

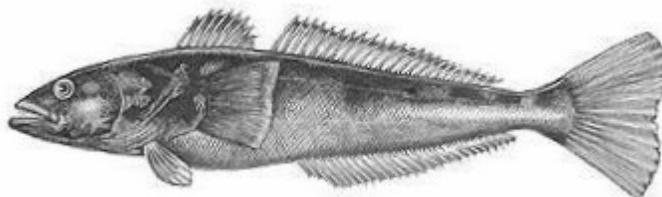
**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRAFICAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA**



INFORME FINAL

**PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
N° 2001-17**

**“ASIGNACIÓN DE EDADES Y CRECIMIENTO DE BACALAO DE
PROFUNDIDAD”**



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

CONCEPCION, ABRIL 2003.

INFORME FINAL

**PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
N° 2001-17**

“ASIGNACIÓN DE EDADES Y CRECIMIENTO DE BACALAO DE PROFUNDIDAD”

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

CONCEPCION, ABRIL 2003.

JEFE DE PROYECTO

CIRO OYARZÚN GONZÁLEZ

AUTORES

**CIRO OYARZÚN G.
SANTIAGO GACITÚA B.
MIGUEL ARAYA C.
LUIS CUBILLOS S.
MARCO SALAMANCA O.
CLAUDIO PINO I.
RICARDO GALLEGUILLOS G.
GUSTAVO AEDO U.
JULIO LAMILLA G.**

COLABORADORES

**JAVIER CHONG L.
ERIK DAZA V.
MILTON PEDRAZA G.
GUSTAVO MORAGA C.
MANUEL DIAZ G.
LAURA PEÑALOZA C.
LUKAS PEREZ
PAULA SLANZI J.
ROMÁN ROBLES F.**

ABRIL 2003-

PRESENTACION DE AUTORES POR FUNCION O TEMA DESARROLLADO

Nombre	Función
Ciro Oyarzún G.	Jefe de Proyecto. Coordinación general del proyecto.
Miguel Araya C.	Análisis y criterios para la lectura de edades, lectura de edades en secciones de otolitos.
Marco Salamanca O.	Análisis y determinación de edad con técnicas radiométricas.
Luis Cubillos S.	Análisis estimación de parámetros de crecimiento y tasa de mortalidad.
Julio Lamilla G.	Coordinación muestreos en Valdivia y Quellón, determinación de relaciones biométricas.
Ricardo Galleguillos G.	Caracterización genética de la especie.
Gustavo Aedo U.	Procesamiento de otolitos y escamas para lectura de edades. Determinación talla primera madurez
Santiago Gacitúa B.	Procesamiento de datos biológicos y pesqueros. Coordinación muestreos. Redacción de informes.
Claudio Pino I.	Preparación de escamas para la lectura de edades, lectura de edades en escamas.
Colaboradores:	
Javier Chong L.	Lectura de edades en secciones de otolitos.
Milton Pedraza G.	Obtención de muestras en las embarcaciones artesanales de la Localidad de Lebu. Técnicas radiométricas.
Gustavo Moraga C.	Obtención de muestras en las embarcaciones artesanales de la Localidad de Lebu.
Lukas Pérez	Obtención de muestras en las embarcaciones industriales de la Localidad de Valdivia.
Manuel Díaz G.	Obtención de muestras en las embarcaciones industriales de la Localidad de Quellón.
Laura Peñalosa C.	Obtención de muestras en las embarcaciones industriales de la Localidad de Puerto Williams.
Erik Daza V.	Procesamiento de otolitos y escamas para lectura de edades.
Paula Slanzi J.	Procesamiento de otolitos para lectura de edades.
Román Robles F.	Procesamiento de otolitos para lectura de edades.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo involucrado en el presente proyecto desea manifestar sus más sinceros agradecimientos a la Secretaría Ejecutiva del Fondo de Investigación Pesquera y al personal encargado de la Subsecretaría de Pesca, por todos los esfuerzos realizados para la coordinación y cooperación entre los distintos grupos de investigación que estudian el recurso Bacalao de Profundidad en nuestro país.

También queremos agradecer a todas aquellas personas que de alguna u otra forma ayudaron al desarrollo del presente Proyecto.

1. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente Informe Final se entregan los resultados y la información recopilada a partir de los muestreos realizados entre octubre de 2001 y febrero de 2002 en el marco del Proyecto “Asignación de edades y crecimiento de bacalao de profundidad”, llevado a cabo en la Sección Pesquerías del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción.

La distribución de frecuencias de tamaño considerando el total de los ejemplares ($n=1.466$) en las tres localidades (Lebu, Valdivia, Quellón y Puerto Williams) muestra que dicha distribución presenta una asimetría negativa desplazada sobre los individuos de menor tamaño, con la moda principal entre 70-75 cm de longitud total y el rango de tallas comprendido entre 42,8 y 190 cm.

Se entrega los resultados para la determinación del método más adecuado para la observación e identificación de los anillos en los otolitos y escamas de bacalao de profundidad. El trabajo con otolitos enteros no entregó resultados positivos al efectuar la lectura bajo luz reflejada o transmitida, tampoco al aclararlos o hidratarlos. En vista de los nulos resultados, se procedió a tostar los otolitos enteros siendo los resultados negativos al igual que en los casos anteriores. Por el contrario, al trabajar con cortes de otolitos (sin tostar y tostado) se obtienen mejores resultados siendo el corte transversal donde se logra apreciar más claramente los anillos de crecimiento. Finalmente, leer secciones delgadas de otolitos es la técnica que mejor permite visualizar los anillos de crecimiento, ya sea en cortes transversales o longitudinales. En consecuencia, el método utilizado correspondió al tostado del otolito a 250°C por 10 minutos y posteriormente la lectura en secciones delgadas transversales de los otolitos.

Morfológicamente el otolito a pesar de que crece en longitud, este crecimiento tiende a alcanzar una asíntota con respecto al peso, siendo el mejor ajuste obtenido un modelo de tipo logarítmico.



En general, las secciones delgadas transversales de los otolitos permiten identificar los anuli, es decir, las zonas translúcidas y opacas se van alternando desde el núcleo hacia el borde. Dependiendo donde estuviera más discernible los anuli se leía, ya sea, hacia el lado distal o proximal. El núcleo se presentó opaco (ZCR) y en algunos casos a los lectores se les hacía difícil discernir la zona translúcida que le seguía. El conteo de los anuli entre ambos lectores estuvo entre los 4 y 23, haciéndose muy difícil discernir el tipo de borde que presentaba el otolito. El análisis de regresión a las lecturas de edad realizada por ambos lectores nos entrega que no existen diferencias significativas entre ellos.

En el caso de la lectura de anillos en escamas se optó por la visualización de la escama con luz transmitida indirecta, debiéndose regular la intensidad de este factor para lograr el mayor contraste de los anillos concéntricos. En el análisis de la estructura anular por sexo y en conjunto se discriminaron hasta 56 marcas hialinas, en un individuo de 190 cm de longitud total. La verificación de estas marcas tendería a reconocer una anualidad en la formación de los anillos, siendo necesario tener los resultados en un contexto anual, para confirmar esta hipótesis.

La asignación del borde en formación de escamas en los individuos más longevos se vio dificultada por lo angosto de los incrementos, siendo en algunos casos imposible determinar la naturaleza del borde por desgaste, en esos casos los individuos a los cuales no se les determinó el borde, solo se les utilizó para estimar el crecimiento y no para la clasificación del borde.

En lo referente a las técnicas radiométricas, los isótopos seleccionados cuantificados fueron el ^{210}Pb , que es un isótopo natural de la serie del ^{238}U producido por el ^{226}Ra que se encuentra disuelto en el agua. El ^{210}Pb decae por emisión alfa a ^{210}Po alrededor de los 5.31 Kev, lo que es utilizado en la cuantificación del ^{210}Pb , asumiendo equilibrio secular entre el padre (^{210}Pb) y la hija (^{210}Po). Los esfuerzos y actividades realizados fueron orientados fundamentalmente a la cuantificación del ^{210}Pb y ^{226}Ra , esto se logró plenamente y en este informe se entregan las actividades de estos isótopos por unidad de masa de otolito. Las edades radiométricas derivadas de la razón $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ presente en los otolitos varían entre



los 6 y 8 años para los peces más pequeños (<60 cm de longitud total) y 35 y 44 años para los más grandes (120 y 130 cm de longitud total), respectivamente.

En la estimación de la mortalidad natural por medio de métodos empíricos al considerar el error en los parámetros de entrada se aprecia que el modelo de Rickter & Efanov genera el mayor coeficiente de variación (CV=22,3%), seguido por el modelo de Pauly, el cual a su vez genera un estimado promedio de $M = 0,10 \text{ año}^{-1}$ con intervalos de confianza de 0,07 a 0,12. Los modelos más precisos fueron los de Hoening y Alverson & Carney. Al realizar una estimación de la mortalidad natural por métodos analíticos se obtiene un valor promedio de M en el rango de edades 0–50 años estimado de $0,14 \text{ año}^{-1}$, valor que es consistente con aquellos estimados por los modelos empíricos.

De los análisis genéticos se evidenció los productos enzimáticos de 10 sistemas que darían cuenta de 13 loci presuntivos, de los cuales 6 mostraron algún grado de polimorfismo. Siendo los 6 sistemas con esas características: MDH-1, IDH-1, PGM-1, AP-1, PGI-1 y PGI-2.

Las muestras provenientes de Lebu, Valdivia, Quellón y Puerto Williams, muestran ser genéticamente muy similares, a pesar de la distancia geográfica. Los niveles de semejanza encontrados reflejan que existiría un flujo génico entre los distintos grupos considerados correspondiendo a una sola población.

La talla mediana (o modal) de madurez sexual de hembras y machos de bacalao de profundidad determinada mediante el ajuste del modelo logístico de madurez por máxima verosimilitud entregó los estimadores con menor incertidumbre. Para hembras la talla estimada fue 113 cm LT (intervalo de confianza: 107–120 cm LT), mientras que para machos fue de 87 cm LT (intervalo de confianza: 78–94 cm LT). De acuerdo a estos resultados se puede establecer que aproximadamente el 90% de las hembras y el 60% de los machos de bacalao de profundidad muestreados durante el periodo de estudio se encuentran bajo la talla mediana de madurez. Principalmente para las localidades de Lebu y Valdivia,



lo que representa una situación muy importante para la pesquería desde el punto de vista de la administración.



INDICE GENERAL

1. RESUMEN EJECUTIVO	i
2. ANTECEDENTES	1
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3.2.1. Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en el bacalao de profundidad.....	5
3.2.2. Estimar los parámetros de crecimiento para bacalao de profundidad, según el modelo de crecimiento aplicado.....	5
3.2.3. Estimar la mortalidad natural del recurso en estudio.....	5
4. MATERIALES Y METODOS.....	6
4.1. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.1	6
Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en el bacalao de profundidad.	6
4.1.1. Muestreos a bordo de embarcaciones y en tierra.....	7
4.1.2. Elección de la Técnica de Observación de Anillos en los Otolitos.....	8
4.1.2.1. Preparación de los otolitos	9
4.1.2.2. Otolitos Enteros.....	10
4.1.2.3. Cortes Transversales y Longitudinales en Otolitos con y sin Tostado.....	10
4.1.2.4. Secciones Delgadas de los Otolitos en Vista Transversal y Longitudinal.....	11
4.1.2.5. Lectura de los Otolitos.....	12
4.1.3. Experimento de Precisión de la Lectura de Edades.....	13
4.1.4. Validación de la Edad.....	15
4.1.5. Validación Primer Anillo mediante Microincrementos Diarios.....	15
4.1.6. Peso del Otolito para la Estimación de la Edad.....	17
4.1.7. Lectura de edades en escamas.....	18
4.1.7.1. Mediciones.....	19
4.1.8. Edades Radiométricas.....	19
4.1.8.1. Consideraciones Generales	19
4.1.8.2. Fundamentos teóricos	21
4.1.8.3. Condiciones de aplicación	22
4.1.8.4. Selección de estructura	23
4.1.8.5. Desarrollo de metodología de limpieza.....	23
4.1.8.6. Cuantificación de radioisótopos.....	24
4.2. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.2.....	25
Estimar los parámetros de crecimiento para bacalao de profundidad, según el modelo de crecimiento aplicado.....	25
4.2.1. Ajuste a Datos de Longitud y Edad Actual.....	25
4.2.2. Parametrización Clásica del Modelo de von Bertalanffy.....	28
4.2.3. Comparación del Crecimiento entre Sexos y entre Métodos de Lecturas.....	29
4.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.3.....	31
Estimar la mortalidad natural de del recurso en estudio.....	31
4.3.1. Métodos empíricos.....	32
4.4. SOBREFERTA 1.....	39
Analizar genéticamente el recurso bacalao de profundidad en la zona de estudio.....	39
4.5. SOBREFERTA 2.....	40
Determinar la talla mediana de madurez sexual del bacalao de profundidad.....	40
5. RESULTADOS	43
Distribución de frecuencia de tamaños.....	43
5.1. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.1	44
Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en el bacalao de profundidad.	44
5.1.1. Características del Otolito de Bacalao	44
5.1.2. Elección de la Técnica de Observación de Anillos en los Otolitos.....	44
5.1.2.1. Lectura en Otolitos Enteros.....	44
5.1.2.2. Cortes Transversales y Longitudinales en Otolitos con y sin Tostado.....	45



5.1.2.3. Secciones Delgadas de los Otolitos en Vista Transversal y Longitudinal	45
5.1.2.4. Lectura de los otolitos	46
5.1.3. Validación Primer Annulus	47
5.1.4. Peso del Otolito para Estimación de la Edad.	47
5.1.5. Lectura de escamas.	49
5.1.5.1. Muestras	49
5.1.5.2. Análisis de la escama.	49
5.1.6. Edades Radiométricas	50
5.1.6.1. Limpieza	50
5.1.6.2. Análisis radioquímico	50
5.1.6.3. Selección de Otolitos	50
5.1.6.4. Relación masa otolito versus tallas	51
5.1.6.5. Determinación de radioisótopos.....	51
5.1.6.7. Determinación de edades radioquímicas.....	51
5.2. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.2.	54
Estimar los parámetros de crecimiento para bacalao de profundidad, según el modelo de crecimiento aplicado.	54
5.2.1. Ajuste Curvas de Crecimiento.	54
5.2.2. Análisis de crecimiento utilizando escamas.....	54
5.2.3. Estimación de los parámetros de crecimiento usando escamas.....	54
5.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.3.	56
Estimar la mortalidad natural de del recurso en estudio.	56
a) Estimación de M con métodos empíricos	56
b) Estimación analítica.....	57
5.4. SOBREFERTA 1.	58
Analizar genéticamente el recurso bacalao de profundidad en la zona de estudio.....	58
5.5. SOBREFERTA 2.	59
Determinar la talla mediana de madurez sexual del bacalao de profundidad.	59
6. DISCUSIÓN.	61
7. CONCLUSIONES	65
8. BIBLIOGRAFÍA	68
9. ANEXO 1: TABLAS.....	75
10. ANEXO 2: FIGURAS	94



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de crecimiento en longitud comunicados para ambos sexos de Bacalao de Profundidad.	76
Tabla 2. Escala de madurez para nototénidos y caníctidos basados en ciclos de ovarios y testículos de <i>Notothenia coriiceps</i> , <i>Champscephalus gunnari</i> , <i>Chaenocephalus aceratus</i> y <i>Pseudochaenichthys georgianus</i> (Kock & Kellerman, 1991).	76
Tabla 3. Escala utilizada para la caracterización de los distintos estados de madurez microscópicos de bacalao de profundidad.	77
Tabla 4. Valores de los parámetros del análisis de regresión múltiple entre la edad y variables del otolito y del pez.	77
Tabla 5. Rango de longitudes y número de escamas analizadas y no legibles por sexo y por mes, de las localidades de: Lebu, Valdivia y Quellón.	78
Tabla 6. Background en las regiones de interés (ROI).	79
Tabla 7. Actividad de ²¹⁰ Pb en los otolitos de bacalao de profundidad. Mediciones experimentales.	79
Tabla 8. Muestras seleccionadas de las estructuras duras (otolitos) utilizadas para determinar la edad radiométrica de bacalao de profundidad.	80
Tabla 9. Actividad de ²¹⁰ Pb y ²²⁶ Ra por masa de otolito.	80
Tabla 10. Cálculos de las edades radiométricas de bacalao de profundidad utilizando otolitos enteros.	81
Tabla 11. Resultados de los distintos modelos de crecimiento ajustados a la información de edad y longitud total del bacalao. Entre paréntesis error estándar del parámetro. n=174.	82
Tabla 12. Parámetros de la relación potencial utilizada para el retrocálculo de longitudes a edades pretéritas considerando el radio de la escama (X) y la longitud del pez (Y).	83
Tabla 13. Resultado del ANCOVA utilizado para comprobar la homogeneidad de pendientes, de la relación entre el radio de la escama y la longitud total del pez por sexo, de bacalao.	84
Tabla 14. Longitudes retrocalculadas promedio por edad.	85
Tabla 15. Parámetros preliminares de la ecuación de von Bertalanffy obtenidos del ajuste de las longitudes retrocalculadas individuales, sin separación por sexo y estadísticos de interés.	89
Tabla 16. Valor promedio, error estándar y correlación de los parámetros de crecimiento en longitud disponibles para ambos sexos del Bacalao de Profundidad.	90
Tabla 17. Estimaciones de mortalidad natural obtenidas por métodos empíricos.	90
Tabla 18. Resumen estadístico de 3000 valores alternativos e igualmente probables de mortalidad natural estimada con a) sólo error en los parámetros de entrada, y b) considerando el error en los parámetros de entrada y error de predicción simultáneamente.	90



Tabla 19. Estimación de la mortalidad natural del Bacalao de Profundidad con el método de Chen & Watanabe. 91

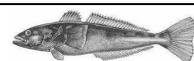
Tabla 20. Loci obtenidos para los sistemas analizados, grado de polimorfismo y buffer utilizado. 92

Tabla 21. Se presentan los distintos loci polimórficos y las frecuencias encontradas para cada una de las localidades. 92

Tabla 22. Heterocigosidad observada para cada una de las localidades y promedio por sistema. 92

Tabla 23. Parámetros de la función logística de madurez sexual (β_0 y β_1) y talla mediana de madurez ($l_{50\%}$), estimados para hembras de bacalao mediante ajuste por máxima verosimilitud con estimación de intervalos de confianza para $l_{50\%}$ con técnicas de remuestreo. 93

Tabla 24. Parámetros de la función logística de madurez sexual (β_0 y β_1) y talla mediana de madurez ($l_{50\%}$), estimados para machos de bacalao mediante ajuste por máxima verosimilitud con estimación de intervalos de confianza para $l_{50\%}$ con técnicas de remuestreo. 93



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía de un ejemplar de <i>Dissostichus eleginoides</i> en vista lateral.....	95
Figura 2. Desembarque total nacional de bacalao de profundidad entre los años 1981 y 2001 (Fuente: Anuarios Estadísticos de Pesca).....	96
Figura 3. Desembarque de bacalao de profundidad durante el periodo 1990-2001 para: a) pesquería artesanal e industrial entre la VIII y XI Regiones, y b) pesquería artesanal por Región entre la VIII y XI Regiones (Fuente: Anuarios Estadísticos de Pesca).	97
Figura 4. Diagrama para mostrar los distintos tratamientos y etapas en la elección de la mejor técnica para observar los otolitos de bacalao. Entre paréntesis número de otolitos.	98
Figura 5. Esquema de un otolito para mostrar las vistas que este presenta, en el presente estudio se utilizaron la vista transversal y longitudinal (modificado de Panella, 1980).	98
Figura 6. Cortadora marca Buehler modelo Isomet, permite obtener corte de los otolitos y secciones delgadas.	99
Figura 7. Otolito de bacalao, por su cara interna, para explicar los tipos de secciones delgadas que se obtuvieron.	99
Figura 8. Esquema de las mediciones del radio y el ancho de la escama, aplicados en el bacalao.	100
Figura 9. Analizador Multicanal utilizado en el conteo de ^{210}Pb	101
Figura 10. Espectrómetro Alpha utilizado para la cuantificación de ^{210}Pb	102
Figura 11. Estación de transferencia ^{222}Rn a celdas de conteo.	103
Figura 12. Trampas de carbono activado para retener ^{222}Rn en frío.	104
Figura 13. Línea de extracción de ^{222}Rn , con columnas de remoción de CO_2 y vapor de agua.	105
Figura 14. Distribución de frecuencia de tamaños para el total de bacalao de profundidad (n=1.466).	106
Figura 15. Distribución de frecuencia de tamaños de bacalao de profundidad en Lebu (n=410), Valdivia (n=248), Quellón (n=796) y Puerto Williams (n=12).	106
Figura 16. Distribución de frecuencia de tamaños para bacalao de profundidad provenientes del muestreo biológico en las tres localidades (n=956).....	107
Figura 17. Distribución de frecuencia de tamaños de bacalao de profundidad del muestreo biológico en Lebu (n=410), Valdivia (n=248) y Quellón (n=298).	107
Figura 18. Fotografía de otolito de bacalao. (a) cara interna, (b) cara externa (Escala 1:7,3 mm).	108
Figura 19. Relación entre el otolito izquierdo y derecho, la pendiente no es distinto de 1 y el intercepto es igual a cero.	108



Figura 20. Fotografía de otolito de bacalao sometido a tostado en un horno a 250 °C por 10 minutos. a) luz reflejada; b) luz transmitida (Escala 1:9,8 mm).	109
Figura 21. Corte transversal de un otolito de bacalao sin tostar (Escala 1:23 mm).	110
Figura 22. Corte longitudinal de un otolito de bacalao sin tostar (Escala 1:11,7 mm).	110
Figura 23. Corte longitudinal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:11 mm).	111
Figura 24. Corte transversal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:23 mm).	111
Figura 25. Sección delgada longitudinal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:11 mm).	112
Figura 26. Sección delgada transversal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:23 mm).	112
Figura 27. Rango de tallas de los ejemplares utilizados para efectos de la estimación de la edad. La información de los individuos mas pequeños fue aportada por P. Horn.	113
Figura 28. Relación entre la edad estimada por ambos lectores. La pendiente no es estadísticamente distinto de uno ($P>0,1$).	113
Figura 29. Diferencias (en años) de las estimaciones de edad entre los lectores con respecto a uno de ellos. Cada punto representa una o más observaciones.	114
Figura 30. Gráfica de sesgo por edad entre los lectores de otolitos de bacalao. Líneas verticales representan el intervalo de confianza al 95% alrededor de la edad media asignada por el lector del eje de las ordenadas, con respecto a un segundo lector. Línea continua representa 1:1.	114
Figura 31. Microincrementos presentes en el otolito de bacalao mostrando su disposición.	115
Figura 32. Relación entre la longitud total del otolito y el peso otolito de bacalao.	115
Figura 33. Relación entre el peso del otolito y la longitud total de bacalao.	116
Figura 34. Relación entre el peso del otolito y la longitud total de bacalao, para machos (rojo) y hembras (azul).	116
Figura 35. Relación entre la edad estimada y el peso del otolito del bacalao (línea segmentada intercepto igual a 0).	117
Figura 36. Distribución de los anillos en la estructura anular de las escamas de bacalao.	117
Figura 37. Distribución de los radios de las marcas hialinas observadas en las escamas de a) machos y b) hembras de bacalao.	118
Figura 38. Distribución del material depositado en el borde de la escama de bacalao.	119
Figura 39. Relación entre el peso de los otolitos y el aumento de la talla.	119
Figura 40. Edades radiométricas de bacalao de profundidad en relación a la longitud total.	120
Figura 41. Comparación de la estimación de edades radiométricas en los dos grupos de muestras (Serie 1: muestras A a F y Serie 2: muestras I a V).	120



Figura 42. Curvas ajustados a los datos de edad versus longitud total del bacalao obtenidos en el presente proyecto. 121

Figura 43. Residuos estandarizados del ajuste del modelo de von Bertalanffy con errores aditivos. 121

Figura 44. Relación entre la longitud del pez y el radio de la escama. 122

Figura 45. Relación entre la longitud del pez y el radio de la escama, de machos, hembras e indeterminados. 123

Figura 46. Curva de crecimiento ajustada usando las longitudes individuales retrocalculadas de todos los sexos en conjunto (n= 11.402). 124

Figura 47. Curvas de crecimiento en longitud disponibles para el Bacalao de Profundidad (ver Tabla 1). .. 124

Figura 48. Distribución de probabilidad empírica de los 3000 valores alternativos e igualmente probables de mortalidad natural para el Bacalao de Profundidad. 125

Figura 49. Estimación promedio de M por clases de edad para el Bacalao de profundidad utilizando el método de Chen & Watanabe (1989). 126

Figura 50. Evolución mensual del Índice gonadosomático (IGS) de *D. eleginoides* para a) total, b) machos y c) hembras, por localidad. (Extraída FIP 2001-16). 127

Figura 51. Talla mediana de madurez sexual de hembras de bacalao determinada mediante el ajuste de la proporción de madurez a la talla a un modelo logístico mediante máxima verosimilitud. Círculos: datos observados; Línea continua: modelo ajustado. Cuadrados = intervalo de confianza. A = información macroscópica; B = información microscópica; C = información macroscópica corregida. 128

Figura 52. Talla mediana de madurez sexual de machos de bacalao determinada mediante el ajuste de la proporción de madurez a la talla a un modelo logístico mediante máxima verosimilitud. Círculos: datos observados; Línea continua: modelo ajustado. Cuadrados = intervalo de confianza. 129

Figura 53. Curvas de crecimiento para el bacalao estimadas por distintos autores, metodologías y zonas geográficas. A: machos Rubilar *et al.* (1999); B: hembras Rubilar *et al.* (1999); C: machos Horn (2002); D: Aguayo (1992); E: machos Ashford (2001); F: hembras Ashford (2001); G: Zacharov & Frolkina (1976); H: Shust *et al.* (1991); I: hembras IFOP (2001); J: machos IFOP (2001). 130

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas 75

Anexo 2. Figuras 94



2. ANTECEDENTES

La pesquería del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898) (Fig. 1) en Chile es básicamente desarrollada por el sector artesanal entre las regiones I a X, comenzando su desarrollo en la década del 70-80. En este período, se produjo un aumento sostenido de los desembarques desde 38 toneladas en 1978 a 7000 toneladas en 1986. Este desarrollo, se debió en gran medida al aumento en la demanda producida por la apertura del mercado externo. Esta situación permitió el surgimiento de medianas empresas que eran abastecidas por el sector artesanal. Otro factor que impulsó el desarrollo de esta pesquería, fue el aporte crediticio proporcionado por el Banco Interamericano de Desarrollo (Salas *et al.*, 1987), que permitió la incorporación de nuevas embarcaciones, renovación de equipos y equipamiento de las embarcaciones, produciéndose un notorio incremento del esfuerzo pesquero.

A partir del año 1986 se observa una leve disminución en los niveles de desembarque (años 1987-1988) para luego presentar un repunte progresivo hasta el máximo histórico de la pesquería el año 1992 con más de 30 mil toneladas. Posterior a este año se observa una fuerte caída de los desembarques hasta el año 1996 con cerca de 12 mil toneladas, manteniéndose hasta la fecha el desembarque en el orden de las 10 mil toneladas (Fig. 2)

Para la zona de estudio (VIII-XI Regiones) desde el año 1990 es posible apreciar una disminución considerable en los desembarques del sector artesanal que de 4.445 toneladas, disminuyó a 1.918 toneladas en 1993. Sin embargo, desde 1994 los desembarques se han incrementado llegando a las 4.315 toneladas el año 2000, para luego el 2001 descender a 3.094 ton. Por otra parte, el sector industrial ha disminuido sus desembarques a partir de 1992 donde se registraron 2.680 toneladas, llegando a una cifra muy mínimas cercanas a las 149 toneladas el año 2001 (Fig. 3a).

Al comienzo de la década del 90 los mayores desembarques por parte del sector artesanal correspondieron a la VIII Región con 2.620 toneladas. Sin embargo, durante todo el periodo la Región ha presentado una tendencia decreciente en los desembarques hasta



llegar a 1.049 toneladas el año 2001. Contrariamente a lo anterior, la X Región ha aumentado los niveles de desembarque de bacalao desde 1991 (680 ton.) hasta el año 2000 donde se desembarcó el máximo de 3.515 toneladas, para luego el 2001 disminuir fuertemente a sólo 2.045 ton. (Fig. 3b).

Durante el año 2001 el desembarque total de ambas flotas en la X región fue de 2.192 toneladas, mientras que en la VIII Región se desembarcaron sólo 1.051 toneladas, dando cuenta ambas regiones de un 41,09% del desembarque total nacional. El aporte del sector artesanal a estos niveles de desembarque entre la VIII y XI Regiones fue del 95,4%, correspondiendo sólo el 4,6% al sector industrial.

Las características de operación de la flota han presentado variaciones en el desarrollo de esta pesquería. Durante los primeros años de actividad de la flota, las embarcaciones operaban en áreas cercanas a los centros de desembarque. La disminución de los rendimientos de pesca a partir de 1987, motivó el desplazamiento de la flota a otras zonas, siendo este dinamismo en el desplazamiento una de sus principales características. El principal objetivo de este desplazamiento, ha sido la búsqueda de nuevos caladeros, producto del agotamiento y la disminución de los rendimientos de pesca en los caladeros tradicionales. El desplazamiento de la flota ha sido en sentido norte y sur. Sin embargo, la dinámica de desplazamiento sur es la dominante, situación que favoreció el surgimiento de puertos como Valdivia, que anteriormente presentaban un bajo nivel de desembarques.

La pesquería del bacalao de profundidad presenta un marcado régimen operacional de la flota. Entre los meses de febrero a julio, se tiene un período caracterizado por bajos desembarques, mientras que entre agosto y enero se concentra la mayor actividad y consecuentemente aumento en los desembarques. Este régimen es producto de la reorientación de la flota que dirige su esfuerzo a la pesquería de pez espada en la primera mitad del año.

A pesar del importante rol socio-económico de la pesquería artesanal del bacalao, existe un precario conocimiento de la especie y su pesquería a nivel nacional. Tanto es así, que en



cuanto a su determinación específica, hasta 1987 todavía se seguía tratando a dicho recurso como *Dissostichus amissus*, a los ejemplares capturados en el litoral central, dejando la denominación *Dissostichus eleginoides* para las capturas del extremo sur de Chile. Finalmente se clarifica esa situación, demostrándose que la denominación *D. amissus* correspondía a una denominación inválida de *D. eleginoides*, técnicamente un sinónimo junior (Oyarzún & Campos, 1987). Se ha publicado también información sobre la especie como parte de estudios tróficos y biológico-pesqueros (Movillo & Bahamonde, 1971; Martínez, 1975; Yañez & Pizarro, 1984; Flores & Rojas, 1987; Arrizaga *et al.*, 1996). El único trabajo publicado sobre adaptaciones fisiológicas de la especie en el talud continental de Chile, es el presentado por Oyarzún *et al.* (1988), en que se explora las propiedades morfológicas y de depósitos lipídicos.

En lo que respecta a los aspectos reproductivos, se desconoce la existencia de algún trabajo publicado, que haya analizado la situación del recurso en la costa de Chile. A la forma de un Seminario de Título, existe el trabajo de Collado (1994) que efectúa un trabajo preliminar sobre la reproducción de *D. eleginoides*, con muestras provenientes de la zona pesquera al sur del paralelo 47. Desgraciadamente, el análisis histológico está basado sólo en 26 hembras y la estimación de fecundidad se efectuó en 40 hembras. Entre las principales conclusiones del citado trabajo, destaca que el bacalao de profundidad presentaría en esas latitudes, un ciclo ovárico de gametogénesis prolongada de tipo sincrónico asociada a un desove anual, que se produciría en los meses de primavera. El tiempo allí indicado estaría en franca contradicción con lo presentado en la literatura internacional para *D. eleginoides* de otras zonas del océano austral, áreas para las cuales se ha reportado desoves en marzo-abril (Chikov & Melnikov, 1990) e incluso mayo (Duhamel, 1981), tanto así que Zhivov & Krivoruchko (1990) sostienen que el desove del bacalao de profundidad es del tipo no intermitente y que ocurriría en el período de otoño-invierno del Hemisferio Sur, y que la mayor intensidad del desove se produciría entre abril y junio.

Debido a la amplia distribución geográfica de esta especie típica de taludes continentales se conocen estudios sobre edad y crecimiento realizados en distintas localidades de su área de distribución geográfica y mediante distintos métodos y herramientas de análisis. En la sub-



área 48.3 de la FAO (Islas Georgia del Sur) fue estudiada por Shust *et al.* (1991), Aguayo (1992), Cassia (1998) y Ashford *et al.* (2000); para el sector del Atlántico Sur-Oeste por Zacharov & Frolkina (1976), Hureau & Ozouf–Costaf (1980) para el sector de las Islas Kuergelen y Crozet en el Océano Indico; Horn (1999) para la zona entre Nueva Zelandia y el Mar de Ross. En la costa chilena se conocen los estudios de Pavez *et al.* (1983) para el área de Valparaíso; Young *et al.* (1987), para la VIII región y Aguayo (1992) y Young *et al.* (1995) para el sur del paralelo 47°, y para un sector de la zona Centro-Sur de Chile (entre los 38°19' -43° Lat. Sur) por Rubilar *et al.* (1999).

Por lo ya expuesto y debido a que partir de la latitud 47° S al sur del país, la pesquería del bacalao se encuentra bajo el régimen de pesquería en desarrollo incipiente, requiriendo anualmente la administración pesquera cuantificar y evaluar el estado de situación del recurso, así como determinar una cuota total permisible para el área de pesca antes señalada, el Consejo de Investigación Pesquera ha encontrado pertinente contar con los antecedentes necesarios que permitan evaluar las decisiones relevantes de administración relacionadas con los niveles de explotación permisibles, para ello, la Universidad de Concepción se ha planteado la meta de entregar las bases biológicas necesarias, que se traducen en el presente Informe Fnal, en relación con la edad, crecimiento y mortalidad natural del recurso bacalao de profundidad en aguas chilenas.



3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterización de la dinámica del crecimiento del recurso bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en el bacalao de profundidad.

3.2.2. Estimar los parámetros de crecimiento para bacalao de profundidad, según el modelo de crecimiento aplicado.

3.2.3. Estimar la mortalidad natural del recurso en estudio.



4. MATERIALES Y METODOS

4.1. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.1

Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en el bacalao de profundidad.

El principal objetivo que se persigue en la mayoría de los estudios de edad es la elección del o los métodos que permitan estimar la edad lo más precisa y exacta posible, es en este sentido que la elección de la estructura base para estos estudio y la técnica a elegir juega un importante rol al momento de calcular los costos de todo el estudio (compra de muestras, insumos, lecturas, etc.)

En el marco del presente proyecto, se requiere determinar el método más adecuado para asignar la edad al bacalao de profundidad, por lo cuál el análisis de estructuras duras como los otolitos y escamas son alternativas cuyos antecedentes para esta especie están en la literatura. Al respecto los estudios de crecimiento conocidos de *D. eleginoides* (Zacharov & Frolkina, 1976; Hureau & Ozouf-Costaz, 1980; Pavez *et al.*, 1983; Young *et al.*, 1987; Shust *et al.*, 1991; Aguayo, 1992; Young *et al.*, 1995; Cassia, 1998 y Rubilar *et al.*, 1999), en su mayoría analizan la edad basándose en las escamas, debido principalmente a la facilidad para la obtención de las muestras y a la nitidez de los anillos, en Chile sólo ha sido utilizada esta estructura.

Los otolitos de esta especie presentan según antecedentes entregados en varios estudios, una estructura que en muchos casos es extremadamente opaca, lo cuál dificultaría la lectura de los anillos, pero que no impide su utilización para las determinaciones de edad (Horn, 2002; Ashford, 2001). Las comparaciones entre lecturas de otolitos versus escamas han sido realizadas por Young *et al.* (1995) y Ashford *et al.* (2000) quienes encontraron diferencias significativas entre ambas lecturas, principalmente estimando edades significativamente menores por medio de escamas. En cambio, Cassia (1998) no encontró estas diferencias para muestras de esta especie en las Islas Georgia del Sur.



Ante lo expuesto, debido a las dudas que aún persisten en cuanto a la estructura utilizada para la estimación de la edad del bacalao capturado en aguas chilenas, así como también lo débil de los métodos de validación aplicados, para efectos del Objetivo Específico 3.2.1, el presente estudio se divide en las siguientes actividades:

- 4.1.1. Muestreos a Bordo y en Tierra.
- 4.1.2. Elección de la Técnica de Observación de Anillos en los Otolitos
 - 4.1.2.1. Preparación de los otolitos
 - 4.1.2.2. Enteros
 - 4.1.2.3. Secciones
 - 4.1.2.4. Secciones delgadas
 - 4.1.2.5. Lectura de los otolitos
- 4.1.3. Experimento de Verificación de las Lecturas de Edades
- 4.1.4. Validación de la Edad
- 4.1.5. Validación Primeros Anillos con Microincrementos Diarios
- 4.1.6. Peso del Otolito para Estimación de la Edad
- 4.1.7. Lectura de edades en escamas
- 4.1.8. Edades Radiométricas

4.1.1. Muestreos a bordo de embarcaciones y en tierra.

Para la obtención de información se han realizado muestreos mensuales a bordo de embarcaciones palangreras artesanales y en tierra, en las localidades de Lebu, Valdivia y Quellón, desde Diciembre de 2001 a marzo de 2002, y una muestra de 12 ejemplares desembarcados en la localidad de Puerto Williams. Además de las cuales se han incorporado muestras provenientes del Proyecto FIP 2001-16 de los meses de octubre y noviembre de 2001, con el fin de ampliar el rango de tamaños de los ejemplares a utilizar y obtener una mejor representación de las tallas extremas.



