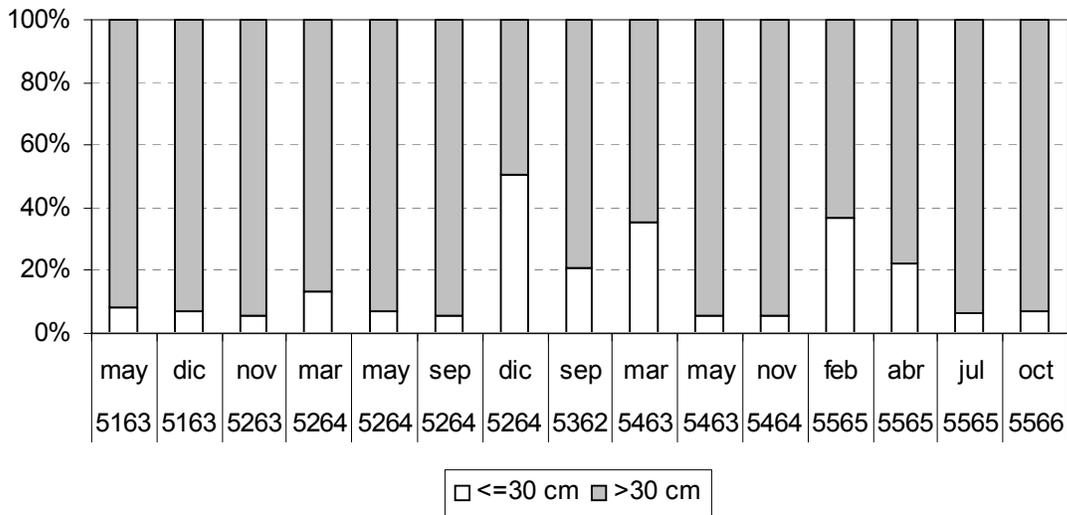


Figura 134. Porcentajes de individuos por cuadrícula incluidos en el Análisis de Agrupamiento Jerárquico.

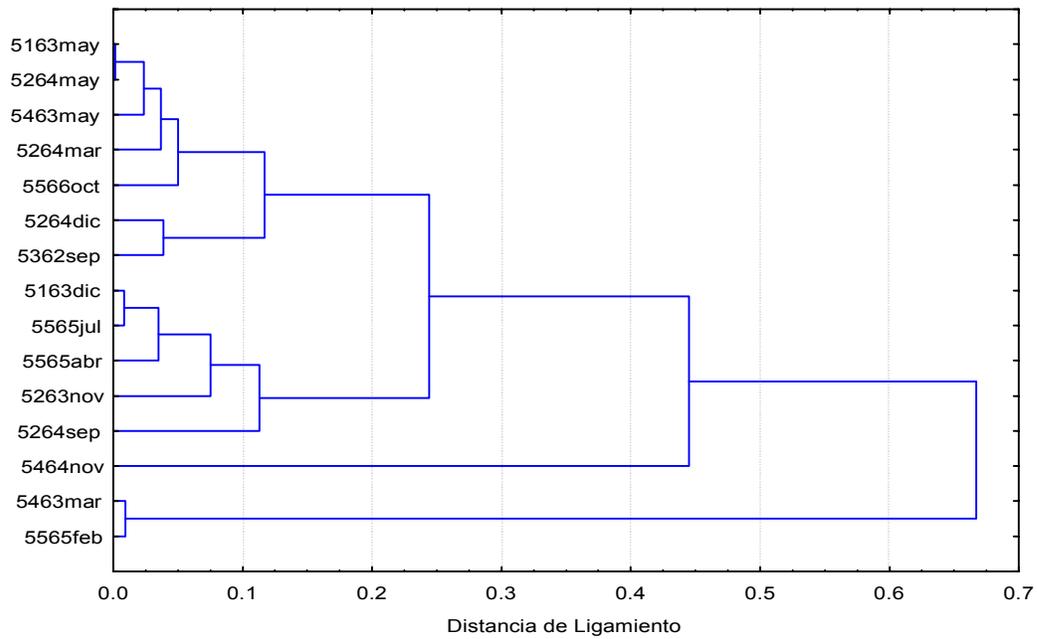


Figura 135. Asociación establecida a través del análisis de agrupamiento jerárquico en relación a la mayoritaria presencia de individuos menores de 26 cm LT.

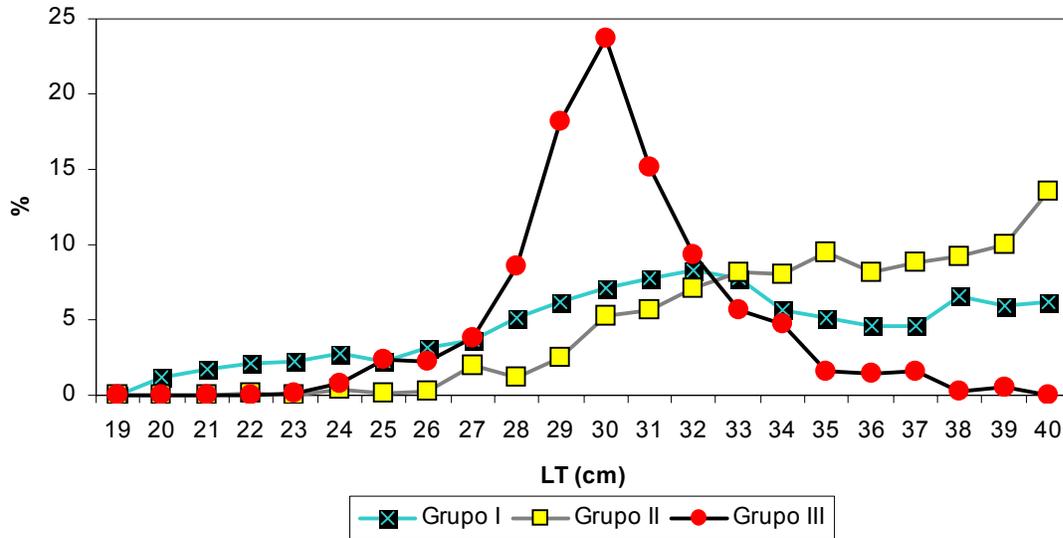


Figura 136. Distribuciones de longitudes de los grupos construidos a partir del Análisis de Agrupamiento Jerárquico.

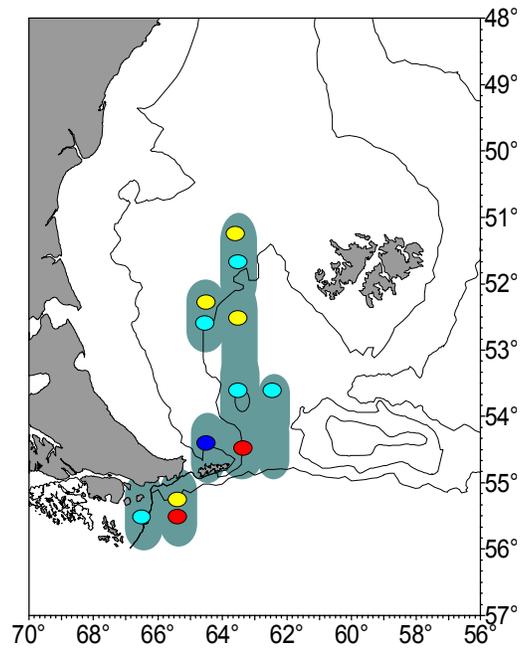


Figura 137. Esquematación del posible patrón migratorio de los reclutas de merluza de cola en el sector más austral del Mar Argentino.

