



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

INFORMES TECNICOS FIP

FIP - IT / 2000 - 12

INFORME : ESTUDIO DE EDAD, CRECIMIENTO
FINAL Y MORTALIDAD NATURAL DE LOS
RECURSOS ORANGE ROUGHY Y
ALFONSINO

UNIDAD : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
EJECUTORA



INFORME FINAL

FONDO INVESTIGACION PESQUERA

FIP Nº 2000-12

**Estudio de edad, crecimiento
y mortalidad natural de los
recursos Orange roughy y
Alfonsino**

ABRIL

2 0 0 2



INFORME FINAL

FIP 2000-12

**Estudio de edad,
crecimiento y mortalidad
natural de los recursos
orange roughy y alfonsino**

Abril, 2002



REQUIRENTE

CONSEJO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA, CIP

**Presidente del Consejo:
Felipe Sandoval Precht**

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

**Jefe División Evaluación Pesquerías Nacionales:
Guillermo Moreno Paredes**

**Directora Ejecutiva:
Juanita Gana Quiroz**

Abril, 2002 •



JEFE DE PROYECTO

RAÚL GILI VALDÉS

AUTORES

RAÚL GILI
LUIS CID
HUMBERTO POOL
ZAIDA YOUNG
DIANNE TRACEY
PETER HORN
PETER MARRIOTT

Abril, 2002

PERSONAL PARTICIPANTE

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO (IFOP)

- *RAUL GILI*
Jefe de proyecto. Estudios de edad.
Análisis de crecimiento. Análisis general
- *LUIS CID*
Preparación de láminas.
Determinación de edad
- *HUMBERTO POOL*
Análisis de mortalidad natural
- *ZAIDA YOUNG*
Asistencia estadística general.
Integración información de la pesquería

NATIONAL INSTITUTE OF WATER AND ATMOSPHERIC RESEARCH (NIWA)

- *DIANNE TRACEY*
Estudios de edad de orange roughy.
Coordinación Convenio IFOP-NIWA
- *PETER HORN*
Estudios de edad de alfonsino
- *PETER MARRIOTT*
Transferencia técnica de elaboración de
láminas de otolitos de orange roughy

Abril, 2002



RESUMEN EJECUTIVO

Se realizó un estudio de edad, crecimiento y mortalidad natural de los recursos *orange roughy* (*Hoplostethus atlanticus*, Collet 1889) y *alfonsino* (*Beryx splendens*, Lowe 1833), empleando muestras de otolitos de ejemplares obtenidos de las capturas comerciales realizadas durante las temporadas de pesca de los años 1999 a 2001 en la zona del archipiélago de Juan Fernández.

De acuerdo con los antecedentes científicos, *orange roughy* es una especie de profundidad caracterizada por tener una gran longevidad (sobre 125 años), lo que se confirmó en el presente estudio al estimar una edad máxima de 164 años, y bajas tasas de crecimiento, mientras que *alfonsino* es un recurso que habita en un amplio rango de la columna de agua (25 a 1200 m) y presenta características de crecimiento que indican una longevidad que bordea los 20 años (en este estudio, edad máxima 19 años). Ambos recursos son circumpolares, encontrándose en los océanos Pacífico, Atlántico e Indico.

Para la ejecución del presente estudio, IFOP firmó un Convenio de colaboración con el National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA) de Nueva Zelandia, mediante el cual un integrante chileno del equipo de trabajo, desarrolló una Pasantía en dicho país (septiembre-2000), para integrar la técnica de preparación de secciones de otolitos desarrollada por esa Institución, y analizar las lecturas de anillos de crecimiento en *orange roughy* y *alfonsino*. En este Convenio se estableció, además, la participación de un experto en los laboratorios de edad del IFOP, para complementar la Asesoría Técnica con los elementos disponibles en Chile, actividad que se realizó durante marzo de 2001.



Producto de lo anterior, en el laboratorio de edad del IFOP se implementó la técnica de preparación de muestras de secciones longitudinales finas y pulidas de otolitos de *orange roughy*, que es un aspecto de singular importancia, ya que la confiabilidad de las determinaciones de edad en las secciones de otolitos de esta especie, depende en gran medida, de la calidad de éstas.

Para las estimaciones de edad, se utilizaron 607 preparaciones de *orange roughy* comprendidas entre 27 y 63 cm de longitud horquilla (LH) y de *alfonsino* se analizaron 1.377 otolitos de entre 17 y 57 cm (LH), todos provenientes del archipiélago de Juan Fernández. Se realizó un programa de comparación de lecturas, en el que se estableció, para ambas especies, una progresión positiva en el grado de concordancia de las estimaciones de edad entre los lectores.

Las edades estimadas en *orange roughy* oscilaron entre 21 y 164 años, mientras que en *alfonsino* las edades fluctuaron entre 1 y 19 años. Para ambas especies, el ajuste de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, se realizó con los pares de valores edad actual-longitud horquilla. En el caso de *orange roughy*, fue necesario incorporar datos edad-talla para la fracción juvenil (menores a 30 cm) provenientes de las capturas de esta especie en Nueva Zelandia, los que fueron aportados por el NIWA, para ello se asumió una similitud en el crecimiento entre ambos stocks en esa fracción de tamaños. Esto permitió obtener una relación edad-talla actual para las edades 1 a 164 y estimar los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy en longitud-horquilla siguientes:

$$\begin{array}{l} \text{Machos} \quad : \quad LH = 47,86 \text{ cm} * \left[1 - e^{-(0,037 + 1,415)} \right] \\ \text{Hembras} \quad : \quad LH = 53,80 \text{ cm} * \left[1 - e^{-(0,030 + 1,691)} \right] \\ \text{Ambos} \quad : \quad LH = 52,13 \text{ cm} * \left[1 - e^{-(0,031 + 1,716)} \right] \end{array}$$



A objeto de comparar los valores con los de Nueva Zelanda y Australia se ajustaron parámetros utilizando la longitud estándar, que son:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : \quad LS = 43,68 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,037 + 1,639)}] \\ \text{Hembras} & : \quad LS = 49,00 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,030 + 1,973)}] \\ \text{Ambos} & : \quad LS = 47,51 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,031 + 2,000)}] \end{aligned}$$

Para *alfonsino* se realizaron los mismos ajustes edad-longitud horquilla, obteniendo las siguientes funciones:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : \quad LH = 58,54 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,106 + 2,393)}] \\ \text{Hembras} & : \quad LH = 63,59 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,095 + 2,458)}] \\ \text{Ambos} & : \quad LH = 63,39 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,093 + 2,567)}] \end{aligned}$$

Mediante tres test estadísticos se estableció que, en ambas especies, existen diferencias significativas en el crecimiento entre machos y hembras, de manera que estas últimas son más longevas y presentan una menor tasa de crecimiento que los machos.

Estas estimaciones se compararon con las efectuadas por otros investigadores para *orange roughy* de Australia y Nueva Zelanda, y de *alfonsino* de aguas japonesas, del Océano Atlántico y de N. Zelanda y N. Caledonia, estableciendo que en ambas especies, los ejemplares capturados en la zona del archipiélago de Juan Fernández, son los que presentan los mayores tamaños, lo que incidió en que los valores para la longitud asintótica sean los más altos estimados hasta el momento.

La edad y el tamaño a la primera madurez sexual de *orange roughy*, se estimó mediante la identificación de la Zona de Transición en los otolitos, estableciendo que se produce entre los 30 y 32 años en machos y hembras respectivamente y



alrededor de los 30 cm de longitud estándar que equivale a 33 cm longitud horquilla, de manera similar a lo que ocurre en N. Zelandia.