Como se señaló en la propuesta técnica, del total de muestras se obtendrían 5 pares de otolitos y las escamas de los peces por clase de tamaño de cada 5 cm. Sin embargo, se trató de guardar los otolitos y escamas de 6 individuos por clase de tamaño con el fin de ampliar el tamaño muestral y tener una representación más equitativa de las tres localidades consideradas hasta el momento. Sin perjuicio de lo anterior, el resto de los ejemplares fueron utilizados en el marco del Proyecto FIP 2001-16, donde se determinó la estructura de edades de las capturas de bacalao de profundidad.

Por otro lado, para los ejemplares obtenidos en la localidad de Pto. Williams solo fue posible registrar la longitud total y el peso eviscerado, por lo que no puede establecerse el sexo.

A cada individuo se le registró la longitud total y peso eviscerado en el caso de los muestreos realizados en tierra, y longitud total (LT), peso total, peso eviscerado y sexo en el caso de los muestreos realizados a bordo de las embarcaciones artesanales. De cada ejemplar muestreado se extrajo los otolitos sagitales y escamas, los que fueron etiquetados y enviados para su posterior análisis en laboratorio.

4.1.2. Elección de la Técnica de Observación de Anillos en los Otolitos

Como se indicó en la propuesta técnica, en la mayoría de las estimaciones de edad de este recurso se han utilizado como estructura dura las escamas, entre los que se encuentran los de Zacharov & Frolkina (1976), Hureau & Ozouf-Costaz (1980), Pavez *et al.* (1983), Young *et al.* (1987), Aguayo (1992), Young *et al.* (1995), Cassia (1998) y Rubilar *et al.* (1999), debido probablemente a la facilidad para la obtención de las muestras y la nitidez de los anillos. Los otolitos de esta especie presentan según antecedentes entregados en varios estudios una estructura que en muchos casos es extremadamente opaca, lo cuál dificultaría la lectura de los anillos en otolitos enteros, pero que no impide su utilización para las determinaciones de edad mediante otra técnica (Horn, 2002).



Las actividades realizadas para la observación de los anillos en los otolitos fueron las siguientes:

4.1.2.1. Preparación de los otolitos

Existen tres pares de otolitos en las cápsulas óticas de los peces teleósteos, a cada lado del laberinto membranoso del oído interno. El laberinto membranoso consiste de tres canales semicirculares relacionados con una zona ampular, que corresponde al utrículo donde se aloja el otolito *lapillus*; el sáculo donde se aloja el otolito *sagitta*, y la lagena donde se puede encontrar el *asteriscus*. Los *sagittae* son los otolitos más grandes y han sido extensamente utilizados para determinar la edad. Por lo tanto, se puede decir que la palabra otolito usualmente es referida a los *sagittae*.

Previo a la preparación y/o lectura de los otolitos, se eliminaron los restos de materia orgánica adherida al otolito mediante un limpiador de ultrasonido, luego se pesaron utilizando una balanza analítica al miligramo de precisión y se midió el largo, ancho y espesor.

Con el fin de determinar posibles diferencias que pudiesen existir entre el otolito izquierdo y derecho, se aplicó un análisis de regresión lineal entre el peso de ambos otolitos, para luego probar que la pendiente fuera igual a uno y el intercepto igual a cero (Zar, 1984).

Los otolitos fueron preparados según las técnicas clásicas utilizadas en la preparación de esta estructura con el fin de buscar la que entregue una mejor nitidez de los anillos (FAO, 1982; Penttila & Dery, 1988; C.A.R.E., 2000). Las técnicas empleadas fueron: a) otolitos enteros con y sin tostado, b) corte transversal y longitudinal, además con y sin tostado; y c) sección delgada de lo anterior. En la Figura 4 se muestra un diagrama con las etapas y tratamientos utilizados para la elección de la técnica de observación.



4.1.2.2. Otolitos Enteros.

Para la observación de los otolitos enteros, éstos se hidrataron para su posterior lectura. En el proceso de hidratación se emplearon bandejas de hidratación que contienen muescas plásticas rotuladas; en las que se mantienen los otolitos en agua, por un período de tiempo que permitiera obtener una claridad en la observación de los anillos. Para este fin, se probaron distintos tiempos de hidratación para mantener claridad de la estructura anular interna y en el borde de los otolitos. Para aumentar el contraste los otolitos fueron pintados de color negro por su cara externa y observados con luz reflejada bajo esteromicroscopio, agregándoles un agente aclarante que consistió en una solución con 50% de etanol y 50% glicerina (C.A.R.E., 2000).

También se observaron otolitos tostados (FAO, 1982; Ashford *et al.*, 2000; Horn, 2002), esta técnica se basa en que los anillos de crecimiento lento (hialinos) más ricos en proteína, toman al tostarse un tono acaramelado más oscuro. El tostado se puede realizar situando el otolito en una lámina metálica sobre una llama débil o situándolo en un horno. El tiempo necesario para el tostado depende del tamaño del otolito, lo que muchas veces se alcanza cuando éste toma un tono acaramelado, en el presente estudio los otolitos se mantuvieron en un horno a 250 °C por 10 minutos. Posteriormente se observaron con luz reflejada y con luz transmitida, agregándose en ambos casos la solución de etanol con glicerina.

4.1.2.3. Cortes Transversales y Longitudinales en Otolitos con y sin Tostado.

- i) **Sin tostado:** El seccionado del otolito puede ser realizado en diferentes ángulos (FAO 1982). Usualmente, los otolitos son seccionados transversalmente en el núcleo (foco) esto ha resultado con éxito en especies del genero *Merluccius* (Beamish 1979, Chilton & Beamish, 1982, entre otros) como también en forma longitudinal (Pentilla & Dery, 1988). En el caso de *D. eleginoides* se ha utilizado convencionalmente el ángulo transversal (Kalish & Timmiss, 1998;



Horn, 2002; Ashford, 2001). Para efectos del presente proyecto se realizaron los dos tipos de cortes, es decir, transversal y longitudinal (Fig. 5).

Para realizar el corte es necesario incluir las muestras en una sustancia que se solidifique y le de sustento. Distintos autores han probado la inclusión en sustancias tales como la resina epóxica (Kalish & Timmiss, 1998, Horn, 2002) o adheridos a portaobjetos por medio de Loctite 349 (Ashford *et al.*, 2000). Con otros otolitos también se han utilizado parafina sólida y también Eukitt o Entellan tal como se ha realizado en Chile (Gili *et al.*, 1995). Para efectos de la presente propuesta se utilizó resina de poliéster dado los buenos resultados que se han obtenido en otros estudios con otras especies (Araya *et al.*, 2001)

Para el corte se utilizó una cortadora marca BUEHLER, modelo Isomet con velocidad de corte regulable, la cuál posee un disco de corte doble diamantado con hoja de 0,15 mm (Fig. 6). Posteriormente, el corte se pulió con abrasivo comercial marca Brasso, con el fin de mejorar la nitidez de los anillos. Luego la sección se montó en un trozo de plasticina y se observó bajo un estereomicroscopio con luz reflejada.

- ii) **Con tostado:** Previo al corte, el otolito fue tostado en un horno a 250°C por un tiempo de 10 minutos, realizando luego el corte de acuerdo a la metodología del punto anterior.

4.1.2.4. Secciones Delgadas de los Otolitos en Vista Transversal y Longitudinal.

La técnica consiste en obtener secciones delgadas (el plano ya ha sido escogido previamente en el punto anterior) de aproximadamente 0,3 a 0,5 mm (Fig. 7), estas secciones se obtuvieron con la cortadora de la Figura 6, obteniéndose por lo menos dos secciones del mismo otolito, para así asegurar la observación del núcleo. Una vez cortadas las secciones delgadas, se montan por la cara pulida hacia abajo en un porta objeto y se vuelve a pulir con Brasso, quedando listas para la lectura en microscopio o estereomicroscopio con luz transmitida.



4.1.2.5. Lectura de los Otolitos.

La lectura de los otolitos se basa en la identificación y conteo de los annuli, entendiéndose por annulus (annuli, plural) un anillo concéntrico visible alrededor del núcleo del otolito formado con periodicidad anual. Esta compuesto por una zona de crecimiento rápido -ZCR- y por una de crecimiento lento -ZCL-. Cuando se observa con luz reflejada sobre fondo oscuro la ZCL aparece como un anillo hialino; éste se deposita en el otolito durante o cerca de un período de disminución o detención del crecimiento. El anillo hialino aparece opaco con luz transmitida. Por otra parte, la ZCR con luz reflejada el anillo aparece opaco, éste está formado por uno o varios anillos densos agrupados, interpretados como el incremento opaco anual que se deposita sobre el otolito durante el período estival; esta zona opaca aparece oscura (hialina) con la luz transmitida (Chilton & Beamish, 1982; ICSEAF, 1986).

Hay muestras que se clasificaron de acuerdo al grado de dificultad que presentaban las lecturas, se clasificaron como "buenas" las muestras que presenten anillos muy nítidos, facilitando su lectura y "regulares" las que en diferente grado presentaran dificultades para identificar los anillos anuales y seguir su secuencia. En estos casos, se presentan alternativas como lo son: seguir los anillos alrededor del otolito, jugar con las sombras lo que a veces logra destacar mejor los anillos, emplear diferentes enfoques y posiciones de la muestra o utilizar algún agente aclarante.

Una vez definida la técnica de observación de los anillos se realizaron las lecturas bajo una lupa estereoscópica con aumento 10X, ayudados en la definición, además, con un microscopio. Las lecturas la realizaron dos lectores dos veces cada uno, estos lectores presentan una gran experiencia en la lectura y observación de otolitos de distintas especies de peces, por lo que más que leer una gran cantidad de otolitos el trabajo estuvo dirigido a la interpretación y discusión de la formación de los annuli. El análisis estadístico de las lecturas se explica en el punto siguiente.



4.1.3. Experimento de Precisión de la Lectura de Edades.

En un estudio de edad es importante la validación del método de lectura, entendiéndose por validación la confirmación del significado temporal de un incremento de crecimiento, esto es, la estimación de la exactitud de la edad determinada en referencia a la edad verdadera (Wilson *et al.*, 1987; Kimura & Lyons, 1991). Existen varios métodos de validación de la edad, tales como el marcaje de los ejemplares combinando marcas externas con inyecciones de oxitetraciclina, seguimiento de clases inusualmente fuertes a través del tiempo, estimación de la edad en peces jóvenes cuya edad sea previamente conocida y últimamente se ha estado desarrollando una técnica basada en radioisótopos (Kimura & Lyons, 1991). Aún cuando la validación debiera ser parte de todo estudio de edad (Beamish & McFarlane, 1983) en la práctica estas técnicas pueden ser aplicadas sólo a algunas especies de peces, por razones relacionadas con las características biológicas de las especies, con dificultades prácticas o con el aspecto económico por lo oneroso que resulta su implementación.

Por esta razón, la mayoría de los estudios publicados hasta la fecha se refieren al proceso denominado verificación; es decir, la confirmación de la interpretación numérica de la estructura analizada, concepto análogo a establecer la precisión o reproducibilidad de la estimación de la edad, considerando la precisión como el grado de reproducibilidad o consistencia del conteo de las bandas concéntricas (Wilson *et al.*, 1987).

Para verificar la edad del bacalao, se desarrolló un estudio comparativo de los dos métodos de lectura (otolito y escama), con el propósito de probar si existen o no diferencias en la edad, derivadas de la interpretación de los anillos macroestructurales en ambas estructuras; dicha comparación se explica más adelante.

El análisis estadístico para evaluar la consistencia en la estimación de la edad entre lectores y lecturas se basa en el supuesto de que las repeticiones de las lecturas son estadísticamente independientes, esto significa que cada lector no tuvo conocimiento del resultado del otro lector, ni de sus resultados anteriores al momento de realizar la lectura.



Para detectar sesgos en las lecturas se empleó el método gráfico que consiste en graficar la edad entre dos lectores, considerando a uno como control (Campana *et al.*, 1995). Esto consiste en graficar las lecturas de edad de un lector (Y) representada con la media y su intervalo de confianza al 95%, correspondiente a cada una de las categorías de edad reportadas por el otro lector considerado como control (X).

La precisión de la estimación de edad se compararon a través del porcentaje de error promedio (APE) descrito por Beamish y Fournier (1981)

$$APE_j = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j}$$

donde:

- X_{ij} = Edad i-ésima determinada en el j-ésimo pez
- X_j = Edad promedio calculada para el j-ésimo pez
- R = Número de veces que cada otolito es leído

Además, se empleó el índice propuesto por Chang (1982), el cual emplea un coeficiente de variación (C.V.) como test de reproducibilidad en la estimación de la edad entre e intralectores. Este último índice ha demostrado ser una medida de precisión más robusta en este tipo de estudios (Campana *et al.*, 1995)

$$CV_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j}$$



4.1.4. Validación de la Edad.

El crecimiento del otolito esta sujeto a ritmos circadianos relacionados con el metabolismo, y sincronizados con factores ambientales externos (Campana & Neilson, 1985). Varios autores han comprobado que la variación de las condiciones del medio (cambios de temperatura, alimentación, migraciones, etc.), así como los cambios ontogénicos, durante las primeras fases de desarrollo, modifican la microestructura de los anillos de los otolitos. Por lo tanto al determinar la edad en una especie es necesario validar que las edades que se están asignando sean reales.

Una de las técnicas a aplicar se basa en observar las capas de material en la periferia del otolito. El estudio del tipo de anillo que se está depositando en el borde de la estructura, va en directa asociación al periodo de crecimiento que esta experimentando el pez, el anillo opaco se asocia con la etapa de alto metabolismo y por ende crecimiento rápido del pez y el anillo hialino con la baja del metabolismo y del crecimiento como consecuencia de esto. Sin embargo, el análisis del borde parece ser poco apropiado en el caso del bacalao de profundidad, debido a las características del crecimiento de la especie. A pesar que como método de validación aparece en la literatura el análisis del incremento marginal y el análisis del borde, éstos merecen ciertas dudas como lo explica Campana (2001), debido principalmente a las dificultades técnicas al observar el otolito, como son la refracción y reflexión de la luz, y además lo delgado que resulta ser el último anillo formado o que esta en formación en individuos viejos. Ante lo expuesto se utilizarán como métodos de validación la radiometría, según lo solicitado por las bases del proyecto, y determinar la formación del primer y segundo anillo mediante los microincrementos de crecimiento diario, métodos sugeridos por Campana (2001).

4.1.5. Validación Primer Anillo mediante Microincrementos Diarios.

La utilización de los microincrementos ha resultado ser útil en la estimación de la edad de larvas, juveniles y adultos de peces, así como también se ha utilizado para validar anillos de



crecimiento anual (Victor & Brothers, 1982; Morales-Nin, 1988) e identificar y confirmar el primer annulus (Waldron, 1994), todo esto desde que Pannella (1971) notó que aproximadamente había 360 líneas entre annuli de algunos otolitos de peces.

Campana (2001) plantea que la identificación de los primeros anillos (1^{ero} y 2^{do} annuli) es una componente importante en cualquier estudio de edad. Con el fin de determinar el punto de partida de las lecturas y no confundir el primer anillo con uno falso que puede ser formado por otras circunstancias. Esta validación se puede realizar con el conteo de los microincremento diarios presentes en los otolitos.

Para el análisis microestructural, en la Propuesta Técnica se había considerado una muestra aleatoria de 30 otolitos, pero dado los resultados que se obtuvieron se analizaron finalmente 53. Los otolitos se trataron de acuerdo a metodologías estándar para la observación de la microestructura, para ello sólo fue necesario observarlo con microscopia óptica dado que el tamaño de los microincrementos supera el micrón.

La preparación del otolito para la observación de los microincrementos se realizó de acuerdo a los procedimientos entregados por Morales-Nin & Ralston (1990), Stevenson & Campana (1992) y Gauldie *et al.* (1995), que consisten en obtener secciones delgadas de aproximadamente 0,1 a 0,3 mm, éstas provendrán de las secciones delgadas explicadas anteriormente. Hay que considerar que la aplicación de esta metodología requiere como supuesto que los microincrementos formados son de naturaleza diaria, proceso que al parecer ocurriría en la mayoría de las especies de peces (Morales-Nin, 2000), a no ser que sean sometidos a una situación muy fuerte de estrés.

Las secciones delgadas de los otolitos *sagittae* se observaron en un microscopio Leyca de luz transmitida, con aumento de inmersión 1000X.



4.1.6. Peso del Otolito para la Estimación de la Edad.

Muchos autores como Boehlert (1985), Pawson (1990), Fletcher (1991, 1995), Worthington *et al.*, (1995a) y Choat & Axe (1996), entre otros sugieren el uso del peso del otolito como un estimador que provee un método rápido y económico para la estimación de la edad de los peces. En Chile Araya *et al.* (2001) y Pino (en revisión) han estimado la edad del jurel (*Trachurus symmetricus*) y la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) basándose en esta variable.

Como en la mayoría de las especies existen diferencias entre los diferentes estudios realizados, detectándose un grado de variabilidad entre ellos, debiéndose en algunos casos a la imprecisión de los métodos de lecturas (*e.g.* Boehlert & Yoklavich, 1998) y en otros a la variabilidad de las consideraciones ambientales en que se desarrolla el ciclo de vida de esta especie, ambas causas de error en un estudio de este tipo. Debido a ello, a diferencia de los estudios previos, se incorporó a las metodologías clásicas de estimación de la edad, la metodología que usa como predictor de la edad de los peces, el peso del otolito, éste fue leído y a su vez pesado lo cuál permitió una cuantificación robusta de los estimados del crecimiento y de una forma rápida de bajo costo, contrastándose las lecturas con las lecturas de escamas y estas con la edad determinada por el peso del otolito.

Pawson (1990), Fletcher (1991, 1992), Worthington *et al.* (1995b), Araya *et al.* (2001), Pino *et al.* (en revisión) han encontrado que la edad se correlaciona significativamente con el peso de los otolitos, donde la varianza explicada por el peso del otolito supera el 80% de la datos observados. Esta relación bi-variada puede ser fortalecida incluyendo otras variables y factores que permitan determinar más precisamente la edad.

El objetivo de este análisis es desarrollar un modelo multivariado para estimar la edad de bacalao de profundidad a partir de mediciones objetivas de las dimensiones del otolito a través de su desarrollo. Para estos efectos se registraron las siguientes variables: peso, grosor, ancho y longitud del otolito. Dentro de las relaciones bi-variadas, se consideró



como hipótesis nula que el peso del otolito es un buen predictor de la edad y que la relación entre ambas variables es lineal (Worthington *et al.* 1995b, Araya *et al.*, 2001, Pino *et al.* en revisión). De acuerdo con esta hipótesis, una relación entre la longitud de los peces y el peso del otolito debería describir una función del tipo von Bertalanffy, observándose una longitud asintótica en los otolitos más pesados.

Por último, se desea aclarar que la importancia del análisis propuesto, no está orientado a determinar la edad, en primera instancia, ya que para ello se requiere conocer una edad validada. Este análisis está orientado precisamente a buscar un procedimiento objetivo y masivo de determinación de la edad. Por ejemplo, si se encuentra que el peso del otolito y el grosor explican el 98% de la edad observada, un procedimiento adecuado podría ser determinar la edad precisamente a una submuestra pequeña en el contexto de establecer una calibración de la relación encontrada. Posteriormente, esta relación se puede utilizar para estimar la edad a un número elevado de peces. Se supone que la precisión y sesgo en la determinación de la composición por edad disminuye con el incremento del tamaño de muestra (Worthington *et al.*, 1995 a y b). El peso y el grosor son variables mucho más objetivas ya que pueden ser tomadas por cualquier persona, dejándose el trabajo de determinación de la edad a una persona entrenada y cuyo producto sirva para generar una buena curva de calibración de la relación entre el peso del otolito, el grosor y la edad.

4.1.7. Lectura de edades en escamas.

Para la determinación de la edad sobre la base de la lectura de escamas del bacalao, se exploraron algunas técnicas, como la observación con distintos tipos de luz (transmitida, reflejada), tinción de la estructura esclerofítica entre otras, con el fin de obtener una mejor visión de los annuli de la escama.

De estas técnicas se optó por la visualización de la escama con luz transmitida indirecta, debiéndose regular la intensidad de este factor para lograr el mayor contraste de los anillos concéntricos.



4.1.7.1. Mediciones.

Fueron registrados el radio total y los radios anulares concéntricos en la escama, estos últimos fueron medidos desde el núcleo al borde externo de los anillos en forma longitudinal (Fig. 8).

4.1.8. Edades Radiométricas.

4.1.8.1. Consideraciones Generales

Un manejo efectivo de las pesquerías depende del conocimiento de la composición de los “stocks” de peces con respecto a la edad, o en otras palabras la relación entre las clases de tamaños de peces y la edad. En efecto la estructura de edad a menudo proporciona la primera evidencia de sobrepesca lo que puede implicar la necesidad de imponer cuotas de capturas (Jennings, *et al.*, 2001). A pesar que se pueden utilizar varias formas de determinar la edad de los peces, el método más común es examinar los otolitos de carbonato de calcio. Estos son removidos desde el pez y son contados los anillos, ya sea de la estructura entera o cortada en secciones. Los incrementos del crecimiento preservado en los otolitos son usados para la determinación de la edad. La relación entre el número de incrementos y la edad puede ser conocida, sin embargo siempre se asume que esta relación existe, y esto puede llevar a un error y por lo tanto mal manejo de la pesquería. Para asignaciones de edades más exactas se requiere un método de validación de estas asignaciones (Cochran & Masque, 2002).

Ha surgido como una alternativa de validación de edad en peces, la utilización de sustancias radioactivas naturales presentes en el medio que habitan estos organismos, particularmente los de la serie del ^{238}U y ^{232}Th , las que producto de su decaimiento radioactivo pueden ser utilizadas como cronómetros naturales. Los primeros estudios sobre la utilidad de estos radioisótopos como cronómetros de organismos marinos son los realizados por Turekian *et al.* (1975) que determinan la edad y tasa de crecimiento de



almejas de océano profundo utilizando ^{238}Ra , demostrando que este bivalvo alcanza en 50 a 60 años a una talla de 4 mm. Posteriormente, Turekian *et al.* (1979) calculan la edad de una almeja del sector de la Cordillera Mesoceánica de la región de los Galápagos utilizando ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Th , estimando edades cercanas a los 7 años para estos organismos. Turekian y Cochran (1981) utilizando $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ y ^{228}Ra calculan edades para una almeja Vesicomideae de alrededor de 4 años. Turekian *et al.* (1982) utilizan esta metodología en moluscos costeros de New York Bight, en el borde continental Este de USA, usando ^{228}Th y ^{228}Ra que permite demostrar un alto grado de compatibilidad entre anillos de crecimiento y edad.

Las aplicaciones de esta metodología en peces, se inician con los trabajos de Bennett *et al.* (1982) que confirma la longevidad de *Sebastes diploproa* a partir de mediciones de la razón $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ realizadas en otolitos, estimando edades de alrededor de 70 a 80 años para los peces más grandes. Posteriormente Fenton *et al.* (1991), desarrollan metodologías más precisas que consideran modelos de crecimiento que permiten determinar las edades en forma más exacta a partir de estas aproximaciones radiométricas. Las principales estructuras calcáreas utilizadas para la determinación de la edad y longevidad de los peces se basan en los anillos de crecimiento que se encuentran en las vértebras y los otolitos. Uno de los casos donde se ha determinado la edad de un organismo a través de anillos de crecimientos en vértebras es el de *Rhinobatos annulatus* (Rossouw, 1984). Siendo, en la mayoría de los casos determinado a través de análisis radiométrico de los otolitos. A la fecha la técnica de los análisis radiométricos ha sido empleada en varias especies de peces como por ejemplo *Sebastes diploproa* (Bennett *et al.*, 1982), "redfish" (Campana *et al.*, 1990), *Macruronus novaezelandie* (Fenton & Short, 1995), *Hoplostethus atlanticus* (Fenton *et al.*, 1991 y Smith *et al.*, 1995), *Anoplopoma fimbria* (Kastelle *et al.*, 1994), *Sebastolobus altivelis*, *Sebastolobus alascanus* (Kline, 1996), Lutjanidae sp. (Milton *et al.*, 1995), *Alloctytus verrucosus* (Stewart *et al.*, 1995), *Sabestes rufus* (Watters, 1995) y *Coryphaenoides acrolepis* (Andrews *et al.*, 1999).



4.1.8.2. Fundamentos teóricos

La mayoría de las estructuras óseas de peces están compuestas de carbonato de calcio a la forma de aragonita, la cual es precipitada dentro de una matriz proteica así como el pez crece (Townsend *et al.*, 1995). Los radioisótopos son parte de un gran número de elementos que pueden coprecipitar junto con los cristales de carbonato de calcio en cantidades a nivel traza, debido a que muchos de ellos tienen radio iónico similar al calcio y la misma valencia, pudiendo substituirlo en la estructura cristalina durante la precipitación (Kinsman, 1969; Kinsman & Holland, 1969). Por lo tanto, esto generará un desequilibrio radioactivo a lo largo de la vida del pez que permite usar las razones isotópicas como cronómetro.

En la aplicación de esta metodología existen varios supuestos que deben ser considerados al momento de su utilización: i) no existe removilización o migración química de los radionúclidos una vez que se han fijado en la estructura calcárea, es decir, los otolitos, espinas, huesos y escamas constituyen sistemas químicos cerrados, ii) la absorción desde el agua o cualquier otra parte de la hija del isótopo que se utiliza es despreciable, y iii) la incorporación del isótopo es en una proporción constante respecto a la tasa de aumento de masa de la estructura ósea.

El primer supuesto determina que el radioisótopo, o en forma más precisa el desequilibrio radioactivo que se genera entre el padre y la hija en la estructura estudiada se mantiene. Esto se ha demostrado por experimentos realizados por Campana y Neilson (1985) que indican que la removilización química dentro de la estructura calcárea es despreciable.

El segundo supuesto se cumple cuando existe una clara señal del isótopo utilizado sobre el fondo natural o sobre el contenido de él en el agua, lo que asegura la viabilidad práctica del método (Smith *et al.*, 1991). El último supuesto puede ser el más problemático, ya que presupone que se debe evaluar el aumento de la masa de la estructura por un método independiente que generalmente, comprende el método de los anillos de crecimiento, los cuales usualmente no están validados. Una forma de obviar esto es utilizando el centro de



la estructura que, en general, representa la condición inicial, cuando el isótopo se fijó y determina el tiempo inicial ($t=0$).

4.1.8.3. Condiciones de aplicación

La exactitud de las mediciones de edad de una estructura calcárea de un pez se puede mejorar midiendo la tasa de aparición de la hija de un isótopo o bien la tasa de disminución de un determinado radioisótopo. En ambos casos, se determinan el desequilibrio radioactivo que es función del tiempo permitiendo calcular la edad de la estructura. En ambos casos se requiere la utilización de dos isótopos, en general los más usados han sido la aparición de ^{210}Po y ^{228}Th a partir del decaimiento de ^{210}Pb y ^{228}Ra , respectivamente. El equilibrio radioactivo entre este par hija-padre se alcanza en dos y 10 años, respectivamente. Con estos pares de radioisotopos se pueden obtener cronologías para crecimiento de peces sobre escalas < 2 años hasta ~ 100 años (Cochran & Masque, 2002).

La utilización de los métodos radiométricos para estimar las edades requiere la obtención cuantitativa del radioisótopo, por lo tanto, es requisito fundamental para un estudio de este tipo definir un procedimiento radioquímico que garantice esta condición, i.e., no exista pérdida de material calcáreo que pueda contener el isótopo de interés.

Los isótopos seleccionados a cuantificar son el ^{210}Pb el cual es un isótopo natural de la serie del ^{238}U que es producido por el ^{236}Ra que se encuentra disuelto en el agua. El ^{210}Pb decae por emisión alfa a ^{210}Po alrededor de los 5,31 Kev, lo que es utilizado en la cuantificación del ^{210}Pb , asumiendo equilibrio secular entre el padre (^{210}Pb) y la hija (^{210}Po). También se requiere evaluar el ^{226}Ra en la solución ácida remanente después de la disolución y depositación del ^{210}Po , lo que se puede hacer por espectroscopia alpha gaseosa, mediante la técnica de emanación de ^{222}Rn .

Para abordar un proyecto de este tipo se han considerado dos etapas que son complementarias entre si:



- 1.- Identificación y tratamiento de limpieza de la estructura a utilizar para la cuantificación de los radioisótopos.
- 2.- Cuantificación de los radioisótopos.

Durante la primera fase del proyecto, los esfuerzos y actividades realizadas estuvieron orientadas fundamentalmente a dos aspectos básicos: i) desarrollo de una técnica de limpieza de las estructuras óseas del pez que serán utilizadas en la evaluación de los dos radioisótopos a utilizar (i.e., ^{210}Pb y ^{226}Ra), con la condición que esto no signifique pérdida de material calcáreo que puede contenerlos y ii) seleccionar la estructura ósea que de la mejor señal radioquímica y con el menor tiempo de conteo posible.

4.1.8.4. Selección de estructura

A priori y basado en experiencias anteriores se ha seleccionado tres estructuras:

- 1.- Escamas
- 2.- Otolitos
- 3.- Vértebras de la región “cervical”

4.1.8.5. Desarrollo de metodología de limpieza

La utilización de los métodos radiométricos para estimar las edades requiere la obtención cuantitativa del radioisótopo, por lo tanto, es requisito fundamental para un estudio de este tipo definir un procedimiento radioquímico que garantice esta condición, i.e., no exista pérdida de material calcáreo que pueda contener el isótopo de interés.

Para la limpieza de las estructuras óseas seleccionadas básicamente se ha utilizado una modificación del método de limpieza desarrollado en el estudio del pez espada (Salamanca, 1998) usando TRIONE, lo que requiere un estricto control de los tiempos de uso del oxidante inicial y del ataque con H_2O_2 , para evitar la pérdida de material calcáreo ya que



debido a su baja calcificación los huesos pequeños tienden a perder material rápidamente. A estos métodos se agregó el hervido en agua destilada.

4.1.8.6. Cuantificación de radioisótopos

^{210}Pb

El ^{210}Pb presente en los otolitos limpiados con agua destilada a ebullición se midió por Espectroscopía Alpha de su hija ^{210}Po (Flyn, 1969) ya que decae por emisión alfa a alrededor de los 5,31 Kev, lo que es utilizado en la cuantificación del ^{210}Pb , asumiendo equilibrio secular entre el padre (^{210}Pb) y la hija (^{210}Po). Esta es una técnica de uso rutinario en la Sección de Isótopos del Laboratorio de Oceanografía, del Departamento de Oceanografía. En las Figuras 9 y 10 se muestran el Espectrómetro Alpha utilizado para la cuantificación de este elemento.

Una vez limpios los otolitos fueron tratados con HCL 1.5 N para su completa disolución. En este paso se probaron dos técnicas de ataque: i) disolución con HCL 1,5 N llevar a sequedad y posterior redisolución con HCL 1.5 N y ii) solo ataque con HCL 1.5 N.

^{226}Ra

El ^{226}Ra se midió por Espectroscopia Gaseosa Alpha, mediante la Técnica de Emanación de ^{222}Rn , a partir de las soluciones ácidas remanentes de la determinación de ^{210}Pb en el Laboratorio de Radioquímica del Dr. Kirk Cochran en el Marine Sciences Research Center, State University of New York at Stony Brook, USA. Para ello el Investigador Responsable (Dr. Marco A. Salamanca viajó a ese laboratorio). En las Figuras 11 a 13 se muestra la línea de extracción utilizada.



4.2. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.2.

Estimar los parámetros de crecimiento para bacalao de profundidad, según el modelo de crecimiento aplicado.

4.2.1. Ajuste a Datos de Longitud y Edad Actual.

El ajuste de una curva de crecimiento se llevo a cabo con la información de talla a la edad actual, es decir, no fue necesario realizar retrocálculo ya que se contó con información de edad de ejemplares desde los dos años. La información de los ejemplares menores a los cinco años fue aportada por P. Horn (National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand), investigador que trabaja y ha publicado sobre el tema en esta especie (Horn, 2002), y se asumió que la interpretación de los primeros anillos es la misma que se realizó en el presente estudio.

La utilización de toda la información de longitud-edad actual para ajustar una curva de crecimiento presenta muchas más ventajas, principalmente desde el punto de vista estadístico, que al trabajar con datos retrocalculados de longitudes a edades pretéritas, ya que con este último análisis se pueden introducir sesgos en las estimaciones al no cumplirse ciertos supuestos y que se describen en Araya & Cubillos (2002).

Con el fin de realizar un análisis exploratorio de los datos y poder caracterizar la dinámica del crecimiento, la información de edad y longitud se ajustó al modelo de crecimiento generalizado de Schnute (1981), este modelo tiene la ventaja de incluir varios modelos tradicionales que se utilizan para explicar el crecimiento en peces.

El modelo de Schnute (1981) no modela la tasa instantánea de cambio, sino que se concentra en el logaritmo de la tasa relativa de cambio (Z). Las ecuaciones que lo definen son,



$$Z = \frac{1}{Y} \frac{dY}{dt}$$

lo que equivale a que Z represente el logaritmo de la tasa de crecimiento

$$Z = \frac{d}{dt}(\log Y)$$

luego Schnute (1981), se planteó el supuesto que la tasa relativa de cambio de Z es lineal decreciente

$$\left(\frac{1}{Z}\right) \frac{dZ}{dt} \equiv \frac{d}{dt} \ln Z = -(a + bZ)$$

lo que llega a

$$\frac{dZ}{dt} = -Z(a + bZ)$$

Esta ecuación puede ser resuelta si se dan dos condiciones iniciales, sean $Y(\tau_1)=y_1$ y $Y(\tau_2)=y_2$ en los tiempos τ_1 y τ_2 . Por lo que el modelo consiste de cuatros parámetros (a , b , y_1 , y_2), existiendo cuatro soluciones al sistema de ecuaciones diferenciales, siendo estas

Modelo 1: $a \neq 0$ $b \neq 0$

$$Y_t = \left\{ y_1^b + (y_2^b - y_1^b) \frac{1 - \exp[-a(t - \tau_1)]}{1 - \exp[-a(\tau_2 - \tau_1)]} \right\}^{\frac{1}{b}}$$

Modelo 2: $a \neq 0$ $b = 0$

$$Y_t = y_1 \exp \left\{ \ln \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \frac{1 - \exp[-a(t - \tau_1)]}{1 - \exp[-a(\tau_2 - \tau_1)]} \right\}$$

Modelo 3: $a = 0$ $b \neq 0$



$$Y_t = \left[y_1^b + (y_2^b - y_1^b) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right]^{\frac{1}{b}}$$

Modelo 4: a=0 b=0

$$Y_t = y_1 \exp \left[\ln \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right]$$

donde Y_t es el tamaño o peso promedio del organismo con respecto a la edad t , y_1 y y_2 representan los tamaños cuando la edad es τ_1 y τ_2 , estas edades corresponden al individuos más pequeño y al más grande en la muestra.

El modelo, según el valor de los parámetros puede tomar distintas formas, siendo las principales:

- a>0 b>0 von Bertalanffy tradicional
- a>0 b=0 Gompertz
- a>0 b=-1 Logística
- a=0 b=1 Lineal
- a=0 b=1/2 Cuadrática
- a=0 b=0 Potencial
- a<0 b=1 Exponencial

Los parámetros de éstos modelos se estimaron mediante mínimos cuadrados no lineales.

Otro modelo que se ajustó directamente y el cual describe el crecimiento de muchos organismos marinos y sus parámetros son ampliamente utilizados en modelos empíricos, es el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, el cual es descrito por la siguiente ecuación:



$$L_t = L_\infty (1 - e^{(-K(t-t_0))})$$

donde L_t es la longitud media del pez a la edad t , L_∞ es la longitud asintótica, K es el coeficiente de crecimiento, que mide la rapidez con que se alcanza L_∞ y t_0 es un parámetro que da cuenta hipotéticamente del momento en que la longitud del pez es cero (usualmente negativo).

Para la estimación de los parámetros del modelo de von Bertalanffy se consideró una estructura de error aditiva, es decir, la variabilidad en el crecimiento se asumió constante como una función de la variable independiente, por lo que los datos se modelan por:

$$L_t = L_\infty (1 - e^{(-K(t-t_0))}) + \varepsilon_t$$

donde ε_t es un término error con media igual a cero y varianza constante, σ^2 . Las estimaciones de los parámetros se realizó a través de mínimos cuadrados no lineales, minimizando la función objetivo:

$$\sum_t (L_t - E(L_t))^2 = \sum_t (L_t - L_\infty (1 - e^{(-K(t-t_0))}))^2$$

donde $E(L_t)$ es el valor predicho esperado por el modelo de crecimiento a la edad t .