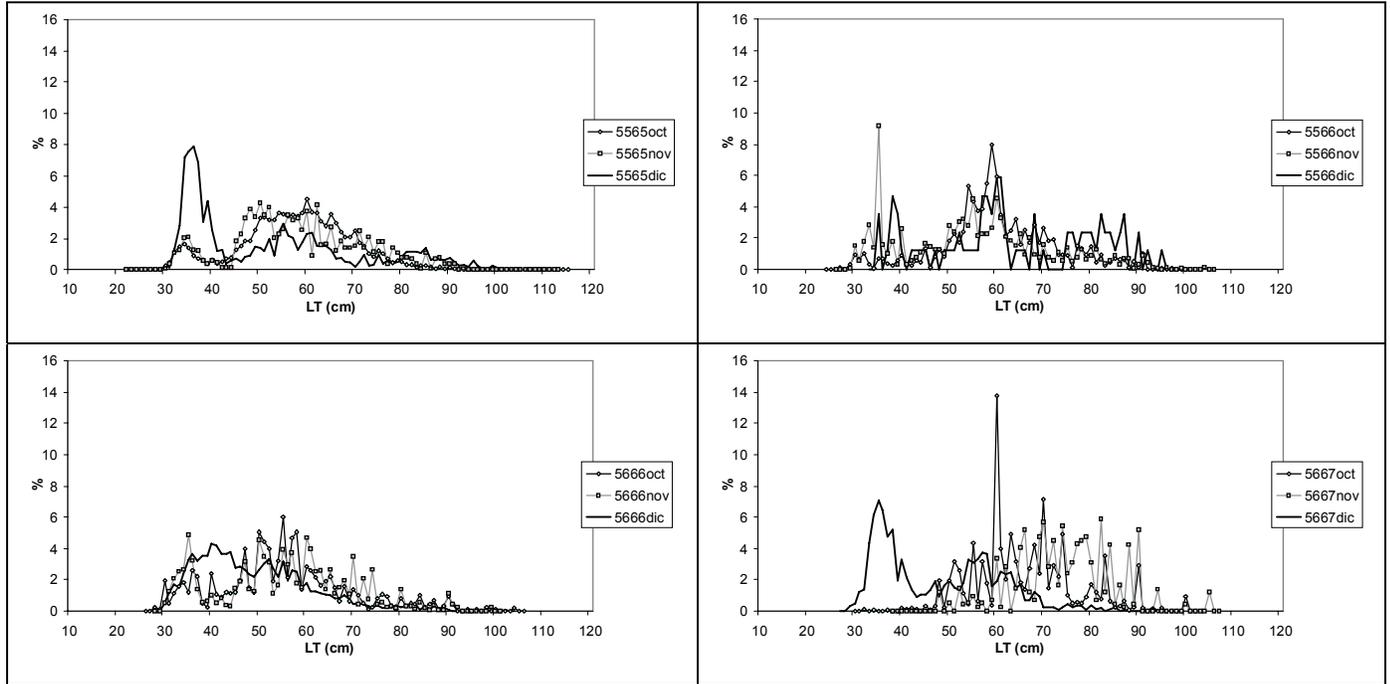


Figura 138. Distribución de frecuencias de longitudes agrupadas por cuadrado estadístico y por mes.

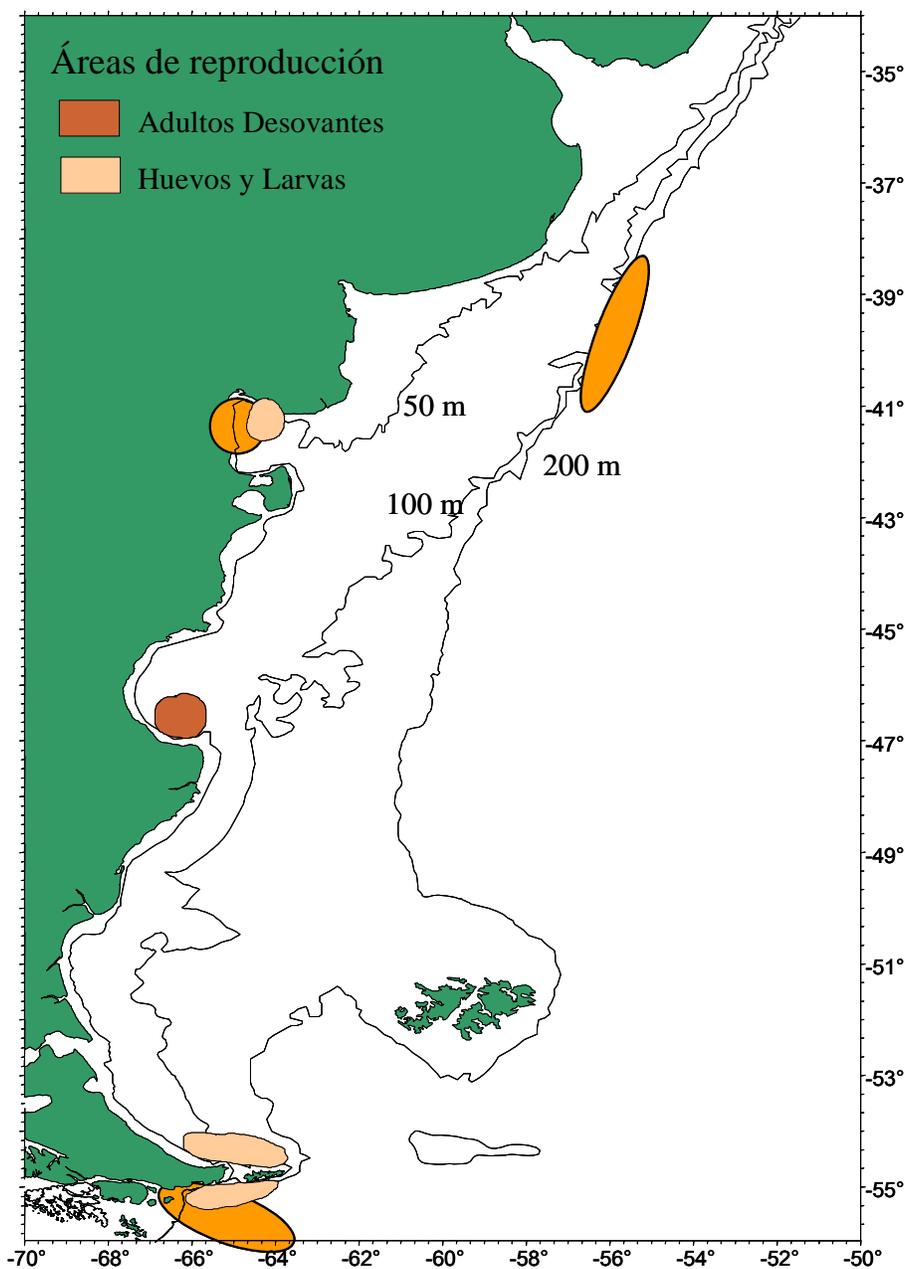


Figura 139. Posibles áreas de reproducción y cría en el Atlántico. Se indican las dos potenciales áreas reproductivas en el talud: la primera al norte entre los 38°S - 43°S y la segunda al sur en los 55° S, cercana al límite con Chile (Fuente : A. Giussi, taller Proyecto FIP 2004-12, Concepción, Chile).