Mediante varios métodos se estimó la mortalidad natural (M). Para *orange roughy* mediante los métodos de Roff, Taylor, Rikhter y Efanov están entre 0,037 y 0,067 para machos, mientras que en las hembras este parámetro varió de 0,03 a 0,058. En *alfonsino*, los métodos bioanalógicos entregaron valores entre 0,10 y 0,21 para machos y entre 0,095 y 0,22 para hembras. En ambas especies, no se consideraron los valores obtenidos por el método de Alverson y Carney, ya que su razón M/K estuvo fuera de los rangos recomendados por Beverton y Holt (1958). Se estimaron los valores de M promedio mediante el método de Monte Carlo, estableciendo los siguientes valores:

Orange roughy:

Machos:	0,053
Hembras:	0,047

Alfonsino:

Machos:	0,162
Hembras:	0,152

Los resultados del presente estudio, son los primeros que se obtienen para estos recursos en Chile y como tal presentan algunas limitaciones que deberán ser complementadas en nuevos estudios. Entre éstas, se considera importante que en *orange roughy* se incremente el número de ejemplares en las tallas mayores a 50 cm LH y se logre ubicar los ejemplares inmaduros de tamaño inferior a los 30 cm LH. Por otra parte, la validación de las estimaciones de edad en esta especie aún se mantiene como un tema abierto, el que por su complejidad y costo, debería ser abordado, probablemente, en conjunto con los otros países involucrados. El caso de



alfonsino es similar en cuanto a completar las tallas extremas, ya que es necesario ajustar más los valores de los parámetros.

El aporte de este trabajo se considera valioso al entregar los primeros antecedentes sobre el crecimiento de dos recursos de importancia económica, con una pesquería de reciente iniciación en nuestro país y que se ha logrado con una integración de esfuerzos de dos importantes Instituciones de Chile y Nueva Zelandia.



INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO -----	i
INDICE GENERAL -----	vii
INDICE DE FIGURAS -----	xi
INDICE DE TABLAS -----	xv
1. INTRODUCCION -----	1
2. ANTECEDENTES -----	7
2.1 ORANGE ROUGHY (<i>Hoplostethus atlanticus</i> Collet, 1889) -----	7
2.2 ALFONSINO (<i>Beryx splendens</i> Lowe, 1833) -----	15
2.3 EL OIDO EN PECES Y LOS OTOLITOS -----	20
2.4 MORTALIDAD NATURAL -----	23
3. OBJETIVOS -----	25
3.1 Objetivo general -----	25
3.2 Objetivos específicos -----	25
4. METODOLOGIA -----	27
4.1 Zona de estudio -----	27
4.2 Período de estudio -----	27
4.3 Muestra biológica -----	27
4.4 Diseño estadístico -----	27
4.5 Estudio de edad y crecimiento -----	28
4.6 Estimación de mortalidad en <i>orange roughy</i> y <i>alfonsino</i> -----	36



5. RESULTADOS Y DISCUSION-----	45
5.1 Convenio de Asesoría Técnica IFOP-NIWA -----	45
5.1.1 Pasantía en los laboratorios del NIWA. -----	45
5.1.2 Pasantía en el laboratorio de edad de IFOP-----	50
5.2 Implementación de la técnica de preparación y análisis de otolitos en el laboratorio de edad del IFOP-----	52
5.3 Estimación de edad y crecimiento en <i>orange roughy</i> y <i>alfonsino</i> -----	53
5.3.1 Muestreos biológicos-----	53
5.3.2 Tamaño y estructura de tallas en las muestras de edad -----	54
5.3.3 Precisión en las determinaciones de edad-----	55
5.3.4 Relación edad-talla observada-----	58
5.3.5 Relación entre el radio del otolito y la longitud del pez en <i>alfonsino</i> -----	59
5.3.6 Zona de Transición en los otolitos de <i>orange roughy</i> -----	60
5.3.7 Series de tamaño de otolitos-----	61
5.3.8 Determinación de parámetros de crecimiento -----	62
5.3.9 Comparación de las estimaciones de parámetros de crecimiento-----	69
5.4 Estimaciones de mortalidad natural -----	83
6. CONCLUSIONES-----	93
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	99
8. GLOSARIO -----	113
9. BASE DE DATOS Y ARCHIVOS DE IMAGENES -----	117
9.1 Base de datos-----	117
9.2 Figuras-----	119
9.3 Tablas-----	124
9.4 Imágenes fotográficas-----	129



FIGURAS

TABLAS

ANEXOS:

- ANEXO 1:** **CONVENIO DE COLABORACIÓN.** Asesoría técnica en preparación y lectura de otolitos de *orange roughy* y *alfonsino*.
- ANEXO 2:** **INFORME DE PASANTIA.** PRIMERA ETAPA. NIWA (NUEVA ZELANDIA).
- ANEXO 3:** **INFORME DE PASANTIA.** SEGUNDA ETAPA. IFOP (CHILE).
- ANEXO 4:** **MUESTREOS BIOLÓGICOS DE ORANGE ROUGHY Y ALFONSINO EN UNA PLANTA DE LA OCTAVA REGIÓN.**



INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema general del oído derecho de un pez teleósteo, indicando sus componentes principales. (De Platt *et al.*, 1981).
- Figura 2.** Etapas del proceso de preparación de secciones longitudinales, finas y pulidas de *orange roughy*. 1. Selección y marcado del otolito. 2. Inclusión en resina. 3. Corte de la sección. 4. Sección sin pulir. 5. Montaje. 6. Pulido. 7. Análisis. 8. Sección vista bajo microscopio. 9. Análisis de crecimiento. (Fotos: R. Gili)
- Figura 3.** Otolito izquierdo de ejemplar adulto de *orange roughy* y su nomenclatura, señalando la posición del corte longitudinal para obtener la sección de 1 mm. (Foto R.Gili).
- Figura 4.** Equipamiento del laboratorio de estudios de edad para la preparación de secciones de otolitos de *orange roughy*. (Fotos R. Gili).
- Figura 5.** Láminas de otolitos de *orange roughy* bajo luz reflejada. A) Ejemplar hembra de 41 cm LH. Lámina completa. B) Ejemplar macho de 50 cm LH. Sector posterior. (Fotos: R.Gili y L.Cid).
- Figura 6.** Lámina de otolitos de un ejemplar hembra de *orange roughy* de 41 cm LH, vistas con luz transmitida. Preparadas según la técnica adaptada del NIWA. (Fotos R.Gili y L.Cid).
- Figura 7.** Otolito izquierdo de ejemplar adulto de *Alfonsino* y su nomenclatura. (Foto R. Gili)
- Figura 8.** Ejemplar juvenil de *orange roughy* y otolitos sagitales señalando la presencia de un anillo de crecimiento. (Fotos: Pez : Niwa; otolito : R.Gili.)



- Figura 9.** Estructura de tallas de los ejemplares en la muestra de otolitos para determinar la edad de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 10.** Estructura de tallas de los ejemplares en la muestra de otolitos para determinar la edad de *alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 11.** Relación edad-talla de machos y hembras de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 12.** Relación edad-talla de machos y hembras de *alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 13.** Relación entre el radio de los otolitos y la longitud de *alfonsino*. Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 14.** Series de otolitos izquierdos de machos y hembras de *orange roughy*, entre 27 y 63 cm de longitud horquilla. (Foto : R.Gili y L. Cid).
- Figura 15.** Series de otolitos izquierdos de machos y hembras de *alfonsino*, entre 20 y 56 cm de longitud horquilla. (Foto : R.Gili y L. Cid).
- Figura 16.** Relación edad-talla para machos de *orange roughy*. En azul datos del NIWA, en rojo datos de IFOP. En la Figura A se considera la longitud horquilla; en B la longitud estándar.
- Figura 17.** Relación edad-talla para hembras de *orange roughy*. En azul datos de Nueva Zelandia, en rojo datos de Chile. En la Figura A se considera la longitud horquilla; en B la longitud estándar.
- Figura 18.** Curvas de crecimiento en longitud (LH) para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*. Zona archipiélago de Juan Fernández. Chile.