4.2.2. Parametrización Clásica del Modelo de von Bertalanffy.

La parametrización clásica del modelo de von Bertalanffy a veces determina problemas de estimación de los parámetros, ya que la correlación negativa entre los parámetros es alta y señala que podría existir una alta combinación de parámetros que podrían explicar un mismo conjunto de datos. Una re-parametrización del modelo podría ayudar a obtener parámetros muchos más estables desde el punto de vista estadístico. Un aporte importante en esta dirección lo hizo Galluci & Quinn (1979), pero fue Ross (1970) quien introdujo el concepto de "parametrización-valor-esperado" para proveer modelos eficientes de



estimación de máxima verosimilitud en modelos no lineales, donde en al menos algunos de los parámetros son valores esperados de la variable dependiente en varios valores de la variable independiente.

Considerando lo expuesto previamente, en este estudio el proceso de estimación se basó en la re-parametrización propuesta por Cerrato (1990), la cual se puede escribir por:

$$L_t = l_1 + (l_2 - l_1) \frac{1 - \rho^{t-a_1}}{1 - \rho^{a_2-a_1}}$$

Esta parametrización (l_1, l_2, ρ) evita problemas asociados al tamaño de muestra. En la formulación, l_1 representa la longitud promedio de la clase de edad "joven", l_2 es la longitud promedio de las clase de edad "vieja", a_1 es la edad de la clase de edad joven, a_2 es la edad de la clase de edad vieja, y $\rho (=e^{-K})$ es la tasa de crecimiento. En el proceso de estimación, se considera la estructura del error de los datos.

4.2.3. Comparación del Crecimiento entre Sexos y entre Métodos de Lecturas.

La comparación de los parámetros de crecimiento se realizó mediante test de razón de verosimilitud. Cuando la estructura del error se distribuye normal, con media igual a cero y varianza constante, un estimador de máxima verosimilitud se puede aplicar para estimar los parámetros y un test de razón de verosimilitud se puede utilizar para comparar los modelos (Kimura, 1980).

Por otra parte, se consideró adecuado comparar los parámetros que describen las curvas de crecimiento utilizando el test T^2 de Hotelling y la comparación de la tasa de crecimiento para un rango de longitudes.

El primer método se basa en lo propuesto por Bernard (1981), pero con la formulación propuesta por Cerrato (1990), i.e.



$$T^2 = (P_1 - P_2)' S_{P_1-P_2}^{-1} (P_1 - P_2)$$

donde $(P_1 - P_2)'$ es un vector transpuesto de $(P_1 - P_2)$, siendo este último el vector diferencia de parámetros (vector columna). En esta formulación $S_{P_1-P_2}$ es la matriz de varianza-covarianza del vector diferencia de estimaciones. La prueba considera como hipótesis nula que los vectores de los parámetros de crecimiento son iguales, y la regla de decisión indica que se rechaza la hipótesis nula si el estadístico calculado supera el valor crítico (T_0^2), i.e.

$$T_0^2 = 3 \frac{N_1 + N_2 - 6}{N_1 + N_2 - 8} F_{\alpha(3, N_1 + N_2 - 6)}$$

donde F representa el percentil de la distribución de Fisher con 3 y $N_1 + N_2 - 6$ grados de libertad.

El segundo método se basa en comparar la tasa de crecimiento en longitud, obtenida a partir de la primera derivada del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, i.e.

$$\frac{dl}{dt} = KL^\infty - KL_t$$

La comparación de la tasa de crecimiento promedio se realiza para el rango de longitudes dados. Se generarán R_{\max} valores alternativos e igualmente probables para la tasa de crecimiento promedio en base al error estándar de los parámetros L^∞ y K, tomando en cuenta la correlación entre ellos. A partir de los R_{\max} valores de la tasa de crecimiento, se determinan los límites de confianza de 95% con un método percentil y se compara con la tasa de crecimiento estimada a partir de otros conjuntos de parámetros de crecimiento. Si los límites de confianza se traslapan, se acepta la hipótesis nula, i.e. H_0 : las tasas de crecimiento son iguales.



4.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.3.

Estimar la mortalidad natural de del recurso en estudio.

La pesquería de Bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) que se desarrolla en Chile es básicamente sustentada por el sector artesanal, particularmente al norte de los 47°S. En la zona centro-sur (33°-42°S), los principales puertos de desembarque son San Antonio, Constitución, San Vicente, Lebu, Valdivia, y Quellón. En la zona norte, destacan Iquique, Antofagasta y Caldera.

Un parámetro importante para evaluar el stock de Bacalao lo constituye la tasa de mortalidad natural (M). Yáñez & Pizarro (1984) utilizan valores de 0,1 a 0,2 año⁻¹, sobre la base de estimaciones realizadas con métodos empíricos. Al sur del 47° S, Zuleta & Moreno (1992) comunican $M = 0,15$ año⁻¹ a partir de datos de captura por edad, valor que continua siendo utilizado (Zuleta *et al.* FIP 96-41), aunque los últimos autores sensibilizaron su evaluación considerando también $M = 0,2$ año⁻¹. En el Atlántico Sur, Shust *et al.* (1990) presenta valores de 0,16 y 0,18 año⁻¹ para la población de las Islas Georgia del Sur, Moreno & Rubilar (1992) señalan una estimación de $M = 0,14 \pm 0,03$. En las Islas Malvinas, Des Clers *et al.* (1996) utilizan $M=0,1$ año⁻¹ para evaluar el stock de Bacalao mediante el método de DeLury.

Por lo general las estimaciones de M son muy poco precisas cuando se utilizan métodos empíricos, particularmente debido al error de predicción (Cubillos *et al.*, 1999). Sin embargo, en el caso del Bacalao de profundidad no se ha evaluado la precisión de las estimaciones de M . En este trabajo, se evalúa la precisión de las estimaciones de M siguiendo la metodología de Cubillos *et al.* (1999), que consiste en estimar la varianza de M utilizando bootstrap paramétrico.



4.3.1. Métodos empíricos.

La aplicación de los métodos se basará en Cubillos *et al.* (1999), considerando las fuentes de incertidumbre asociada a los datos de entrada a los modelos empíricos, así como el error de predicción que proviene de los modelos utilizados.

- Rickter & Efanov (1976):

Rickter y Efanov (1976) muestran una relación entre M (mortalidad natural) y la edad promedio de madurez sexual (Tm_{50}). La expresión es la siguiente:

$$M = \left(\frac{1,521}{Tm_{50}^{0,72}} \right) - 0,155$$

Al analizar la literatura, se ha comunicado que la talla de primera madurez sexual del Bacalao de Profundidad podría fluctuar entre 80 y 115 cm de longitud total en el caso de las hembras, mientras que en los machos podría ocurrir entre los 75 y 100 cm (Zuleta *et al.* (FIP 96-41). Young *et al.* (1999) señala que en la mayoría de los casos, la maduración de las hembras ocurre entre los 90 y 100 cm citando a Zhivov & Krivoruchko (1990). En este estudio (FIP 2001-17), la talla de primera madurez sexual de machos fue estimada en 86,7 cm, mientras que la de hembras fluctuó entre 113 y 117 cm. La talla de primera madurez sexual corresponde a la longitud en que el 50% de las hembras está madura, utilizándose una distribución uniforme entre 80 y 117 cm para estimar la mortalidad natural. Una vez obtenida la longitud de madurez, se calculó la edad promedio de madurez con el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, i.e.

$$Tm_{50} = t_0 - \frac{1}{K} \ln \left(1 - \frac{Lm_{50}}{L_{\infty}} \right)$$

donde t_0 , K , y L_{∞} son los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy, los cuales se obtuvieron de la literatura (Tabla 1).



- Método de Pauly (1980):

Pauly (1980) encontró una relación entre M , K (coeficiente de crecimiento), L_{∞} (longitud asintótica, cm LT) y T (temperatura anual promedio del hábitat, en grados celcius) a partir de datos compilados de 175 stocks de peces. El modelo de empírico es:

$$\log_{10}(M) = -0,0066 - 0,279 \log_{10}(L_{\infty}) + 0,6543 \log_{10}(K) + 0,4634 \log_{10}(T)$$

Para aplicar este método se consideró los parámetros de ambos sexos (Tabla 1) y una temperatura promedio anual de 8°C. Sin embargo, en el proceso de estimación de varianza, se consideró una distribución uniforme para la temperatura entre un valor mínimo de 3°C y un máximo de 10°C.

- Método de Alverson & Carney (1975):

Alverson & Carney (1975) plantean la siguiente ecuación para estimar la edad de máxima biomasa (t^*) de una cohorte o edad crítica, i.e.

$$t^* = t_0 + \frac{1}{K} \ln \left[\frac{3K}{M} + 1 \right]$$

si t_0 es ignorado,

$$t^* = \frac{1}{K} \ln \left[\frac{3K}{M} + 1 \right]$$

a partir de la cual se puede obtener:

$$M = \frac{3K}{(\exp(Kt^*) - 1)}$$

donde la constante 3 corresponde al exponente isométrico de la relación longitud-peso ($b = 3$); K y t_0 son parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy.



Alverson & Carney (1975) recomiendan utilizar $t^* = 0,38 \times T_{max}$, donde T_{max} es la edad máxima observada de la especie. En este trabajo se utiliza el enfoque de Cubillos (2003), el cual consiste en estimar el promedio de la razón entre la talla crítica y longitud asintótica a partir de un grupo de especies cercanas utilizando los datos (L_{∞} , K , y M). Para ello se utilizó los datos comunicados por Pauly (1980), y se estimó la razón:

$$\omega = \frac{L^*}{L_{\infty}} = (1 - \exp(-Kt^*))$$

El valor promedio de esta razón fue $\bar{\omega} = 0,62$ (CV = 0,22), y puede ser utilizado para determinar M , a través de la siguiente ecuación:

$$M = \frac{3K(1 - \bar{\omega})}{\bar{\omega}}$$

- Método de Hoening (1983):

Hoening (1983) encuentra una relación empírica entre la tasa de mortalidad total (Z) y la edad máxima observada (T_{max}) de varias especies de peces, moluscos y cetáceos. Muchos de los datos pertenecen a stocks inexplorados o levemente explotados de tal manera que $Z \approx M$. El modelo de regresión es:

$$\ln(Z) = 1,44 - 0,982 \cdot \ln(T_{max})$$

donde Z y T_{max} han sido previamente definidos. Una alternativa a T_{max} , que representa la edad máxima observada, es contar con un estimador de la longevidad máxima esperada utilizando el método de Taylor (1960), quien supone que la edad máxima teórica (t_M) ocurre cuando el 95% la cohorte alcanza la longitud asintótica, i.e.



$$t_M = t_0 + \frac{3}{K}$$

donde t_0 y K son parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy. En este trabajo, se utilizó t_M como estimador de T_{max} .

- Procedimiento para estimar la varianza:

La base para el procedimiento sugerido aquí es un tipo de remuestreo bootstrap paramétrico de Efron (1985), que se evalúa numéricamente por medio del enfoque Monte Carlo. Para este procedimiento, un número de valores alternativos e igualmente probables de M (M_R) se generan usando una forma paramétrica de la distribución del error, donde $R=1,2,\dots, R_{max}$ y R_{max} es el número relativamente grande (≥ 100). En este estudio se consideró $R_{max}=3000$ para cada modelo empírico. La estimación de la varianza asociada con este bootstrap paramétrico (BP) es entonces:

$$V\hat{A}_{BP}(M) = \frac{\sum_{R=1}^{Rmax} (M_R - \bar{M}_{BP})^2}{Rmax - 1}$$

donde

$$\bar{M}_{BP} = \frac{\sum_{R=1}^{Rmax} M_R}{Rmax}$$

Luego, los límites de confianza se obtienen con un método percentil, lo cual involucra ordenar el conjunto de valores alternativos de M (M_R : $R=1, 2, \dots, R_{max}$).

Para implementar el método de estimación de varianza, se analizó la correlación entre los parámetros de crecimiento y el error estándar de los mismos. Para ello, se estableció la correlación entre K y el logaritmo natural de L_∞ , y entre t_0 y el logaritmo natural de L_∞ . Para incorporar la autocorrelación entre los parámetros se utilizó la siguiente aproximación lineal:



$$Y_i = a + bX_i$$

conociendo que:

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

y que:

$$b = r_{y,x} \frac{s_y}{s_x}$$

Al reemplazar estas ecuaciones en la ecuación lineal se tiene que:

$$Y_i = \bar{Y} + r_{y,x} \frac{s_y}{s_x} [X_i - \bar{X}]$$

Por lo tanto, esta expresión se utilizó para la implementación de la correlación entre los parámetros del bootstrap, los valores alternativos e igualmente probables de K y t_0 se hicieron depender del logaritmo de L_∞ . Los valores alternativos e igualmente probable de este último parámetro se realizó según:

$$X_R^* = \bar{X} + s_x Z_{0,1}$$

donde X_R^* son valores alternativos e igualmente probables de X ($= \ln L_\infty$), \bar{X} es el promedio, s_x es el error estándar del parámetro y $Z_{0,1}$ es una variable aleatoria distribuida normal con media cero y varianza igual a la unidad. En el caso de la talla de primera madurez sexual se consideró una distribución uniforme y también en el caso de la temperatura promedio del hábitat.

El error de predicción se incorporó según los supuestos de Cubillos *et al.* (1999) para los modelos empíricos utilizados por ellos. En el caso del modelo de Alverson & Carney, el error de predicción consistió en evaluar valores alternativos e igualmente probables para la razón ω , considerando un CV=22% (Cubillos, 2003).



- Método analítico de Chen & Watanabe (1989).

Chen & Watanabe (1989) desarrollan una aproximación analítica para determinar la mortalidad natural, inclusive por grupos de edad. Ellos dividen la mortalidad natural en tres fases: inicial, mortalidad estable y mortalidad senescente, lo que se relaciona inversamente con tres fases de crecimiento: temprano, crecimiento estable, y senescente. De acuerdo con esta correspondencia, la mortalidad natural edad-específica, $M(t)$, se asume inversamente proporcional al crecimiento, $G(t)$. Así,

$$M(t) = \frac{C}{G(t)}$$

donde $G(t)$ es representado por:

$$G(t) = \begin{cases} 1 - \exp(-K(t - t_0)), & t \leq t_m \\ a_0 + a_1(t - t_m) + a_2(t - t_m)^2, & t \geq t_m \end{cases}$$

donde:

$$\begin{cases} a_0 = 1 - \exp(-K(t_m - t_0)) \\ a_1 = K \exp(-K(t_m - t_0)) \\ a_2 = -0,5K^2 \exp(-K(t_m - t_0)) \end{cases}$$

y

$$t_m = -(1 / K) \ln(1 - \exp(Kt_0)) + t_0$$

donde t_m representa la edad de esperanza reproductiva, mientras que las constante K y t_0 se refieren a parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. En la sentencia inicial, la constante C es una constante proporcional. Teóricamente, se puede asumir que $C=K$, y la estimación de la mortalidad natural por grupos de edad se reduce a las siguientes ecuaciones:



$$M(t) = \frac{K}{G(t)},$$

ó

$$M(t) = \begin{cases} K / (1 - \exp(-K(t - t_0))), & t \leq t_m \\ K / (a_0 + a_1(t - t_m) + a_a(t - t_m)^2), & t \geq t_m \end{cases}$$

Esta es la ecuación fundamental para estimar la mortalidad natural edad-específica. Esta ecuación se utilizará para analizar valores más probables de M, promediando M(t) entre un rango de edades en que se pueda asumir permanece constante. Se utilizó los parámetros de crecimiento en longitud de ambos sexos de Bacalao de Profundidad (Tabla 1), para obtener estimaciones edad-específica de M.



4.4. SOBREFERTA 1.

Analizar genéticamente el recurso bacalao de profundidad en la zona de estudio.

Debido a que se poseía información de estudios anteriores (Oyarzún & Galleguillos, 1996) donde se había obtenido la estandarización de los sistemas enzimáticos se procedió a recolectar muestras de tejido muscular de los ejemplares. Además, se contaba con información de los distintos tampones de corrida, los que fueron utilizados como base para los análisis incluyendo los restantes tampones con el objeto de corroborar la información precedente.

Para cumplir con el objetivo de esta etapa, se obtuvieron muestras de tejidos provenientes de la pesca artesanal del litoral de la Octava Región (Lebu), de la Zona de Valdivia, la localidad de Quellón y de la pesquería industrial desembarcada en Puerto Williams (n=43, 37, 31 y 12 ejemplares, respectivamente). Por el conocimiento acumulado y en la eventualidad que en el futuro hubiere que verificar en productos congelados, se trabajó sólo con tejido muscular.

El método utilizado, fue la electroforesis en gel de almidón (Harris & Hopkinson, 1976). Luego de tomada las muestras (un trozo de músculo por individuo), fueron congeladas y mantenidas a -20°C hasta el momento de ser procesadas. De cada muestra, se extrajo una porción de tejido que es macerado con la finalidad de liberar las enzimas y en general aquellos componentes que se encuentran al interior de las células. El paso siguiente consistió en poner un papel filtro en el sobrenadante para luego ser colocado en el gel de almidón. Luego de distribuir las muestras, el gel es sometido durante varias horas a una corriente eléctrica. Por la acción de la corriente eléctrica, cada proteína migrará en una dirección y a una velocidad que es dependiente de su carga eléctrica neta y de su tamaño molecular.



4.5. SOBREFERTA 2.

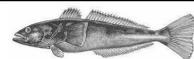
Determinar la talla mediana de madurez sexual del bacalao de profundidad.

Debido a que en el marco del Proyecto FIP 2001-16 también se planteó determinar la talla mediana (o modal) de madurez sexual de bacalao de profundidad y como el plazo de ejecución del presente proyecto (FIP 2001-17) se ha prolongado, se ha decidido incorporar en el presente Informe Final los resultados finales de la estimación de talla de madurez sexual. Incorporando el análisis macro y microscópico del material colectado, el cual (microscópico) no se encontraba disponible al momento de la elaboración del Preinforme Final. Lo antes expuesto redundaba en una mejora de los resultados y conclusiones obtenidas, además de evitar inconsistencias entre los informes generados de ambos proyectos (FIP 2001-16 y FIP 2001-17).

La información utilizada para la estimación de la talla de madurez sexual de hembras y machos de bacalao de profundidad corresponde a la obtenida en los muestreos a bordo de embarcaciones artesanales con puerto base en la localidad de Quellón recolectadas en el marco del presente Proyecto y del Proyecto FIP 2001-16 ejecutados por la Universidad de Concepción.

La estimación de la talla modal de madurez sexual de bacalao se realizó aplicando el ajuste del modelo logístico de madurez por máxima verosimilitud con estimación de intervalos de confianza de la talla de madurez mediante técnicas de remuestreo (Roa *et al.*, 1999).

Para la aplicación de este método se definió los estados de madurez inmaduro y maduro para hembras y machos de bacalao. En hembras se contó con información macro y microscópica de una escala de cuatro estadios, mientras que para machos se contó sólo con información macroscópica. Para ambos sexos la condición inmaduro correspondió a los estados de madurez I y II, y la condición maduro correspondió a los estados de madurez III y IV de la escalas de madurez macro y microscópica (Ver Tabla 2 y 3). La información utilizada corresponde a la registrada en el periodo de máxima actividad reproductiva, de acuerdo a la variación mensual del Índice gonadosomático y madurez microscópica de las



gónadas en el caso de las hembras. Para machos se consideró además la información obtenida durante el mes de mayo de 2002, debido a que no se contó con ejemplares menores a 85 cm LT en los meses de máxima actividad reproductiva, lo que producía un mal ajuste de la ojiva de madurez linealizada.

Luego, para ambos sexos por separado, se construyó el vector con la variable longitud total (LT) con intervalo de clase de 4 cm. Para cada intervalo de clase se calculó la proporción de madurez (P_{LT}) como el cuociente entre el número de individuos maduros y el número total de individuos inmaduros y maduros. La información generada (intervalo de clase y proporción de madurez) fue ajustada a la expresión:

$$P_{LT} = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 * LT}}$$

donde: P_{LT} es la proporción de peces sexualmente maduros; LT es la longitud total en centímetros; β_0 y β_1 son los parámetros de intercepto y pendiente de la ojiva de madurez, respectivamente.

La estimación de la talla mediana de madurez sexual para hembras de bacalao, utilizando como criterio el 50% de madurez sexual ($l_{50\%}$), se realizó con tres set de datos: a) definición macroscópica (n = 117), b) definición microscópica (n = 50), y c) definición macroscópica corregida con los datos microscópicos (n = 117). Para machos $l_{50\%}$ fue estimada sólo con el set de datos macroscópicos (n = 88).

La estimación de los parámetros se realiza minimizando el negativo del logaritmo de la función de verosimilitud (Roa *et al.*, 1999), cuya expresión es:

$$-\ell(\alpha, \beta_0, \beta_1) = -C \sum_1 [(h_1) \ln(P(l)) + (n_1 - h_1) \ln(1 - P(l))]$$



donde: $P(l)$ es la proporción de madurez a la talla l ; α , β_0 y β_1 son los parámetros de asíntota (se asume igual a 1), intercepto y pendiente de la ojiva de madurez, respectivamente; h es el número de individuos maduros; n es el tamaño muestral; C es una constante que no afecta la estimación.

Dada la naturaleza no lineal de la función logística de madurez, el mínimo de la función de verosimilitud se encuentra por un algoritmo de iteración (Quasi-Newton). Los parámetros estimados por la función de verosimilitud son los estimados de máxima verosimilitud (MLE = maximum likelihood estimates). Se determina además, la matriz de covarianza que representa la incerteza asociada a los MLE.

Luego, se utilizó remuestreo Monte Carlo (con el algoritmo MATSIM) de los estimadores de los parámetros de madurez (β_0 y β_1) junto con su distribución de probabilidad asíntótica y matriz de covarianza, para generar la distribución de probabilidad del estadístico derivado $I_{50\%}$ (Roa *et al.*, 1999). A partir de la distribución de probabilidad de $I_{50\%}$, su intervalo de confianza fue obtenido por el método percentil. Los límites del intervalo de confianza están definidos por los valores en las posiciones $N_{MC}(\alpha/2)$ y $N_{MC}(1-(\alpha/2))$, donde N_{MC} es el número de ensayos Monte Carlo. El número de ensayos Monte Carlo realizados para determinar el intervalo de confianza de $I_{50\%}$ fue 5000. Además, se determinó el intervalo de confianza para las tallas donde se alcanzó los porcentajes de madurez del 10, 20, 30, 40, 60, 70, 80 y 90%.



5. RESULTADOS

Distribución de frecuencia de tamaños.

La distribución de frecuencia considerando el total de los ejemplares ($n=1.466$) en las cuatro localidades (Lebu, Valdivia, Quellón y Pto. Williams) muestra una asimetría negativa desplazada sobre los individuos de menor tamaño, con la moda principal entre 70-75 cm de longitud total (LT) y un rango de tallas comprendido entre 42,8 y 190 cm (Fig. 14). Para Lebu ($n=410$) y Quellón ($n=796$) la moda principal se mantiene en los 70-75 cm (LT), mientras que para la localidad de Valdivia ($n=248$) se encuentra alrededor de los 70 cm de LT (Fig. 15), en el caso de Pto. Williams el rango de los ejemplares fue entre 60 y 160 cm de LT ($n=12$).

Al considerar sólo los ejemplares provenientes del muestreo biológico de las tres localidades, la muestra se reduce a 956 peces, perteneciendo 410 a la localidad de Lebu, 248 a Valdivia y 298 a Quellón, fluctuando los tamaños entre 42,8 y 150,1 cm (Fig. 16 y 17). La separación entre los individuos de la muestra total (frecuencia más biológico) y aquellos provenientes del muestreo biológico se debe a que aquellos peces obtenidos del muestreo de frecuencia en tierra se encuentran eviscerados, por lo que no es posible determinarles el sexo. Sin embargo, los peces obtenidos del muestreo biológico presentan un rango más estrecho de tallas, llegando sólo hasta 150,1 cm de longitud total perdiéndose aquellos peces más grandes y por lo tanto las edades mayores. Por lo anterior, se ha decidido incluir aquellos individuos de tallas mayores provenientes del muestreo de frecuencia (de los que se poseen otolitos y escamas) para ser considerados en los análisis donde no sea necesario separar por sexos.



5.1. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.1

Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en el bacalao de profundidad.

5.1.1. Características del Otolito de Bacalao

El otolito del bacalao es grueso, ovalado, con bordes lobulados. Por su cara interna (Fig. 18.a) se aprecia un sulcus del tipo homosulcoide con collum ausente. Antirostrum posiblemente ausente en individuos mayores. Con presencia de hendidura dorsal. La cara externa (Fig. 18.b) se presenta relativamente lisa, los bordes lobulados se proyectan suavemente hacia el núcleo.

La comparación entre el peso del otolito derecho e izquierdo muestra que no existen diferencias entre ellos (Fig. 19), el valor de la pendiente fue de 0,9945 lo que estadísticamente es igual 1 (test-t, $dl=533$, $P=0,377$) y el intercepto es igual a cero ($P=0,289$).

5.1.2. Elección de la Técnica de Observación de Anillos en los Otolitos.

De acuerdo a la Propuesta Técnica, se han probado distintas técnicas para la preparación y observación de los otolitos, los resultados son los siguientes:

5.1.2.1. Lectura en Otolitos Enteros.

Los otolitos se observaron en seco por su cara externa directamente bajo esteromicroscopio con luz reflejada y transmitida y en donde no se obtuvieron resultados, por lo que se les agregó un agente aclarante que consistió en una solución con 50% de etanol y 50% glicerina (C.A.R.E., 2000), en donde tampoco se tuvo resultados (Fig. 18). Luego se procedió a hidratarlos por períodos de tiempo de 6, 12, 24 y 48 horas, en cada período se



observó el otolito agregándose unas gotas de la solución de etanol y glicerina. En ninguno de estos tiempos de hidratación se obtuvieron resultados satisfactorio, apreciándose el otolito al igual que en los tratamientos anteriores (Fig. 18).

En vista de los nulos resultados, se procedió a tostar los otolitos enteros hasta que éstos alcanzaran un tono acaramelado (250°C por 10 minutos). Posteriormente se observaron con luz reflejada (Fig. 20. a) y luz transmitida (Fig. 20. b), agregándose en ambos casos la solución de etanol y glicerina en donde tampoco se obtuvieron resultados alentadores.

5.1.2.2. Cortes Transversales y Longitudinales en Otolitos con y sin Tostado.

- i) **Sin tostado:** De las muestras analizadas con ambos cortes, sólo en el corte transversal (Fig. 21) se logra apreciar más claramente los anillos de crecimiento. En el corte longitudinal (Fig. 22), es posible observar anillos pero estos a su vez se encuentran subdivididos por pequeños anillos translucidos lo que puede llevar a una mala interpretación.

- ii) **Con tostado:** Los otolitos que han sido previamente tostados a 250 °C, se dividieron en dos grupos realizándoles los cortes longitudinal (Fig. 23) y transversal (Fig. 24), en estos el corte transversal (Fig. 24) es en el que se logra apreciar más claramente la disposición de los anillos.

5.1.2.3. Secciones Delgadas de los Otolitos en Vista Transversal y Longitudinal.

En la Figura 25 se aprecia la sección longitudinal de un otolito tostado y en la Figura 26 de una sección transversal, en ambas secciones se aprecian anillos de crecimiento.



5.1.2.4. Lectura de los otolitos.

De las distintas pruebas realizadas ha sido posible definir el método de observación de los anillos de acuerdo al grado de nitidez que presentaron en los distintos tratamientos que fueron sometidos. La técnica a ser utilizada corresponde al tostado del otolito a 250°C por 10 y posteriormente realizar la lectura en secciones delgadas transversales de los otolitos.

Las secciones delgadas transversales de los otolitos (Fig. 26), en general permiten identificar los anuli, es decir, las zonas translucidas y opacas se van alternando desde el núcleo hacia el borde. Dependiendo donde estuviera más discernible los anuli se leía, ya sea, hacia el lado distal o proximal. El núcleo en todos los casos se presentó opaco (ZCR) y en algunos casos a los lectores se les hacía difícil discernir la zona translucida que le seguía.

En cuanto al rango de talla de los ejemplares utilizados y la cantidad de otolitos por estrato se muestra en la Figura 27. EL rango de longitud va desde los 43 cm a los 151 cm LT, y la información aportada por P. Horn, para tener representantes de las edades más jóvenes, va desde los 26 a 67 cm LT.

El conteo de los anuli entre ambos lectores estuvo entre los 4 y 23, haciéndose muy difícil discernir el tipo de borde que presentaba el otolito. El análisis de regresión a las lecturas de edad realizada por ambos lectores muestra que no existe diferencias entre ellos, es decir, el valor de la pendiente es 1 (test t, $df=98$, $P>0,1$) y el intercepto no difiere significativamente de cero ($P>0,3$) (Fig. 28).

La gráfica de las diferencias entre las estimaciones de edad con respecto a uno de los lectores (Fig. 29) no muestra sesgo sistemático. Distinta es la situación cuando se grafica el sesgo por edad entre lectores (Fig. 30) en la cual para las edades más jóvenes el lector 1 tiende a sobreestimar la edad con respecto al segundo lector, invirtiéndose esta situación para las edades más viejas. El error de porcentaje promedio (APE) fue de un 7,56% y



10,4% para el lector 1 y 2 respectivamente, con un coeficiente de variación de 12,7% para el lector 1 y 18,2% para el lector 2. Mientras que el APE para la primera lectura de ambos lectores fue de 10,8 y la segunda de 6,8% lo que nos indica que ambos lectores en la segunda lectura aumentaron su precisión.

Con los resultados obtenidos, la edad final considerada ha sido la mediana, calculada con las lecturas de los dos lectores. La mediana como medida de tendencia central evita el problema de las lecturas con valores extremos que se produjeron en algunos casos.

5.1.3. Validación Primer Annulus.

La aplicación de la técnica para la observación de los microincrementos permite distinguir en distintos lugares del otolito estas microestructuras (Fig. 31), pero lamentablemente el centro de los otolitos que se observaron (53 en total) esta compuesto por múltiples primordia, confundiéndose con centros de crecimiento accesorios lo que hizo muy difícil discernir los primeros incrementos y seguir un eje apropiado de conteo.

5.1.4. Peso del Otolito para Estimación de la Edad.

Morfológicamente a pesar que el otolito crece en longitud, este crecimiento tiende a alcanzar una asíntota con respecto al peso (Fig. 32), el mejor ajuste se obtuvo con un modelo logarítmico, siendo este:

$$LO = 20,716 + 4,176Ln(WO) \quad r^2=77,2\%.$$

A la información de longitud total del pez (LT) versus peso otolito (WO), se ajustó el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, bajo el supuesto que el peso del otolito se relaciona directamente con la edad obteniéndose el siguiente ajuste (Fig. 33).

$$LT = 200,21(1 - e^{-2,684(WO+0,039)})$$



con $r^2=77,03\%$ y $n=771$, los parámetros son significativos ($P<0,0003$).

Al separar por sexos no fue posible ajustar el modelo de von Bertalanffy, los parámetros en todas las pruebas no son significativo. El modelo que mejor se ajusta es una línea recta cuyas ecuaciones son (Fig. 34):

$$\text{Hembras } LT = 30,768 + 319,48WO$$

$$\text{Machos } LT = 36,123 + 281,99WO$$

A la relación entre la edad estimada (t) y el peso del otolito se obtuvo un buen ajuste con una línea recta (Fig. 35):

$$WO = 0,038 + 0,0136t \quad r^2=61,8\%$$

y el ajuste al forzar el intercepto igual a cero es:

$$WO = 0,0166t \quad r^2=58,51\%$$

El resultado del ajuste de regresión múltiple entre la edad y las distintas variables, muestra que el modelo que mejor describe la relación es el que considera la longitud del otolito (LO), longitud del pez (LT), logaritmo natural del peso del otolito (lnWO) y logaritmo natural del peso total del pez (lnPT), cuyos coeficientes son significativos. El modelo ajustado explica un 65% de la variabilidad en la edad. La ecuación del modelo ajustado es (Tabla 4):

$$\text{Edad} = 66,238 - 0,834 * LO + 0,105 * LT + 12,515 * \ln(WO) - 3,573 * \ln((PT))$$



5.1.5. Lectura de escamas.

5.1.5.1. Muestras.

Para la confección de este informe se han analizado un total de 938 escamas, obtenidas de muestreos de frecuencia y biológicos específicos, de las cuales sólo 51 (un 5,5%) no fueron legibles, debido a que sólo presentaban escamas regeneradas.

Estas muestras provienen de tres localidades distintas: Lebu, Valdivia y Quellón, y fueron obtenidas en el periodo de muestreo entre octubre 2001 y junio 2002. El rango de longitudes analizadas es desde 42,8 a 190 cm de longitud total (Tabla 5).

5.1.5.2. Análisis de la escama.

En el análisis de la estructura anular por sexo y en conjunto (Figs. 36-37) se discriminaron hasta 56 marcas hialinas, en un individuo de 190 cm de longitud. La verificación de estas marcas tendería a reconocer una anualidad en la formación de los anillos, siendo necesario tener los resultados en un contexto anual, para confirmar esta hipótesis.

La asignación del borde en formación en los individuos más longevos se vio dificultada por lo angosto de los incrementos, siendo en algunos casos imposible determinar la naturaleza del borde por desgaste, en esos casos los individuos a los cuales no se les determino el borde, solo se les utilizó para estimar el crecimiento y no para la clasificación del borde.

Al examinar la serie mensual, se observa una tendencia inversa de ambos tipos de bordes, con una alta representación del material opaco durante octubre y noviembre del 2001, para luego descender este nivel al 12 % en junio, a su vez el anillo hialino comienza a aumentar hasta llegar a 88 % en junio del 2002 (Fig. 38).



5.1.6. Edades Radiométricas

5.1.6.1. Limpieza

El método que demostró ser mas adecuado para el tratamiento de las estructuras evaluadas fue la ebullición por una hora en agua destilada, y por lo tanto este fue seleccionado, para completar el estudio. La evaluación de los procedimientos de limpieza en las tres estructuras seleccionadas dio como resultado que el otolito es la mejor, basado en los siguientes criterios:

- 1.- Uniformidad del material después de la limpieza con agua
- 2.- Homogeneidad en la distribución del material calcáreo a disolver
- 3.- Fácil manipulación

5.1.6.2. Análisis radioquímico

^{210}Pb

En la Tabla 6 se presenta el background en la Región de Interés (ROI) que representa el ruido del Espectrómetro. Este es bajo y fluctúa entre 0,001 y 0,002 cpm y se considera despreciable y por lo tanto no se descontará de las cuentas de las muestras.

En la Tabla 7 se presenta la actividad medida con dos tratamientos químicos de disolución del otolito. No detectándose diferencia entre ellos por lo cual las lecturas definitivas se harán utilizando la disolución con HCl 1.5 N.

5.1.6.3. Selección de Otolitos

En esta etapa se escogieron los otolitos a los cuales se les midió los radioisótopos, de acuerdo a 6 grupos de tallas entre longitudes menores a 60 cm y mayores a 130 cm (Tabla 8) y con ellos se prepararon dos grupos de muestras a analizar. Con el objeto de mejorar la



sensibilidad de las mediciones se utilizaron entre 6 y 8 otolitos por talla, lo cual permitió tener entre 0,731 y 2,102 g de material para la determinación de los radioisótopos.

5.1.6.4. Relación masa otolito versus tallas

En la Figura 39 se presenta la relación entre la masa de otolitos y las tallas de peces consideradas para la determinación radiométrica de las edades. En esta figura se puede apreciar el aumento de la masa de los otolitos de acuerdo a las tallas seleccionadas para la determinación de ^{210}Pb y ^{226}Ra en ellos. Esta relación se interpreta como la depositación continua de material calcáreo en el otolito y con ello la incorporación de radioisótopos.

5.1.6.5. Determinación de radioisótopos

La cuantificación de los dos isótopos empleados se hizo sobre dos grupos de muestras que cubrían un rango de tamaños de menores a 60 cm hasta 130 cm de longitud. En la Tabla 9 se presentan los resultados de las determinaciones de ^{210}Pb y ^{226}Ra corregidos a los tiempos de colecta, depositación y conteo, realizadas en los otolitos de las tallas de peces señaladas en la Tabla 8. Las actividades obtenidas están dentro del rango informados en la literatura para el caso del ^{210}Pb (e.g., Bennett *et al.*, 1982; Fenton *et al.*, 1991). No obstante en el caso del ^{226}Ra las actividades medidas son mayores que las informadas en la literatura citada. Esto se puede explicar por los distintos contenidos de Ra en el ambiente en que viven estos peces, pero cuando este se fija en la estructura calcárea comienza a decaer a ^{210}Pb con su λ típico, explicando la baja actividad de este radioisótopo.

5.1.6.7. Determinación de edades radioquímicas.

Para la estimación de las edades de bacalao de profundidad se utilizó la ecuación propuesta por Stewart *et al.* (1995) que permite establecer la edad promedio utilizando los otolitos enteros:



$$t = -1/\lambda_{Pb} * [\ln (1- A)/ 1-R]$$

Donde:

- A : razón isotópica promedio ($^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$) en un otolito entero
 R : razón isotópica inicial ($^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$, se asume equivalente a 0,05)
 λ : constante de decaimiento.
 t : edad del otolito.

En la Tabla 10 se presentan las edades estimadas para los dos grupos de muestras, utilizando los otolitos enteros, por lo tanto se informan como edades promedios, las que se estiman a partir del grado de aumento de ^{210}Pb en los otolitos, asumiendo un valor inicial de la razón $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ igual a 0,05, que es el valor asumido generalmente en la bibliografía (Bennet *et al.*, 1982, Stewart *et al.*, 1995). La razón $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ varía entre 0,1599 y 0,2071 para los peces de menor longitud analizados (< a 60 cm) y 0,6447 y 0,7307 para los peces de mayor longitud 130 y 120 cm, respectivamente. Esto permite calcular edades que varían entre los 6 y 8 años para los peces más pequeños y 35 y 44 años para los más grandes.