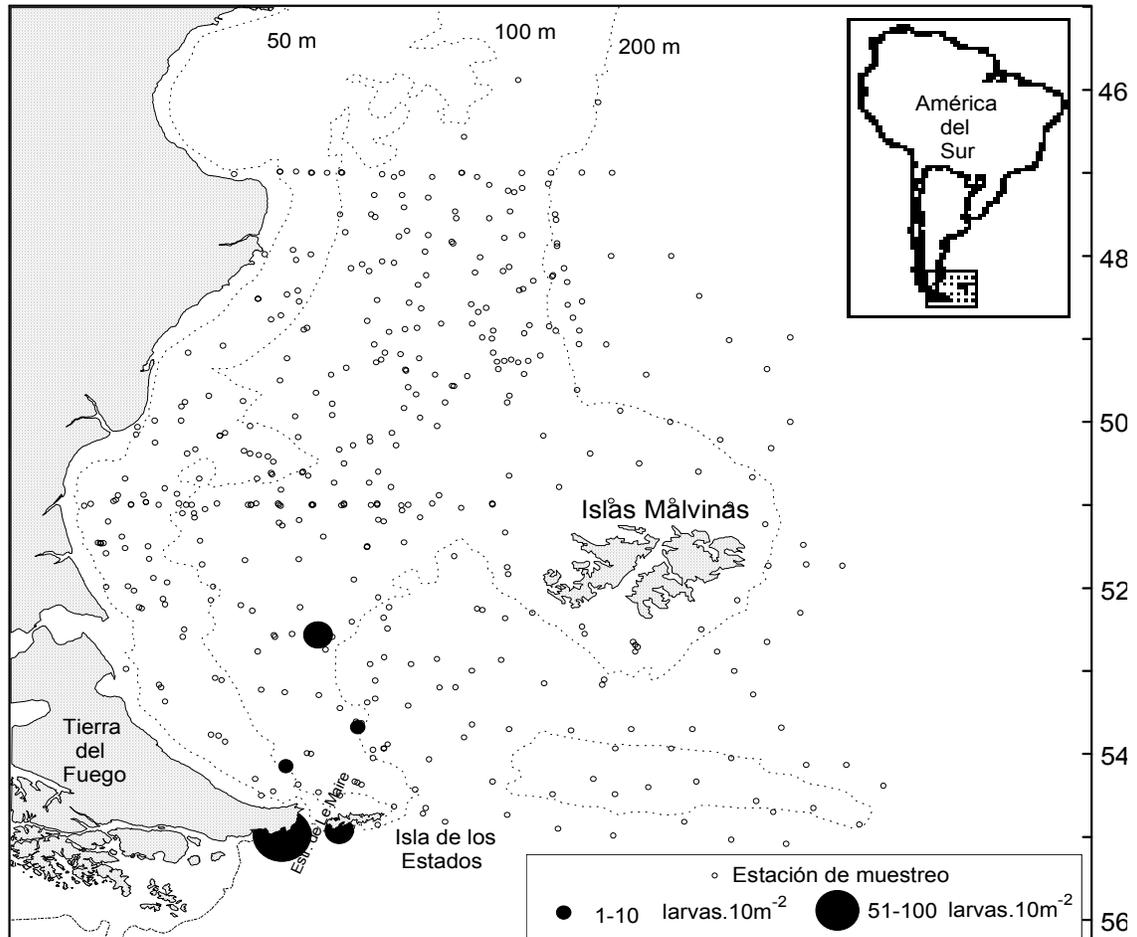


Figura 140. Distribución y abundancia de las larvas en el mar territorial Argentino (Fuente: A. Giussi, taller Proyecto FIP 2004-12, Concepción, Chile).

ANEXO 2

PRESENTACIONES POWERPOINT

Revisión de las hipótesis sobre la regulación del reclutamiento en peces de ecosistemas templados

Proyecto FIP N° 2004-12
 “Evaluación del reclutamiento de merluza de cola entre la V y X Regiones: revisión metodológica”

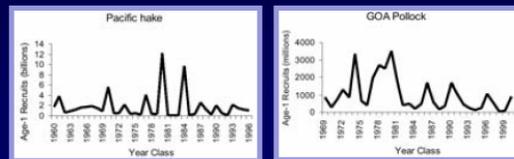
Rodrigo Montes A



Departamento de Oceanografía
 Universidad de Concepción

OBJETIVO ESPECIFICO 1

Caracterizar el proceso de reclutamiento de merluza de cola y describir los factores bióticos y abióticos que lo afectan o podrían afectar



OBJETIVO

Revisar las hipótesis existentes sobre la regulación del reclutamiento de peces en ecosistemas templados, con énfasis en los procesos que regulan el reclutamiento en especies del orden Gadiformes (Familias Merlucciidae, Macrouridae y Gadidae).

Principales escuelas de pensamiento sobre la regulación del reclutamiento de peces marinos

Inanición Transporte Predación

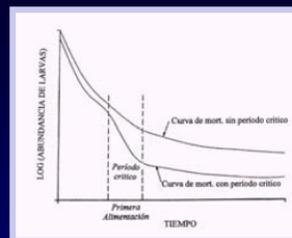
- Conductuales / adaptativas
- Factores intrínsecos

1. Hipótesis de Inanición

1.1 Primera Hipótesis de Hjort (1914) (“Periodo Crítico”)

La hipótesis del período crítico relaciona directamente la sobrevivencia larval y el reclutamiento con la abundancia de alimento durante el período de la primera alimentación.

Hjort postula que si luego de la reabsorción del vitelo, cuando las larvas requieren de una fuente externa de energía, el alimento no está disponible, la mortalidad por inanición sería el factor predominante en la mortalidad larval (fluctuaciones de *C. harengus* en el Mar del Norte)



Curvas de mortalidad con y sin el periodo crítico de la primera alimentación postulado por Hjort (1914).

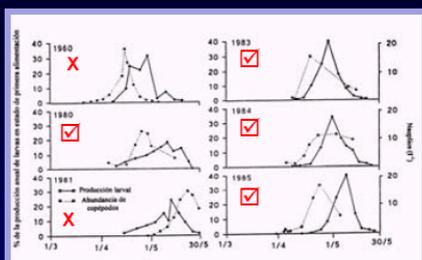
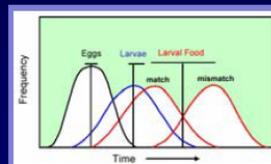
1.2 Hipótesis del Match-Mismatch (Cushing, 1975)

En esta hipótesis se plantea que la variabilidad en el reclutamiento de diversos stocks de peces (e.g. *Clupea harengus*) responde al acople y desacople entre los ciclos de producción de las larvas y los ciclos de producción de su alimento.