- Figura 19.** Curvas de crecimiento en longitud (LS) para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*. Zona archipiélago de Juan Fernández.,Chile.
- Figura 20.** Curvas de crecimiento en peso del modelo de von Bertalanffy estimadas para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*.
- Figura 21.** Distribución de tamaños de machos (Ma) y hembras (He) de *alfonsino* entre las edades 1 a 19. Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 22.** Curvas de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos de *alfonsino*. Zona archipiélago de Juan Fernández. Chile.
- Figura 23.** Relación entre la longitud asintótica (L_{∞}) y el coeficiente de crecimiento (K) de *orange roughy* estimados en Nueva Zelanda y Australia, comparados con los resultados del presente estudio (9a a 9c). (Para identificar los autores ver Tabla 22).
- Figura 24.** Relación entre los valores de t_0 y el coeficiente de crecimiento (K) de *orange roughy* estimados en Nueva Zelanda y Australia, comparados con los resultados del presente estudio (9a a 9c).
- Figura 25.** Relación entre la longitud asintótica (L_{∞}) y el coeficiente de crecimiento (K) de *alfonsino* (*Beryx splendens*) en tres áreas de su distribución y comparación con los resultados del presente estudio.
- Figura 26.** Relación entre los valores de t_0 y el coeficiente de crecimiento (K) de *alfonsino* (*Beryx splendens*) en tres áreas de su distribución y comparación con los resultados del presente estudio.



- Figura 27.** Curvas de crecimiento ajustadas para *orange roughy* por distintos autores para las zonas de pesca de Nueva Zelanda, Australia y Chile.
- Figura 28.** Curvas de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos de *alfonsino* ajustadas por distintos autores y comparación con las estimadas en el Presente estudio.
- Figura 29.** Curvas de captura (A) y curvas de captura acumulada (B) con sus respectivos ajustes para machos y hembras de *orange roughy*.
- Figura 30.** Curvas de captura (A) y curvas de captura acumulada (B) con sus respectivos ajustes para machos y hembras de *alfonsino*.
- Figura 31.** Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestreos de Monte Carlo para *orange roughy* (L H).
- Figura 32.** Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestreos de Monte Carlo para *orange roughy* (L S).
- Figura 33.** Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestreos de Monte Carlo para *alfonsino*.
- Figura 34.** Mortalidad natural de *orange roughy* por edad (par.crec. estimados a partir de LH)
- Figura 35.** Mortalidad natural de *orange roughy* por edad (par.crec. estimados a partir de LS)
- Figura 36.** Mortalidad natural de *alfonsino* por edad.



INDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Progreso en las concordancias de las determinaciones de edad de *orange roughy* entre dos lectores, luego de siete procesos de comparación.
- Tabla 2.** Porcentaje de concordancia (APE, V y D) entre dos lectores, para siete procesos de comparación de lecturas de secciones de otolitos de *orange roughy*.
- Tabla 3.** Progreso en las concordancias de las estimaciones de edad de *alfonsino* entre dos lectores, luego de cuatro procesos de comparación.
- Tabla 4.** Porcentaje de concordancia (APE, V y D) entre dos lectores, para cuatro procesos de comparación de lecturas de otolitos de *alfonsino*.
- Tabla 5.** Longitudes promedio (LH) y mínimas y máximas observadas por edad para machos y hembras de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández. Entre la edad 1 y 30 (azul) corresponde a los datos de Nueva Zelanda, aportados por el NIWA (*).
- Tabla 6.** Longitudes promedio (cm) y mínimas y máximas observadas por edad para machos y hembras de *alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Tabla 7.** Edad (años) de *orange roughy* al momento de formación de la Zona de Transición. Análisis por clase de tallas de 2 cm.
- Tabla 8.** Parámetros de crecimiento en longitud horquilla (LH) del modelo de von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández. (Incluyendo datos de ejemplares pequeños de N. Zelanda).



- Tabla 9.** Parámetros de crecimiento en longitud estándar (LS) del modelo de von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández. (Incluyendo datos de ejemplares pequeños de N. Zelanda).
- Tabla 10.** Longitudes horquilla promedio (cm) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 11.** Longitudes estándar promedio (cm) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 12.** Parámetros de crecimiento en peso del modelo de von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández.
- Tabla 13.** Pesos promedio (g) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento en peso ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 14.** Parámetros de crecimiento en longitud del modelo de von Bertalanffy para *Alfonsino* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández.
- Tabla 15.** Longitudes promedio (cm) por edad calculadas para *alfonsino* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 16.** Pesos promedio (g) estimadas para las edades 1 a 19 de *alfonsino* mediante las ecuaciones de la relación longitud horquilla-peso para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 17.** Comparación de los parámetros de crecimiento de *orange roughy* mediante el test de Hotelling (T^2).



- Tabla 18.** Valores del test T^2 de Hotelling aplicado para verificar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras de ***orange roughy***.
- Tabla 19.** Valores del test T^2 de Hotelling aplicado para verificar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras de ***alfonsino***.
- Tabla 20.** Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de ***orange roughy*** mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.
- Tabla 21.** Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de ***alfonsino*** mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.
- Tabla 22.** Ajustes de parámetros de crecimiento en longitud (LS) realizados para ***orange roughy (Hoplostethus atlanticus)*** por diversos autores. Comparación con los resultados del presente estudio.
- Tabla 23.** Ajustes de parámetros de crecimiento en longitud (LS) realizados para ***alfonsino (Beryx splendens)*** por diversos autores. Comparación con los resultados del presente estudio.
- Tabla 24.** Relación edad-talla (LS) para ***orange roughy*** estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.



- Tabla 25.** Relación edad-talla (LS) para *orange roughy* estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 26.** Relación edad-talla para ambos sexos de *alfonsino* estimadas mediante la ecuación de crecimiento por distintos autores y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 27.** Relación edad-talla para machos de *alfonsino* estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 28.** Relación edad-talla para hembras de *alfonsino* estimadas mediante la ecuación de crecimiento por distintos autores y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 29.** Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *orange roughy* con parámetros de crecimiento estimados por longitud horquilla (LH).
- Tabla 30.** Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *orange roughy* con parámetros de crecimiento estimados por longitud estándar (LS).
- Tabla 31.** Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *alfonsino*.



- Tabla 32.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura linealizada de *orange roughy* por sexo.
- Tabla 33.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura acumulada de *orange roughy* por sexo.
- Tabla 34.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura linealizada de *alfonsino* por sexo.
- Tabla 35.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura acumulada de *alfonsino* por sexo.
- Tabla 36.** Mortalidad natural promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de métodos bioanalógicos en *orange roughy* (LH), a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados.
- Tabla 37.** Mortalidad natural promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de métodos bioanalógicos en *orange roughy* (LS), a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados.
- Tabla 38.** Mortalidad natural Promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de métodos bioanalógicos en *alfonsino*, a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados.
- Tabla 39.** Estimación promedio de M para el rango de edades en que se produce la estabilización de la mortalidad natural.



1. INTRODUCCIÓN

El *orange roughy* (*Hoplostethus atlanticus* Collet 1889) y el *alfonsino* (*Beryx splendens* Lowe 1833) constituyen importantes recursos potenciales de explotar en Chile, ya que son apetecidos por los mercados internacionales. Ambos recursos están siendo capturados en diversas áreas de pesca en el mundo, invirtiéndose gran cantidad de fondos para llevar a cabo estudios para conocer su comportamiento biológico, e integrar la información para la aplicación de normas de manejo y protección de las pesquerías. No obstante, por diversas razones, las poblaciones de peces se han visto mermadas más allá de lo esperable en recursos en explotación. Una de las causas probables de este fenómeno, estaría relacionada con comportamientos biológicos muy difíciles de constatar en terreno y variables según el hábitat donde se encuentren. Ello se ha manifestado en que los estudios realizados por diferentes investigadores, muchas veces han resultado disímiles entre sí, produciéndose grandes discrepancias, como en el caso de las determinaciones de edad de *orange roughy*. Sin embargo, en los últimos años se han integrado estudios de Institutos de investigación de reconocida experiencia, lográndose consensos al aplicar diversas técnicas de análisis para la determinación de la edad y según estas Instituciones, *orange roughy* es una especie que alcanza una gran longevidad. En esta línea se cuenta al **NIWA** (National Institute of Water and Atmospheric Research) de Nueva Zelandia, el **CSIRO** (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) de Australia y el **IFREMER** (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) de Francia.