Esto se puede apreciar más claramente en la Figura 40 donde se muestra la relación entre las edades radiométricas y la longitud total de los peces analizados. En general se aprecia que el segundo grupo de otolitos muestra edades mayores que el primero, aunque el patrón de edades tiende a ser comparables entre los dos grupos de muestras.

Por otra parte existe una gran diferencia entre las edades estimadas en los dos grupos de muestras analizados (Fig. 41), lo cual es producto de las diferencias intrínsecas en el contenido de los radioisótopos medidos y las diferencias entre la masa de otolitos y las clases de tallas evaluadas, que determinan diferencias en las masas de material analizadas. No obstante esta situación hasta las longitudes cercanas a los 100-110 cm, las edades estimadas en ambos grupos de muestra son comparables. La mayor diferencia se da en la longitud mayor (130 cm) en que la edad estimada en el primer grupo (muestras A a la F) es de 35 años y en el segundo grupo (muestras I a V) la edad estimada es de 44 años. Estos valores máximos de edad obtenidos en estos dos grupos de muestras son comparables a los



obtenidos por Horn (2002) para la población del bacalao (*Dissostichus eleginoides*) de Nueva Zelanda, quien estimó mediante lectura de anillos edades de 30 a 40 años para peces de 130 a 140 cm de longitud total.



5.2. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.2.

Estimar los parámetros de crecimiento para bacalao de profundidad, según el modelo de crecimiento aplicado.

5.2.1. Ajuste Curvas de Crecimiento.

Se ajustaron 5 modelos a la información de edad y longitud total del bacalao (Tabla 11 y Fig. 42). En general con todos los modelos se obtuvieron buenos ajustes. Se consideró el modelo de von Bertalanffy con errores aditivos debido a que los residuos no mostraron un patrón distinto (Fig. 43).

5.2.2. Análisis de crecimiento utilizando escamas.

El crecimiento longitudinal del pez, se estimó indirectamente, basado en la teoría del retrocalculo de longitudes a las edades pretéritas, esta teoría se aplicó sobre la base de la hipótesis de proporcionalidad de la longitud del pez (BHP) (Witney and Carlander *vide* Francis, 1990). En este sentido, para el bacalao se observó la relación existente entre la longitud del pez y el radio de la escama, en el informe anterior se observa una tendencia lineal en esta relación debido a la falta de representación de los individuos de las tallas extremas. Al incluir en este informe un amplio rango de tallas se observa un ajuste a una relación potencial entre el crecimiento en longitud del pez y el incremento del radio de la escama, presentando esta un alto grado de correlación entre ambas variables (Figs. 44-45, Tabla 12).

5.2.3. Estimación de los parámetros de crecimiento usando escamas.

Previo a la estimación de los parámetros se comprobó la hipótesis del crecimiento diferencial por sexo, utilizando para ello la hipótesis de homogeneidad de pendiente del análisis de covarianza (ANCOVA). Para ello se consideró el radio de la escama como variable dependiente, la longitud del pez como variable independiente y el sexo como categoría, utilizando la interacción entre estos (Lpez*Sexo) para comprobar el efecto del



sexo, no encontrándose en esta ultima diferencias significativas ($p>0.05$) a un nivel de confianza del 95 % (Tabla 13).

Para la obtención de los parámetros del modelo de crecimiento von Bertalanffy, se considero para este informe las longitudes retrocalculadas individuales por edad obtenidas por medio de la metodología de retrocalculo, debido a que estos datos incluirían la variabilidad individual de las tasas de crecimiento siendo los resultados del ajuste más representativo (resumen Tabla 14, Fig. 46). Al no existir diferencias entre sexos, se utilizaron las longitudes individuales retrocalculadas de machos, hembras e indeterminados en conjunto por edad ($n= 11.402$). Para ello se empleo la relación entre el radio de la escama como variable independiente y la longitud del pez como variable a predecir (Tabla 12, Todos). De esta forma se ajustaron los parámetros preliminarmente obteniéndose los siguientes valores de la ecuación de crecimiento (Tabla 15).

$$L_t = 156.4 * \left[1 - \exp^{(-0.053*(t-2.35))} \right]$$

Cabe notar que los ajustes se realizaron mediante la rutina de ajuste no-lineal del programa Table Curve 2D V2.5, el cuál utiliza la minimización de mínimos cuadrados para disminuir los residuos.



5.3. OBJETIVO ESPECIFICO 3.2.3.

Estimar la mortalidad natural de del recurso en estudio.

Los parámetros de crecimiento disponibles para ambos sexos de Bacalao de Profundidad describen un crecimiento en longitud con una mayor variación de la longitud a la edad hacia edades avanzadas, particularmente destacan dos curvas de crecimiento que predicen una menor longitud a la edad y que corresponden a los parámetros de crecimiento estimados en este estudio (Figura 47). Los parámetros, sin embargo, están correlacionados con el logaritmo natural de la longitud asintótica (Tabla 16).

Se destaca que para transformar de la escala logarítmica se utilizó la corrección por sesgo $\exp(s^2/2)$. En este contexto, la longitud asintótica promedio fue 187,1 cm LT.

a) Estimación de M con métodos empíricos

Las estimaciones puntuales de mortalidad natural con métodos empíricos se realizaron solamente con los parámetros de crecimiento obtenidos en este estudio y la talla de primera madurez sexual de 113 cm para las hembras sobre la base de estados de madurez sexual determinados microscópicamente (Tabla 17).

El resumen estadístico de los 3000 valores alternativos e igualmente probables de M considerando tanto la incertidumbre en los parámetros de entrada como los errores de predicción en cada modelo empírico de estimación se resumen en la Tabla 18. Al considerar el error en los parámetros de entrada se aprecia que el modelo de Rickter & Efanov genera el mayor coeficiente de variación (CV=25,9%), seguido por el modelo de Pauly, el cual a su vez genera un estimado promedio de $M = 0,10 \text{ año}^{-1}$ con intervalos de confianza de 0,07 a 0,12. Los modelos más precisos fueron los de Hoening y Alverson & Carney.



Al incorporar el error de predicción, se obtiene un nivel de incertidumbre similar con todos los modelos; esto es, coeficientes de variación del orden del 40 a 63%. Las medidas de tendencia central, no obstante, tienden a mantenerse. La mediana es exactamente igual ya sea al incorporar o no el error de predicción, pero los límites de confianza se amplían considerablemente en relación con la incertidumbre de los parámetros de entrada.

Se destaca que cuando se considera el error en los parámetros de entrada, la distribución de frecuencia de los valores alternativos e igualmente probables tienden a seguir la distribución del error de los parámetros de entrada. Por ejemplo, para el método de Rickter & Efanov (1976) se consideró una distribución uniforme para la talla de primera madurez sexual. Esta distribución uniforme se traspassa a los valores alternativos e igualmente probables de M (Figura 48), a pesar que la talla se transforma a edad con el error correlacionado de los parámetros de crecimiento. Sin embargo, al incorporar el error de predicción los 3000 valores de M tienden a distribuirse normal (Figura 48), mientras que en el caso de los modelos de Pauly, Hoening, y Alverson & Carney aparece una distribución del tipo log-normal.

b) Estimación analítica

El método de Chen & Watanabe permite realizar una estimación analítica de la mortalidad natural por clases de edad. Las estimaciones resultantes de utilizar los parámetros de crecimiento en que $t_0 < 0$, se presentan en la Tabla 19, mientras que el promedio y los límites de confianza se presentan en la Figura 49. El valor promedio de M en el rango de edades 0–50 años fue estimada en $0,13 \text{ año}^{-1}$, valor que es consistente con aquellos estimados por los modelos empíricos.



5.4. SOBREFERTA 1.

Analizar genéticamente el recurso bacalao de profundidad en la zona de estudio.

Se evidenció los productos enzimáticos de 10 sistemas que darían cuenta de 13 loci presuntivos, de los cuales 6 mostraron algún grado de polimorfismo (Tabla 20).

En la Tabla 21 se presentan los sistemas polimórficos. Los valores de las frecuencias génicas que se incluyen en la tabla deben ser tomados sólo como valores de referencia ya que un estudio de diferenciación poblacional debería incluir un mayor número de muestras por localidad y escapa a los objetivos del presente Informe. El objetivo de esta etapa fue verificar primero si los sistemas analizados se presentaban en forma idéntica de expresión para las muestras de distinta proveniencia geográfica. La expresión diferencial de algunos sistemas es signo de una posible diferenciación poblacional o incluso de una especie distinta. Todas las muestras analizadas mostraron los mismos patrones, evidenciando con ello que corresponde a una misma especie. En todos los sitios se encontraron los mismos sistemas monomórficos (invariables) y los mismos sistemas polimórficos (más de un alelo dentro de la misma población).

Las muestras provenientes de Lebu, Valdivia, Quellón y Puerto Williams, muestran ser genéticamente muy similares, a pesar de la distancia geográfica. Es necesario indicar si, que los tamaños muestrales no son los adecuados para afirmaciones concluyentes. En todo caso, los niveles de semejanza encontrados reflejan que existiría un flujo génico entre los distintos grupos considerados correspondiendo a una sola población.

La heterocigocidad observada (Tabla 22) muestra valores muy similares entre las distintas localidades, destacando la PGI-2 con un valor de 0,19 en todas las localidades excepto Pto. Williams donde no pudo ser obtenida.



5.5. SOBREFERTA 2.

Determinar la talla mediana de madurez sexual del bacalao de profundidad.

De acuerdo a la variación mensual del Índice Gonadosomático (IGS) (Fig. 50), se observa que sólo existió actividad reproductiva en los ejemplares de bacalao capturados entre los 45° y 51° de latitud sur, área donde opera la flota pesquera artesanal con puerto de desembarque en Quellón, mientras que los ejemplares capturados en las áreas donde operan las embarcaciones artesanales de Lebu y Valdivia, no evidenciaron actividad reproductiva (Figura 50). Además, el análisis microscópico de las gónadas de hembras de bacalao (Sobreoferta 2, FIP 2001-16), identificó ovocitos en vitelogénesis temprana, avanzada y completa, casi exclusivamente en las preparaciones histológicas de las muestras obtenidas en Quellón.

Desde el punto de vista macroscópico, la talla mediana de madurez sexual ($I_{50\%}$) estimada para las hembras de bacalao capturadas en la época de máxima actividad reproductiva fue 116 cm LT (Tabla 23). Un menor valor de $I_{50\%}$ igual a 113 cm LT, fue obtenido utilizando la información de madurez sexual generada mediante observación microscópica. Por otro lado, la estimación de $I_{50\%}$ con la información macroscópica corregida no varió de la generada con la información macroscópica sin corrección ($I_{50\%} = 117$ cm LT) (Tabla 23).

El error estándar de los parámetros β_0 y β_1 de la ojiva de madurez estimados con la información microscópica fue levemente menor al obtenido con la información macroscópica con y sin corrección (Tabla 23). Esto se tradujo en un intervalo de confianza más preciso con la información microscópica, tanto para la estimación de la talla de primera madurez como de las demás proporciones de madurez a la talla (Fig. 51B). Además, los intervalos de confianza para las tallas a distintas proporciones de madurez estimados con la información microscópica se encuentran más centrados en torno a la ojiva de madurez en comparación a los intervalos de confianza estimados con la información macroscópica sin y con corrección (Figs. 51A y 51C).



La talla mediana de madurez sexual ($l_{50\%}$) estimada para machos de bacalao fue 87 cm LT (Tabla 24). El intervalo de confianza de $l_{50\%}$ cubrió el rango de 78 a 94 cm LT. La ojiva de madurez construída a partir de los parámetros del modelo de madurez (β_0 y β_1) se observa en la Figura 52. La mayor parte de los intervalos de confianza determinados para las distintas proporciones de madurez a la talla se presentan desplazados en torno a la ojiva de madurez.



6. DISCUSIÓN.

Diferentes técnicas de estimación de la edad en los peces pueden producir diferencias relativamente grandes en los resultados, especialmente en las edades mayores sino se conocen las relaciones morfológicas entre las estructuras usadas en la estimación de la edad mediante los otolitos. Esto hace necesario establecer un patrón morfológico cualitativo de los otolitos para poder comparar los métodos utilizados. Para comparar las metodologías de lectura de la macroestructura externa en otolitos enteros e interna en secciones transversales, se parte del supuesto que con ambos procedimientos se observa la misma estructura, esto es, el patrón morfológico externo del otolito es el reflejo de su estructura interna (Gauldie, 1994)

En el presente estudio, ha sido posible definir el método de observación de los anillos de acuerdo al grado de nitidez que presentaron en los distintos tratamientos que fueron sometidos. El método a ser utilizado corresponde al tostado del otolito a 250°C por 10 minutos y posteriormente realizar la lectura en secciones delgadas transversales de los otolitos. Este método concuerda con los estudios realizados por otros autores en la misma especie de otras zonas geográficas (Ashford, 2001; Horn, 2002). A pesar de que en la mayoría de los casos es posible observar sin problemas los anillos, la interpretación no está ajena a problemas al igual como lo han manifestado otros autores (Ashford *et al.*, 2000), por ejemplo, es posible observar los anillos pero estos a su vez se encuentran subdivididos por pequeños anillos translúcidos lo que puede llevar a una mala interpretación.

Horn (2002) encuentra que durante el año de muestreo el borde de los otolitos es opaco en verano y translucido en invierno, patrón cíclico que se mantiene a pesar de combinar muestras de distintos años y áreas, lo que indicaría un bajo nivel de variación interanual e interárea. Lo que probablemente significa que esta especie depositaría una zona translúcida cada año, y la lectura de estas zonas sería un método válido de estimación de la edad.

Los índices de precisión calculados (APE y CV) se encuentran dentro del rango estimados en otros estudios (Horn, 2002), aunque los valores nos indican que el otolito del bacalao no



son fácil de leer. Kalish & Timmiss (1998) compara la lectura de 34 otolitos de ejemplares mayores de 15 años y muestra que las diferencias entre los dos lectores fueron generalmente de 4 o menos, pero esto se iguala a un porcentaje de error individual de un 33%.

Kalish & Timmiss (1998) registran una edad máxima de 43 años, con peces sobre 38 años registrados desde las Islas Macquarie, Príncipe Edward y del sur de América del Sur. Aguayo (1992) con muestras de las Georgias del Sur, estima la edad para hembras hasta los 35 años y en machos sólo hasta los 20, mientras que Cassia (1998) con muestras del mismo lugar encuentra edades máximas de 24 años. Horn (2002) informa edades máximas de 53 años para machos y de 49 para hembras. En el presente estudio se estimaron edades máximas de 23 años lo que estaría sugiriendo que la flota nacional que trabaja en aguas jurisdiccionales opera sobre la fracción intermedia de la población o bien que los individuos mayores han sido removidos de la pesquería.

Al comparar gráficamente curvas de crecimiento ajustadas a *D. eleginoides* (Fig. 53), en general se aprecia que no existen grandes variaciones hasta los 10 años. El ajuste realizado con la información de los otolitos se encuentra dentro del rango de las curvas que se han estimado para esta especie. Por otra parte, las diferencias que existen entre las curvas estimadas pueden estar dadas por las distintas metodologías utilizadas, es decir, otolito o escama, ajuste con la edad actual o retrocalculada, método de ajuste, muestreo representativo o interpretación de los anillos.

Las edades radiométricas obtenidas en este estudio son mayores que las entregadas por el método de recuento de los anillos de crecimiento en los otolitos, no obstante considerando la gran dispersión de las actividades de los radioisótopos medidos y el bajo número de muestras analizadas, ambas metodologías muestran valores comparables dentro de la incertidumbre de las mediciones radiométricas, la que varía entre un 7% y un 50%.

De acuerdo con Cubillos *et al.* (1999), la precisión en las estimaciones de mortalidad natural utilizando simultáneamente el error de predicción y el de los parámetros de entrada



utilizando modelos empíricos puede ser muy baja. Esto no quiere decir que los métodos empíricos no posean exactitud, sino más bien que las estimaciones de M con estos métodos pueden contener límites de confianza muy amplios. En este sentido, cualquier comparación con la tasa mortalidad total para inferir la tasa de mortalidad por pesca que se haga, podría determinar que esta última pueda ser insignificante. En efecto, los límites de confianza superiores que se obtuvieron en este estudio indican que la mortalidad natural del Bacalao de Profundidad estaría en el rango $0,24 - 0,4 \text{ año}^{-1}$, valores que representan mortalidades altas para una especie longeva y de madurez tardía. Si se considera los valores de tendencia central, éstos deberán manejarse con un decimal ya que no tiene sentido utilizar valores centésimales para un parámetro poco preciso. En este sentido, se podría concluir que los valores medianos para el Bacalao de Profundidad fluctúan entre $0,1$ y $0,2 \text{ año}^{-1}$.

El método de Chen & Watanabe (1989) constituye un método muy sensible al parámetro t_0 de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy. Aunque el valor promedio obtenido con el método ($M = 0,14 \text{ año}^{-1}$) es consistente con las estimaciones medianas obtenidas con los modelos empíricos y con los valores utilizados por varios autores para la evaluación del recurso (Moreno & Rubilar, 1992, Zuleta *et al.*, FIP 96-41), es recomendable no utilizar dichas estimaciones de M por clases de edad en evaluación de stock hasta que no sean verificadas. Una forma de verificar dichos valores de mortalidad se podría realizar considerando predadores importantes de juveniles de Bacalao de profundidad y cuantificar el consumo por clases de edad mediante las ecuaciones del Análisis de Población Virtual Multiespecífico (MSVPA, Magnusson, 1995; Livingston & Jurado-Molina, 2000).

Efectuado el análisis genético de muestras tan distantes como Lebu, Valdivia, Quellón y Puerto Williams, se evidencia que corresponderían a la misma población. Sin embargo, el problema de la diferenciación poblacional es de una escala que escapa a las posibilidades y los objetivos del presente informe, particularmente en la cantidad de muestras y el tiempo en que deban analizarse los patrones genéticos encontrados. El objetivo de detectar los sistemas enzimáticos polimórficos se cumplió completamente al evidenciarse 6 sistemas con esas características: MDH-1, IDH-1, PGM-1, AP-1, PGI-1 y PGI-2; con lo cual ya se tiene la base genética para un futuro estudio de tipo poblacional mas completo. Además, se



corroboran los resultados obtenidos por Oyarzún y Galleguillos (1996), al encontrar los mismos sistemas polimórficos.

La talla mediana de madurez sexual de hembras y machos de bacalao de profundidad determinada mediante el ajuste del modelo logístico de madurez por máxima verosimilitud entregó los estimadores con menor incertidumbre. Para hembras la talla mediana de madurez fue de 113 cm LT (intervalo de confianza: 107–120 cm LT), mientras que para machos fue 87 cm LT (intervalo de confianza: 78–94 cm LT). De acuerdo a estos resultados se puede ver que aproximadamente el 90% de las hembras y sobre el 60% de los machos de bacalao de profundidad muestreados durante el periodo de estudio, se encuentran bajo la talla mediana de madurez sexual. Principalmente para las localidades de Lebu y Valdivia, lo que representa una situación muy importante para la pesquería desde el punto de vista de la administración.



7. CONCLUSIONES

Fue posible definir una técnica de observación de los anillos de acuerdo al grado de nitidez que presentaron, esta corresponde al tostado del otolito a 250°C por 10 minutos y posteriormente realizar la lectura en secciones delgadas transversales de los otolitos.

Al tomar en cuenta el peso del otolito, el modelo que mejor describe la edad del bacalao, es el que considera la longitud del otolito (LO), longitud total del pez (LT), logaritmo natural del peso del otolito (lnWO) y logaritmo natural del peso total del pez (lnPT), cuyos coeficientes son significativos. El modelo ajustado que explica un 65% de la variabilidad en la edad es:

$$Edad = 66,238 - 0,834LO + 0,105LT + 12,515 \ln(WO) - 3,573 \ln(PT)$$

El modelo que mejor describe el crecimiento del bacalao, con información de edad obtenida de los otolitos, es el de von Bertalanffy, cuyos valores de los parámetros son:

$$L_t = 152,19(1 - e^{-0,085(t+0,59)})$$

De un total de 963 escamas provenientes de las tres localidades muestreadas, Lebu, Valdivia y Quellón, se discriminaron un máximo de 56 marcas hialinas en un individuo de 190 cm de longitud. Encontrándose sólo un 5% del total a escamas no legibles debido a que éstas solo presentaban escamas regeneradas.

La verificación del tipo de borde presenta la tendencia clara a la conformación de anillos anuales, lo cual debe ser confirmado con los datos de los meses restantes del Proyecto FIP 2001-16 para concluir su periodicidad.

La relación entre la longitud del pez y el radio de la escama, presentó mayor consistencia al agregar información de individuos de tallas mayores lo que resulta en una mayor robustez



de los estimados de longitudes retrocalculadas, para la posterior determinación de los parámetros de crecimiento de Von Bertalanffy, en este ámbito cabe señalar que los estimados son preliminares y que no existirían diferencias significativas entre sexos, lo cuál permite considerar los parámetros determinados para ambos sexos en conjunto para reflejar el crecimiento del bacalao.

El bacalao de profundidad presenta actividades de ^{210}Pb y ^{226}Ra cuantificables, lo que permite su uso para la validación de edades. El aumento de la masa del otolito con la longitud total del pez implica que los radioisótopos utilizados y las edades radiométricas calculadas sugieren que estos isótopos se depositan en un proceso continuo.

Las edades radiométricas derivadas de la razón $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ presente en los otolitos varían entre los 6 y 8 años para los peces más pequeños (<60 cm de longitud total) y 35 y 44 años para los más grandes (120 y 130 cm de longitud total), respectivamente. Estos valores máximos de edad obtenidos en estos dos grupos de muestras son comparables a los obtenidos por Horn (2002) para la población del bacalao (*Dissostichus eleginoides*) de Nueva Zelanda, quien estimó edades de 30 a 40 años para peces de 130 a 140 cm de longitud total.

Las edades radiométricas obtenidas en este estudio son mayores que las entregadas por el método de lectura de los anillos de crecimiento en los otolitos, no obstante, ambas metodologías muestran valores comparables dentro de la incertidumbre de las mediciones radiométricas.

Las estimaciones de mortalidad natural para el Bacalao de Profundidad con métodos empíricos indican valores que fluctuarían entre 0,1 y 0,2 año⁻¹. Estas estimaciones son muy poco precisas cuando se incorpora la estructura correlacionada del error de los parámetros de entrada, principalmente parámetros de crecimiento, simultáneamente con el error de predicción de los modelos empíricos, generando coeficientes de variación que fluctúan entre 38,9 y 62,7%.



La estimación de M con el método analítico de Chen & Watanabe (1989) fue consistente con los valores de tendencia central de los modelos empíricos. Aunque el método permite contar con estimaciones de M edad-específica se concluye que dichos valores deben ser validados antes de ser utilizados en evaluaciones con métodos edad-estructurados.

Desde el punto de vista de la genética, se detectaron 6 sistemas enzimáticos polimórficos que correspondieron a: MDH-1, IDH-1, PGM-1, AP-1, PGI-1 y PGI-2 corroborando los resultados obtenidos por Oyarzún y Galleguillos (1996), al encontrar los mismos sistemas polimórficos. Con lo anterior, se tiene la base genética para un futuro estudio de tipo poblacional en la especie. Sin embargo, a partir de la evidencia de las muestras analizadas, se puede postular que individuos capturados en localidades tan distantes como Lebu, Valdivia, Quellón y Puerto Williams corresponderían a la misma población.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M. 1992. Preliminary analysis of growth *Dissostichus eleginoides* from the Austral zone of Chile and South Georgia. Document WG-FSA 92/30. Commission for Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR), Hobart, Australia, 1-8.
- Andrews, A.; Calliet, G. & K., Coale. 1999. Age and growth of the pacific grenadier (*Coryphaenoides acrolepis*) with age estimate validation using an improved radiometric ageing technique. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56: 1339-1350.
- Annala, J. H. 1993. Deepwater project review 1992: MAF Fisheries Greta Point Internal Report N° 200. Unpublished report held in NIWA library, P.O. Box 14 901, Wellington, New Zealand. 57 p.
- Araya, M. & L. Cubillos. 2002. El análisis retrospectivo del crecimiento en peces y sus problemas asociados. Revista Gayana 66(2): 161-179.
- Araya, M., L. Cubillos, M. Guzmán, J. Peñailillo & A. Sepúlveda. 2001. Evidence of the relationship weight of otolith – age for the Chilean horse mackerel *Trachurus murphyi* (Carangidae). Fish. Res. 51: 17-26.
- Alverson, D.L. & M.J. Carney. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. J. Con. Int. Explor. Mer, 36:133-143.
- Arrizaga, A., M. Fuentealba, V. Yañez & V. Soto. 1996. Observaciones sobre la alimentación de *Dissostichus eleginoides* Smitt 1898 (Perciformes, Nototheniidae) en el sur de Chile. Gayana Oceanología, 4(1): 13-19.
- Ashford, J.R., C. Jones, S. Wischniowski, S. Bobko & I. Everson. 2000. A comparisons between otoliths and scales for use in stimating the age of *Dissostichus eleginoides* from South Georgia. Document N° WG-FSA-00/28. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Ashford, J.R. 2001. In support of a rationally managed fishery: Age and growth in patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*). A Dissertation submitted to the Faculty of Old Dominion University in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy.
- Beamish, R.J. 1979. New information on the longevity of Pacific Ocean perch (*Sebastes alutus*). J. Fish. Res. Bd. Canada 36: 1395-1400.
- Beamish, R.J. & D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 982-983.
- Beamish, R.J. & G.A. McFarlane. 1983. The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. Trans. Am. Fish. Soc. 112:735-743.
- Bennett, J.; Boehlert, G. & K. Turekian. 1982. Confirmation of longevity in *Sebastes dipoloproa* (Pisces: Scorpaenidae) from ²¹⁰Pb/²²⁶Ra measurements in otoliths. Marine Biology. 71: 209-215.
- Bernard, D.R. 1981. Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 233-236.
- Boehlert, G., 1985. Using objective criteria and multiple regression models for age determination in fishes. Fish. Bull. US 83:103-117.



- Boehlert, G.W. & M.M. Yoklavich. 1998. Variability in age estimates in *Sebastes* as a function of methodology, different readers, and different laboratories. *Calif. Fish. Games*, 70: 210-224.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish. Biol.* 59: 197-242.
- Campana, S.; Zwanenburg, K. & J., Smith. 1990. $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ determination of longevity in redbfish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47. 163-165.
- Campana, S.E. & J.D. Neilson. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42:1014-1032.
- Campana, S.E., M.C. Annand & J.I. McMillian. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determination. *Trans. Am. Fish. Soc.* 124: 131-138.
- C.A.R.E. 2000. Manual on generalized age determination procedures for groundfish. C.A.R.E. (Committee of Age Reading Experts Pacific Coast Groundfish Ageing Technicians). The Canada/U.S. Groundfish Committee.
- Cassia, M.C. 1998. Comparisons of age readings from scales and otoliths of the patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) from South Georgia. *CCAMLR Sci.* 5, 191-203.
- Cerrato, R.M. 1990. Interpretable statistical test for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1416-1426.
- Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1208-1210.
- Chen, S. & S. Watanabe. 1989. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(2):205-208.
- Chikov, V.N. & Y. S. Melnikov. 1990. On the question of fecundity of the Patagonian Toothfish, *Dissostichus eleginoides*, in the Region of the Kerguelen Islands. *J. of Ichthyology* 30(8): 19-125.
- Chilton, D.E. & R.J. Beamish. 1982. Age determination methods for fishes studied by the Groundfish Program at the Pacific Biological Station. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 60, 102 p.
- Choat, J.H. & L.M. Axe. 1996. Growth and longevity in acanthurid fishes, an analysis of otolith increments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 134: 15-26.
- Cochran, K. & P. Masque. 2002. Natural radionuclides applied to coastal zone processes. Radioactivity in the Environment: Radioactivity in the Oceans. (H.D. Livingston Ed.) Submitted.
- Collado, S. 1994. Ovogénesis, ciclo reproductivo y fecundidad del Bacalao de Profundidad, *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 (Perciformes-Nototheniidae), capturado en el talud continental del extremos sur de Chile. Seminario de Título presentado al Depto. de Oceanografía de la U. de Concepción para optar al título de Biólogo Marino, Manuscrito 47 pp.
- Cubillos, L., R. Alarcón, & A. Brante. 1999. Empirical estimates of natural mortality for the Chilean hake (*Merluccius gayi*): evaluation of precision. *Fisheries Research* 42:147-153.
- Cubillos, L.A. 2003. An approximative relationship to estimate the natural mortality rate in fish stocks, Naga the ICLARM Quarterly (in press).



- Des Clers, S., Nolan, C.P., Baranowski, R., Pompert, J. 1996. Preliminary stock assessment of the Patagonian toothfish longline fishery around the Falkland Islands. The Fisheries Society of the British Isles, J. Fish biology. 49 (Supplement A), 145-156.
- Duhamel, 1981. Caractéristiques biologiques des principales espèces de poissons du plateau continental des Iles Kerguelen. *Cybium* 5, 19-32.
- Efron, B. 1985. Bootstrap confidence intervals for a class of parametric problems. *Biometrika*, 72(1):45-48.
- FAO. 1982. Report of the technical consultation on the methodologies used for age-reading. FAO Fishery Report N° 257, 104 p.
- Fenton, G. & S., Short. 1995. Radiometric analysis of blue grenadier, *Macruronus novaezelandiae*, otolith cores. *Fish. Bull.* 93. 391-473.
- Fenton, G.; S. Short & D. Ritz. 1991. Age determination of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Pices: Trachichthyidae) using ^{210}Pb : ^{226}Ra disequilibria. *Marine Biology*. 109: 197-202.
- Fletcher, W.J. 1991. A test of the relationship between otolith weight and age for the pilchard *Sardinops neopilchardus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 35-38.
- Fletcher, W.J. 1995. Application of the otolith weight-age relationship for the pilchard, *Sardinops sagax neopilchardus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 657-664.
- Flyn, W. 1969. The determination of low levels of Polonium - 210 in environmental materials. *Aval. Chem. Acta* 43, 221 - 227.
- Flores, H. & P. Rojas. 1987. Contenido gástrico de *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 capturado frente a Valparaíso (Perciformes-Nototheniidae). *Investigaciones Marinas, Valparaíso*. 15: 33-40.
- Francis, R.I.C.C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *J. Fish Biol.* 36: 883-902
- Galluci, V.F. & T.J. Quinn II. 1979. Re-parameterizing, fitting, and testing a simple growth model. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 108:14-25.
- Gauldie, R. W., I.F. West & G.E. Coote. 1995. Evaluating otolith age estimates for *Hoplostethus atlanticus* by comparing patterns of checks, cycles in microincrement width, and cycles in strontium and calcium deposition. *Bulletin marine Science* 56: 76-102.
- Gili, R., V. Bocic & R. Serra. 1995. Análisis de la periodicidad de formación del anillo hialino en otolitos de jurel de la costa de Chile. Informe Interno. IFOP. Manuscrito.
- Horn, P.L. 1999. Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from New Zealand exclusive economic zone to CCAMLR Subarea 88.1 Document N° WG-FSA-99/43. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Horn, P. 2002. Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand subantarctic to the Ross Sea, Antarctica. *Fish. Res.*
- Hoening, J.M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fishery Bulletin* 82(1):898-902.
- Hureau, J. C. & C. Ozouf-Costaz 1980. Age determination and growth of *D. Eleginoides* Smitt 1898, from Kerguelen and Crozet Island. *Cybium* 3^a. Serie 8: 23-32.



- IFOP. 2001. Programa de Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Proyecto: Investigación Situación Pesquería Demersal Zona Sur-Austral, 2000. Informe Final II Parte. Determinación de Edad. Requirente Subsecretaría de Pesca.
- ICSEAF. 1986. Guía de ICSEAF para la interpretación de otolitos. Otol. interp. Gde. Hke int. Commn SE. Atl. Fish. 1: 70.
- Jennings, S., Kaiser, M & J. Reynolds. 2001. Marine Fisheries Ecology. Blacweell Science Ltd. London. 663 pp.
- Kalish, J.M. & T.A. Timmiss. 1998. Determination of Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* age, growth and population characteristics based on otoliths. Document N° WG-FSA-98/40. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Kastelle, C., Kimura, D., D. Nevissi & D. Gunderson. 1994. Using Pb-210/Ra-226 disequilibria for sablefish, *anoplopoma fimbria*, age validation. Fish. Bull. 92. 292-301.
- Kerstan, M. & M.E. Waldron. 1995. Age validation in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) otoliths from the NE- and SE- Atlantic ocean. ICES C.M. 1995/H:23.
- Kimura, D.K. 1980. Likelihood methods for the Von Bertalanffy growth curve. Fish. Bull. 77: 765-775.
- Kimura, D.K. & J.J. Lyons. 1991. Between-reader bias variability in the age-determination process. Fish. Bull. 89. 53-60.
- Kinsman, D. 1969. Interpretation of Sr+2 concentration in carbonate minerals and rocks. J. Sedim. Petrol. 39:486-508.
- Kinsman, D. & H. Holland. 1969. The co-precipitation of cations with CaCo3- IV. The co-precipitation of Sr+2 with aragonite between 16° and 96° C. Geochim. Cosmochim. Acta 33: 1-17.
- Kline, D. 1996. Radiochemical age verification for two deep-sea rockfishes (*Sebastolobus altivelis* and *S. Alascanus*). M.S. thesis. California State University, San Jose, Calif
- Kock, K. & H. Kellerman. 1991. Reproduction in Antarctic Notothenioids. A Review Antar. Sc. 3: 125-150.
- Livingston, P.A. & Jurado-Molina, J. 2000. A multispecies virtual population analysis of the eastern Bering Sea. ICES Journal of Marine Science 57, 294-299.
- Magnusson, K. 1995. An overview of the multispecies VPA – theory and applications. Reviews in Fish Biology and Fisheries 5, 195-212.
- Martínez, C. 1975. Análisis biológico del "Bacalao de Profundidad" *Dissostichus amissus* (Gill & Townsend). Instituto de Fomento Pesquero, Chile. Serie Informes Pesqueros (59): 16 pp.
- Milton, D.; S. Short, M. O'Neill & S. Blaber. 1995. Ageing of three species of tropical snapper (Lutjanidae) from the Gulf Of Carpentia, Australia, using radiometry and otolith ring counts. Fish. Bull. 93. 103-115.
- Morales-Nin, B. 1988. Age determination in a tropical fish, *Lethinus nebulosus* (Forskal, 1775)(Teleostei: Lethrinidae) by means of otolith interpretation. Inves. Pesq. 52: 237-244.
- Morales-Nin, B. 2000. Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. Fish Res. 46: 53-67.



- Morales-Nin, B. & S. Ralston. 1990. Age and growth of *Lutjanus kasmira* (Forsk.) in Hawaiian waters. J. Fish Biol. 36:191-203.
- Moreno, C.A. & P.S. Rubilar. 1992. Notas sobre la mortalidad de *Dissostichus eleginoides* de la subarea 48.3. Selected Scientific Papers 9, 21-30. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Movillo, J. & N. Bahamonde. 1971. Contenido gástrico de *Dissostichus amissus* Gill & Townsend en San Antonio. Noticiario Mensual, Museo Nacional de Historia Natural, 175: 9-11.
- Oyarzún, C. & P.W. Campos. 1987. *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898; consideraciones sobre su determinación taxonómica e implicancias biogeográficas (Pisces, Perciformes, Nototheniidae). Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 23(2): 173-192.
- Oyarzún, C., P.W. Campos & H. Valeria. 1988. Adaptaciones para la flotabilidad en *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 (Pisces, Perciformes, Nototheniidae). Investigaciones Pesqueras (España), 52(4): 455-466.
- Pascual, M.A. & O.O. Iribarne. 1993. How good are empirical predictions of natural mortality? Fisheries Research, 16:17-24.
- Pannella, G. 1971: Fish otoliths: daily growth layers and periodic patterns. Science (Washington, DC) 173: 1124-1127.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J.Cons.int.Explor.Mer 39(2):175-192.
- Pavéz P., E. Yañez , N. Salas, W. Tarky, P. Rojas & H. Flores, 1983. Estudio del bacalao de profundidad *Dissostichus amissus* como recurso pesquero en la región de Valparaíso (33°S-72°W); Evaluación biológica, tecnológica y económica. Inf. Final Secret. Reg. de Plan. y Coord. De la región de Valparaíso. Estudios y documentos Universidad de Católica de Valparaíso 1/183. 1-160.
- Pawson, M.G. 1990. Using otolith weight to age fish. J. Fish. Biol. 36:521-531.
- Penttila, J. & L.M. Dery (eds). 1988. Age determination methods for Northwest Atlantic species. NOAA Technical Report NMFS 72.135 pp.
- Pino, C., L.A. Cubillos, M. Araya & A. Sepúlveda. Growth of the patagonian grenadier *Macruronus magellanicus* (Gadiformes-Macruronidae) of the central-southern Chile using relationships between otolith weight and age. Journal of Applied Ichthyology (en revisión).
- Rickter, V.A. & V.N. Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. ICNAF Res.Doc., 76/VI/8:12 p.
- Roa, R., B. Ernst & F. Tapia. 1999. Estimation of size at sexual maturity: an evaluation of analytical and resampling procedures. Fish. Bul. 97: 570-580.
- Ross, G.J.S. 1970. The efficient use of function minimization in non-linear maximum likelihood estimation. Appl. Stat. 19:205-211.
- Rossouw, G. 1984. Age and growth of the sand shark, *Rhinobatus annulatus*, in Algoa Bay, South Africa. Can. J. Fish. Aquat. Sci. : 213-221.