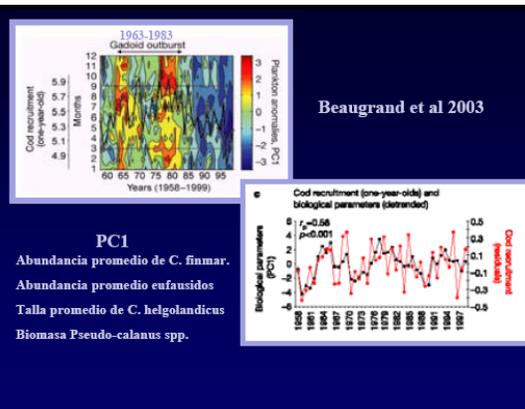
Los blooms fitoplanctónicos estacionales (primavera y otoño) estimularían la producción de alimento (e.g. copépodos) para las larvas, por lo que el desove de las poblaciones de peces se produciría en función de estos.

Hipótesis del Match-Mismatch (Acople-Desacople)

Las diferencias interanuales en las frecuencias de aparición de altas concentraciones de presas (e.g. blooms de fitoplancton, copépodos) en relación a un período de desove relativamente fijo, explicaría la varianza en la fuerza de las clases anuales de las poblaciones de peces de aguas templadas



Acople (☑) y desacople (X) entre abundancia de larvas de bacalao (*Gadus morhua*) en estado de primera alimentación y la abundancia de sus presas (*C. finmarchicus*) (Ellertsen et al., 1989)



1.3 Hipótesis de la Estabilidad de la Columna de Agua (Lasker, 1975)

La Hipótesis de la “Estabilidad de la Columna de Agua” (Lasker 1975) establece la existencia de un acople espacial entre las larvas y las partículas de alimento

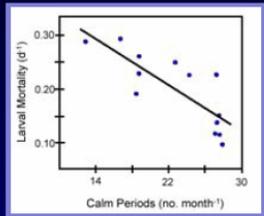
En esta hipótesis se plantea la necesidad de un ambiente con cierto grado de estabilidad para permitir la formación y mantención de agregaciones de alimento.

La alimentación sigue siendo el factor crítico, pero se toma en consideración, además, procesos físicos de carácter dinámico.

Esta hipótesis se origina en el hecho que las larvas de anchoveta (*Engraulis mordax*) en su estado de primera alimentación requieren densas concentraciones de alimento (e.g. dinoflagelados) de tamaño adecuado (30-50 μm) para satisfacer su metabolismo.

Estas concentraciones son alcanzadas cuando el océano se encuentra en condiciones de relativa calma, lo que conduce a la formación de una **capa de mezcla estable**.

De esta forma la estabilidad en la columna de agua es determinante en la concentración del alimento y derivado larval, e interviene significativamente en las fluctuaciones del reclutamiento.

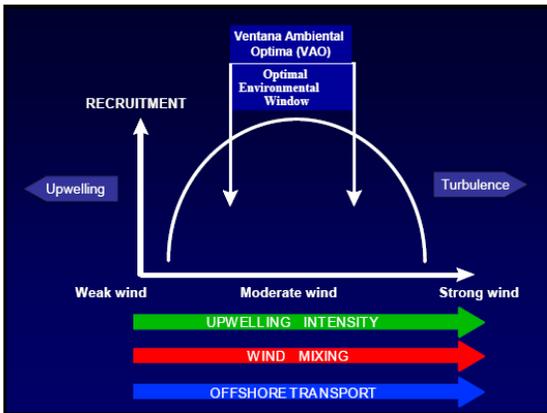


Relación entre la tasa diaria de mortalidad larval en la anchoveta del mar de norte (*Engraulis mordax*) y el número de periodos de calma por mes durante el periodo de desove por 13 años consecutivos.

1.4 Hipótesis de la “Ventana Ambiental Óptima” (Cury & Roy, 1989)

Cury & Roy (1989) postulan que los peces pelágicos costeros (sardina, anchoveta) tienden a situarse dentro de una “Ventana Ambiental Óptima” de intensidades de viento cercanas a $5-6 \text{ ms}^{-1}$, la cual sería capaz de maximizar la probabilidad de sobrevivencia de huevos y larvas favoreciendo el reclutamiento.

Esta relación sería válida para ecosistemas de surgencia tipo Ekman donde la magnitud del transporte mar afuera es un indicador de la cantidad de agua de surgencia y de la entrada de nutrientes hacia la capa fótica.

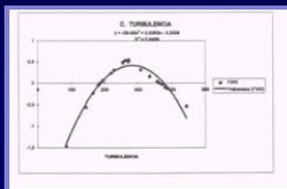


Hipótesis que respaldarían estos mecanismos

- ❖ Una alta surgencia costera actúa como fuente de abastecimiento de alimentos (Wroblewski & Richman, 1987; Cushing, 1990).
- ❖ Las turbulencias que se generan a pequeña escala incrementan la tasa de encuentro entre las larvas y su alimento, aumentando la sobrevivencia larval (Rothschild & Osborn, 1990; Mackenzie & Leggett, 1991).
- ❖ La intensa mezcla turbulenta generada por el viento disgrega los parches de alimento, lo que actúa negativamente sobre la sobrevivencia larval (Lasker, 1975; Cury & Roy, 1989).

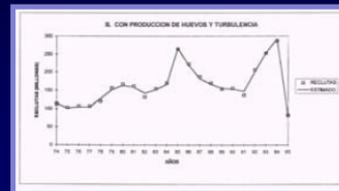
Para la merluza común (*Merluccius gayi*) se encontró una relación del tipo VAO considerando los niveles de turbulencia durante la época de desove (agosto y septiembre) para explicar el reclutamiento (individuos de 3 años de edad) en la zona centro-sur de Chile (V y VIII Regiones; Paya et al. 1998)

Turbulencia en Valparaíso y Talcahuano



Turbulencia promedio de Talcahuano y Valparaíso en el mes de agosto de cada año y una función de producción de huevos

78% de la variación en el reclutamiento



1.5 Hipótesis de la Triada de Bakun (Bakun, 1996) “Ocean Triad”

Tres procesos de carácter físico se combinan para potenciar el área reproductiva de peces pelágicos costeros, entre otras especies:

- Procesos de enriquecimiento (surgencias, mezcla, etc)
- Procesos de concentración (convergencias, formación de frentes, estabilidad de la columna de agua)
- Procesos que favorecen la retención (o la deriva) hacia habitat apropiado.

Bakun (1996) denomina a estos procesos la
Triada Fundamental

Lloret et al. 2001 postulan que las condiciones hidroclimáticas en la zona nor-oeste del Mediterráneo favorecen el reclutamiento de diversas especies de peces e invertebrados, especialmente *Merluccius merluccius*.