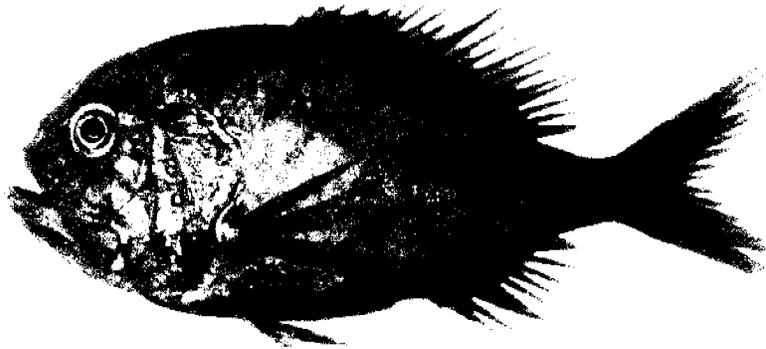
En Chile, la presencia de estos recursos fue establecida por primera vez por el Instituto de Fomento Pesquero en aguas exteriores entre los 40° y 45° LS (Bahamonde, 1978) lo que fue confirmado por Nakamura en un estudio conjunto JAMARC e IFOP (JAMARC, 1986). Más tarde, en una prospección de recursos



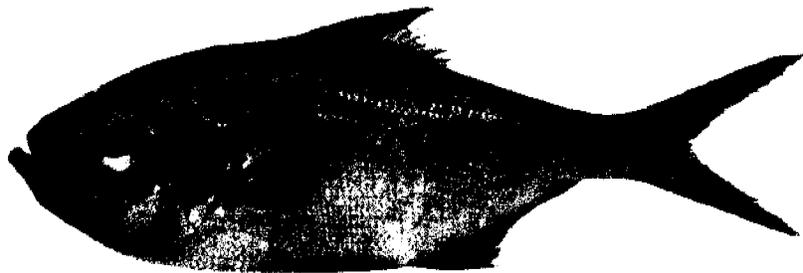
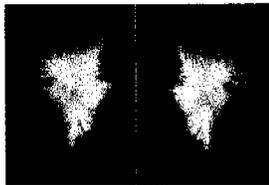
demersales realizada en aguas exteriores de la IX a XI Región, se volvió a encontrar esta especie (Leiva *et al.*, 1997), siendo corroborado en los registros de las capturas comerciales realizadas por embarcaciones que operan en la zona Centro sur y Sur austral de Chile.

Posteriormente, el Fondo de Investigación Pesquera, adjudicó al Instituto de Fomento Pesquero la ejecución del estudio FIP 98-05 "Prospección del recurso *orange roughy* y su fauna acompañante entre la I y la X Región" logrando recopilar un importante volumen de información sobre estos dos recursos. Con la información acumulada, en 1998 se declaró en Régimen de Pesquerías Incipiente (D.S. MINECON N° 538) a la unidad de pesquería de *orange roughy*, estableciendo una cuota global anual de 1.500 toneladas para 1999, la que se parcializó en seis subáreas.

En mayo de 1999, IFOP dio comienzo al estudio FIP 99-05 "Estudio biológico pesquero del recurso *orange roughy*", que tuvo como objetivo general "Realizar un análisis biológico-pesquero del recurso *orange roughy* basado en el monitoreo de la actividad extractiva y prospección de nuevos caladeros", durante la temporada 1999. En el 2000 se continuó con la recopilación de datos de la pesquería de *orange roughy* en el marco del Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Demersales Zona Centro Sur y durante el 2001, se ejecutó el estudio FIP 01-04 "Monitoreo y prospección de *orange roughy* 2001", cuyo objetivo fue realizar un análisis biológico-pesquero de las capturas de *orange roughy* en la flota pesquera que opera en las principales áreas de pesca y prospectar nuevos caladeros.



Orange roughy
Hoplostethus atlanticus Collet, 1889
Beryciformes Trachichthyidae



Alfonsino
Beryx splendens. Lowe, 1833
Beryciformes Berycidae

Especies en estudio y sus otolitos sagittae.



Teniendo en cuenta los antecedentes recopilados en las pesquerías de estos recursos en el extranjero, la información lograda en los estudios en Chile y la necesidad de contar con información directa del comportamiento biológico de las especies en aguas nacionales, el Consejo de Investigación Pesquera estimó fundamental impulsar y mantener una línea de investigación para generar información biológica básica como la edad, el crecimiento y la mortalidad, de manera que sea posible dar sustentabilidad a los nuevos recursos en explotación, por lo que incluyó el presente proyecto en el programa del año 2000, siendo adjudicado al Instituto de Fomento Pesquero, correspondiendo este documento al Informe Final del estudio realizado.



2. ANTECEDENTES

2.1 RECURSO ORANGE ROUGHY (*Hoplostethus atlanticus* Collet, 1889).

Orange roughy es un pez teleósteo de la Familia Trachichthyidae del Orden Beryciformes (Pequeño, 1989). Posee un cuerpo ovalado y comprimido, con cabeza grande y con notorias cavidades cubiertas por delgadas membranas. Es un recurso gregario que vive entre 500 y 1500 metros de profundidad aproximadamente. En Nueva Zelandia y Australia constituyen un recurso en explotación desde 1977 con más de 35.000 toneladas anuales. Durante la temporada 1998-1999, en N. Zelandia estuvo en el orden de las 16.000 toneladas (Annala *et al.*, 2000), mientras que en la temporada 1999-2000 bajó a algo más de las 14.000 toneladas (Annala *et al.*, 2001). En estos países ha sido objeto de numerosos estudios dirigidos a conocer los parámetros biológicos como edad, crecimiento, reproducción, estimación de su abundancia, discriminación de stocks mediante métodos genéticos, incorporación de nuevas técnicas de investigación de fondos submarinos y finalmente introduciendo otras metodologías de determinación de edad.

Las capturas oficiales en Chile durante 1999, 2000 y 2001, alcanzaron a 780, 1.300 y 1.680 toneladas respectivamente, las que se extrajeron entre junio y agosto, principalmente en la zona del archipiélago de Juan Fernández, período en que el recurso se agrega en torno a picachos submarinos, por un comportamiento de carácter reproductivo (Young *et al.*, 2000). La distribución de tamaños durante 1999 fluctuó entre 26 y 57 centímetros de longitud horquilla, al igual que en otras especies demersales, las hembras presentan mayores tamaños. El peso promedio de los ejemplares fluctuó entre 400 y 4.200 gramos con un promedio de alrededor de 1.900 g. En cuanto a los aspectos reproductivos, *orange roughy* presenta un desove total isocrónico, esto indica que un grupo de ovocitos pequeños, se



encuentra presente durante todo el ciclo reproductivo, incluso en ovarios desovados, de éstos, los que presentan vitelogénesis endógena originarían los ovocitos que serán desovados en la siguiente fase de maduración. La fecundidad promedio se estimó en 59.805 y la talla de primera madurez sexual (50%), se determinó sólo para machos y alcanzó a los 35,1 cm LH. Para el reconocimiento de los estadios de madurez gonadal, Young *et al.*, (2000) elaboraron escalas de madurez sexual de 5 estadios, tanto macroscópicas como histomorfológicas para machos y hembras.

Los ítems de alimentación de *orange roughy*, en un 92% corresponden a peces, crustáceos y cefalópodos, y más específicamente en forma mayoritaria a mictófidos, camarones y calamares respectivamente. De acuerdo con Labbé y Arana (2001), en la zona del archipiélago de Juan Fernández, esta especie es un predador mesopelágico y bentónico y concuerda con la clasificación dada para esta especie en aguas de Tasmania, Nueva Zelandia y del sudeste de Australia. Las presas de mayor relevancia fueron, entre los peces: la Familia Myctophidae, *Lampanyctus achirus*; y la Familia: Stomiidae, *Stomias boa boa*. Entre los crustáceos: Decapoda, Oplosphoridae, *Oplosphorus novaezelandiae* y entre los cefalópodos, Fam.: Histioteuthidae; *Histioteuthis sp.* Existen además, otros ítems alimenticios, que podrían ser importantes en otras épocas del año, ya que este estudio se realizó sólo en agosto, durante el período reproductivo.

En Australia y Nueva Zelandia se han realizado varios estudios para la determinación de la edad de *orange roughy*, que utilizando diferentes técnicas, entregaron varias curvas de crecimiento con un amplio rango de edades máximas estimadas, los que van desde un mínimo de 16 años hasta un máximo de 150 años, produciendo, por lo tanto, grandes discrepancias entre los investigadores y administradores pesqueros y poniendo en discusión la veracidad de los métodos



empleados, entre ellos el de los radionúcleos que sostiene que la longevidad de esta especie sería de alrededor de 150 años (Fenton *et al.*, 1991) y que según (Smith *et al.*, 1995), sería del orden de los 125 años.