- Rubilar, P., C. Moreno & A. Zuleta. 1999. Edad y crecimiento de *Dissostichus eleginoides* (Pisces: Notheniidae) en la costa centro-sur de Chile (38°19' a 43°). Rev. Chilena de Hist. Nat. 72: 285-296.
- Salamanca, M. 1998. Determinación de las edades radiométricas en el “pez espada” *Xiphias gladius*. Informe Proyecto Especial Subsecretaría de Pesca.
- Salas, R., H. Robotham & G. Lizama. 1987. Investigación del Bacalao VIII Región. Informe Intendencia región del Bio-bio, Secretaria Regional de Planificación y Coordinación de la Región del Bio Bio. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Técnico, 107 p.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38:1128-1140.
- Shust, K.V, P.S. Gasiukov, R.S. Dorovskikh & Bakenzhin. 1991. The state of *Dissostichus eleginoides* Stock and Tac for 1990-91 in subarea 48°3 (South Georgia). Document WG-FSA-90/34. Commission for Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR), Hobart, Australia.
- Smith, J. N., S.E. Campana, R. Nelson. 1991. “Use of 210Pb/226Ra and 228Th/228Ra disequilibria in the ageing of otoliths of marine fish”. Els. Appl. Sci. Stol. London, U.K. 393 pág.
- Smith, D., G. Fenton, S. Robertson, & S. Short. 1995. Age determination and growth of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*): a comparison of annulus counts with radiometric ageing. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 391-401.
- Stevenson, D.K. & S.E. Campana. 1992. Otolith microstructure examination and analysis. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. Ser. 117.
- Stewart, B., G. Fenton, D. Smith & A. Short. 1995. Validation of otolith-increment age estimates by deepwater fish species, the warty oreo *Allocytus verrucosus*, by radiometric analysis. Mar. Biol. 123: 29-38.
- Taylor, C.C. 1960. Temperature, growth and mortality, the Pacific cockle. J. Cons. int. Explor. Mer, 26:117-124.
- Turekian, K. K., J. K. Cochran, D. P. Kharkan, R. M. Cerrato, J. Rimas, H. L. Sanders, J. F. Grassle & J. A. Allen. 1975. “Slow growth of a deep-sea clam determined by ²²⁸Ra chronology”. Pros. Nat. Acad. Sci. USA. 72 (7): 2829-2832.
- Turekian, K. K., J. K. Cochran & Y. Nozaki. 1979. “Growth rate of a clam from the Galápagos Rise hot spring field using natural radionuclide ratios”. Nature. 280 (5721): 385 - 387.
- Turekian, K. K. & J. K. Cochran. 1981. “Growth rate of a Vesicomys clam from the Galápagos Spreading Center”. Science. 214: 909 - 911.
- Turekian, K. K., J. K. Cochran & Y. Nozaki. 1982. “Determination of shell deposition rates of *Arctica islandica* from the New York Bight. Using natural 228Ra and 228Th and bomb-produced 14C”. Limnol. Oceanogr. 27 (40): 737 - 741.
- Twonson, D., R. Radtke, D. Malone & J. Wallinga. 1995. Use of otolith strontium: calcium ratios for hind-casting larval cod *Gadus morhua* distributions relative to water masses on Georges Bank. Marine Ecology Progress Series. 119: 37-44.
- Victor, B.C & E.D. Brothers. 1982. Age and growth of the fallfish *Semotilus corporalis* with daily otolith increments as a method of annulus verification. Can. J. Zool., 60: 2543-2550.



- Waldron, M.E. 1994. Validation of annuli of the South African anchovy, *Engraulis capensis*, using daily otolith growth increments. ICES J. Mar. Sc. 51: 233-234.
- Watters, D. L. 1995. Age determination and confirmation from otoliths of the bank rockfish, *Sebastes rufus* (Scorpaionidae). M.S. thesis, California State University, San Jose Calif.
- Wilson, C.A., R.J. Beamish, E.B. Brothers, K. D. Carlander, J.M. Casselman, J.M. Dean, A. Jerald Jr., E.D. Prince & A. Wild. 1987. Glossary, p. 527-530. In: Summerfelt, R.C. and Hall, G.E. (Editors). The age and growth of fish. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Worthington, D. G., A. J. Fowler & P.J. Doherty. 1995a. Determining the most efficient method of age determination for estimating the age structure of a fish population. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 2320-2326.
- Worthington, D. G., P. J. Doherty, & A. J. Fowler. 1995b. Variation in the relationship between otolith weight and age: implications for the estimation of age of two tropical damselfish (*Pomacentrus moluccensis* and *P. wardi*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 233-242.
- Yañez, E. & L. Pizarro. 1984. Análisis del rendimiento por recluta del bacalao de profundidad (*Dissostichus amissus* Gill & Townsend 1901) en la región de Valparaíso (33S-72W). Investigaciones Marinas, Valparaíso, 12: 87-92.
- Young, Z., R. Bustos, M. Aguayo, R. Gili, C. Vera, J. Saleter, L. Cid & A. Muñoz. 1987. Diagnóstico de las principales pesquerías demersales (peces) zona Centro-Sur 1986. Estado de Situación del recurso, CORFO/IFOP.
- Young, Z., R. Gili & L. Cid. 1995. Prospección de Bacalao de profundidad entre las latitudes 43° y 47° S. Inf. técn. IFOP/SUBPESCA. 47P.
- Young, Z., J. Oliva, A. Olivares & E. Díaz. 1999. Aspectos reproductivos del recurso bacalao de profundidad. Informes Técnicos FIP, FIP – IT/96-16, 52 p. + anexos
- Zacharov, G. P. & Z.A. Frolkina. 1976. Some data on distribution and biology of the patagonian tothfish (*Dissostichus elegendoides* Smitt) occurring in the Southwest Atlantic (in Russian). Trudy AtlantNIRO 65: 143-150.
- Zhivov, V.V. & M. Krivoruchko. 1990. On the biology of the Patagonian Toothfish, *Dissostichus elegendoides*, of the Antarctic part of the Atlantic. J. of Ichthyology 30(7): 142-146.
- Zuleta, A., C. Moreno, P. Rubilar, & J. Guerra. 1998. Modelo de estrategias de explotación del bacalao de profundidad bajo incertidumbre del tamaño y rendimiento sustentable del stock. Informes Técnicos FIP, FIP – IT/96-41, 158 p.
- Zuleta, A. & C.A. Moreno. 1992. Catch at age analysis applied to new fisheries: the case of *Dissostichus elegendoides*. Selected Scientific Papers. SC-CAMLR-SSP/9, 3-9 p. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 405 p.



9. ANEXO 1: TABLAS



Tabla 1. Parámetros de crecimiento en longitud comunicados para ambos sexos de Bacalao de Profundidad.

Océano	Area	L_{∞} (cm)	K (año ⁻¹)	t_0 (año)	Autor
Pacífico	Chile centro-sur	178	0,109	0.000	Pavez <i>et al.</i> (1983)
		218	0,048	-0.664	Rubilar <i>et al.</i> (1998)
		152,2	0,085	-0,590	Este estudio (otolitos)
		156,5	0,054	-2,351	Este estudio (escamas)
Atlántico	Chile sur-austral	211	0,064	-0.432	Aguayo & Cid (1990)
		212.6	0.066	-0.477	Young <i>et al.</i> (1992)
	Georgia del sur	170.8	0.088	0	SC-CAMLR.XIV, 1995
		171	0.087	0.160	(1992)
		204	0.056	-0.545	& Frolkana (1976)
	175	0.071	0.005	<i>et al.</i> (1990)	
	207	0.075	-0.290	(1996)	

Tabla 2. Escala de madurez para nototénidos y canictidos basados en ciclos de ovarios y testículos de *Notothenia coriiceps*, *Champsocephalus gunnari*, *Chaenocephalus aceratus* y *Pseudochaenichthys georgianus* (Kock & Kellerman, 1991).

Estado de Madurez		DESCRIPCIÓN
HEMBRAS		
I	Inmaduro	Ovario pequeño, firme, sin óvulos visibles a ojo desnudo.
II	Latente	Ovario más extendido, firme, pequeños ovocitos visibles, dando al ovario una apariencia granulosa
III	En desarrollo	Gónadas grandes, comienza a llenarse la cavidad abdominal, color varía de acuerdo a la especie, contiene ovocitos de dos tamaños.
IV	Maduro	Gónadas grandes, cavidad abdominal llena o dilatada. Al abrir o cortar escurren los ovocitos grandes.
V	Desovado	Gónadas contraídas, flácidas, contiene unos pocos ovocitos residuales y muchos otros de pequeño tamaño.
MACHOS		
I	Inmaduro	Testículos pequeños, translúcidos, blanquizcos, largos, delgada franja adherida a la columna vertebral.
II	Latente	Testículos blancos, planos, con pliegues, fácilmente visibles a ojos desnudo, cerca de ¼ longitud de la cavidad abdominal.
III	En desarrollo	Testículos grandes, blancos y con pliegues. Al presionar o cortar no escurre líquido seminal.
IV	Maduro	Testículos grandes, blancos opalescentes. Al presionar o cortar escurren gotas de líquido seminal.
V	Evacuado	Testículos contraídos, flácidos, color blanco barroso (sucio).

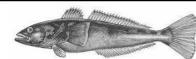


Tabla 3. Escala utilizada para la caracterización de los distintos estados de madurez microscópicos de bacalao de profundidad.

ESTADO	DESCRIPCIÓN
Estado 1. Inactivos.	Son aquellos ovarios que presentan sólo ovocitos que aún no han comenzado la vitelogénesis.
Estado 2. Previtelogénesis.	Son aquellos ovarios que pudiendo presentar la mayoría de los ovocitos sin iniciar la vitelogénesis, también se presentan ovocitos con las típicas vacuolas lipídicas precursoras del vitelo.
Estado 3. Vitelogénesis.	En las especies que son desovantes totales (no sería el caso del bacalao), se presenta una sola moda de ovocitos, y en este caso todos presentarían en su interior gránulos de vitelo. En los desovantes parciales, se presentan ovocitos en todos los estados, pero siendo la moda más avanzada aquella de ovocitos con vitelo y una capa coriónica notable y fácilmente distinguible.
Estado 4. Maduros.	La moda más avanzada se presenta con el citoplasma completamente lleno de vitelo. Se puede diferenciar en este estado aquellos ovocitos que comienzan su hidratación o que se encuentren francamente hidratados. Se incluye también en este estado a aquellos ovarios que aunque no presentaren ovocitos llenos de vitelo si presentan folículos postovulatorios ya que son signo evidente de un desove ocurrido en las últimas 24 horas.

Tabla 4. Valores de los parámetros del análisis de regresión múltiple entre la edad y variables del otolito y del pez.

Parámetro	Estimado	Error	
		Estándar	valor-p
β_0	66,238	12,254	0
$\beta_1 * LO$	-0,834	0,3194	0
$\beta_2 * LT$	0,105	0,03798	0
$\beta_3 * \ln(WO)$	12,515	2,2108	0
$\beta_4 * \ln(PT)$	-3.573	1.1415	0.0023



Tabla 5. Rango de longitudes y número de escamas analizadas y no legibles por sexo y por mes, de las localidades de: Lebu, Valdivia y Quellón.

Localidad	Mes	Número de individuos muestreados					Rango de LT	
		Machos	Hembras	Indeterminados	no legibles	Total	Máx	Mín
Lebu	Oct-01	16	43	13	6	78	147	61
	Nov-01			10	6	16	142	62
	Dic-01	6	13	16	1	36	145	58
	Ene-02	8	10	34	3	55	122.5	50
	Feb-02	6	11	25	3	45	136.5	42.8
	Mar-02		20	25	4	49	115.6	54
	Abr-02		12	20	1	33	151	64.5
	May-02							
	Jun-02							
	Total	36	109	143	24	312	151	42.8
Valdivia	Oct-01			19		19	103	50
	Nov-01	14	13	34		61	86	62
	Dic-01	18	16	25	5	64	75	54
	Ene-02			28	1	29	75	54
	Feb-02	2	16	18	2	38	85	59
	Mar-02	3	17	15	3	38	130	69
	Abr-02	1	18	20	2	41	141	60
	May-02		17	21	2	40	141	65
	Jun-02	5	15		1	21	135	64
		Total	43	112	180	16	351	141
Quellón	Oct-01	8	23	16	1	48	170	65
	Nov-01		18	23	2	43	141	64
	Dic-01		19	19	2	40	142	49
	Ene-02		30	23	4	57	152	62
	Feb-02		19	22	1	42	190	63
	Mar-02		19			19	136	93
	Abr-02	8	17		1	26	161	88
	May-02							
	Jun-02							
		Total	16	145	103	11	275	190

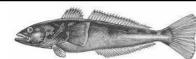


Tabla 6. Background en las regiones de interés (ROI).

Detector	ROI ²⁰⁹Po (cpm)	ROI ²¹⁰Po (cpm)
1	0,002	0,001
2	0,002	0,002
3	0,001	0,002
4	0,002	0,001

Tabla 7. Actividad de ²¹⁰Pb en los otolitos de bacalao de profundidad. Mediciones experimentales.

Muestra	Masa Otolito (g)	No. Otolitos	Actividad ²¹⁰Pb (dpm/g)	Tratamiento
1	0,11	1	0,07	HCl con + HCl 1.5 N
2	0,10	1	0,05	HCl 1.5 N
3	0,25	2	0,07	HCl con + HCl 1.5 N
4	0,21	2	0,10	HCl 1.5 N



Tabla 8. Muestras seleccionadas de las estructuras duras (otolitos) utilizadas para determinar la edad radiométrica de bacalao de profundidad.

Código	Talla del Individuo (cm)	Masa Total (g)	Numero Otolitos
A	Menores a 60	0.713	7
B	Entre 65 - 70	0.876	8
C	Entre 80 - 85	1.096	8
D	Entre 100 - 105	1.731	8
E	Entre 115 - 120	2.264	8
F	Mayores a 130	2.102	7
I	Menores a 60	0.899	8
II	Entre 65 - 70	1.016	8
III	Entre 80 - 85	1.140	8
IV	Entre 100 - 105	0.975	6
V	Entre 115 - 120	2.044	8

Tabla 9. Actividad de ^{210}Pb y ^{226}Ra por masa de otolito.

Muestra	Longitud (cm)	Masa otolitos (g)	Nº. Otolitos	^{210}Pb (dpm g ⁻¹)	^{226}Ra (dpm g ⁻¹)	$^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$
A	< 60	0,731	7	0,0410	0,2564	0,1599
B	65-70	0,876	8	0,0923	0,6116	0,1508
C	80-85	1,095	8	0,0205	0,0885	0,2316
D	100-105	1,731	8	0,1025	0,1866	0,5493
E	115-120	2,264	8	0,0410	0,0719	0,5702
F	130	2,102	7	0,0410	0,0636	0,6447
I	< 60	0,8980	8	0,0410	0,198	0,2071
II	65-70	1,0160	8	0,0513	0,5074	0,1010
III	80-85	1,1400	8	0,0308	0,1465	0,2099
IV	100-105	0,9750	6	0,0820	0,259	0,3166
V	115-120	2,0440	8	0,0718	0,0982	0,7307



Tabla 10. Cálculos de las edades radiométricas de bacalao de profundidad utilizando otolitos enteros.

Identificación	Longitud	No.otolitos	$^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$	Edad promedio
Muestra	(cm)	analizados		Prom/Otolito	otolito (años)
A	< 60	7	0,1599	0,0228	5,9
B	65-70	8	0,1508	0,0189	5,5
C	80-85	8	0,2316	0,0290	8,9
D	100-105	8	0,5493	0,0687	26,9
E	115-120	8	0,5702	0,0815	28,5
F	130	7	0,6447	0,0806	35,0
I	< 60	8	0,2071	0,0259	7,8
II	65-70	8	0,1010	0,0126	3,6
III	80-85	8	0,2099	0,0262	8,0
IV	100-105	6	0,3166	0,0528	12,9
V	115-120	8	0,7307	0,0913	44,3



Tabla 11. Resultados de los distintos modelos de crecimiento ajustados a la información de edad y longitud total del bacalao. Entre paréntesis error estándar del parámetro. n=174.

Modelos	Parám.	Estimados	Lím. Conf. 95%		P	r ²
Von Bertalanffy (error aditivo)	L _∞	152,19 (12,5096)	127,51	176,89	0	0,7956
	K	0,085 (0,0159)	0,05	0,12	0	
	t ₀	-0,59 (0,5142)	-1,61	0,42	0,25	
		(0,4446)				
Parametrización de Cerrato (1990)	ρ	0,9325 (0,0046)	0,923	0,941	0	0,7807
Modelo 1 de Schnute	y1	38,78 (2,2407)	34,36	43,21	0	0,8106
	y2	122,48 (3,8061)	114,97	129,99	0	
	a	0,51 (0,2318)	0,052	0,967	0,029	
	b	-4,44 (2,6469)	-9,67	0,78	0,095	
Modelo 2 de Schnute	y1	32,75 (2,3424)	28,13	37,38	0	0,8022
	y2	128,69 (3,9429)	120,91	136,47	0	
	a	0,159 (0,0181)	0,12	0,19	0	
Modelo 3 de Schnute	y1	29,41 (4,0051)	21,49	37,31	0	0,7842
	y2	138,89 (3,8351)	131,33	146,47	0	
	b	1,977 (0,1935)	1,59	2,36	0	
Modelo 4 de Schnute	y1	52,53 (1,7056)	49,17	55,91	0	0,6622
	y2	160,14 (5,7531)	148,79	171,51	0	



Tabla 12. Parámetros de la relación potencial utilizada para el retrocalculo de longitudes a edades pretéritas considerando el radio de la escama (X) y la longitud del pez (Y).

MACHOS

Coef. Det. (r ²)	GL Ajuste (r ²)	Error Std	Valor F	n
0.877820325	0.875164245	6.240561709	668.1740633	95

Parámetros	Valor	Error Std	valor t	Límites de confianza (95%)		P> t
A	0.052740802	0.01454594	3.625809227	0.0238554	0.081626	0.00047
B	0.842065742	0.031379123	26.83522266	0.779753	0.904378	0

HEMBRAS

Coef. Det. (r ²)	GL Ajuste (r ²)	Error Std	Valor F	n
0.879904573	0.87924289	7.311371482	2666.923067	366

Parámetros	Valor	Error Std	valor t	Límites de confianza (95%)		P> t
A	0.060758093	0.008201335	7.408317557	0.0446301	0.076886	0
B	0.829137758	0.015188507	54.58981474	0.7992695	0.859006	0

INDETERMINADOS

Coef. Det. (r ²)	GL Ajuste (r ²)	Error Std	Valor F	n
0.875807525	0.875220327	8.389588217	2990.055481	426

Parámetros	Valor	Error Std	valor t	Límites de confianza (95%)		P> t
A	0.046630528	0.006033753	7.728279054	0.0347707	0.05849	0
B	0.858119791	0.01460728	58.74603731	0.8294081	0.886831	0

TODOS

Coef. Det. (r ²)	GL Ajuste (r ²)	Error Std	Valor F	n
0.878752551	0.878478236	7.769477682	6414.122666	887

Parámetros	Valor	Error Std	valor t	Límites de confianza (95%)		P> t
A	0.050881526	0.004498266	11.31136534	0.042053	0.05971	0
B	0.848430475	0.009972923	85.07340313	0.8288571	0.86800	0



Tabla 13. Resultado del ANCOVA utilizado para comprobar la homogeneidad de pendientes, de la relación entre el radio de la escama y la longitud total del pez por sexo, de bacalao.

Análisis de Varianza

Var. Dep.= lnRadio N= 461 Multiple R= 0,931 Multiple R cuadrado= 0,867

Fuente	Suma de cuad.	g.l.	Cuad. medios	F	P
LnLpez	23.966	1	23.966	2891.821	0.000
LnLpez*Sexo	0.029	1	0.029	3.505	0.062
Error	3.796	458	0.008		



Tabla 14. Longitudes retrocalculadas promedio por edad.

Edad	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23
3	19.87	31.84	39.76																				
4	20.89	35.58	43.53	50.90																			
5	21.03	35.66	44.68	51.20	57.27																		
6	20.11	35.26	43.47	50.41	56.56	61.86																	
7	20.42	34.83	43.08	49.95	55.77	61.08	65.77																
8	19.31	33.12	40.70	47.38	53.26	58.16	62.77	67.22															
9	18.95	32.74	40.51	47.22	52.94	58.03	62.55	66.90	70.93														
10	19.56	33.74	40.93	47.39	53.23	58.50	63.20	67.54	71.88	75.43													
11	19.18	32.63	39.65	46.27	52.01	57.21	61.87	66.11	70.19	73.36	77.02												
12	19.46	32.76	39.96	46.72	52.81	57.70	62.15	66.50	70.67	73.94	77.90	81.29											
13	19.32	33.55	40.73	47.87	53.54	58.94	63.72	68.07	72.21	75.63	79.18	82.69	85.46										
14	19.56	33.99	41.18	47.89	53.81	58.93	63.48	67.91	72.10	75.38	79.18	82.61	85.54	88.32									
15	19.36	33.46	40.95	47.74	53.78	59.21	63.95	68.27	72.48	75.92	79.62	82.98	86.01	88.73	91.00								
16	19.81	34.16	40.67	47.77	54.18	59.69	63.90	68.06	72.17	75.25	79.01	82.84	85.64	88.38	91.05	93.91							
17	20.00	35.21	42.10	48.84	55.49	60.91	65.56	70.15	74.30	77.50	81.39	85.60	88.79	91.79	94.39	97.34	98.24						
18	19.90	34.44	41.82	49.45	55.76	61.07	65.75	69.98	73.92	77.04	80.53	84.21	87.32	90.06	92.94	95.71	98.40	101.0					
19	19.70	35.17	42.72	50.19	56.72	62.55	67.40	72.09	76.46	79.82	83.29	87.05	90.09	93.18	95.99	98.85	101.5	104.2	108.0				
20	20.49	36.08	42.76	50.21	56.27	61.53	66.30	70.64	74.49	78.00	81.31	85.28	88.36	91.43	94.05	96.99	99.6	102.5	105.3	108.1			
21	20.55	34.16	42.28	48.74	55.10	59.97	64.39	68.44	72.85	76.63	80.81	84.80	88.37	91.38	94.43	97.65	100.9	104.0	107.1	109.4	111.8		
22	20.64	34.91	42.73	49.63	55.82	61.21	65.95	70.12	74.17	77.78	81.50	85.47	88.84	92.11	95.17	98.34	101.4	104.5	107.6	110.4	113.1	115.5	
23	19.42	34.09	41.39	48.50	54.46	58.89	63.14	67.41	71.60	74.80	78.42	82.06	85.37	88.28	91.19	94.08	97.1	100.0	102.8	105.5	108.1	110.5	112.8
24	19.58	35.65	42.35	49.29	55.46	60.70	65.42	69.67	73.66	77.11	80.83	84.87	88.16	91.14	94.08	96.97	99.9	102.9	105.9	108.9	111.4	113.8	116.3
25	19.6	33.9	41.6	48.8	54.7	59.5	63.8	68.3	72.3	75.9	79.6	83.5	86.4	89.5	92.4	95.1	97.9	101.0	103.7	106.3	108.9	111.3	113.5
26	19.2	35.4	42.5	50.2	56.5	62.5	67.4	71.7	75.7	78.7	82.0	86.2	89.1	91.9	94.6	97.4	100.2	102.9	105.7	108.6	111.3	114.1	116.8
27	20.24	35.19	43.02	50.14	57.16	62.29	67.10	71.64	75.45	78.57	81.90	86.07	89.12	92.07	94.96	97.61	100.6	103.4	106.1	109.0	111.5	114.3	116.9

Continúa en la página siguiente...



Tabla 14. Continuación...

Edad	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23
28	21.6	35.7	43.8	51.3	57.9	63.8	69.1	73.6	77.3	80.9	84.2	87.1	90.4	93.4	96.4	99.3	102.4	105.8	108.8	112.4	114.6	116.3	118.4
29	17.6	33.8	41.2	47.3	52.5	57.1	61.2	65.5	70.1	74.2	78.6	82.9	86.1	89.2	92.0	95.0	98.1	101.6	104.6	107.4	109.5	111.8	114.2
30	20.2	34.9	42.9	50.4	57.6	62.2	66.6	71.3	75.5	78.3	82.2	85.9	88.9	91.9	94.9	97.9	101.2	104.4	107.3	110.1	112.5	115.1	117.8
31	20.7	35.4	42.6	50.4	56.6	62.4	67.1	71.4	75.4	78.4	81.3	85.6	88.5	91.5	94.1	96.8	99.6	102.3	104.5	107.6	110.6	113.3	116.5
32	21.1	36.1	44.1	49.5	56.0	60.2	63.6	67.2	71.6	75.3	80.8	84.6	87.7	90.5	93.2	96.0	98.6	102.3	105.7	109.1	111.1	113.6	116.1
33	18.1	32.6	40.2	47.6	53.6	58.6	62.5	66.4	70.3	73.3	76.5	80.4	83.4	86.1	88.9	91.8	94.5	97.2	100.2	102.6	105.3	107.7	109.9
34	16.6	32.6	40.3	47.1	52.6	57.3	61.4	65.5	69.7	73.9	77.7	81.9	85.1	87.9	90.2	92.9	95.7	98.4	101.3	103.9	106.3	109.1	111.6
35	19.5	32.3	39.8	47.2	53.8	60.9	65.8	69.9	73.7	77.0	79.9	83.3	86.3	89.6	92.8	95.7	98.6	101.0	103.7	105.9	108.2	110.4	113.2
36	15.9	32.7	40.0	47.1	52.5	58.0	62.9	66.5	70.3	73.7	77.1	80.5	82.7	85.5	88.4	91.5	94.0	96.6	99.8	102.9	105.2	107.4	109.7
38	21.2	35.9	40.9	47.4	52.9	58.7	63.5	67.7	71.3	73.6	76.0	79.7	82.2	84.9	88.2	90.9	93.8	95.9	99.1	101.9	104.3	107.1	109.3
39	15.2	31.2	37.1	43.0	47.9	52.3	57.5	61.5	65.1	68.1	71.1	74.9	77.6	79.7	81.8	84.2	86.6	89.3	91.31	93.3	95.6	98.3	101.2
40	20.7	35.1	43.8	50.1	56.3	61.6	65.8	69.7	73.8	76.9	80.6	84.2	87.0	89.9	92.9	96.0	98.9	101.7	104.6	107.6	109.8	112.1	114.9
43	17.6	27.5	34.3	39.7	44.9	49.6	55.2	60.7	63.6	67.4	68.9	72.8	75.4	77.6	80.4	83.1	85.7	88.3	90.3	92.9	95.5	97.9	100.3
49	20.9	32.3	43.9	52.1	58.8	64.1	67.9	72.2	76.1	79.0	81.9	86.2	89.2	92.3	94.5	97.0	99.9	102.4	105.2	107.9	110.5	112.8	114.9
56	17.9	33.1	41.6	47.0	53.7	58.9	64.1	71.7	75.1	79.1	84.0	88.2	91.3	94.9	97.3	100.5	103.1	105.9	107.9	110.6	112.9	115.3	118.1
Promedio	19.61	33.86	41.43	48.26	54.20	59.31	63.71	67.88	72.10	75.71	79.44	83.52	86.93	90.07	93.06	96.37	99.26	102.3	105.4	107.8	110.3	112.5	114.5
Desvest	1.400	1.664	1.965	2.285	2.641	2.817	2.764	2.83	2.928	2.918	3.248	3.308	11.47	3.807	3.907	4.069	4.232	4.446	4.753	4.916	5.02	5.025	5.05
n	887	887	887	885	875	853	789	723	631	523	444	381	326	281	246	206	191	175	156	138	127	112	97

Continúa en la página siguiente...



Tabla 14. Continuación...

Edad	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30	L31	L32	L33	L34	L35	L36	L37	L38	L39	L40	L41	L42	L43	L44	L45	L46
24	119.9																						
25	115.8	117.8																					
26	119.7	122.3	125.1																				
27	119.8	122.4	125.2	127.8																			
28	120.3	122.3	124.5	126.7	131.1																		
29	116.1	118.3	121.1	123.9	125.8	127.8																	
30	120.2	122.8	125.5	128.1	130.5	133.5	136.6																
31	118.9	121.8	124.5	126.8	129.7	132.0	133.7	136.6															
32	118.1	120.7	123.0	125.6	128.4	130.6	132.9	134.8	136.2														
33	112.3	114.4	116.7	119.1	121.5	124.9	126.6	130.0	132.2	134.4													
34	114.1	116.6	119.0	121.9	124.6	127.1	129.2	132.6	135.3	138.1	140.7												
35	115.5	118.3	121.1	123.8	126.4	128.9	128.6	133.4	136.0	138.2	141.2	143.9											
36	112.0	114.3	116.8	119.0	121.6	124.5	125.1	129.7	132.6	135.1	137.3	139.9	142.2										
38	112.2	114.4	116.6	119.0	121.5	124.4	124.2	129.7	132.2	134.3	137.1	139.3	141.5	144.1	146.5								
39	103.6	105.8	107.8	109.8	112.1	114.4	113.6	119.9	121.9	124.6	127.0	129.1	131.4	133.5	136.1	138.4							
40	117.0	119.5	121.6	124.2	126.5	129.1	129.1	134.4	137.1	139.8	142.1	144.2	145.8	148.3	150.9	153.4	156.2						
43	102.7	105.3	107.1	109.3	111.9	114.4	112.2	118.1	120.3	122.6	124.6	126.4	128.8	130.8	132.7	134.5	137.0	138.8	139.3	140.1			
49	117.9	120.5	123.4	125.5	128.1	131.0	128.7	136.1	138.9	140.9	143.5	145.6	146.7	148.1	149.6	150.9	152.0	153.6	155.5	157.2	158.2	159.3	160.6
56	120.6	123.1	125.6	128.2	130.0	131.8	125.7	136.5	138.5	141.2	143.0	145.3	147.5	149.9	152.5	154.4	156.2	158.0	159.7	161.8	163.5	165.1	167.4
Promedio	117.3	119.2	122.1	124.1	126.3	128.2	129.4	132.1	133.6	135.8	138.7	140.1	141.8	143.9	146.3	148.3	152.3	150.2	151.5	153.1	160.9	162.2	164.0
Desvest	5.23	5.366	5.743	5.904	6.052	5.945	7.059	6.143	6.274	6.506	6.955	7.472	7.535	8.254	8.296	9.223	9.107	10.05	10.77	11.42	3.737	4.153	4.842
n	84	73	60	52	45	39	35	29	24	22	17	12	11	8	8	7	6	3	3	3	2	2	2

Continúa en la página siguiente..



Tabla 14. Continuación...

Edad	L47	L48	L49	L50	L51	L52	L53	L54	L55	L56
49	161.9	163.1	164.8							
56	169.4	172.0	174.6	176.4	178.6	180.7	182.8	184.4	186.8	189.2
Promedio	165.7	167.6	169.7	176.4	178.6	180.7	182.8	184.4	186.8	189.2
Desvest	5.275	6.34	6.978	0	0	0	0	0	0	0
n	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1



Tabla 15. Parámetros preliminares de la ecuación de von Bertalanffy obtenidos del ajuste de las longitudes retrocalculadas individuales, sin separación por sexo y estadísticos de interés.

Parámetros	Valor	Error Std	valor t	Limites de confianza (95%)		P> t
L_{∞}	156.472	0.8141	192.195	154.876	158.068	0
k	0.0538	0.0005	94.136	0.0527	0.0549	0
t_0	-2.3506	0.0355	-66.209	-2.4202	-2.2810	0

Coef. Det. (r^2)	GL Adj (r^2)	Error Std ajuste	Valor F
0.944171104	0.94415641	6.70577494	96389.2102

Matriz de covarianza

	L_{∞}	k	t_0
L_{∞}	0.662814	-0.000448868	-0.0202206
k	-0.000448868	3.27E-07	1.71E-05
t_0	-0.0202206	1.71E-05	0.00126045



Tabla 16. Valor promedio, error estándar y correlación de los parámetros de crecimiento en longitud disponibles para ambos sexos del Bacalao de Profundidad.

	Promedio	Std. Error	Correlación
$\ln(L_{\infty})$	5,223	0,035	1,000
K	0,073	0,006	-0,444
t_0	-0,471	0,099	0,213

Tabla 17. Estimaciones de mortalidad natural obtenidas por métodos empíricos.

Crecimiento	Pauly (1980)	R. & Efanov	Hoening	Alv. & Carney
Otolitos	0,13	0,06	0,13	0,16
Escamas	0,09	0,01	0,08	0,10

Tabla 18. Resumen estadístico de 3000 valores alternativos e igualmente probables de mortalidad natural estimada con a) sólo error en los parámetros de entrada, y b) considerando el error en los parámetros de entrada y error de predicción simultáneamente.

	Modelos Empíricos			
	Pauly	R&Evanof	Hoening	Alv&Carney
a) Sólo error en los parámetros de entrada:				
Promedio	0,10	0,14	0,11	0,13
DS	0,01	0,04	0,00	0,01
CV (%)	15,38	25,88	3,77	3,74
Mediana	0,10	0,14	0,11	0,13
Linf 95%	0,07	0,09	0,10	0,13
Lmax 95%	0,12	0,20	0,12	0,14
b) Con error en los parámetros de entrada y error de predicción:				
Promedio	0,11	0,14	0,12	0,15
DS	0,05	0,07	0,05	0,10
CV (%)	48,92	48,22	38,90	62,66
Mediana	0,10	0,14	0,11	0,13
Linf95%	0,04	0,04	0,06	0,04
Lmax95%	0,24	0,29	0,23	0,37



Tabla 19. Estimación de la mortalidad natural del Bacalao de Profundidad con el método de Chen & Watanabe.

Loo	177.8	218.2	210.8	212.6	204.3	207.0	152.2	156.5		
K	0.109	0.048	0.064	0.066	0.056	0.075	0.085	0.054		
to	0.000	-0.664	-0.432	-0.477	-0.545	-0.290	-0.590	-2.351		
tM=	94.5	71.5	55.7	52.2	61.6	51.1	34.9	37.2		
a0=	1.000	0.969	0.973	0.969	0.970	0.979	0.951	0.881		
a1=	3.58E-06	1.51E-03	1.75E-03	2.05E-03	1.70E-03	1.60E-03	4.16E-03	6.39E-03		
a2=	-1.96E-07	-3.61E-05	-5.61E-05	-6.75E-05	-4.79E-05	-6.00E-05	-1.77E-04	-1.72E-04		
Clases de Edad	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M promedio
0.5	2.05	0.88	1.11	1.06	0.99	1.30	0.96	0.38		1.09
1.5	0.72	0.49	0.55	0.54	0.52	0.60	0.52	0.29		0.53
2.5	0.46	0.34	0.37	0.37	0.36	0.40	0.37	0.23		0.36
3.5	0.34	0.26	0.29	0.29	0.28	0.30	0.29	0.20		0.28
4.5	0.28	0.22	0.24	0.24	0.23	0.25	0.24	0.17		0.23
5.5	0.24	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.16		0.20
6.5	0.21	0.16	0.18	0.18	0.17	0.19	0.19	0.14		0.18
7.5	0.20	0.15	0.16	0.16	0.15	0.17	0.17	0.13		0.16
8.5	0.18	0.13	0.15	0.15	0.14	0.16	0.16	0.12		0.15
9.5	0.17	0.12	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15	0.11		0.14
10.5	0.16	0.12	0.13	0.13	0.12	0.14	0.14	0.11		0.13
11.5	0.15	0.11	0.12	0.12	0.11	0.13	0.13	0.10		0.12
12.5	0.15	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.10		0.12
13.5	0.14	0.10	0.11	0.11	0.10	0.12	0.12	0.09		0.11
14.5	0.14	0.09	0.10	0.11	0.10	0.11	0.12	0.09		0.11
15.5	0.13	0.09	0.10	0.10	0.09	0.11	0.11	0.09		0.10
16.5	0.13	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.11	0.08		0.10
17.5	0.13	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.11	0.08		0.10
18.5	0.13	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.08		0.09
19.5	0.12	0.08	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08		0.09
20.5	0.12	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.08		0.09
21.5	0.12	0.07	0.08	0.09	0.08	0.09	0.10	0.07		0.09
22.5	0.12	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.07		0.09
23.5	0.12	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.07		0.09
24.5	0.12	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.10	0.07		0.08
25.5	0.12	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.10	0.07		0.08
26.5	0.12	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.09	0.07		0.08
27.5	0.11	0.06	0.08	0.08	0.07	0.09	0.09	0.07		0.08
28.5	0.11	0.06	0.08	0.08	0.07	0.08	0.09	0.07		0.08
29.5	0.11	0.06	0.08	0.08	0.07	0.08	0.09	0.07		0.08
30.5	0.11	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.06		0.08
31.5	0.11	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.06		0.08
32.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.06		0.08
33.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.06		0.08
34.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.06		0.08
35.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.08
36.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.08
37.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.08
38.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.08
39.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
40.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
41.5	0.11	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
42.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
43.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
44.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
45.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
46.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
47.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
48.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07
49.5	0.11	0.05	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.06		0.07



Tabla 20. Loci obtenidos para los sistemas analizados, grado de polimorfismo y buffer utilizado.