Gradientes superficiales de presión a nivel del mar: zonas de convergencia y divergencia. Estas últimas se extienden hacia Golfo de Lyon promoviendo intensos eventos de surgencia.

Caudal ríos Ebro y Rhone: corresponde al 70% del aporte de agua dulce al Mediterráneo, favoreciendo el enriquecimiento y la estabilidad de la columna de agua

Transporte de Ekman hacia la costa

2. Hipótesis de Transporte

2.1 Hipótesis sobre la Deriva Larval (expatriación) o segunda hipótesis de Hjort (1914).

En su segunda hipótesis, Hjort (1914) postula la existencia de altas tasas de mortalidad durante los estadios tempranos en aquellos individuos que se ven expuestos a periodos de deriva hacia áreas inapropiadas para su crecimiento.

De este modo, la variabilidad en la pérdida de larvas desde las áreas de distribución apropiadas se deberían a las diferencias interanuales en los procesos de advección.

2.2 Hipótesis de transporte asociadas a estrategias reproductivas como mecanismos de adaptación poblacional

2.2.1 Hipótesis del Transporte Mar Afuera (Parrish et al. 1981)

Parrish et al. (1981) desarrollan la “Hipótesis del Transporte Mar Afuera” en la cual postulan que el desove de las poblaciones de peces en las zonas de surgencia de la Corriente de California se encuentra adaptado a los efectos adversos del transporte de huevos y larvas (i.e. transporte de Ekman) fuera de la plataforma continental.

Peces migratorios tales como *Merluccius productus* que habitan en las zonas de máxima surgencia tienden a desovar durante fines del invierno y comienzos de la primavera, periodo caracterizado por un transporte inducido por el viento hacia la costa.

2.2.2 Hipótesis del Desarrollo en Sitios Seguros Frank & Leggett (1982)

En esta hipótesis se postula que el inicio del periodo de deriva larval en el capelín (*Mallotus villosus*) es adaptativo, se encuentra asociado a condiciones de viento que inducen cambios en masas de aguas costeras, y ocurre en ambientes con altos niveles de alimento de tamaño adecuado para la alimentación y con baja abundancia de predadores. Esta estrategia minimiza la mortalidad por predación, y maximiza la probabilidad de encontrar alimento de tamaño adecuado durante el periodo de la primera alimentación.

2.2.3 Hipótesis sobre Asociaciones Larvales Multiespecíficas

Se establece una intensa asociación entre las larvas de otras especies de desovantes demersales (i.e. *Pseudopleuronectes americanus*, *Ulvaria subbifurcata* y *Liparis sp.*) con la especie pelágica dominante (i.e. *Mallotus villosus*) en el momento de la aparición de los vientos dirigidos hacia la costa.

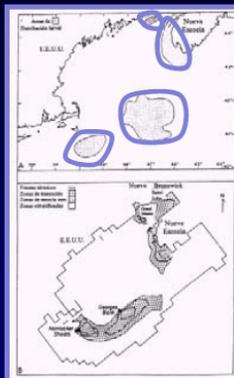
Esta estrategia permitiría disminuir significativamente las tasas de predación sobre las larvas de los desovantes demersales en este ecosistema, ya que junto con desarrollarse en aguas con mayor cantidad de alimento y menor densidad de predadores, esta asociación conduciría a la saturación de los predadores.

2.3 Hipótesis de transporte asociadas a la retención larval.

2.3.1 Hipótesis del Area de Retención Larval
(Iles & Sinclair, 1982)

El arenque de Atlántico (*Clupea harengus*) presenta:

- ❖ gran riqueza poblacional (número de poblaciones por especie).
- ❖ áreas de desove específicas con profundidad y sustrato determinado, y
- ❖ bajo % sobreposición espacial entre larvas de diferentes stocks durante fase larval planctónica.

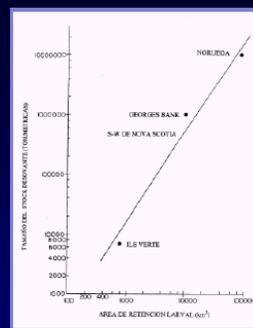


El desove se produciría durante el otoño boreal en áreas segregadas, que a pesar de la fuerte influencia mareal, se forman áreas de distribución larval independientes durante la primavera

Existen características físicas de la columna de agua, representadas por un parámetro de estratificación que se acoplan espacialmente con las áreas de distribución larval.

Variación parámetro indica paso zona mezcla vertical a una zona estratificada producto calentamiento superficial columna de agua.

“El número de stocks de arenque y la ubicación geográfica de sus áreas de desove, se encuentran determinadas por el número, ubicación y extensión de áreas de retención larval geográficamente estables”



Se postula que existe una relación cuantitativa entre el tamaño de los stocks y el tamaño de las áreas de retención larval.

Vargas et al. 1997 postulan la existencia de áreas de retención larval para *Merluccius gayi* durante la época de desove (1.e septiembre) en zona central de Chile (36°22' -37°10' Lat. S.)

La baja intensidad del transporte de Ekman durante esta época del año conduciría a la estratificación de los primeros 20-30 m de la columna de agua y a un grado de estabilidad que contribuye a la formación y mantención de partículas de alimento.

Durante las épocas de surgencia, las mayores concentraciones de huevos y larvas de merluza se encuentran en zonas con la presencia permanente de eddies y frentes asociados a las características topográficas de la plataforma continental en la terraza del Itata y cañon del Bio-Bio

La topografía del sector jugaría un rol importante en la creación de zonas de recirculación y de retención de estadios tempranos.

Por otro lado, el análisis de la dinámica de la distribución de las frecuencias de tallas indicaría un transporte de larvas hacia la costa mediante masas de agua ecuatoriales sub-superficiales bajo los 40 m de profundidad.

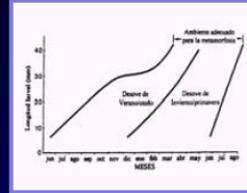
De esta forma se incrementaría la sobrevivencia de las larvas al encontrarse en zonas con mayor cantidad de alimento.

2.3.2 Hipótesis de la Calidad del Area de Retención Larval
Sinclair & Tremblay (1984)

El momento del desove de las poblaciones de arenque se encuentra determinado en función del tiempo que necesitan los individuos que conforman la población para completar su fase larval e iniciar la metamorfosis dentro de los límites de la estación.

Poblaciones con áreas de retención favorables (e.g. abundante alimento, temperatura adecuada) pueden desovar en la primavera y alcanzar la metamorfosis antes del otoño.

Poblaciones cuyas áreas de retención se caracterizan por condiciones desfavorables para el crecimiento larval, deben desovar más temprano, ya sea durante el invierno o el otoño



Poblaciones en áreas de retención desfavorables

Desovadores de otoño

Fase larval larga (baja productividad en el año)

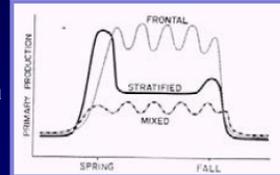
Areas de retención de intensa mezcla vertical

Poblaciones en áreas de retención favorables (abundante alimento y temperatura adecuada)

Desovadores de primavera

Fase larval corta

Areas retención estratíf. y blooms fitoplanctónicos primavera-otoño.