El primer trabajo que se publicó sobre la edad de *orange roughy* fue el de Kotlyar en 1981, que analizó escamas y otolitos de peces del Océano Indico, y del Atlántico Norte, en las escamas no encontró un patrón de zonas, en tanto que en los otolitos enteros observados en glicerina bajo luz reflejada, mostraron un patrón de anillos, informando edades de 1 a 24 años en ejemplares de 7 a 58 cm. Este autor, aún estando presentes, ignoró los anillos de las primeras zonas translúcidas. Van den Bröek (1983 *fide* Tracey y Horn, 1999) intentó interpretar otolitos de *orange roughy* de Nueva Zelanda, usando varias técnicas de preparación, concluyendo que el mejor método era el de los otolitos enteros no tratados. En otolitos de 9 a 42 cm estableció una edad máxima de 21 años, este autor observó numerosas zonas en los otolitos, pero asumió que bandas múltiples se depositaban en los primeros años. Posteriormente Linkowski y Liwoch (1986 *fide* Tracey y Horn, 1999) determinaron la edad a pequeñas muestras de Nueva Zelanda, analizaron otolitos enteros inmersos en agua con iluminación transmitida y reflejada, observando numerosos anillos claros, pero con grandes variaciones en el ancho y sin mostrar un decremento uniforme hacia el borde; concluyeron que las bien desarrolladas zonas no correspondían a períodos regulares de crecimiento. Sullivan y Parkinson (1987 *fide* Tracey y Horn, 1999) examinaron otolitos de *orange roughy* de Bahía de Plenty (NZ), calculando una relación lineal entre la longitud del pez y la del otolito. Con ésta predijeron la longitud de los peces para las cuatro primeras zonas de los otolitos para 66 ejemplares, estos autores fueron los primeros en darse cuenta de la baja tasa de crecimiento y larga vida de *orange roughy*. Williams (1987 *fide* Tracey y Horn, 1999) realizó un estudio en otolitos de Nueva Zelanda empleando dos métodos de determinación de edad, el primero con otolitos enteros en agua, asumiendo bandas anuales y el



segundo con secciones de otolitos embebidos en resina y asumió anillos de crecimiento diario. No encontró correlación entre unos y otros, considerando el estudio poco concluyente.

Recientemente Allain y Lorange (2000) estimaron la edad de *orange roughy*, proveniente de las capturas francesas en el oeste de las Islas Británicas y algunas desembarcadas en Boulogne sur mer. Dispusieron de una muestra de 198 pares de otolitos de peces sin diferenciar sexos, de éstos, 159 ejemplares fueron inmaduros, de tamaño igual o inferior a 30 cm de longitud total y 39 eran maduros, los primeros fueron analizados enteros y los grandes, se analizaron mediante secciones de otolitos bajo luz transmitida. Estos autores estimaron una edad máxima de 130 años en peces de alrededor de los 65 cm de longitud total (equivale aproximadamente a 56 cm de longitud estándar (LS)) y confirmaron estas estimaciones con radiometría, concluyendo que *orange roughy* efectivamente es uno de los peces más longevos en explotación.

Como se ha señalado, los primeros trabajos fracasaron en la interpretación de los anillos de crecimiento, ya que los autores no encontraron el patrón de zonación clásico de formación de anillos con decremento uniforme hacia el borde de los otolitos. Sólo Mace *et al.*, (1990) obtuvieron ejemplares muy pequeños y con ellos pudieron correlacionar el número de zonas translúcidas en el otolito entero con la progresión de peaks en la distribución de frecuencias de longitudes. Con este trabajo se confirmó la deposición de zonas anuales sólo hasta la edad 3, lo que luego se extendió hasta la edad 4 (Doonan, no pub, *fide* Tracey y Horn, 1999). Otros intentos de validar anillos anuales no han tenido éxito, sin embargo, fue posible identificar un punto de transición en los otolitos donde el ancho de las zonas disminuye bruscamente. Este punto está asociado con el inicio de la madurez sexual (Francis y Horn, 1997).



Los otolitos de *H. atlanticus* presentan características que lo hacen particularmente difíciles para analizar, lo que llevó, como se mencionó anteriormente, a que se produjesen grandes discrepancias en la determinación de las edades máximas entre los diferentes autores. La observación de los otolitos a la luz reflejada indica la presencia de una gran cantidad de marcas o anillos de difícil interpretación, que según Gauldie (1997) implica contar diferentes estructuras poco relacionadas, y cuya cuenta podría ser arbitrariamente ajustada para dar un amplio rango de curvas de crecimiento. Este autor comparó imágenes obtenidas con luz reflejada, con otras tomadas en un microscopio electrónico constatando que las zonas identificadas a la luz reflejada, correspondían sólo a surcos sobre la superficie de los otolitos lo que explicaría las divergencias en las edades máximas asignadas. Estos surcos varían de tamaño y periodicidad desde muy pequeños y frecuentes hasta pocos y grandes. Generalmente, el patrón de surcos grandes hace que existan espacios crecientes entre ellos hacia el borde del otolito, de manera que edades basadas en el espaciamiento de estos surcos superficiales conducirían a curvas de crecimiento logarítmicas y no asintóticas.

- **VALIDACIÓN DE LAS DETERMINACIONES DE EDAD EN O. ROUGHY**

La interpretación de los otolitos en *orange roughy*, se ha concentrado en tres áreas: incrementos diarios, anillos de crecimiento anual y análisis radiométricos. Todas se han encontrado con problemas para validar la técnica de determinación de la edad. En el caso de incrementos diarios Gauldie (1988) afirmó que la formación diaria de los anillos era obligatoria en los otolitos de peces, sin embargo, se ha demostrado que no siempre es así, sobretodo en peces más viejos (Radtke *et al.*, 1985; Morales-Nin, 1987).

El problema de las técnicas tradicionales de validación de la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento, es que su aplicabilidad a peces de



profundidad o larga vida es limitada (Mace *et al.*, 1990; McFarlane and Beamish 1995) ya que técnicas como el marcaje y recaptura y el mantenimiento en cautiverio son prácticamente imposibles por problemas de barotrauma, es decir un efecto traumático en contra del pez a causa de un cambio brusco de la profundidad en que normalmente habita.

- **Radiometría**

Una técnica que puede ser usada para validar las edades estimadas para estos peces, es la técnica de determinación de edad por radiometría, que usa el desequilibrio del ^{210}Pb y ^{226}Ra en otolitos como un cronómetro natural (Smith *et al.*, 1991; Bergstad 1995 *fide* Andrews *et al.*, 1999a). La radiometría ha sido aplicada exitosamente a 12 especies de peces (Bennett *et al.*, 1982; Campana *et al.*, 1990; Fenton *et al.*, 1991; Kestelle *et al.*, 1994; Fenton y Short 1995; Milton *et al.*, 1995, Smith *et al.*, 1995; Stewart *et al.*, 1995; Watters 1995 y Kline 1996) (*fide* Andrews *et al.*, 1999a).

El método se basa en la razón de dependencia de tiempos de dos radionúcleos: radio (^{226}Ra) y plomo (^{210}Pb). El ^{226}Ra ingresa en el otolito como análogo al calcio (está en la misma columna de la tabla periódica) y declina a una serie de productos hijas que incluye el ^{210}Pb . Debido a que la tasa de crecimiento es fija, se dice que la razón $^{210}\text{Pb} : ^{226}\text{Ra}$ en los otolitos, podría proveer una medida absoluta del tiempo y en consecuencia de la edad.

La técnica de determinación de la edad por radiometría, aplicada a los otolitos enteros debe cumplir los siguientes supuestos:



1. Debe existir una tasa constante de ingreso del ^{226}Ra para pasar a ^{210}Pb al otolito durante el crecimiento.
2. El ingreso de ^{226}Ra debe exceder significativamente al del ^{210}Pb .
3. La aragonita del otolito debe actuar como un sistema cerrado para incorporar ^{226}Ra y todos los isótopos en su cadena de declinación incluyendo al Polonio (^{210}Po).