LOCUS	CODIGO	N° LOCI	POLIMORFISMO	BUFFER
SDH	1.1.1.14	1	no	T.C. 8.0
LDH	1.1.1.27	1	no	T.C. 8.0
MDH	1.1.1.37	2	si	T.C. 8.0
IDH	1.1.1.42	1	si	T.C. 8.0
PGM	2.7.5.1	1	si	T.C. 8.0
EST	3.1.1.1	1	no	Litio
AP	3.4.1.1	1	si	Litio
GLIO	4.4.1.5	1	no	Poulik
PGI	5.3.1.9	2	si	T.C. 7.0
PT	---	2	no	Litio

Tabla 21. Se presentan los distintos loci polimórficos y las frecuencias encontradas para cada una de las localidades.

LOCUS	ALELOS	LEBU Frecuencia	VALDIVIA Frecuencia	QUELLÓN Frecuencia	PTO. WILLIAMS Frecuencia
MDH-1	110	--		0.02	
	100	0.98	1	0.95	1
	90	0.02		0.03	
IDH-1	100	1	0.98	1	1
	95		0.02		
PGM-1	105	0.07	0.06	0.05	0.08
	100	0.93	0.94	0.95	0.92
AP-1	100	0.83	0.84	0.81	0.87
	95	0.17	0.16	0.19	0.13
PGI-1	110	0.05	0.05	0.07	--
	100	0.85	0.88	0.85	0.96
	90	0.10	0.07	0.08	0.04
PGI-2	110	0.04	0.07	0.07	0.04
	100	0.90	0.90	0.90	0.96
	90	0.06	0.03	0.03	--

Tabla 22. Heterocigosidad observada para cada una de las localidades y promedio por sistema.

Localidad	n	MDH-1	PGM-1	AP-1	PGI-1	PGI-2	IDH-1
Lebu	43	0,05	0,14	0,32	0,26	0,19	0
Valdivia	31	0	0,13	0,32	0,23	0,19	0,03
Quellón	37	0,07	0,11	0,38	0,24	0,19	0
Pto. Williams	12	0	0,13	0,32	0,23	--	0,03
\bar{X}_{Hobs}		0,03	0,13	0,33	0,24	0,19	0,02



Tabla 23. Parámetros de la función logística de madurez sexual (β_0 y β_1) y talla mediana de madurez ($l_{50\%}$), estimados para hembras de bacalao mediante ajuste por máxima verosimilitud con estimación de intervalos de confianza para $l_{50\%}$ con técnicas de remuestreo.

Información	β_0	Error estándar	β_1	Error estándar	$l_{50\%}$	límite inferior	límite superior	n
Macroscópica ¹	12,150	3,534	-0,104	0,031	116	110	126	117
Microscópica	13,582	3,393	-0,120	0,030	113	107	120	50
Macroscópica ²	12,521	3,594	-0,107	0,032	117	110	126	117

1 = observación macroscópica sin corrección.

2 = observación macroscópica con corrección.

Tabla 24. Parámetros de la función logística de madurez sexual (β_0 y β_1) y talla mediana de madurez ($l_{50\%}$), estimados para machos de bacalao mediante ajuste por máxima verosimilitud con estimación de intervalos de confianza para $l_{50\%}$ con técnicas de remuestreo.

Información	β_0	Error estándar	β_1	Error estándar	$l_{50\%}$	límite inferior	límite superior	n
Macroscópica	9,621	3,128	-0,111	0,034	87	78	94	88



10. ANEXO 2: FIGURAS



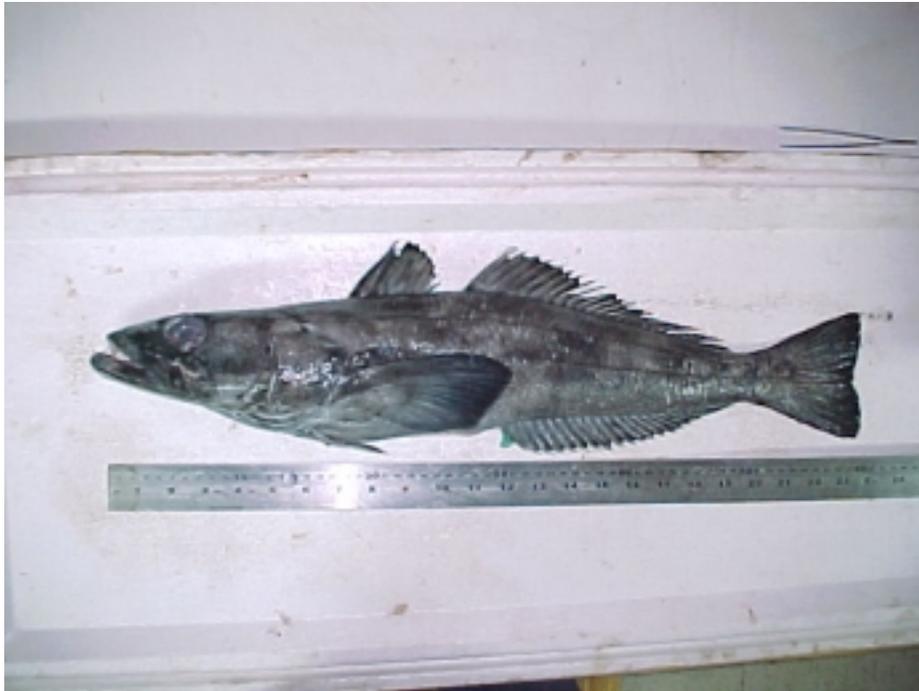


Figura 1. Fotografía de un ejemplar de *Dissostichus eleginoides* en vista lateral.



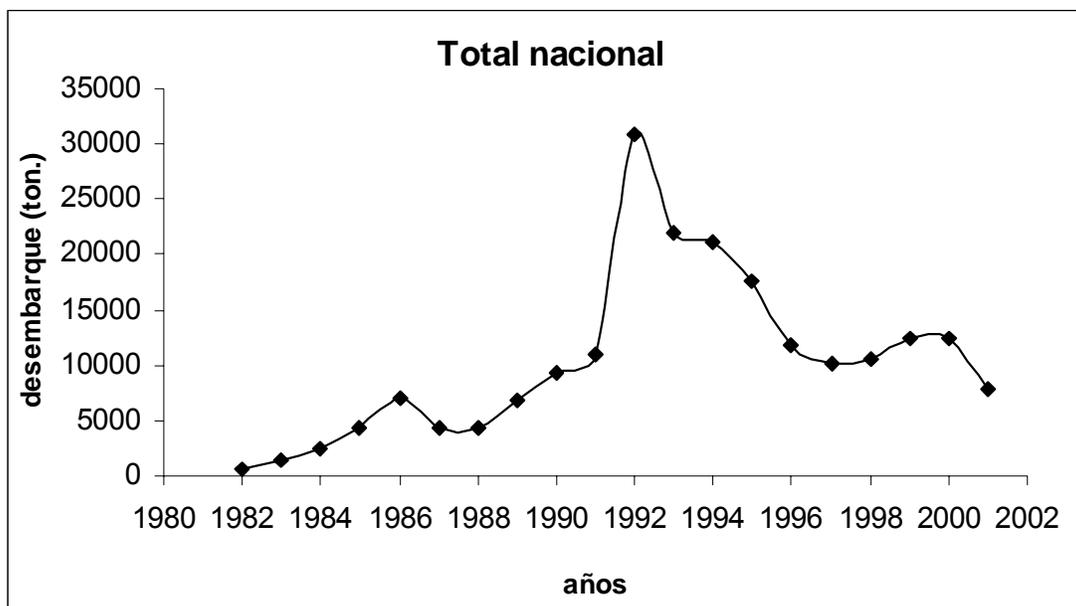
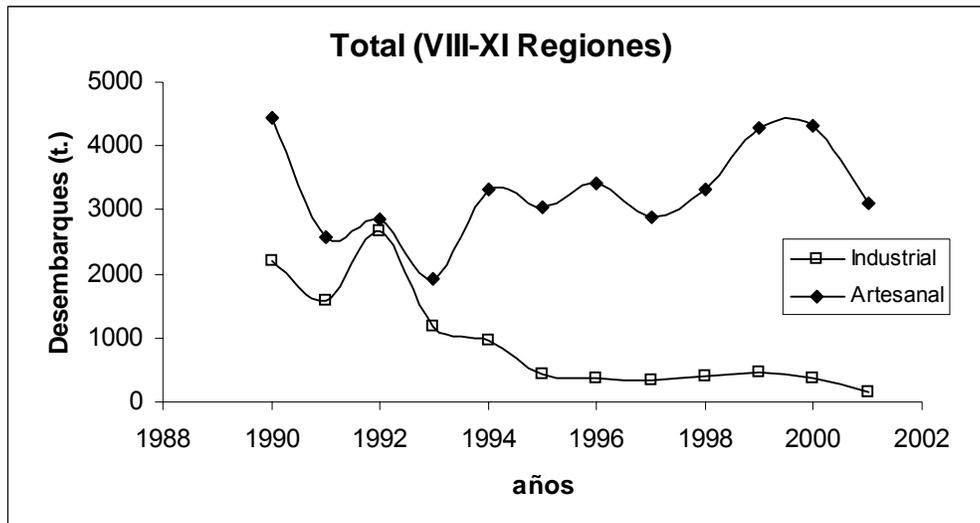


Figura 2. Desembarque total nacional de bacalao de profundidad entre los años 1981 y 2001 (Fuente: Anuarios Estadísticos de Pesca).



a)



b)

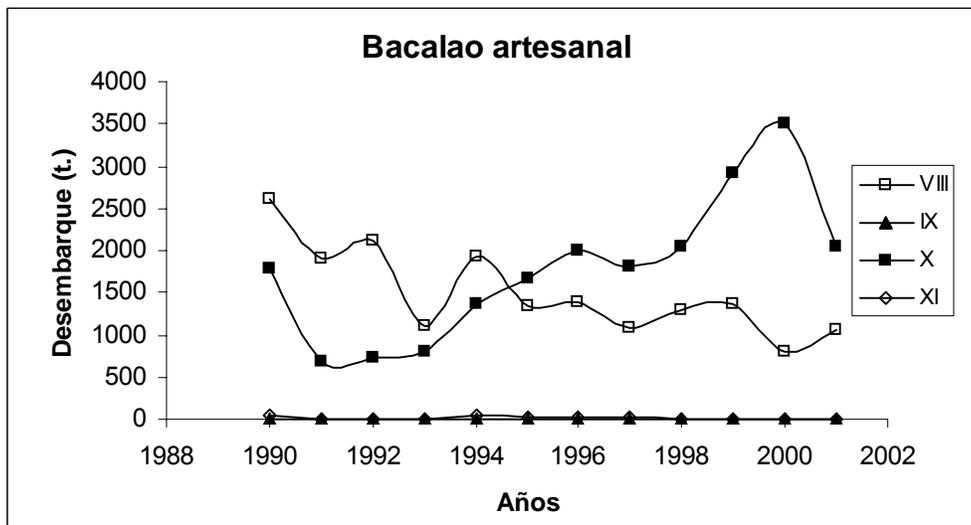


Figura 3. Desembarque de bacalao de profundidad durante el periodo 1990-2001 para: a) pesquería artesanal e industrial entre la VIII y XI Regiones, y b) pesquería artesanal por Región entre la VIII y XI Regiones (Fuente: Anuarios Estadísticos de Pesca).



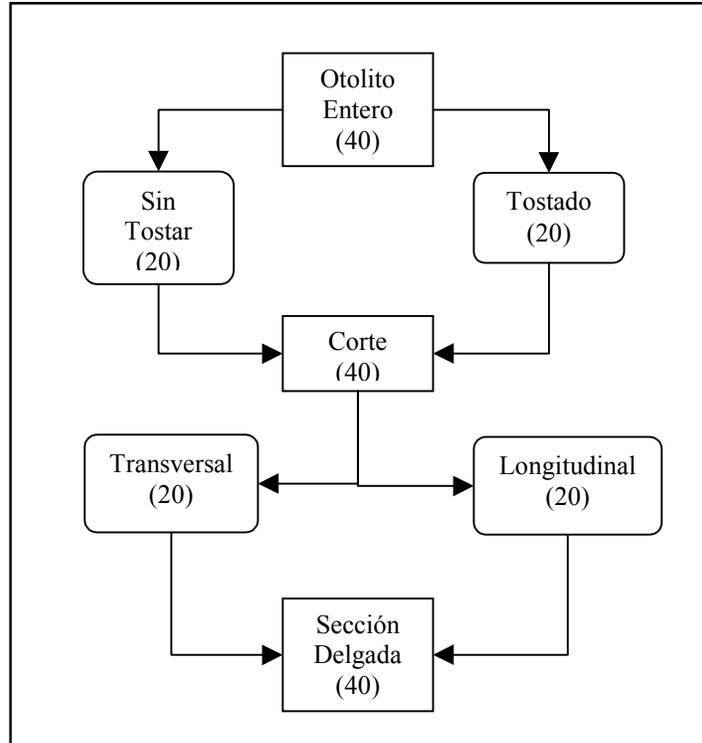


Figura 4. Diagrama para mostrar los distintos tratamientos y etapas en la elección de la mejor técnica para observar los otolitos de bacalao. Entre paréntesis número de otolitos.

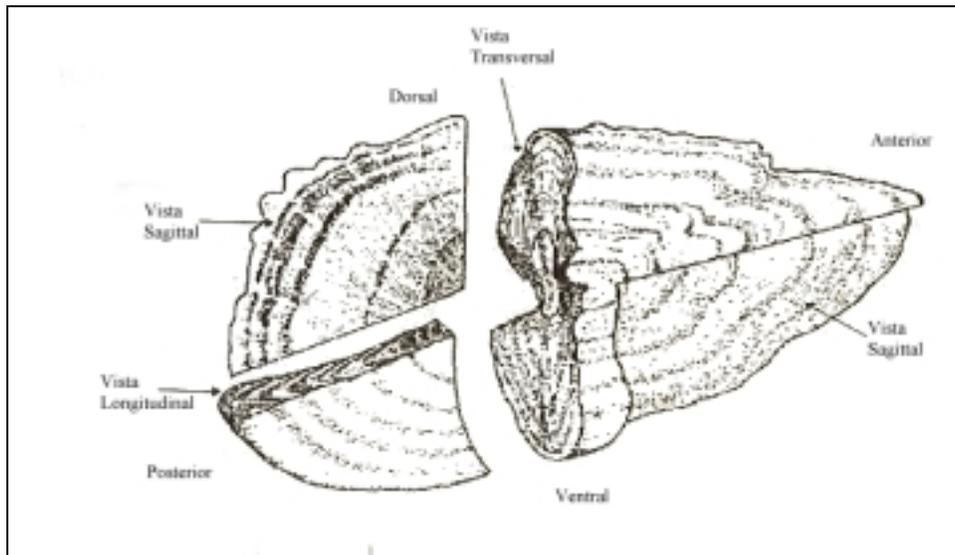


Figura 5. Esquema de un otolito para mostrar las vistas que este presenta, en el presente estudio se utilizaron la vista transversal y longitudinal (modificado de Panella, 1980).





Figura 6. Cortadora marca Buehler modelo Isomet, permite obtener corte de los otolitos y secciones delgadas.

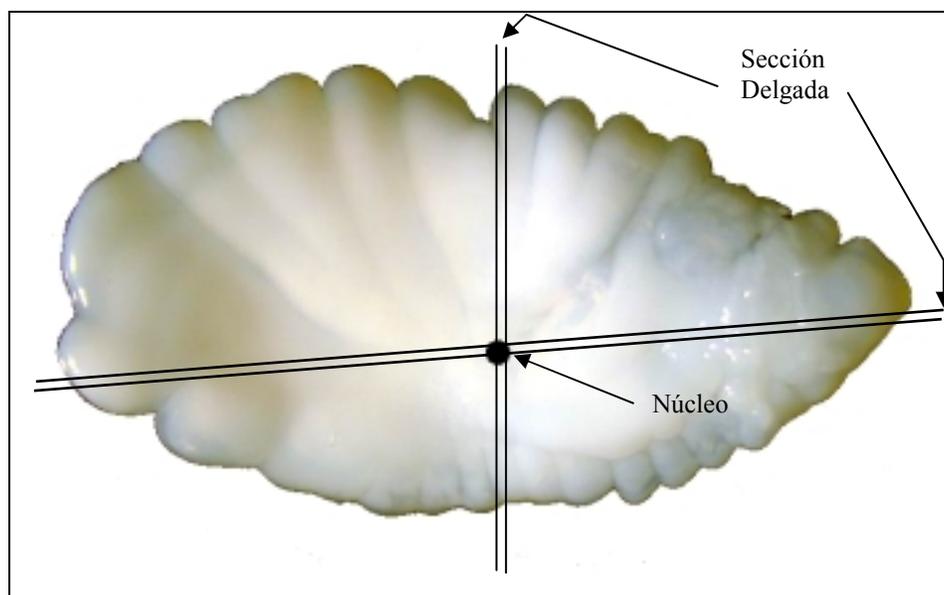


Figura 7. Otolito de bacalao, por su cara interna, para explicar los tipos de secciones delgadas que se obtuvieron.



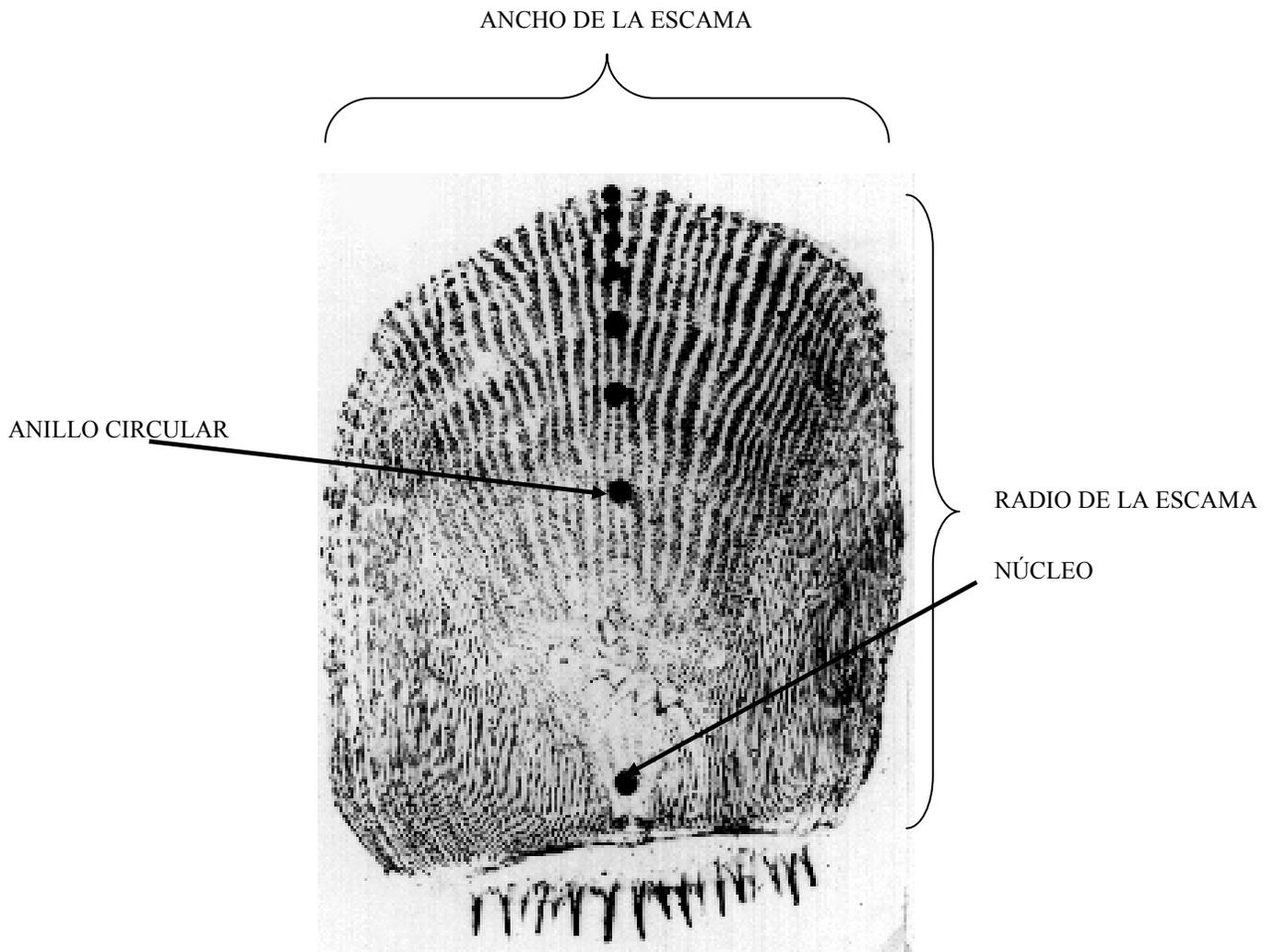


Figura 8. Esquema de las mediciones del radio y el ancho de la escama, aplicados en el bacalao.





Figura 9. Analizador Multicanal utilizado en el conteo de ^{210}Pb .





Figura 10. Espectrómetro Alpha utilizado para la cuantificación de ^{210}Pb .

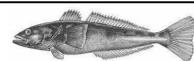




Figura 11. Estación de transferencia ^{222}Rn a celdas de conteo.



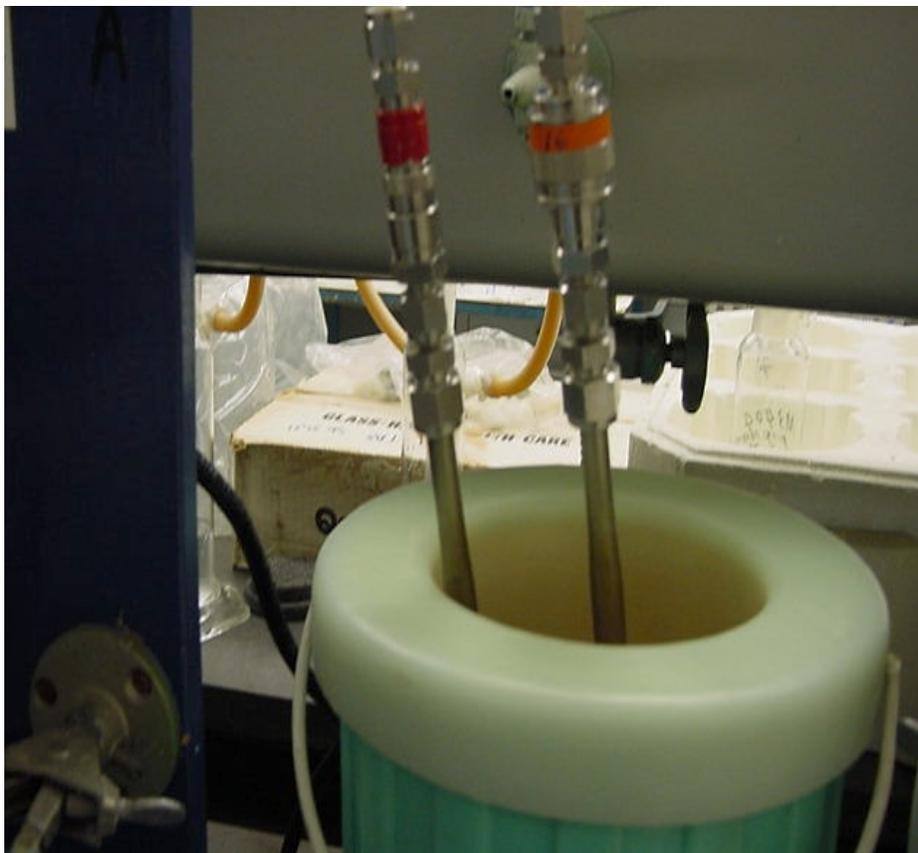
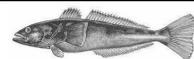


Figura 12. Trampas de carbono activado para retener ^{222}Rn en frío.



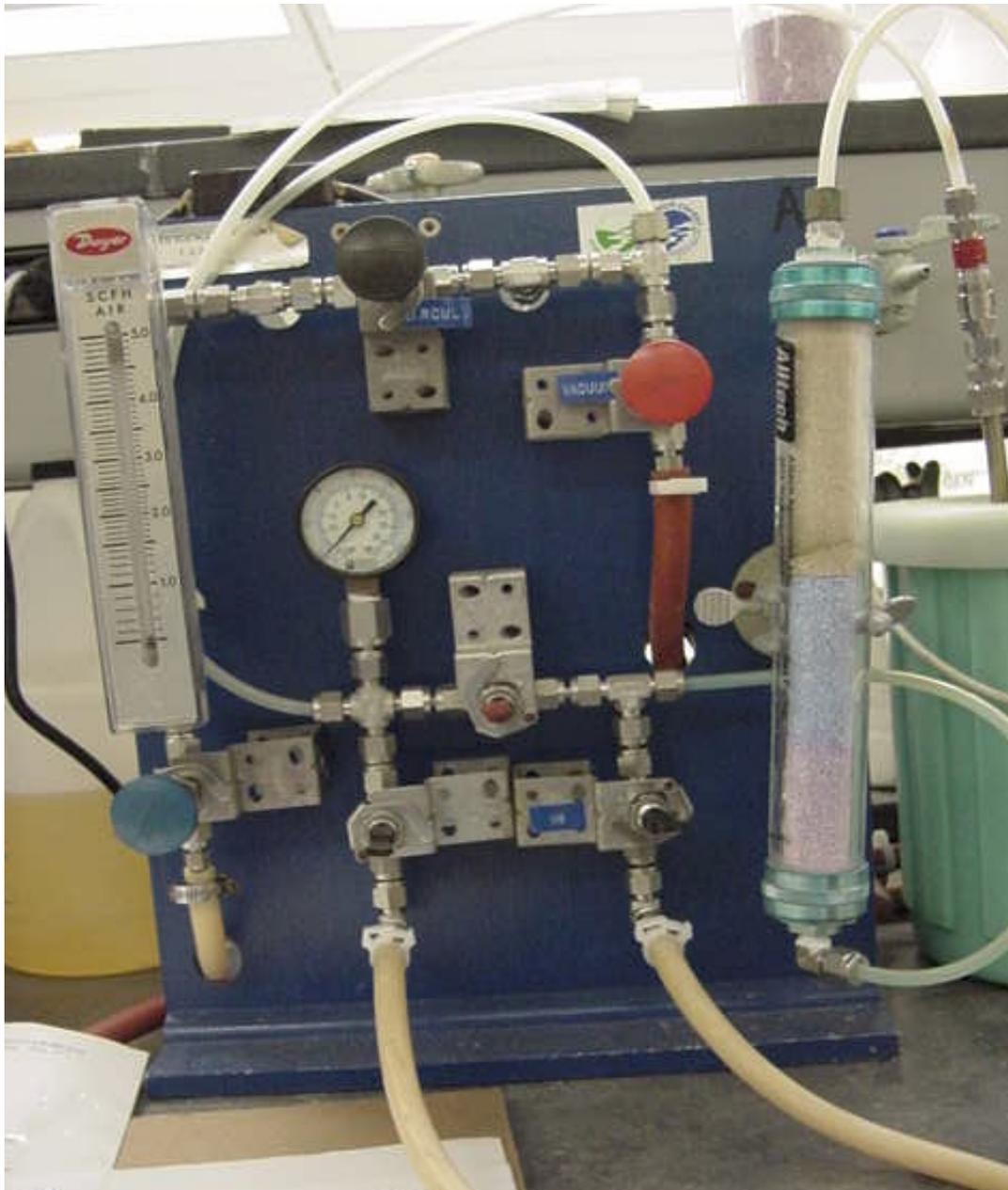


Figura 13. Línea de extracción de ^{222}Rn , con columnas de remoción de CO_2 y vapor de agua.



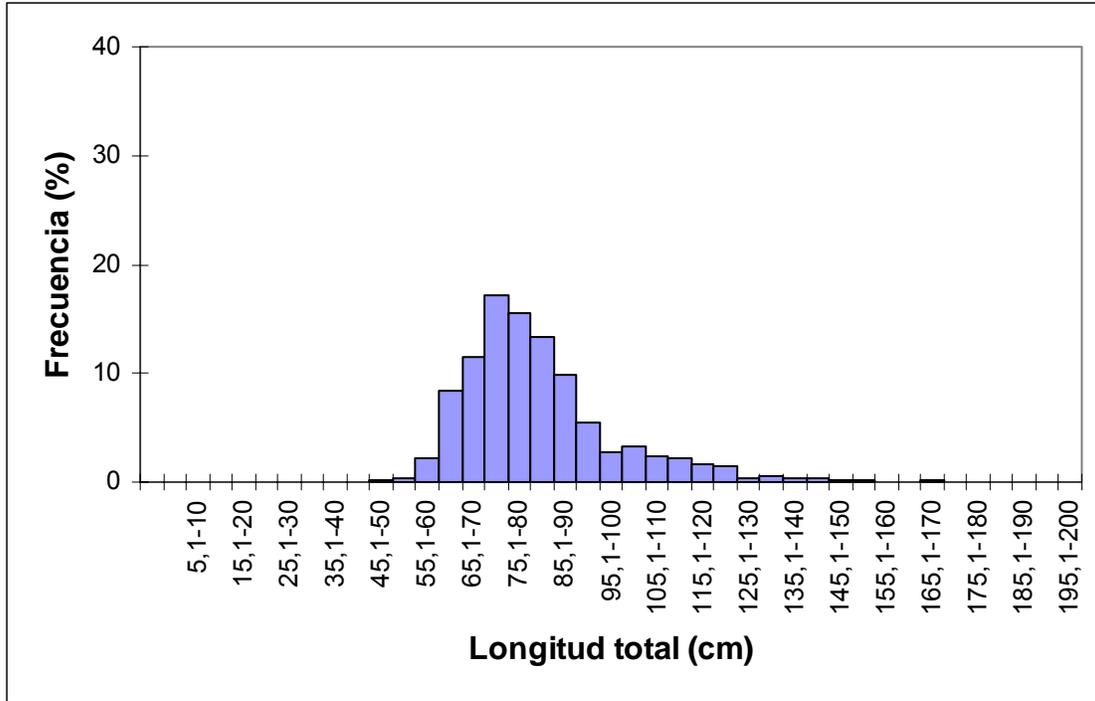


Figura 14. Distribución de frecuencia de tamaños para el total de bacalao de profundidad (n=1.466).

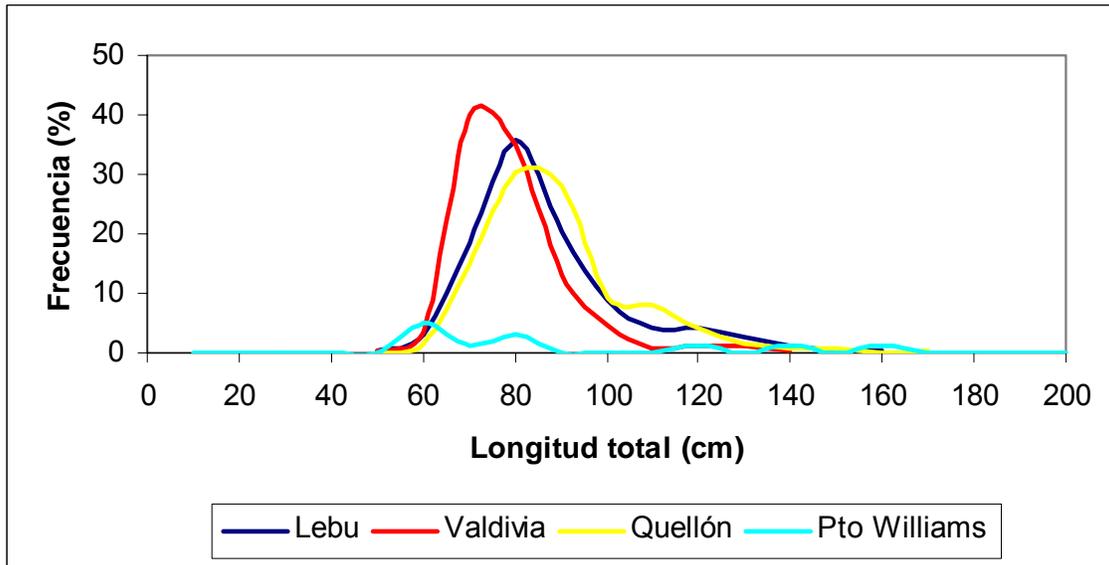


Figura 15. Distribución de frecuencia de tamaños de bacalao de profundidad en Lebu (n=410), Valdivia (n=248), Quellón (n=796) y Puerto Williams (n=12).



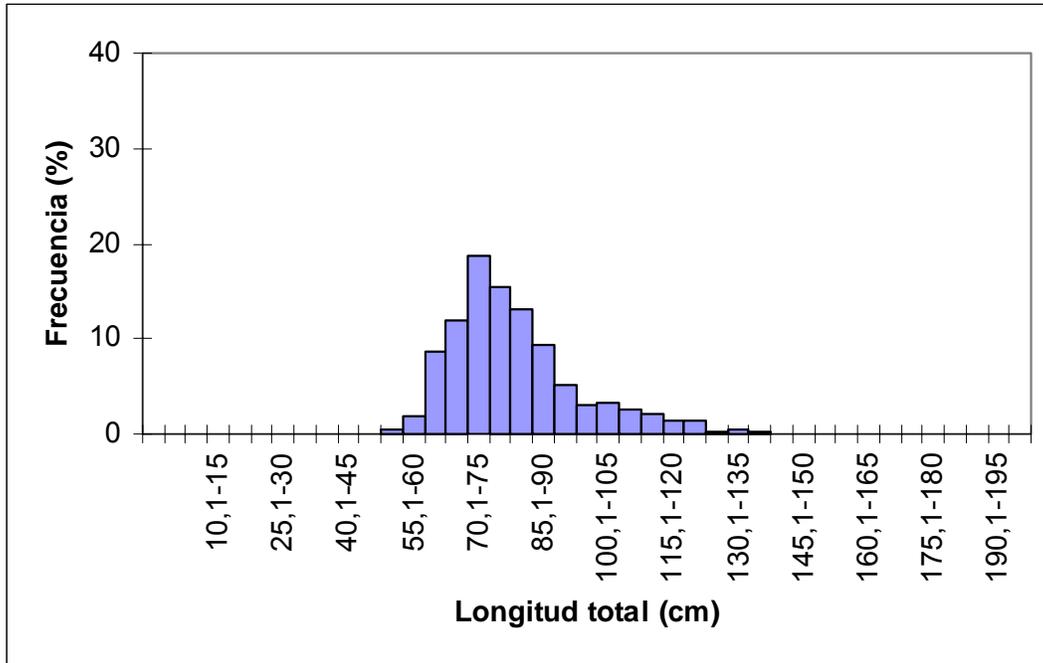


Figura 16. Distribución de frecuencia de tamaños para bacalao de profundidad provenientes del muestreo biológico en las tres localidades (n=956).

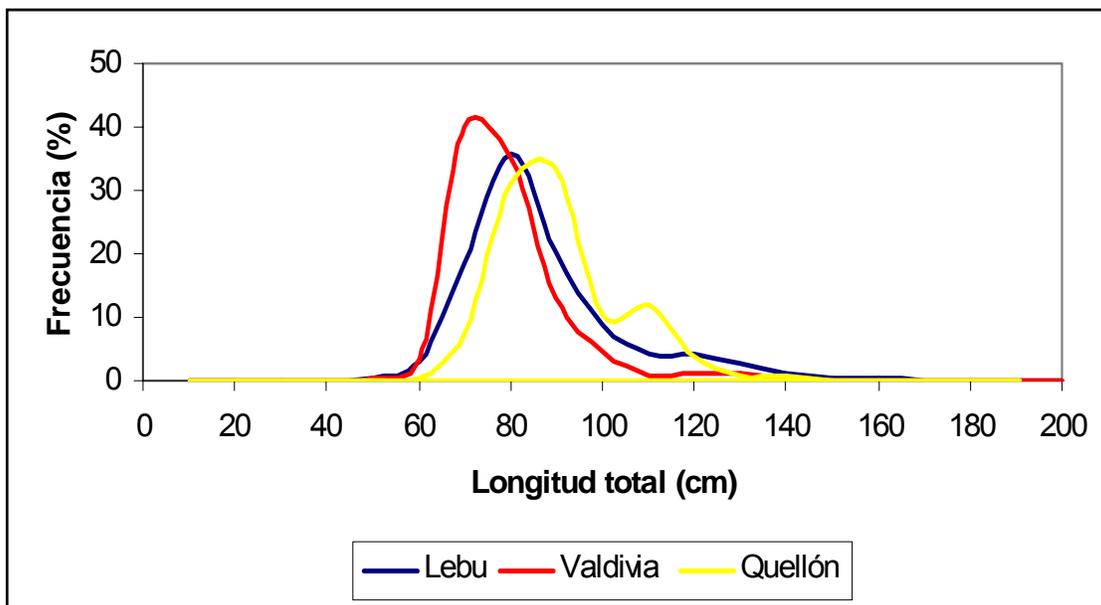


Figura 17. Distribución de frecuencia de tamaños de bacalao de profundidad del muestreo biológico en Lebu (n=410), Valdivia (n=248) y Quellón (n=298).



a)



b)

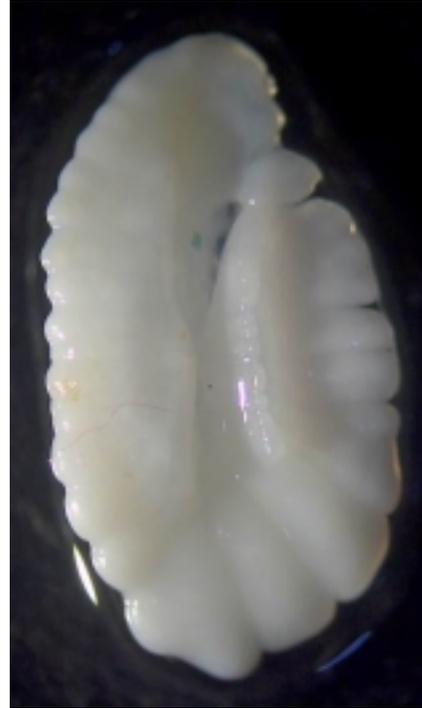


Figura 18. Fotografía de otolito de bacalao. (a) cara interna, (b) cara externa (Escala 1:7,3 mm).