2.3.3 Hipótesis del Area de Crianza (Rijnsdorp et al. 1992)

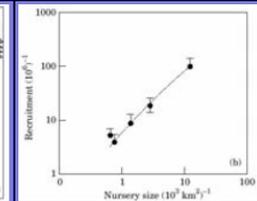
Estos investigadores encuentran una relación positiva entre el tamaño (superficie) del area de crianza y el reclutamiento máximo y promedio de diversas especies de flatfishes (*Solea solea*, *Pleuronectes platessa*, *Scophthalmus maximus* y *Scophthalmus rhombus*).

Esta hipótesis fue extendida por Gibson (1994) al encontrar una correlación positiva entre los requerimientos de habitat de los juveniles (en términos de rangos de profundidad) con la abundancia total de los stocks.

Rijnsdorp et al 1992



Ubicación de los stocks de *Solea solea* en el mar del norte



Relación entre el reclutamiento promedio de *Solea solea* y el tamaño del área de crianza

2.3.4. Hipótesis del Miembro Expatriado, "Member/Vagrant" (Sinclair, 1988)

- (1) El entrecruzamiento del material genético (característico de especies que se reproducen sexualmente) condiciona a que los ciclos de vida aseguren la persistencia de las poblaciones en el tiempo en espacios relativamente definidos.
- (2) Las poblaciones solo pueden existir en aquellas áreas geográficas en donde puede existir una continuidad en los ciclos de vida (miembros >>> expatriados).

"La continuidad de una población no dependería del numero de individuos que logran sobrevivir hasta la edad de madurez, sino de la probabilidad de encontrar un macho o una hembra con un genoma similar en el lugar y tiempo oportuno"

SEX IS BETTER THAN FOOD

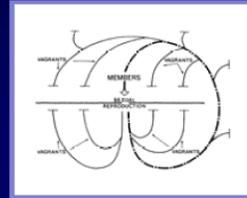
(nace la necesidad de asegurar un contacto físico entre individuos con el fin de perpetuarse)

Sinclair (1988) define la "Hipotesis del Miembro/Expatriado"

- ❖ La riqueza poblacional esta en función del número y ubicación de las características geográficas dentro de las cuales las especies sean capaces de completar su ciclo de vida.
- ❖ La abundancia absoluta depende del tamaño del área geográfica dentro de la cual se completa el ciclo de vida.
- ❖ La variabilidad temporal en la abundancia se encuentra en función de las pérdidas inter- generacionales de individuos (por expatriación y mortalidad) desde las áreas de distribución que le aseguren a los individuos ser miembros de una población.

Perdida de miembros de una población

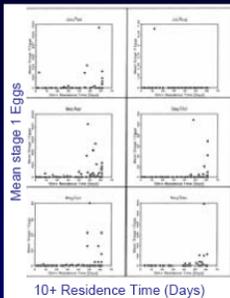
- Procesos espaciales (desplazamiento de juveniles y adultos fuera de las áreas de distribución apropiadas).
- Energéticos (predación, enfermedades, inanición)



Page et al 1999 comparan los patrones geográficos del desove del cod (*Gadus morhua*) y haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) con patrones de tiempos de residencia estimados a través de modelos de circulación para la zona de Georges Bank.



Intensidad y dirección de las corrientes a 25 m de profundidad



COD

| Concentr. Huevos | T.R. |
|------------------|-----------|
| ~ 0 | < 35 dias |
| 100-1000 | > 35 dias |
| >1000 | > 45 dias |

Concentración de huevos de cod (numero/10 m²) vs tiempo de residencia promedio (TR) entre 10-50 m profundidad.

Las poblaciones de cod (*Gadus morhua*) y haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) estarían seleccionando las áreas y las estaciones del año en que se aumente la probabilidad de retención de los estadios tempranos dentro del banco (se asegura una continuidad del ciclo de vida)

Posibles implicancias de los patrones de circulación oceanicos sobre el reclutamiento de merluza de cola en Chile

Proyecto FIP N° 2004-12

“Evaluación del reclutamiento de merluza de cola entre la V y X Regiones: revisión metodológica”

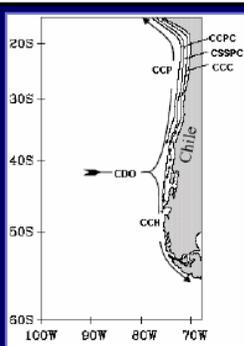
Rodrigo Montes A



Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

El anticiclón Subtropical del Pacifico Suroriente (centro de alta presión del Pacifico Sur) constituye el principal agente que modula el clima en esta zona del Pacifico, conduciendo los vientos a lo largo de la costa de Chile y Perú hacia el Ecuador (Strub et al., 1998).

La Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste (CDO) corresponde al borde meridional del giro subtropical el cual posee una circulación anticiclónica permanente en el Pacifico Sur.



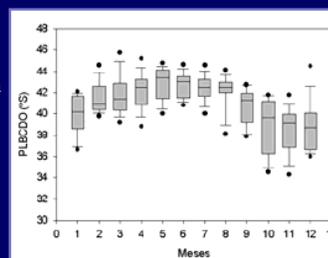
Esta corriente ocupa los primeros 300 metros de la columna de agua y se aproxima desde el oeste/nor-oeste hacia el continente sudamericano a una velocidad promedio de $5-9 \text{ cm s}^{-1}$ entre los 35° y 48°S centrándose alrededor de los 42°S .

En esta zona la CDO se bifurca a una distancia de 30 millas de la costa originando dos grandes ramas.

Una rama fluye en dirección al sur hacia el Paso de Drake y se denomina Corriente del Cabo de Hornos (CCH), y la segunda fluye hacia el norte a lo largo de la costa del continente sudamericano como la Corriente Chile-Perú (CCP)

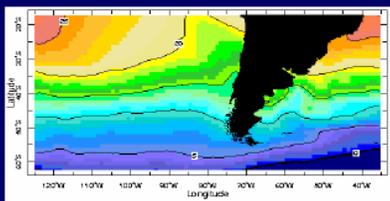
Contracorriente Perú-Chile (CCPC), Corriente Sub-superficial Perú-Chile (CSSPC) y Corriente Costera de Chile (CCC).

Rango variación
600 m.n.



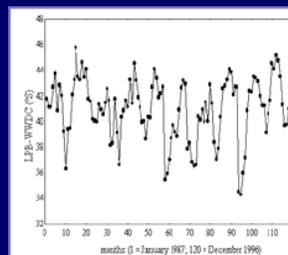
La posición latitudinal de la bifurcación de la CDO (i.e. PLBCDO) depende del patrón de vientos locales, los cuales a su vez dependen de la interacción entre el Anticiclón del Pacifico-Sur y las Bajas Sub-polares (Nuñez, 1996).

Diciembre 1990



Datos mensuales de las temperaturas superficiales del mar (TSM) obtenidas de Integrated Global Ocean Services System (Joint WMO/IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology Products Bulletin Data Products).