Fenton *et al.*, (1991), mediante radiometría establecieron que *orange roughy* es un pez de muy lento crecimiento, con una edad de madurez de 32 cm LS lograda a los 32 años y con edades máximas fluctuantes entre 77 y 149 años a tallas de 38-40 cm LS. Posteriormente Smith *et al.*, (1995), realizaron nuevas estimaciones de edad de *H. atlanticus* mediante dos métodos: (cuenta de anillos sobre la superficie del otolito entero y en secciones longitudinales de otolitos). La edad máxima determinada fue 125 años para un ejemplar de 41 cm LS y la edad a la primera madurez fue estimada ocurrir a los 25 años y a 30-32 cm LS. Con esta información realizaron nuevas estimaciones de la tasa de crecimiento de la masa que fueron incorporadas a nuevas determinaciones de edad por radiometría, con lo que redujeron las edades estimadas para ejemplares de 38-40 cm LS de 77-149 años a 59-101 años, además determinaron que los peces más viejos tendrían una edad de 125 años.

En los últimos años en el Moss Landing Marine Laboratories, California (EE.UU), el equipo de investigadores dirigidos por el Dr. Allen H. Andrews, ha estado realizando importantes avances en la radiometría, sobretodo en los aspectos que dicen relación con el cumplimiento de los supuestos básicos en que se basa el método. Estos investigadores han mejorado la exactitud y precisión de las determinaciones de edad al usar el desequilibrio de los isótopos $^{210}\text{Pb} : ^{226}\text{Ra}$ en el otolito de los peces, desarrollando una técnica que para determinar el isótopo ^{226}Ra incorpora un



procedimiento de intercambio de iones seguido por una dilución de isótopos para una espectrometría de ionización termal de la masa (TIMS). Esta técnica contabiliza directamente los átomos de radio ionizados; en tanto que la incerteza de la técnica es superior a las convencionales que dependen de la declinación del radio.

No obstante, aplicar esta técnica implica tomar en cuenta algunos aspectos prácticos, como por ejemplo, conservar las muestras durante dos años luego de su recolección a fin de lograr el equilibrio de los radioisótopos al interior de los otolitos además de otras consideraciones tendientes a cumplir con los supuestos de la técnica radiométrica (Andrews *et al.*, 1999a, Andrews, 2001, com. pers).

Además de lo anterior, se hacen intentos de utilizar el radiocarbono de las pruebas nucleares francesas como marcador de edad en otolitos de peces de profundidad lo que también podría proveer una validación de la edad para *orange roughy* (Tracey y Horn, 1999). Estos ensayos los ha estado realizando con éxito en diversas especies, el investigador canadiense Steve Campana, para ello es necesario que los ejemplares a analizar, hayan nacido antes del año 1967, por lo que tal vez pudiera ser aplicado a *orange roughy*, sin embargo, debe existir previamente un estudio de las diferentes fases del ciclo de vida de estos peces (Campana, 2001, com. pers).

La validación de la edad en *orange roughy* sobre los cuatro años en adelante, es un asunto no resuelto, aún cuando existen los antecedentes para afirmar que este recurso es muy longevo, como la muy baja tasa de crecimiento de los peces en sus primeros años de vida estimada por Mace *et al.*, (1990) y las estimaciones radiométricas que indican, por una parte, que la especie llegaría hasta los 149 años y por otra, hasta los 125. Luego las lecturas directas de los anillos en las secciones de otolitos, señalan que exceden de los 120 (Francis, 1995; Smith *et al.*, 1998;



Tracey y Horn, 1999). Finalmente, Allain y Lorange, (2000) mediante lectura de secciones de otolitos y comprobando con radiometría establecieron edades hasta los 130 años.

2.2 RECURSO ALFONSINO (*Beryx splendens* Lowe 1833)

Este es un pez teleósteo y al igual que *orange roughy* pertenece al Orden Beryciformes, pero de la familia Berycidae. En la literatura sobre esta especie, existen numerosas publicaciones acerca de su biología, sin embargo, éstas no siempre están disponibles para su análisis. Una aproximación a éstas es el documento de los investigadores neozelandeses Horn y Massey (1989) quienes realizaron una completa revisión de los trabajos publicados hasta ese año, de manera que gran parte de los antecedentes que se señalan a continuación, corresponde a los entregados por dichos autores en 1989.

Alfonsino tiene una amplia distribución en aguas tropicales y templadas del mundo. La profundidad varía notablemente, en Omán en el océano Indico vive en zonas tan bajas como de 25 m. Mientras que en otras áreas como en el SW Atlántico son más profundas, alrededor de los 1200 m. En Nueva Zelandia, *Alfonsino* se encuentra entre 200 y 1000 m, pero son más abundantes entre 300 y 500 m. En aguas de Japón, se estableció que el tamaño de los ejemplares aumentaba con la profundidad (Iguchi, 1973, Yamamoto *et al.*, 1978 y Seki y Tagami, 1986; *fide* Horn y Massey, 1989), esta tendencia se observó también en Nueva Zelandia (Kerstan y Sahrhage, 1980 *fide* Horn y Massey (1989).

Alekseev *et al.*, 1986, sugirió la existencia de, al menos, tres poblaciones separadas en el Atlántico, cada una en grandes sistemas oceánicos circulantes. En cada sistema había una zona reproductiva y una zona vegetativa, en la primera estaban los peces grandes y era donde se produce el desove y en la segunda están los



peces juveniles y en primera madurez. Las corrientes trasladaban los huevos y larvas desde la zona reproductora a la vegetativa y luego los peces en primera madurez migraban de regreso con la corriente a la zona reproductora, donde permanecían. Sin embargo, Uchida y Tagami (1984 *fide* Horn y Massey, 1989), encontraron que las distribuciones de frecuencias de tallas de áreas muy próximas pueden diferir enormemente y no siempre estaban relacionadas con diferentes profundidades. Estos autores no observaron el sistema cíclico propuesto por Alekseev *et al.*, (1986 *fide* Horn y Massey, 1989).

Alfonsino muestra una conducta migratoria notable, Galaktionov (1984) estableció que los peces se distribuían densamente sobre el fondo durante el día (aunque no visibles en el ecosonda) y luego al oscurecer formaban grandes cardúmenes y ascendían a media-agua para dispersarse. Los peces se alimentan mientras están dispersos en media-agua (Uchida y Tagami, 1984). Los cardúmenes se formaban nuevamente al amanecer y descendían hasta el fondo donde se desplegaban. Los juveniles y los adultos mostraron la misma conducta, aunque en el período de desove podrían cambiar de comportamiento.

Masuzawa *et al.*, (1975) aludieron brevemente a un patrón similar de conducta de migración diaria para *alfonsino* japonés, así como Darnitsky (1985, *fide* Horn y Massey, 1989) para *alfonsino* de la cadena montañosa hawaiana. Sin embargo, este autor encontró que el movimiento vertical no estaba relacionado con la alimentación, sino causado posiblemente por corrientes ascendentes. Estudios de marcaje señalan que esta especie no migra por amplias zonas en el corto tiempo (<1 año) (Masuzawa *et al.*, 1975, *fide* Horn y Massey, 1989).

Alfonsino desova desde el verano hasta principios de otoño (junio a octubre) en aguas próximas al Japón, en las islas del NO de Hawaii y en el NE Atlántico (todas



ubicadas entre las latitudes 30° a 36° N) (Masuzawa *et al.*, 1975, Sherstyukov y Nostov 1986, (Uchida y Uchiyama, 1986 *fide* Horn y Massey, 1989). En el SE atlántico desova desde enero a marzo (Alekseev *et al.*, 1986). *Alfonsino* se reproduce en las áreas que normalmente vive, tienen desoves en series y el primero se produce a alrededor de 34 cm LH o 4 años en aguas japonesas (Masuzawa *et al.*, 1975). En aguas de Nueva Zelanda el tamaño de primera madurez sexual está alrededor de los 30 cm LH a los 4 o 5 años de edad (Annala *et al.*, 2000). Durante la temporada de pesca de orange roughy en Chile, (mayo-septiembre), no se han encontrado ejemplares de *alfonsino* en proceso de desove (Young, Com.pers.).