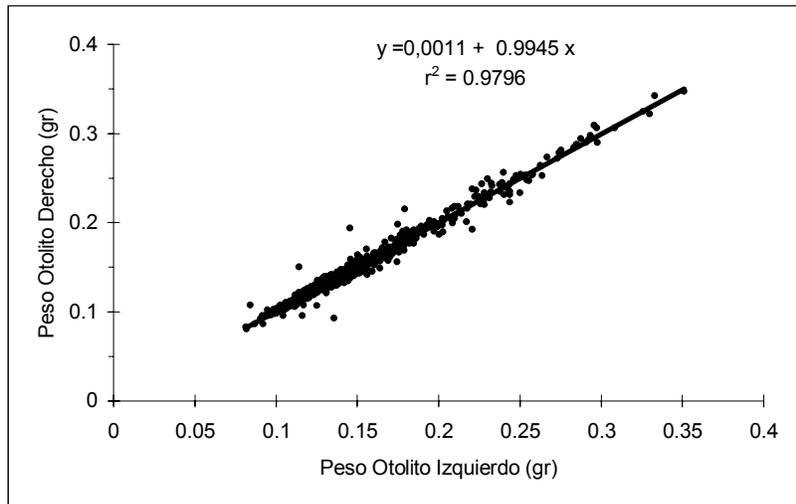
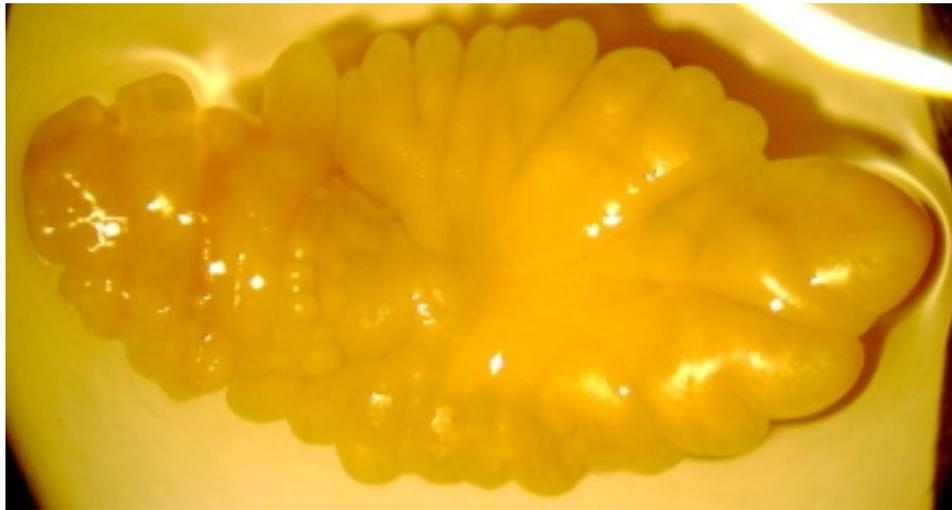


Figura 19. Relación entre el otolito izquierdo y derecho, la pendiente no es distinto de 1 y el intercepto es igual a cero.



a)



b)



Figura 20. Fotografía de otolito de bacalao sometido a tostado en un horno a 250 °C por 10 minutos. a) luz reflejada; b) luz transmitida (Escala 1:9,8 mm).



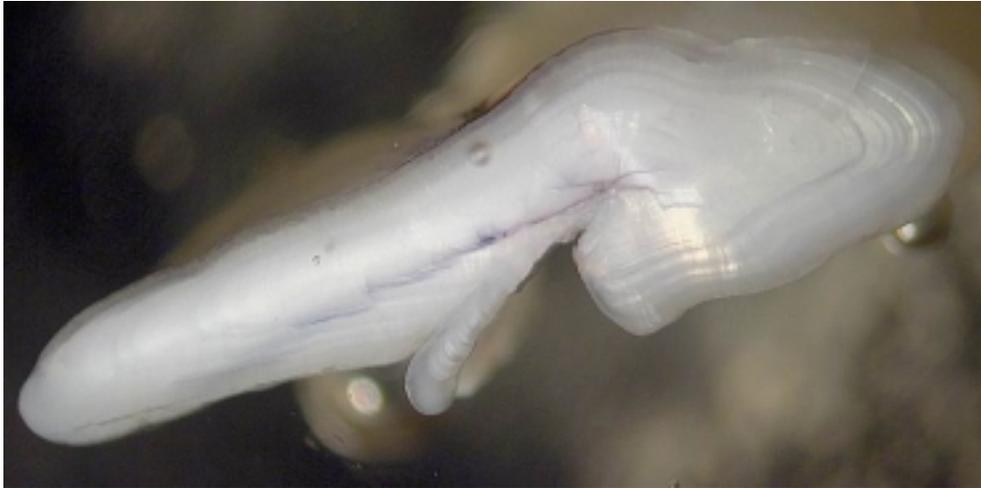


Figura 21. Corte transversal de un otolito de bacalao sin tostar (Escala 1:23 mm).



Figura 22. Corte longitudinal de un otolito de bacalao sin tostar (Escala 1:11,7 mm).





Figura 23. Corte longitudinal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:11 mm).

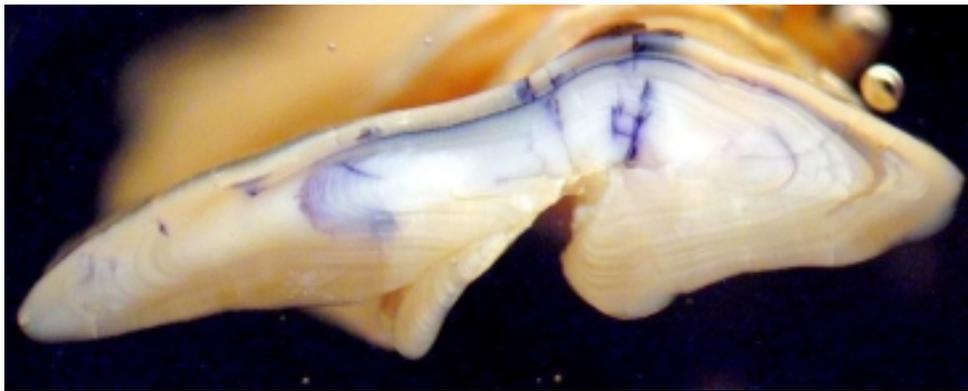


Figura 24. Corte transversal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:23 mm).



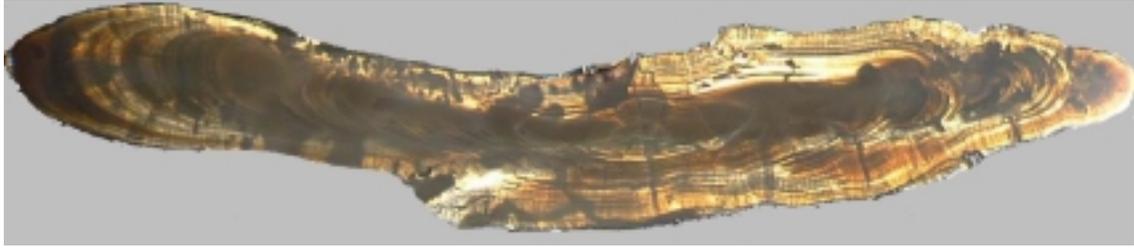


Figura 25. Sección delgada longitudinal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:11 mm).

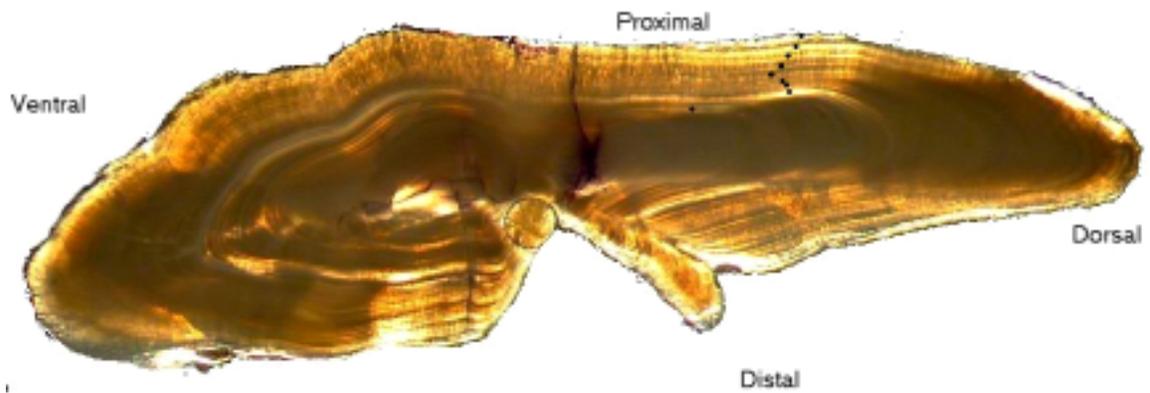


Figura 26. Sección delgada transversal de un otolito de bacalao tostado (Escala 1:23 mm).



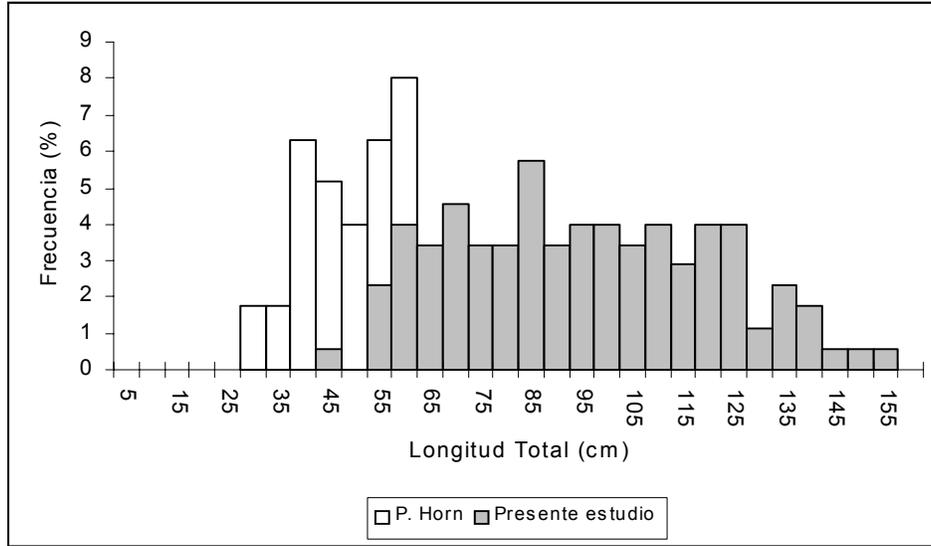


Figura 27. Rango de tallas de los ejemplares utilizados para efectos de la estimación de la edad. La información de los individuos mas pequeños fue aportada por P. Horn.

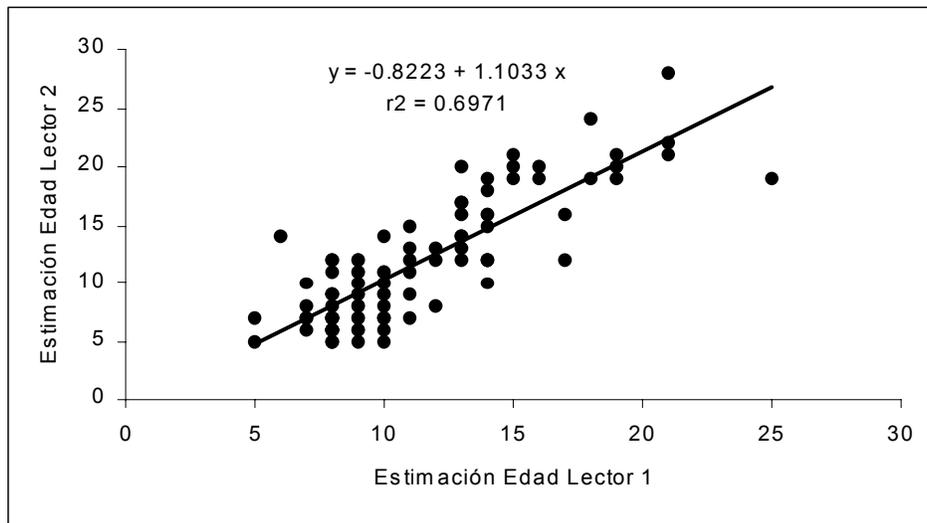


Figura 28. Relación entre la edad estimada por ambos lectores. La pendiente no es estadísticamente distinto de uno ($P > 0,1$).



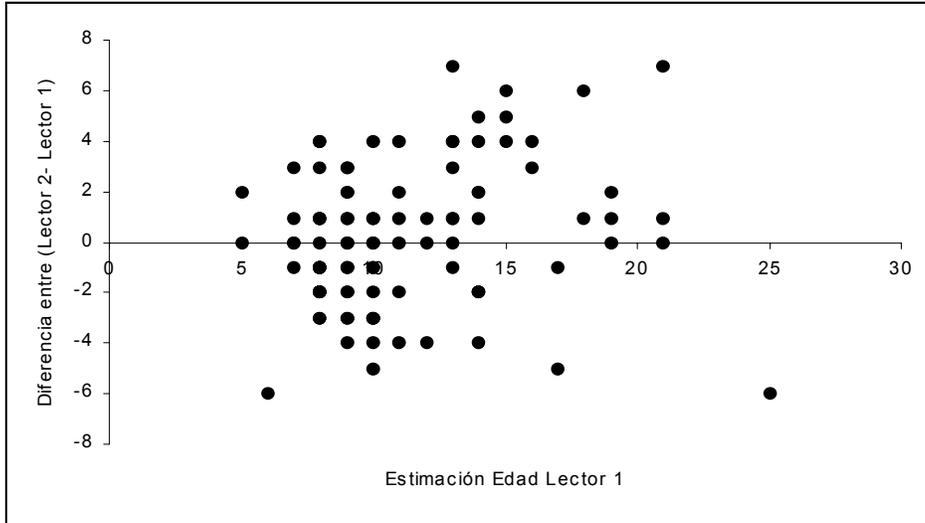


Figura 29. Diferencias (en años) de las estimaciones de edad entre los lectores con respecto a uno de ellos. Cada punto representa una o más observaciones.

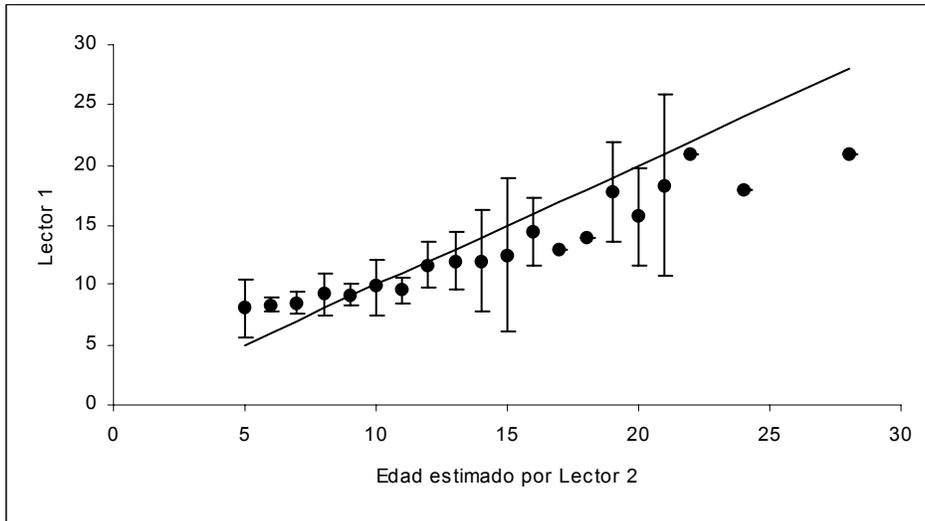


Figura 30. Gráfica de sesgo por edad entre los lectores de otolitos de bacalao. Líneas verticales representan el intervalo de confianza al 95% alrededor de la edad media asignada por el lector del eje de las ordenadas, con respecto a un segundo lector. Línea continua representa 1:1.



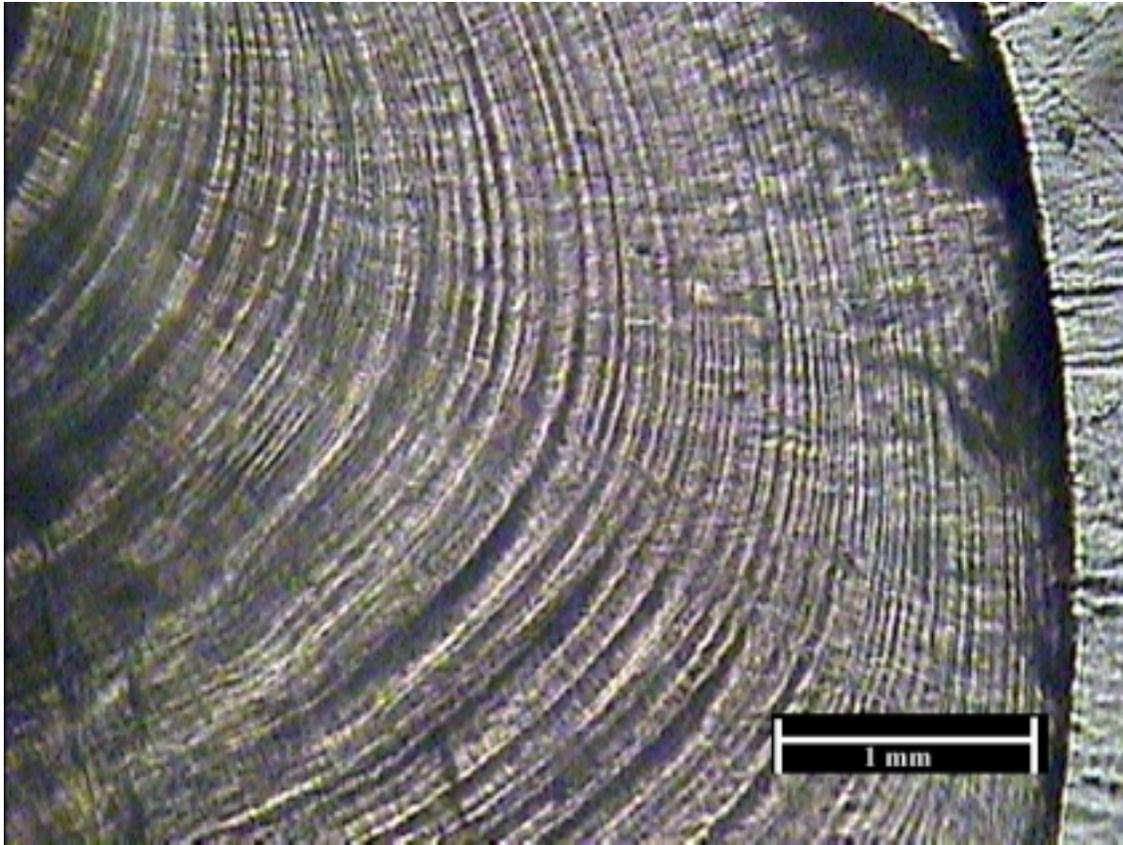


Figura 31. Microincrementos presentes en el otolito de bacalao mostrando su disposición.

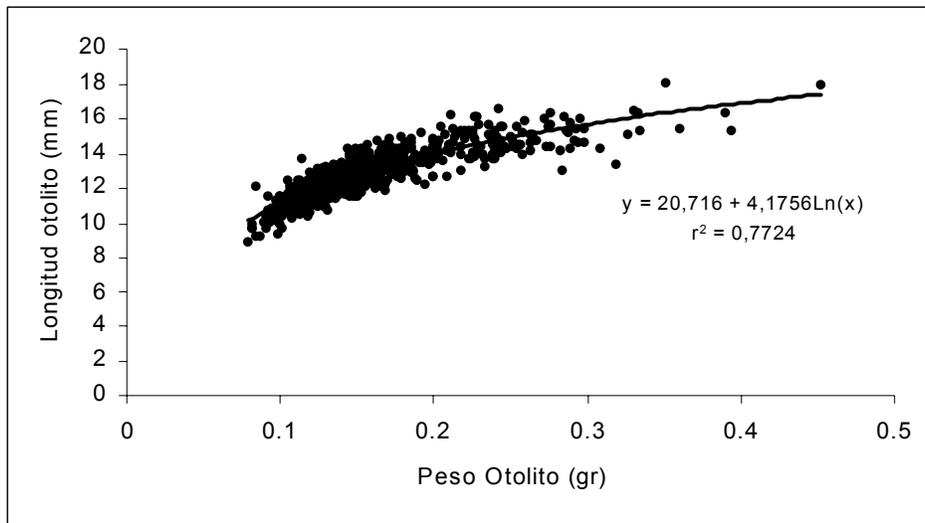


Figura 32. Relación entre la longitud total del otolito y el peso otolito de bacalao.



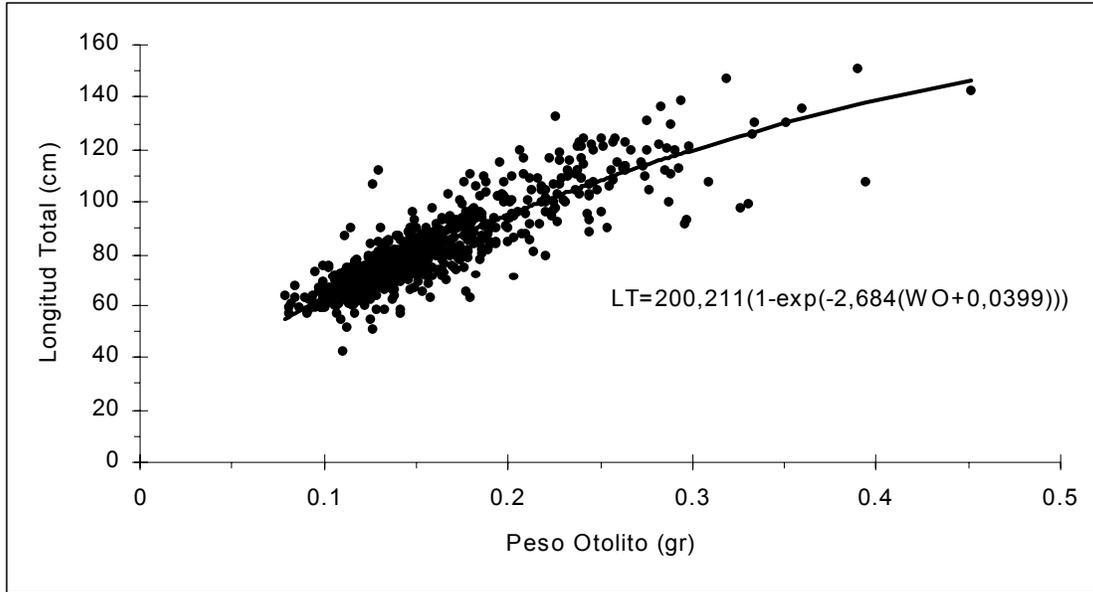


Figura 33. Relación entre el peso del otolito y la longitud total de bacalao.

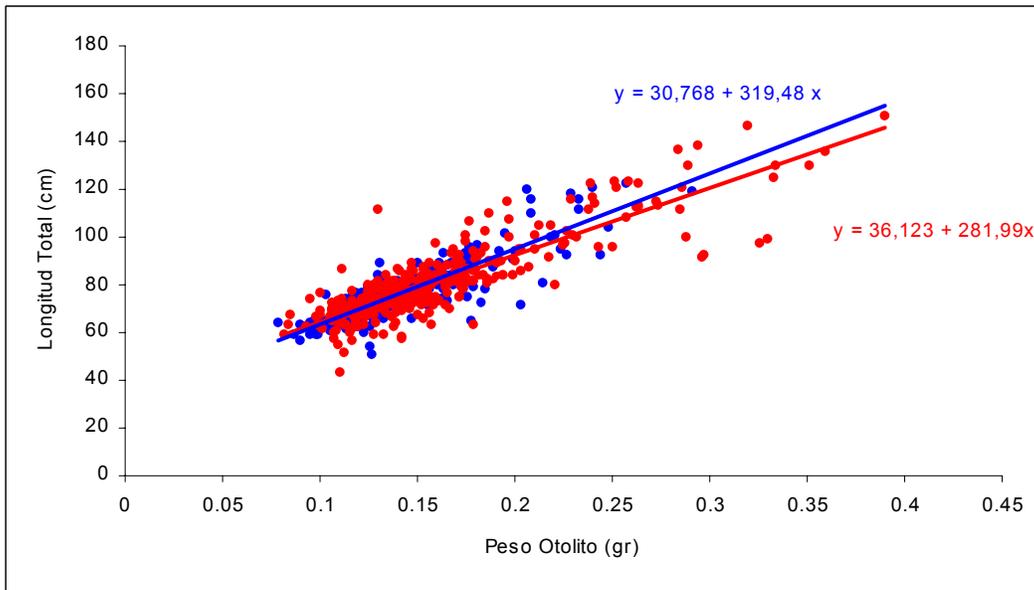


Figura 34. Relación entre el peso del otolito y la longitud total de bacalao, para machos (rojo) y hembras (azul).



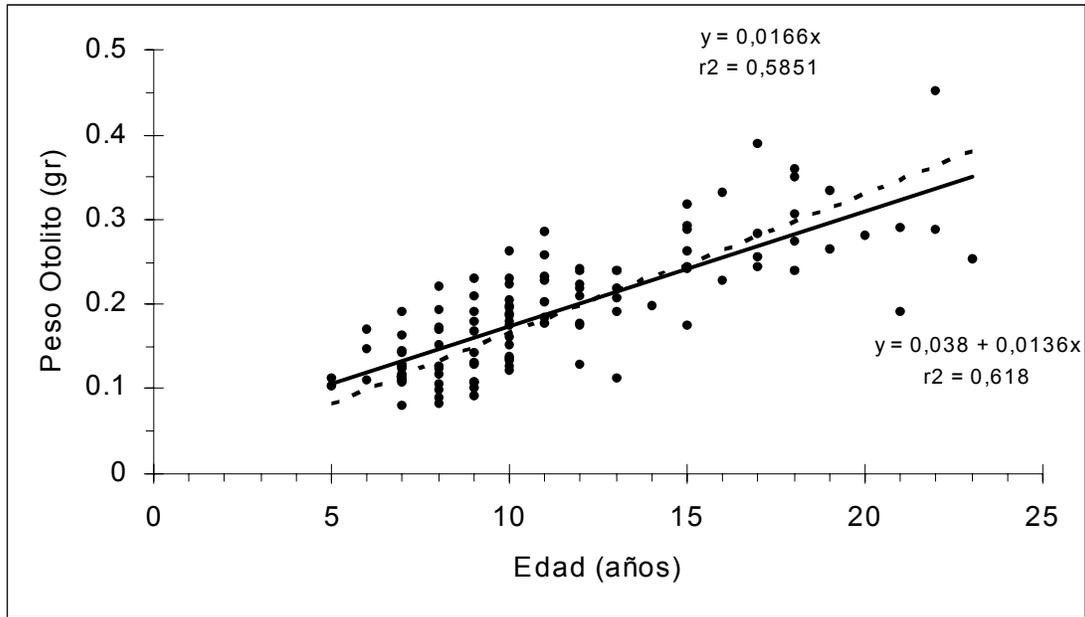


Figura 35. Relación entre la edad estimada y el peso del otolito del bacalao (línea segmentada intercepto igual a 0).

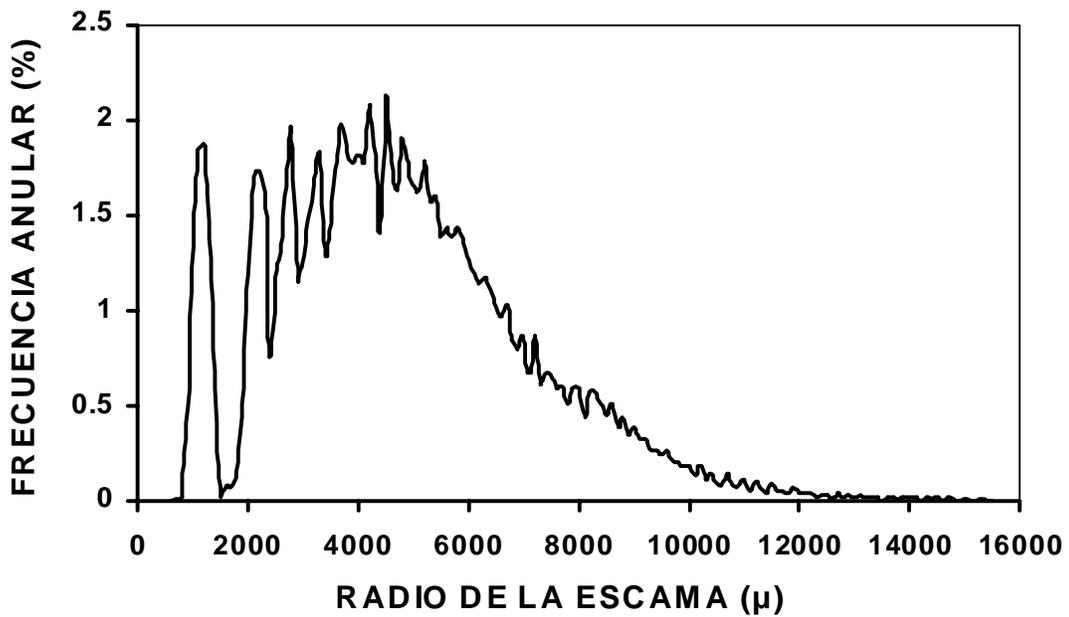
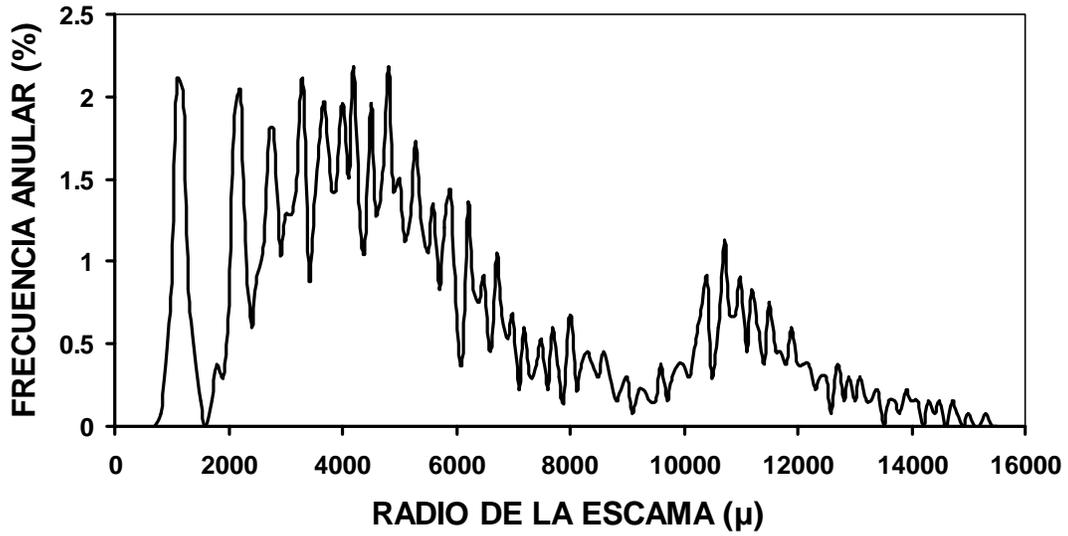


Figura 36. Distribución de los anillos en la estructura anular de las escamas de bacalao.



a)



b)

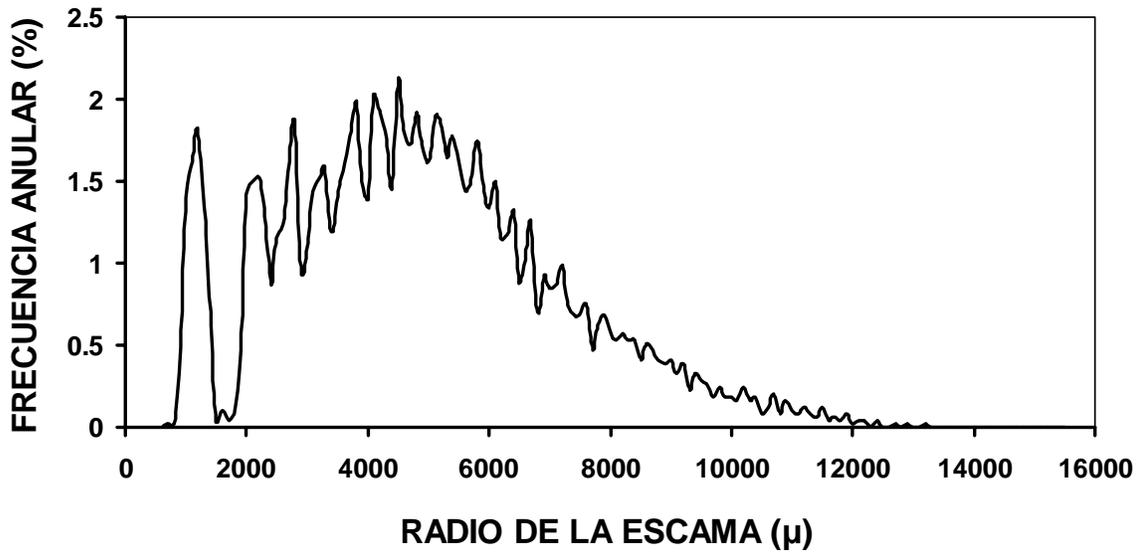


Figura 37. Distribución de los radios de las marcas hialinas observadas en las escamas de a) machos y b) hembras de bacalao.



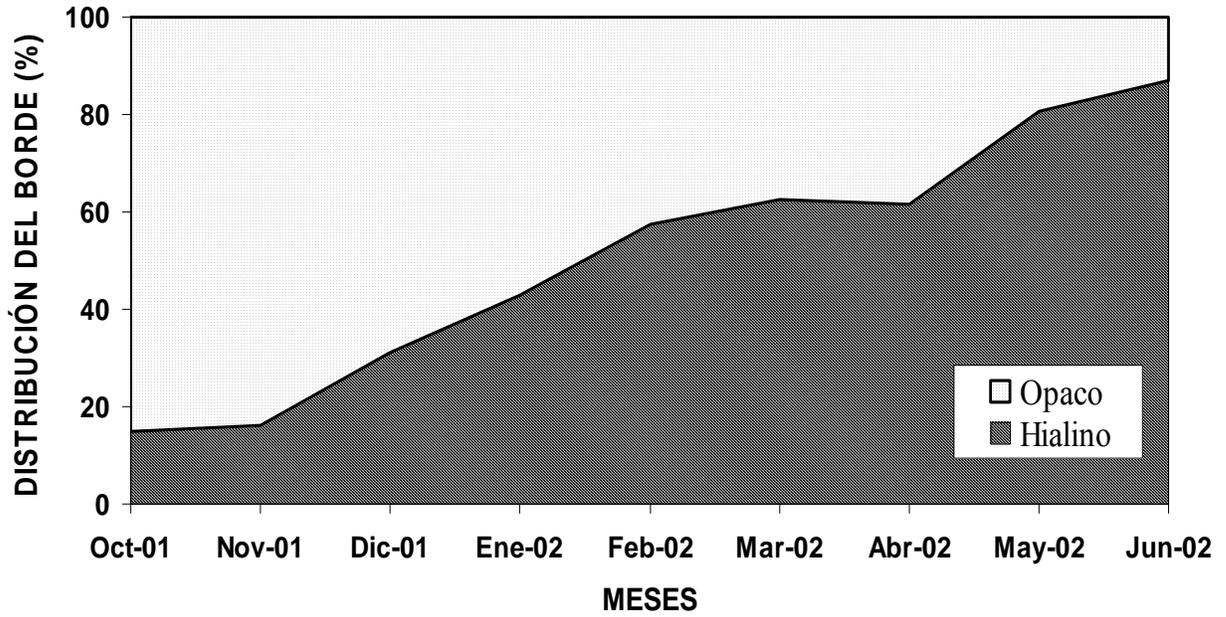


Figura 38. Distribución del material depositado en el borde de la escama de bacalao.