Las imágenes satelitales de la TSM se utilizaron para calcular una variable proxy de la PLBCDO a escala mensual, identificando la latitud para la cual las isolinneas de temperatura se dividen o bifurcan al alcanzar la longitud de 76°W .



Serie de tiempo mensual de la PLBCDO entre 1987 y 1996

Interacción océano-atmósfera a nivel de macroescala y sus efectos sobre la abundancia y distribución de los recursos pesqueros

Hemisferio Norte

La intensidad y ubicación del Centro de Baja Presión Aleutiano durante el invierno boreal, se encontraría asociado con la bifurcación de la CDO (Corriente Subártica) en el hemisferio norte de la cual nacen la Corriente de Alaska y la Corriente de California (Francis & Hare, 1994).

Alteraciones en el punto de bifurcación de esta corriente han introducido masas de aguas calidas hacia la Corriente de California disminuyendo notablemente la disponibilidad de nutrientes y el volumen de zooplancton (Francis et al., 1998).

❖ Hemisferio Sur

Variaciones en la intensidad de los vientos provenientes del oeste (y en consecuencia de la corriente de deriva de los vientos del oeste) son capaces de alterar la temperatura superficial del mar, afectando la distribución y capturas de túnidos (*Thunnus maccoyii*) y mamíferos marinos (*Hydrurga leptonyx*) en las costas de Tasmania (Harris et al., 1988).

❖ Chile Centro-Sur

El sector de bifurcación de la CDO y de choque con el continente coincide con la zona de máxima intensidad de desove de merluza de cola (44° - 47°S) (Rubilar et al., 2001).

¿Hipótesis de trabajo?

ANEXO 3
PERSONAL PARTICIPANTE POR
ACTIVIDAD

PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

| NOMBRE | TITULO | FUNCIONES O ACTIVIDADES | Objetivo (# horas) |
|----------------------|---|--|---|
| BILLY ERNST E. | Biólogo Marino PhD Fisheries | Coordinación del proyecto. Revisión y reanálisis de los cruceros de evaluación directa del reclutamiento: Aspectos acústicos. Síntesis de la información espacio-temporal aportada por los cruceros acústicos. Coordinación del taller 1. Coordinación del taller 2. Comparación de las estimaciones directas de biomasa con las indirectas. Relación entre ambiente y reclutamiento. Conseguir la data. | 1 (30) 2 (80) 3 (160) 4 (80) 5 (25) |
| LEONARDO CASTRO C. | Biólogo Marino PhD Oceanography | Caracterización espacio temporal de huevos y larvas. | 1 (70) 4 (30) |
| RUBÉN ROA U. | Licenciatura en Biología Marina Magister en Oceanografía | Revisión y reanálisis de los cruceros de evaluación directa del reclutamiento: Aspectos estadísticos. Estimación y simulación. | 3 (120) 4 (20) |
| GUSTAVO AEDO U. | Biólogo Marino Magister en Pesquerías | Ciclos y estrategias de vida, incluyendo reclutamiento de <i>M. magellanicus</i> y especies afines. Relación factores abióticos y bióticos sobre el reclutamiento de <i>M. magellanicus</i> | 1 (250) 4 (40) |
| MAURICIO LANDAETA D. | Biólogo Marino PhD Oceanography (C) | Caracterización espacio temporal de huevos y larvas | 1 (70) 4 (20) |
| LUIS CUBILLOS | Biólogo Marino Magister en Oceanografía | Revisión de la hipótesis de migración de juveniles de merluza de cola hacia el norte | 1 (80) 4 (30) |
| PEDRO RUBILAR | Biólogo Marino | Revisión de la hipótesis de una sola área de desove en la merluza de cola (<i>macrurus magellanicus</i> , lönnberg) en Chile | 3 (120) 4 (20) |
| ALEJANDRO ZULETA | Biólogo Marino Master en Estadística Matemática | Revisión de la hipótesis de migración estacional del stock adulto. | 3 (120) 4 (20) |

Informe Final

| | | | |
|-------------------|---|--|------------------|
| ANALIA GIUSSI | Licenciado en Ciencias Biológicas Dr Ciencias Biológicas | Consultor extranjero. Revisión de la hipótesis de migración reproductiva del stock Argentino hacia agua chilenas. | 1 (30) 4 (20) |
| OTTO WÖHLER | Licenciado en Ciencias Biológicas Dr Ciencias Biológicas | Consultor extranjero. Revisión de la hipótesis de migración reproductiva del stock Argentino hacia agua chilenas. | 1 (30) 4 (20) |
| STEPHANE GAUTHIER | Ecólogo. PhD en Biología Universidad de Washington | Consultor extranjero. Revisión y reanálisis de los cruceros de evaluación directa del reclutamiento: Aspectos acústicos. | 3 (12) 4 (10) |

ANEXO 4
FORMULACIÓN TEÓRICA DEL MODELO
GEOESTADÍSTICO BASADO EN LA
FUNCIÓN DE VEROSIMILITUD

Formulación Teórica del Modelo Geoestadístico Basado en la Función de Verosimilitud

Los reclutas entran desde el exterior de una región A 2-dimensional y se dispersan y ocupan localidades específicas con coordenadas Cartesianas x e y , $\{x,y\}$ en cualquier momento del tiempo. Ellos también crecen y mueren causando cambios directos de biomasa en cualquier localidad. La población es observada en un momento del tiempo. Cualesquiera dos punto en A , $\{x,y\}$ y $\{x,y'\}$, están separados por la distancia Euclidiana $h = \|\{x,y\} - \{x,y'\}\|$. Sea $\check{Z}(\cdot)$ la función de densidad espacial en biomas continua y única (*i.e.* verdadera) $\check{Z}(x,y)$ en un momento del tiempo. Dentro de A la función de densidad en biomasa cambia en 2D porque los individuos reclutas entran en diferentes momentos, crecen en masa corporal y algunos mueren, luego hay un término de ganancia/pérdida actuando directamente sobre la función en cualquier localidad $\{x,y\}$. Por simplicidad presumiremos que $\check{Z}(\cdot)$ es un proceso Gaussiano isotrópico y estacionario con $E_A[\check{Z}(x,y)] = \beta$, $\text{Var}_A[\check{Z}(x,y)] = \sigma^2$ y función de correlación espacial $\rho(h)$. La variable aleatoria $\check{Z}(x,y)$ cambia debido a cambios en $\check{Z}(x,y)$ y debido a fluctuaciones aleatorias que agrupan todos los efectos de los cuales somos ignorantes porque observamos el proceso de manera incompleta. $\check{Z}(x,y)$ es condicionalmente Gaussiano dado $\check{Z}(x,y)$, con esperanza $\check{Z}(x,y)$ y varianza τ^2 . Finalmente, la variable aleatoria $Z(x,y)$ es la transformada inversa de $\check{Z}(x,y)$ donde la transformación pertenece a la familia Box-Cox

$$\mathbf{A1.1} \quad \check{Z}(x,y) = f_\lambda(Z(x,y)) = \begin{cases} (Z^\lambda(x,y) - 1) / \lambda, & \text{if } \lambda \neq 0 \\ \ln(Z(x,y)), & \text{if } \lambda = 0 \end{cases}$$