En cada estación se producen 10 a 12 desoves con diferencia de 4 días (Alekseev *et al.*, 1986), los huevos están libres flotando y se incuban alrededor de 24 horas a 23° C o 6 a 8 días a 5-10° C. ANSI (1968 *fide* Horn y Massey, 1989) y Masuzawa *et al.*, (1975) describieron el desarrollo de huevos y larvas de *alfonsino* sobre 10 días después de la incubación. Las larvas pelágicas están ampliamente distribuidas en las corrientes superficiales hasta que, posiblemente al año de vida, adoptan una existencia demersal (Chikuni, 1971). Ivanin (1987 *fide* Horn y Massey, 1989) informó la captura de ejemplares de 5-10 cm LH en la zona pelágica del Océano Indico, los que estaban entre 50 y 210 m de profundidad.

De acuerdo con Lehodey y Grandperrin (1996), en Nueva Caledonia la madurez sexual en las hembras de *alfonsino* se alcanza a los 6 años, mientras que los machos la alcanzan entre 7 y 8 años.

Sobre reclutamiento y mortalidad natural (M) hay pocos datos, Masuzawa *et al.*, (1975) estableció que el reclutamiento en *Furase* se produce en otoño y principios de invierno de cada año, sugiriendo un reclutamiento estacional. Los ejemplares tenían entre 24 y 26 cm LH y 2 años de vida. Kotlyar (1987b) encontró peces de un



año de vida ya reclutados en su fase demersal en los O. Pacífico, Atlántico e Indico, pero el reclutamiento total parece no ocurrir hasta que los peces tienen 2 y 3 años de vida. En Nueva Zelandia el reclutamiento se produce entre 28 y 31 cm LH y la mortalidad natural (M), usando una edad máxima de 20 años, se estimó en 0,23 (Annala *et al.*, 2000).

En cuanto a la alimentación de *alfonsino*, los peces y crustáceos son los constituyentes más importantes de la dieta. En un estudio realizado en Emperador, en los estómagos de este pez predominaron los peces pequeños (43%) y los crustáceos (37%). En aguas japonesas, los peces representaron el 48%, los crustáceos el 36% y los cefalópodos el 14% (Masuzawa, 1975).

Alfonsino parece ser vulnerable a la sobrepesca, Sasaki (1986 *fide* Horn y Massey 1989) encontró una declinación notable en la CPUE en Hawaii después de sólo 4 años de pesca intensiva. Yamamoto (1986 *fide* Horn y Massey 1989) también encontró una declinación en las tasas de captura en varias zonas japonesas luego del incremento del esfuerzo. La susceptibilidad del *alfonsino* a la sobrepesca puede ser debida a su conducta de formar cardúmenes y a su crecimiento moderadamente lento. En Nueva Zelandia para las capturas de este recurso, se ha establecido una cuota por temporada de pesca de 2.727 toneladas, la que se ha mantenido a esos niveles desde el año 1989, aproximadamente. En la temporada 1999-2000 se capturó un total de 2.648 toneladas de *alfonsino* (Annala *et al.*, 2001). En Chile este recurso también está siendo explotado y a agosto de 2001 se estima un desembarque del orden de las 2.500 toneladas (Young, Com. pers).

En su amplia distribución en los océanos del mundo, se han realizado varios estudios de crecimiento de *alfonsino* utilizando diferentes técnicas de estimación. En Japón, Ikenouye y Masuzawa (1968 *fide* Ikenouye, 1969), Ikenouye, (1969) y



Masuzawa *et al.*, (1975), aunque todos ellos con resultados diferentes y ninguno de los métodos fueron validados satisfactoriamente. Todos los estudios sugirieron tasas moderadas de crecimiento (32-37 cm LH a los 5 años). También lo sugirió un estudio de de León y Malkov (1979) en alfonsino del Atlántico centro oeste con 31-35 cm LH a los 5 años (Massey y Horn, 1990).

Kotlyar (1987b) realizó un estudio comparativo de tasas de crecimiento de *alfonsino* del Atlántico SE, del Pacífico NE y del O. Indico NW, demostrando que habían pocas diferencias en las tasas de crecimiento entre las zonas, concluyó que en el O. Indico se depositaban dos anillos al año, siendo uno asociado a la época de los monzones.

Para establecer los parámetros de crecimiento para diferentes áreas de Nueva Zelandia, Massey y Horn (1990) utilizaron la información de edad-talla obtenida mediante la técnica de retrocálculo, para machos y hembras estimando valores de longitud asintótica (L_{∞}) fluctuantes entre 49,1 cm LH y 76,3 cm LH y con valores para el coeficiente de crecimiento K bastante bajos: de 0,14 hasta 0,04. Otro ajuste de parámetros de crecimiento fue realizado por Lehodey y Grandperrin (1996) para alfonsino de Nueva Caledonia, estimaron hasta 20 años de edad alcanzando valores de longitud asintótica de 45,2 cm LH para machos y 50,8 para hembras, con coeficientes de crecimiento de 0,146 y 0,134 respectivamente.

En aguas alrededor de las islas Izu en el Océano Pacífico del Japón, Adachi *et al.*, (2000) realizaron un estudio de crecimiento de *Alfonsino* en el que establecieron ejemplares entre 2 y 23 años y con tallas fluctuantes entre 28 y 48 cm LH. Los parámetros de crecimiento (L_{∞} , K y t_0) estimados fueron 44,4 cm; 0,132 y -3,45 para machos y 45,0 cm; 0,150 y -2,08 para hembras.



La validación se ha realizado mediante el análisis de la periodicidad de formación del anillo translúcido en el borde de los otolitos, de esta manera se ha establecido que alfonsino forma un anillo por año (Lehodey y Grandperrin 1996; Adachi *et al.*, 2000). Se ha observado la formación de otras marcas, pero éstas no tienen una periodicidad regular o aparecen en unos pocos otolitos y en otras zonas geográficas ha sido posible asociarlas a fenómenos regulares de la naturaleza como son las épocas de los monzones (Kotlyar, 1987b).

Recientemente Rico *et al.*, (2001), para *alfonsino* de Islas Canarias, Isla Madeira e Islas Azores realizaron estudios de edad y crecimiento, en el que establecieron edades entre 0 y 12 años máximo, sin encontrar diferencias significativas entre los sexos.

2.3 EL OÍDO EN PECES Y LOS OTOLITOS

Dado que los otolitos de los peces se constituyen en las estructuras de mayor importancia en las determinaciones de edad y del crecimiento en estos organismos, se presenta a continuación una reseña del oído de los peces que es donde están ubicados y de la función que cumplen en éstos.

El oído interno (Fig.1), es un sistema membranoso de conductos contiguos y bolsas pequeñas que contienen líquido endolinfático, con una viscosidad especial y con propiedades iónicas. Clásicamente se ha dividido el oído en dos pares superiores y dos inferiores, los primeros se componen de canales semicirculares, el órgano del otolito y el utrículo donde se encuentra el *lapillus*. Los pares inferiores constan de otros dos pares de otolitos, el sáculo, donde se ubica el *sagitta* y la lagena donde está el *asteriscus*. Cada canal semicircular es un conducto que se extiende a partir del oído interno, formando un anillo endolinfático con una protuberancia parecida a



una cabeza, llamada ampolla, ubicada en el origen del canal. La cresta sensorial de la ampolla es un puente con forma de silla de montar, tendida a través de la base de la ampolla. Sobre la cresta existe una cúpula gelatinosa, la cual se deforma por los movimientos del flujo dentro del canal, están también los tres órganos otolíticos, que son pequeñas bolsas que contienen densas calcificaciones de carbonato de calcio cristalino (otolitos o estoconia) embutidos en una membrana otolítica gelatinosa. Esta membrana toca la mácula sensorial, la cual se ubica en una pared o en el fondo de la bolsa (Platt *et al.*, 1981)

Algunas áreas del órgano están cubiertas solamente por una membrana gelatinosa que contiene vellosidades celulares mecano-receptivas, las cuales son inervadas por fibras del octavo nervio craneal. Estas vellosidades receptivas tienen como función convertir la energía mecánica de las vibraciones, aceleraciones y gravitacional en energía electroquímica, la que es conducida al cerebro mediante las neuronas

Los otolitos son estructuras acelulares compuestas de cristales de carbonato de calcio depositados sobre una matriz orgánica, estas estructuras crecen a lo largo de la vida de los peces por deposiciones de capas sucesivas de carbonato de calcio (aragonita) y de proteína (otolina) (Degens *et al.*, 1969). El calcio que se deposita en los otolitos proviene principalmente del agua que rodea los ejemplares (Mugiya *et al.*, 1981). Estas estructuras tienen como función formar parte del sistema de equilibrio del pez, dándole además la información de aceleración, sonido y profundidad.