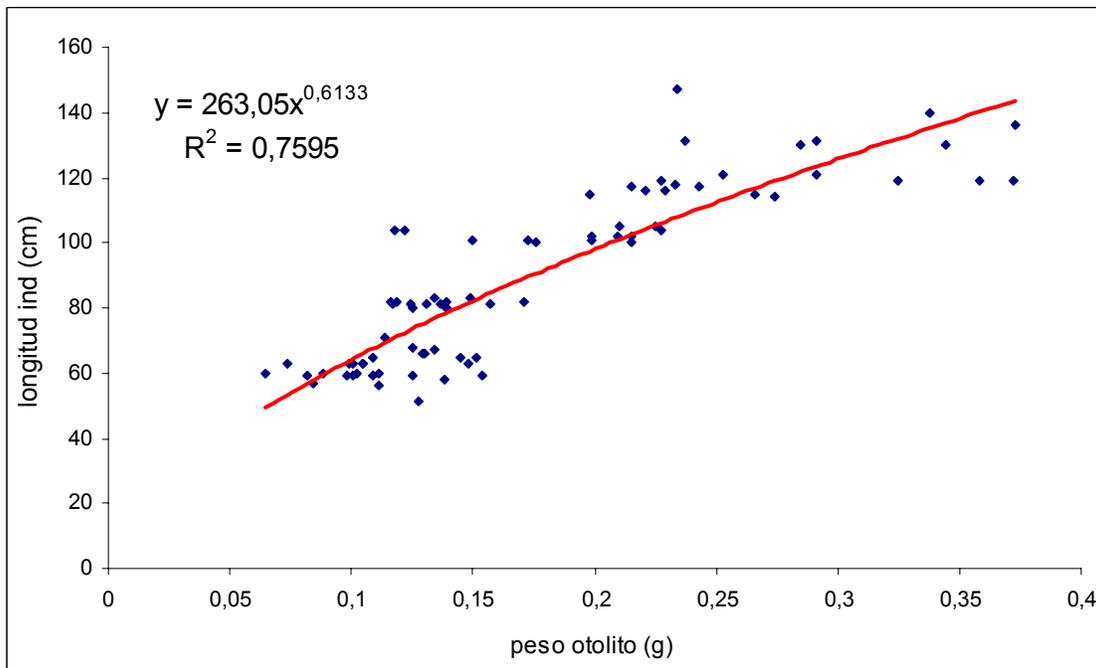


Figura 39. Relación entre el peso de los otolitos y el aumento de la talla.



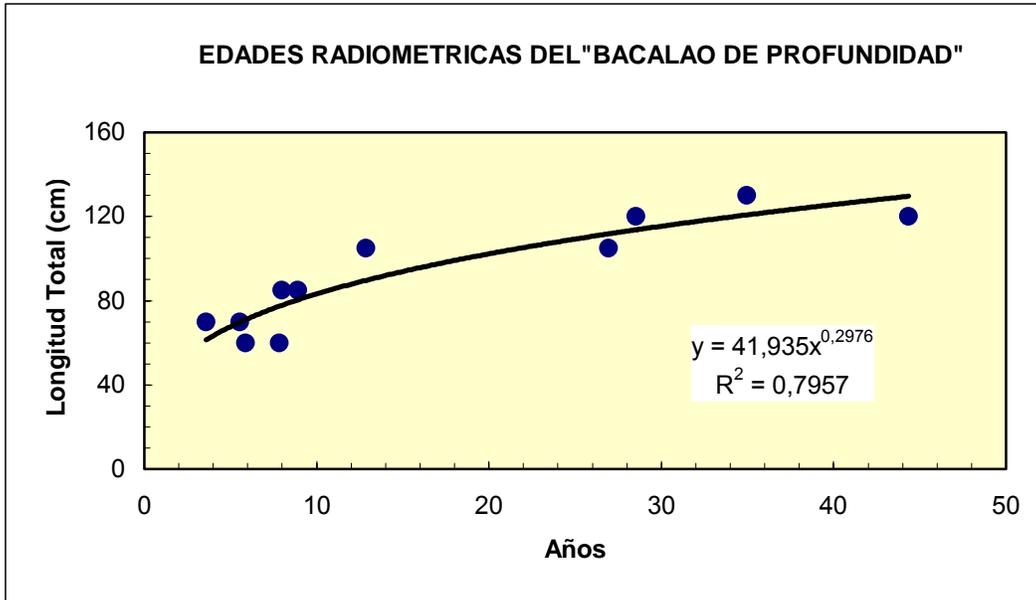


Figura 40. Edades radiométricas de bacalao de profundidad en relación a la longitud total.

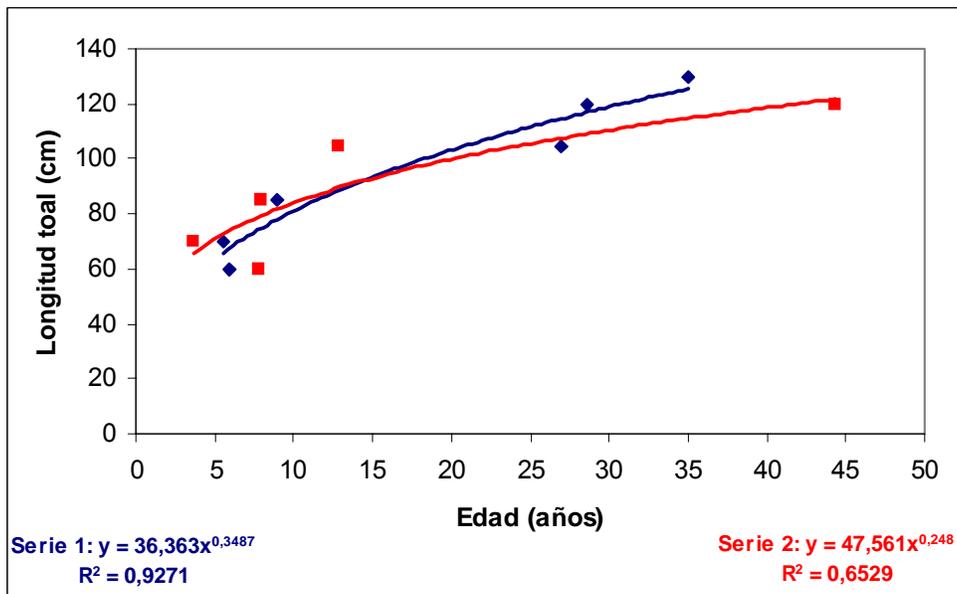


Figura 41. Comparación de la estimación de edades radiométricas en los dos grupos de muestras (Serie 1: muestras A a F y Serie 2: muestras I a V).



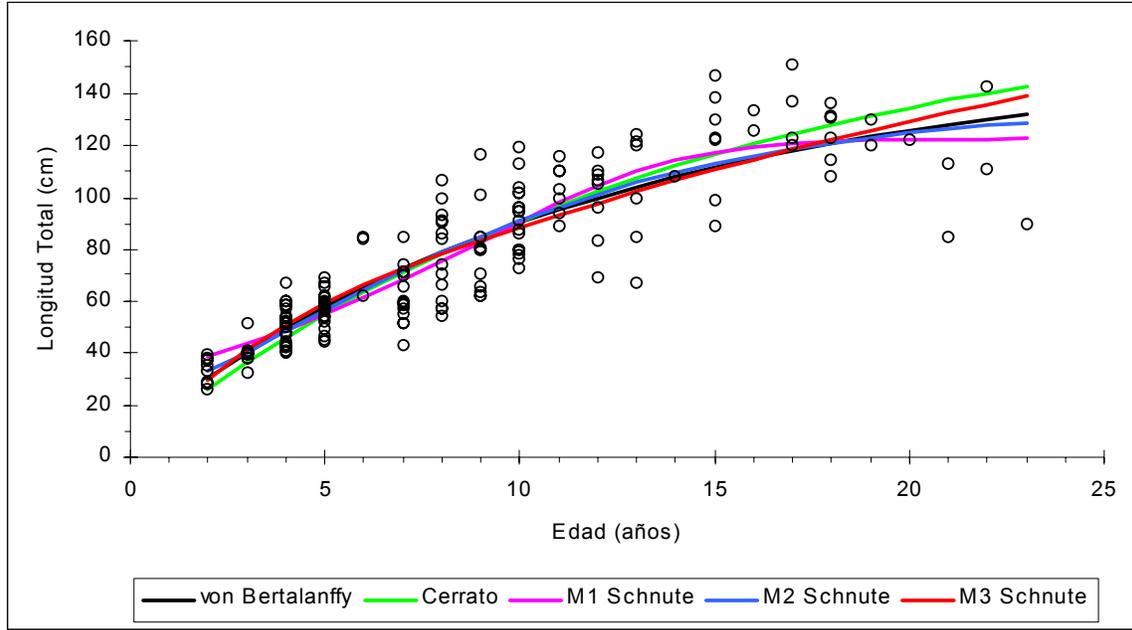


Figura 42. Curvas ajustados a los datos de edad versus longitud total del bacalao obtenidos en el presente proyecto.

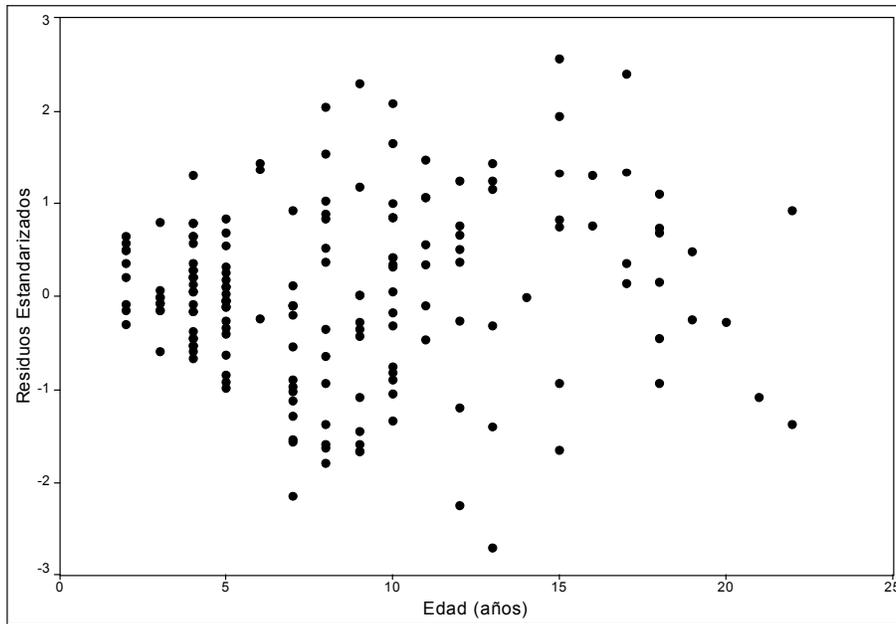


Figura 43. Residuos estandarizados del ajuste del modelo de von Bertalanffy con errores aditivos.



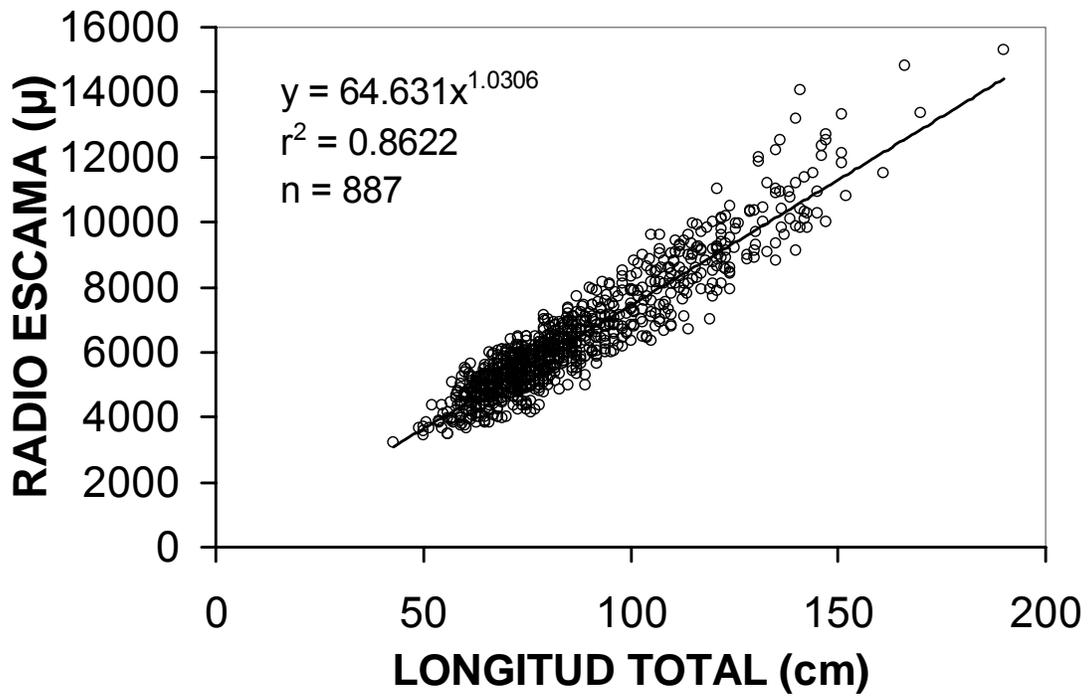
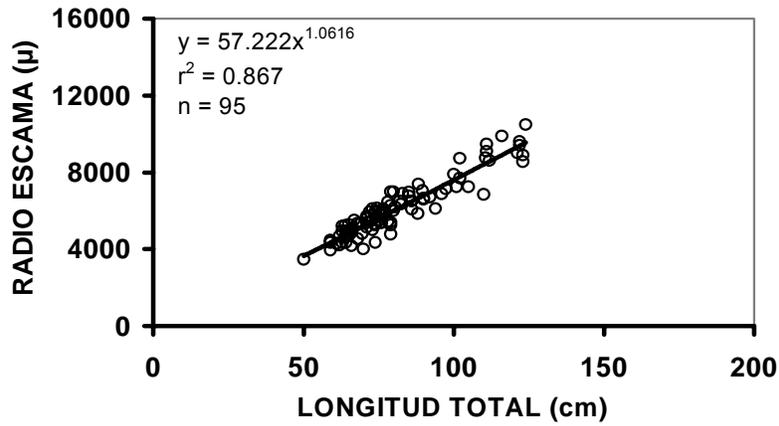


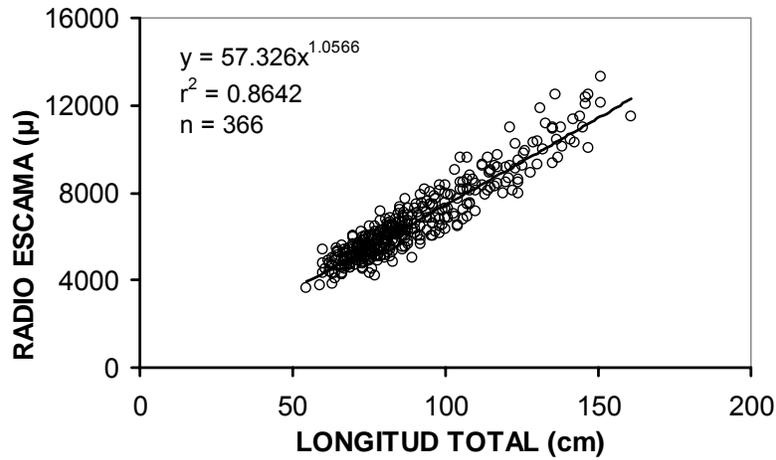
Figura 44. Relación entre la longitud del pez y el radio de la escama.



a)



b)



c)

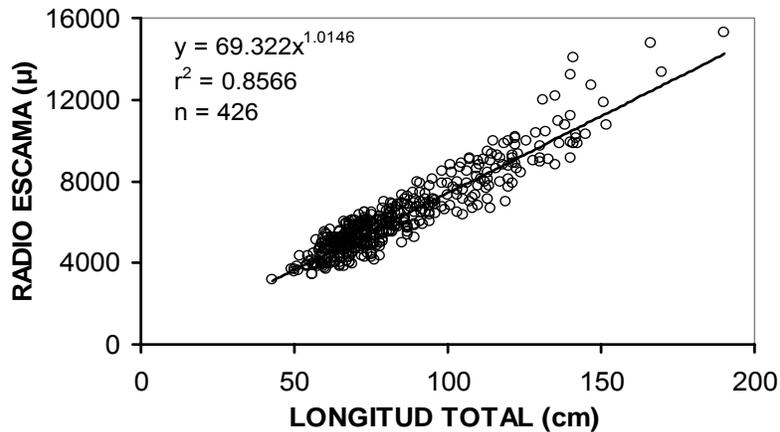


Figura 45. Relación entre la longitud del pez y el radio de la escama, de machos, hembras e indeterminados.



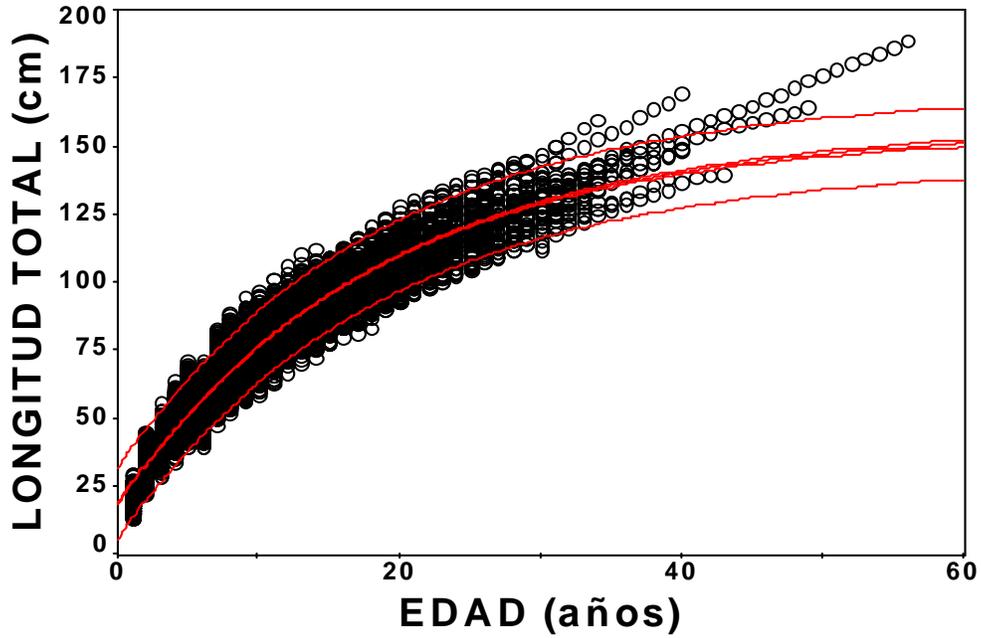


Figura 46. Curva de crecimiento ajustada usando las longitudes individuales retrocalculadas de todos los sexos en conjunto (n= 11.402).

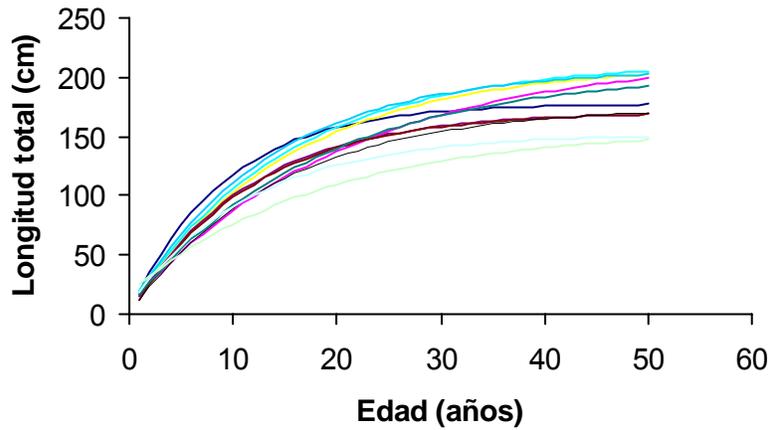


Figura 47. Curvas de crecimiento en longitud disponibles para el Bacalao de Profundidad (ver Tabla 1).



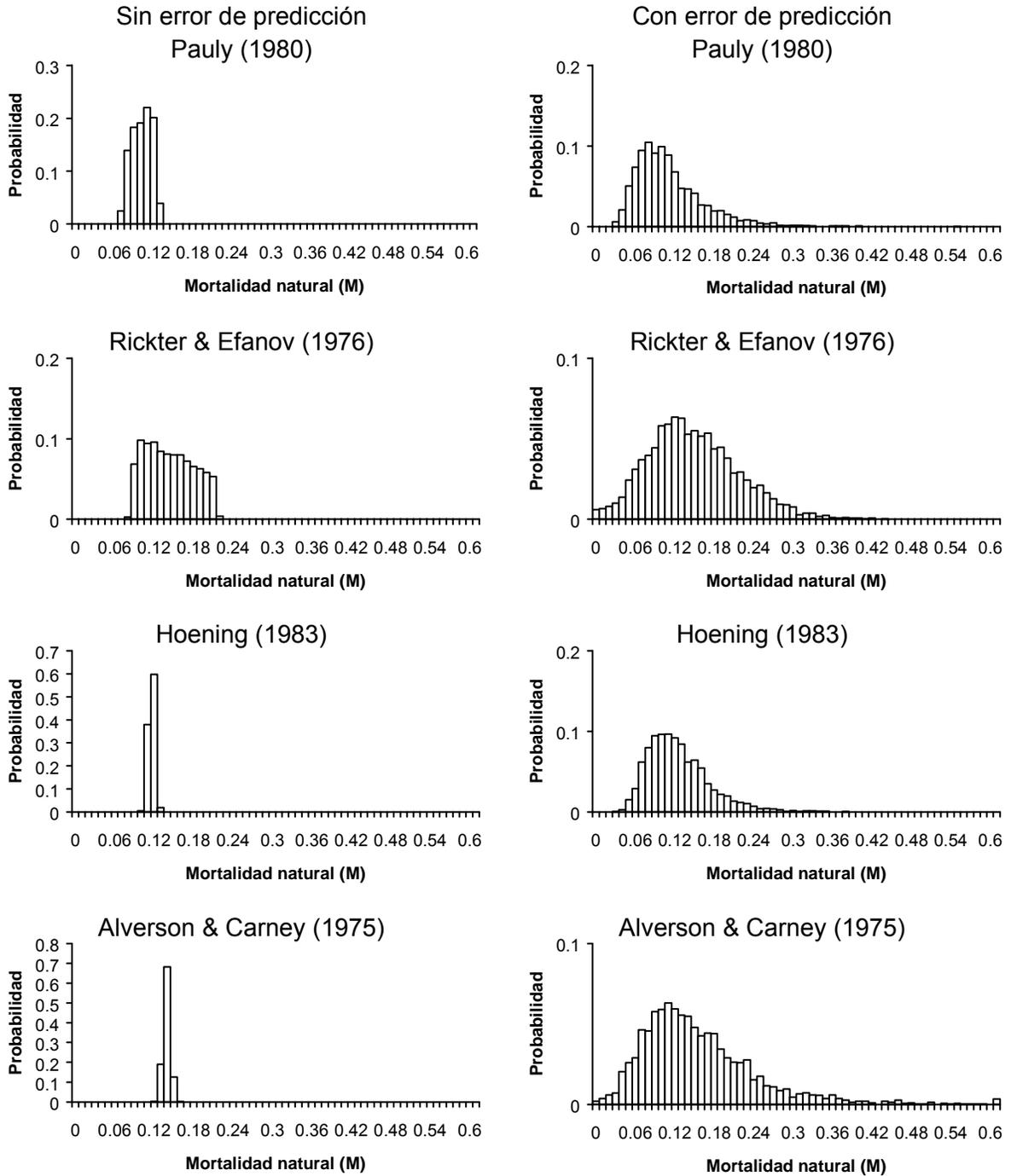


Figura 48. Distribución de probabilidad empírica de los 3000 valores alternativos e igualmente probables de mortalidad natural para el Bacalao de Profundidad.



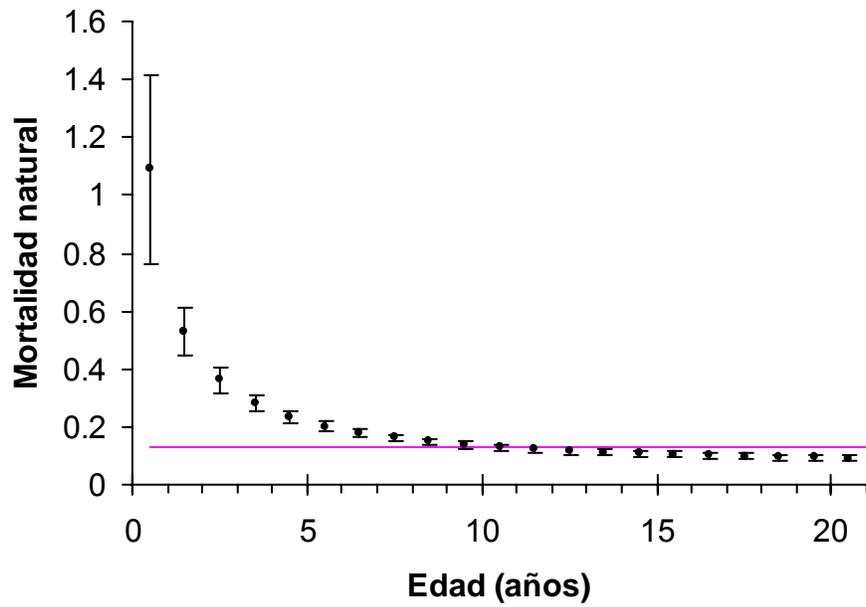
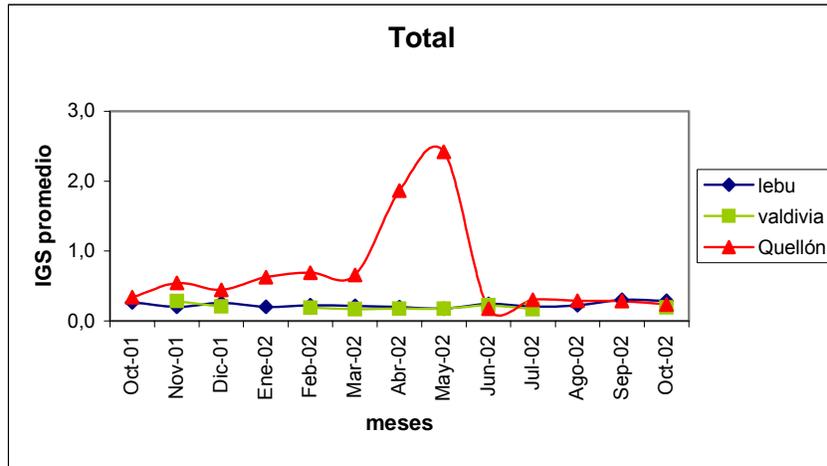


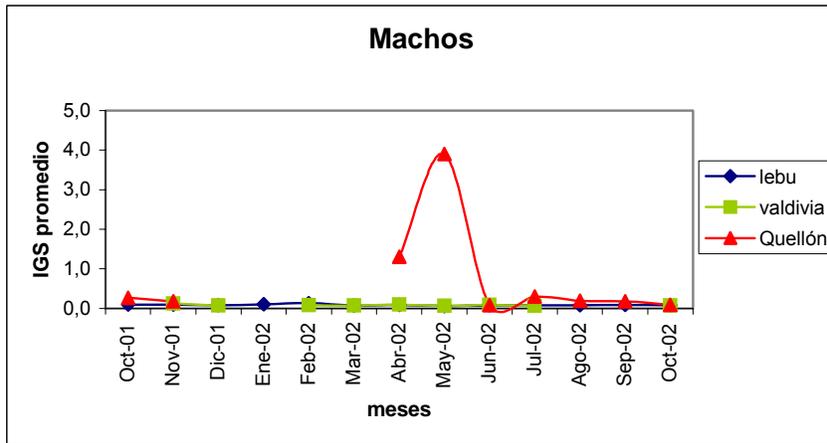
Figura 49. Estimación promedio de M por clases de edad para el Bacalao de profundidad utilizando el método de Chen & Watanabe (1989).



a)



b)



c)

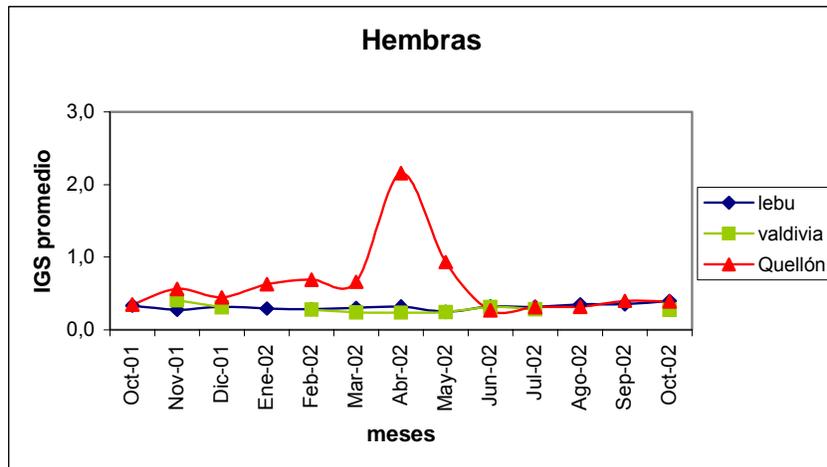


Figura 50. Evolución mensual del Índice gonadosomático (IGS) de *D. eleginoides* para a) total, b) machos y c) hembras, por localidad. (Extraída FIP 2001-16).



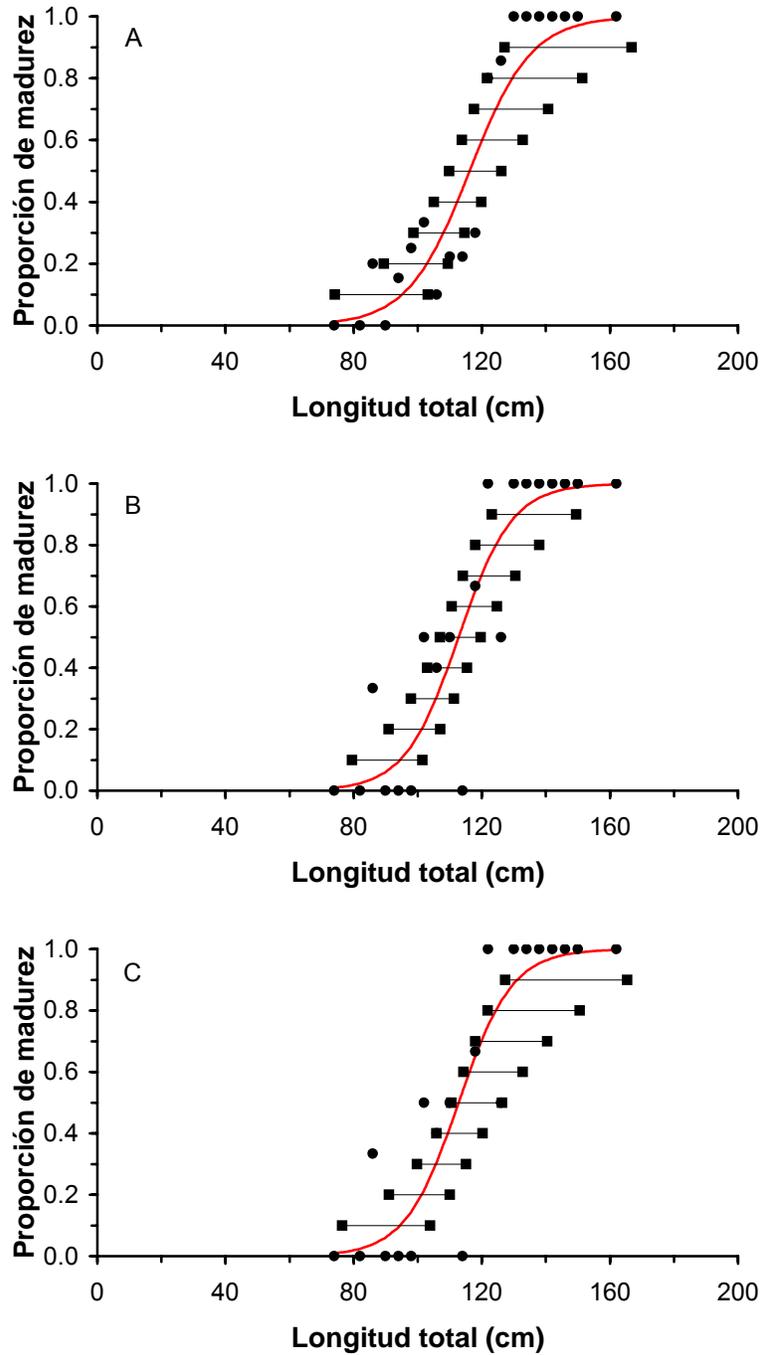


Figura 51. Talla mediana de madurez sexual de hembras de bacalao determinada mediante el ajuste de la proporción de madurez a la talla a un modelo logístico mediante máxima verosimilitud. Círculos: datos observados; Línea continua: modelo ajustado. Cuadrados = intervalo de confianza. A = información macroscópica; B = información microscópica; C = información macroscópica corregida.



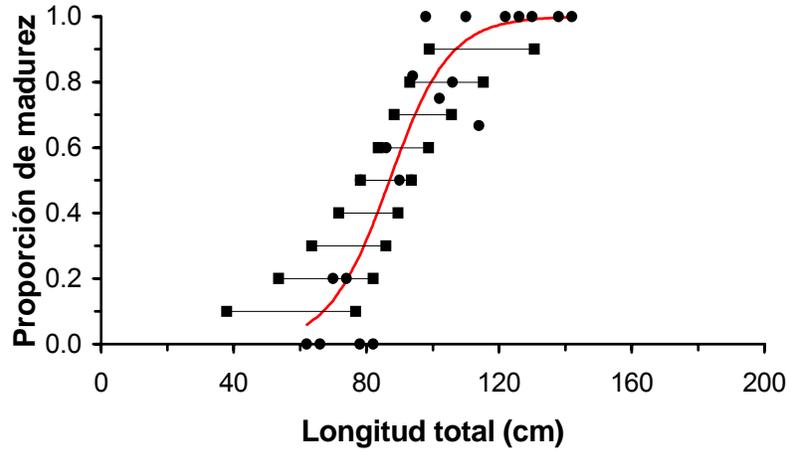


Figura 52. Talla de mediana madurez sexual de machos de bacalao determinada mediante el ajuste de la proporción de madurez a la talla a un modelo logístico mediante máxima verosimilitud. Círculos: datos observados; Línea continua: modelo ajustado. Cuadrados = intervalo de confianza.



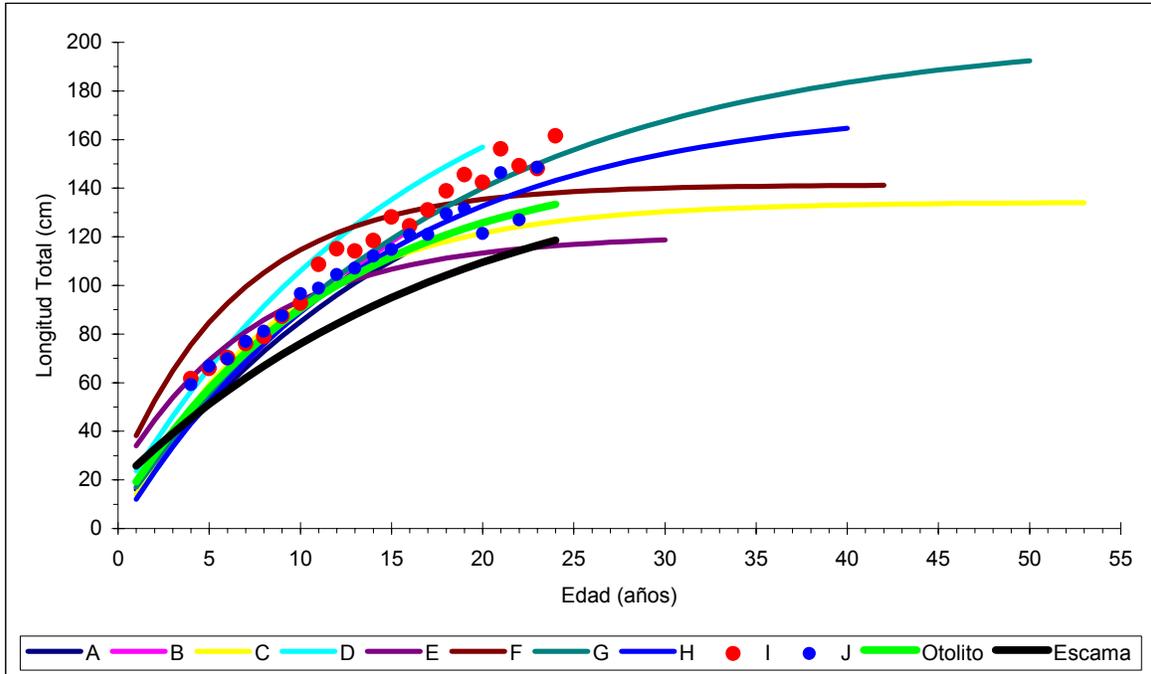


Figura 53. Curvas de crecimiento para el bacalao estimadas por distintos autores, metodologías y zonas geográficas. A: machos Rubilar *et al.* (1999); B: hembras Rubilar *et al.* (1999); C: machos Horn (2002); D: Aguayo (1992); E: machos Ashford (2001); F: hembras Ashford (2001); G: Zacharov & Frolkina (1976); H: Shust *et al.* (1991); I: hembras IFOP (2001); J: machos IFOP (2001).