con λ un nuevo parámetro, que puede ser estimado o fijado después de inspeccionar el histograma de las realizaciones z_i . Bajo este model básico podcemos escribir

$$\mathbf{A1.2} \quad \check{Z}_i = \check{Z}(x_i, y_i) + \epsilon_i$$

donde los ϵ_i son variables normales idénticamente distribuidas y par-a-par independientes con media cero y varianza τ^2 . Luego, debido a la correlación espacial, la distribución del vector \check{Z} es normal multivariada

$$\mathbf{A1.3} \quad \check{Z} \sim MVN(\beta \mathbf{1}, \sigma^2 \mathbf{R} + \tau^2 \mathbf{I})$$

donde $\mathbf{1}$ es un vector de n (número de localidades) 1s, \mathbf{R} es una matriz cuyo (i,i') -ésimo elemento es $\rho(h_{i,i'}|\kappa,\varphi)$ (con κ,φ parámetros de la función de correlación espacial), e \mathbf{I} es una matriz identidad n por n . Luego la función log-verosimilitud para el vector de parámetros $\boldsymbol{\theta}'=[\beta \sigma^2 \tau^2 \kappa \varphi]$ es

$$\mathbf{A1.4} \quad l(\boldsymbol{\theta}|z(x,y)_i) \propto -0.5 \ln[\sigma^2 \mathbf{R} + \tau^2 \mathbf{I}] + (z_i - \beta \mathbf{1})' (\sigma^2 \mathbf{R} + \tau^2 \mathbf{I})^{-1} (z_i - \beta \mathbf{1})$$

β es la media del proceso espacial Gaussiano, y está relacionada a la densidad media sobre el área del stock a través del parámetro λ .

ANEXO 5

FUNCIÓN DE R – MCOLASIM

```

#Funcion que (1) crea 'N.sim' campos Gaussianos, (2) los 'rapa' de acuerdo con la probabilidad observada
#('pcell') que una unidad basica de muestreo acustico produzca un valor positivo, (3) realiza un muestreo
#sistemático con 20 transectas, separadas cada 27 filas de la grilla, con la primera transecta elegida al
#azar entre las primeras 27 filas de la grilla, y (4) realiza un muestreo adaptativo con 20 transectas en
#donde si la suma de la observaciones de una transectas es superior al parametro de abundancia umbral
#('umb')
#entonces se muestrea la siguiente fila y si no es asi, se salta 27 filas.
mcolasim<-funcion(N.sim,pcell,umb){
#Definicion de la grilla
x<-seq(1,180,1)
y<-seq(1,540,1)
#Parametros del proceso Gaussiano - Tomados desde ajuste maximo verosimil datos 2001
param<-c(6.63,2.24,1.82,4.36)
names(param)<-c("beta","sigmasq","tausq","varphi")
#Ciclo mayor - N.sim simulaciones
for(i in 1:N.sim){
#Campos Gaussianos 'saturados' del paquete RandomFields
mcola<-GaussRF(x=x,y=y,param=param,grid=TRUE,model="gauss")
#Campos Gaussianos 'rapados' con el parametro 'pcell'
for(j in 1:540){
for(k in 1:180){
if(runif(1)<pcell) mcola[k,j]<-exp(mcola[k,j]) else mcola[k,j]<-0
}
}
file1.out<-paste("mcolasim9",i,"txt",sep=".")
write(t(mcola),file1.out,ncol=ncol(t(mcola)))
#Archivo de resultados para cada corrida
mcolasam9<-mat.or.vec(1,8)
#Primer transecto elegido al azar
t=0
t<-(1+as.integer(27*runif(1)))
#Valor verdadero del total y de la suma de cuadrados
mcolasam9[1,1]<-sum(mcola)
mcolasam9[1,2]<-sum(mcola^2)
mcolasam9[1,3]<-t
#Muestreo sistemático - Total y suma de cuadrados en la muestra sistemática
mcolasam9[1,4]<-(sum(mcola[,t])+sum(mcola[,t+27])+sum(mcola[,t+54])+sum(mcola[,t+81])+sum
(mcola[,t+108])+sum(mcola[,t+135])+sum(mcola[,t+162])+sum(mcola[,t+189])+sum
(mcola[,t+216])+sum(mcola[,t+243])+sum(mcola[,t+270])+sum(mcola[,t+297])+sum
(mcola[,t+324])+sum(mcola[,t+351])+sum(mcola[,t+378])+sum(mcola[,t+405])+sum(mcola
[,t+432])+sum(mcola[,t+459])+sum(mcola[,t+486])+sum(mcola[,t+513]))
mcolasam9[1,5]<-(sum(mcola[,t]^2)+sum(mcola[,t+27]^2)+sum(mcola[,t+54]^2)+sum(mcola[,t+81]
^2)+sum(mcola[,t+108]^2)+sum(mcola[,t+135]^2)+sum(mcola[,t+162]^2)+sum(mcola[,
t+189]^2)+sum(mcola[,t+216]^2)+sum(mcola[,t+243]^2)+sum(mcola[,t+270]^2)+sum
(mcola[,t+297]^2)+sum(mcola[,t+324]^2)+sum(mcola[,t+351]^2)+sum(mcola[,t+378]^2)
+sum(mcola[,t+405]^2)+sum(mcola[,t+432]^2)+sum(mcola[,t+459]^2)+sum(mcola[,t+486]
^2)+sum(mcola[,t+513]^2))
#Muestreo adaptativo
mcolaadp<-mat.or.vec(1,20)
mcolaadpsqu<-mat.or.vec(1,20)
mcolaadp[,1]<-sum(mcola[,t])
mcolaadpsqu[,1]<-sum(mcola[,t]^2)
if(mcolaadp[,1]>umb) s<-(t+1) else s<-(t+27)
mcolaadp[,2]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,2]<-sum(mcola[,s]^2)
if(mcolaadp[,2]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)

```

```

mcolaadp[,3]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,3]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,3]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,4]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,4]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,4]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,5]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,5]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,5]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,6]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,6]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,6]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,7]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,7]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,7]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,8]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,8]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,8]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,9]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,9]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,9]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,10]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,10]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,10]>umb) s<-(t+1) else s<-(t+27)
mcolaadp[,11]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,11]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,11]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,12]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,12]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,12]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,13]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,13]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,13]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,14]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,14]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,14]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,15]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,15]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,15]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,16]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,16]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,16]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,17]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,17]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,17]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,18]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,18]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,18]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,19]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,19]<-sum(mcola[,s])^2
if(mcolaadp[,19]>umb) s<-(s+1) else s<-(s+27)
mcolaadp[,20]<-sum(mcola[,s])
mcolaadpsqu[,20]<-sum(mcola[,s])^2
mcolasam9[1,6]<-s
mcolasam9[1,7]<-sum(mcolaadp)
mcolasam9[1,8]<-sum(mcolaadpsqu)

```

```
file2.out<-paste("mcolasam9",i,"txt",sep=".")
write(mcolasam9,file2.out,ncol=ncol(mcolasam9))
}
}
```