Los otolitos presentan una diversidad de formas y tamaños que indica un proceso de biomineralización cuidadoso y controlado, único en el reino animal, su forma es especie-específica, vale decir, cada especie presenta una forma única, bien definida



y con valor taxonómico, sin conocerse aún cómo ocurre el proceso. A diferencia de otras estructuras duras de los peces, tales como los huesos y escamas, los otolitos presentan características relevantes, tales como crecimiento continuo y en aislamiento del medioambiente, compuestos por cristales de aragonita que es algo más pesado que otros cristales y algo muy importante para la determinación de la edad, **los otolitos no están sujetos a reabsorción de materiales**, por lo que no entregan edades menores a las reales como ocurriría en otras estructuras óseas. Todas éstas, hacen a los otolitos estructuras únicas para la determinación de la edad y para establecer otros aspectos tales como determinar el medioambiente que rodeaba a los ejemplares durante su ciclo de vida (Campana y Thorrold, 2001).

La causa de la formación de los anillos de crecimiento, está relacionada con los balances bioenergéticos de los organismos, así el esfuerzo reproductivo significa una disminución de las tasas de crecimiento (Gunderson, 1997). En estas especies, la sincronía temporal del gasto energético dirigido a la reproducción, junto a la disminución de la temperatura del agua, puede considerarse como causante de la formación del anillo translúcido.

La terminología aplicada en este documento, se basa en la recomendada en el 2º Otolith Symposium celebrado en Bergen (junio 1998). Los anillos hialinos se denominan **translúcidos** por su densidad óptica, la zona central del otolito formada durante las primeras semanas de vida se denomina **core** y la parte central del otolito es el **nucleus** que se forma antes del primer anillo anual translúcido (*annulus*). Para una mayor comprensión de ciertos temas, se incluye un **Glosario** de términos comúnmente utilizados en estudios de determinación de edad (De Kalish *et al.*, 1995).



2.4 MORTALIDAD NATURAL (M)

La mortalidad natural, es uno de los factores clave en la dinámica de las poblaciones de peces, por ello la gran importancia de contar con estimaciones lo más razonables posibles de este parámetro.

En la evaluación de un stock, se intenta reproducir la dinámica intrínseca de la población en estudio, más aún si ésta se encuentra bajo explotación. En este contexto, a excepción del modelo de producción excedentaria (ej. Schaefer, 1954; Pella y Tomlinson, 1969), todos los modelos matemáticos de dinámica de stock, incluyen dentro de sus parámetros la tasa de mortalidad natural (M), la que se puede asumir constante o variar en cualquier forma imaginable. Debido a que M ha sido extremadamente difícil de medir directamente, ha sido considerada casi universalmente como un factor constante en el stock específico que se modela (Vetter, 1988). Hoy en día la estimación de M es una tarea normal en el ámbito de la evaluación de poblaciones, pudiendo realizarse en forma endógena en el modelo que se utilice o mediante metodologías específicas para ello.

Para *orange roughy* de Nueva Zelandia la mortalidad natural se estimó en 0,045 usando datos colectados en la Bahía de Plenty y un método que utiliza las estimaciones de edades medias con muestras ponderadas al tamaño de la captura, señalando que este valor no presenta diferencias significativas al estimado para el área de North Chatham Rise (Doonan y Tracey, 1997). Para *alfonsino* en este mismo país, usando una edad máxima de 20 años, se estimó el valor de M en 0,23 (Annala *et al.*, 2000).



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar el crecimiento y la mortalidad natural de los recursos orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) y alfonsino (*Beryx splendens*) capturado en el litoral continental e insular de Chile.

3.2 Objetivos específicos

- 3.2.1 Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en los recursos orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) y alfonsino (*Beryx splendens*)
- 3.2.2 Estimar los parámetros de crecimiento para los recursos orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) y alfonsino (*Beryx splendens*), según el modelo de crecimiento aplicado.
- 3.2.3 Efectuar estimaciones de mortalidad natural de orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) y alfonsino (*Beryx splendens*).



4. METODOLOGÍA

4.1 Zona de estudio

El presente estudio cubre la zona donde se ha centrado básicamente la actividad extractiva de orange roughy y alfonsino durante el desarrollo de la pesquería, que corresponde a los montes submarinos localizados en el área del archipiélago de Juan Fernández.

4.2 Período del estudio

Este proyecto tiene una duración de 15 meses, iniciándose en septiembre de 2000 y finalizando en noviembre de 2001

4.3 Muestra biológica

Los otolitos sagitales que se utilizaron en este estudio provinieron de muestreos biológicos realizados por personal de IFOP durante los años 1999, 2000 y 2001 en el marco de los estudios biológico pesqueros de los recursos *orange roughy* y *alfonsino*.

4.4 Diseño estadístico

Para establecer estadísticamente el tamaño mínimo se considera que las variables longitud y edad categorizadas se distribuyen según una multinomial. Para el caso de *orange roughy*, con una longevidad muy alta, necesariamente se deberán repetir varias veces las mismas lecturas, es preferible enfatizar en la preparación e interpretación de los otolitos que procesar grandes cantidades como lo señalan



Beamish y McFarlane, (2000) para el sablefish *Anoploma fimbria* un pez de profundidad de gran longevidad (114 años). En cuanto a alfonsino, en la variable longitud, la fracción principal de la distribución se encuentra aproximadamente entre los 20 y 48 cm de longitud horquilla, la cual categorizadas en clases de tallas de 5 cm genera una distribución multinomial de 28 clases de longitud. La variable edad, en tanto, muestra una distribución de edades registradas entre 1 y 19 años con 19 clases anuales de edad.

El diseño de muestreo para la obtención de información de los parámetros de la distribución de longitud total, edad y los parámetros de crecimiento, corresponden a un muestreo aleatorio simple.

4.5 Estudio de edad y crecimiento

4.5.1 Preparación y análisis de las muestras

Orange roughy

Se adoptó el criterio establecido en Nueva Zelandia para la determinación de edad, que consiste en preparar y analizar secciones longitudinales finas y pulidas de otolitos. La técnica de preparación se detalla a continuación (Fig. 2):

- **Selección y marcaje de los otolitos**

Un otolito de cada par del pez individual se secciona longitudinalmente. Se escoge el otolito derecho consistentemente, pero si se astilla, quiebra o está descalcificado se usa el otolito izquierdo. Si ambos presentan alteraciones, se rechaza el pez de la muestra.



Los otolitos se examinan distalmente con el *sulcus* hacia abajo mediante un microscopio binocular de bajo aumento y se dibuja una línea recta con un lapicero de tinta de 0,35 mm por el plano de seccionamiento del otolito. El plano óptimo va desde el *primordium* hasta el más uniforme eje postero-lateral. Generalmente se orienta cerca del borde dorsal del *postrostrum* (Fig. 3)

Los otolitos se sumergen individualmente en resina epóxica de fragüe lento (Araldite MY 740 y Endurecedor HY 2964 (Cyba) en una proporción de 2 a 1 en peso) en moldes vinílicos de 25 * 20 * 5 mm dispuestos en bandejas de 20 unidades. Para acelerar el fraguado se colocan los moldes en un horno de secado por 4 horas a 50° C (Fig. 4). Los moldes se dejan toda la noche para terminar de fraguar, entonces a los otolitos incluidos se les quita el molde de vinilo, se etiquetan y se colocan dentro de pequeños sobres.

Los otolitos incluidos se seccionan en una máquina de corte lento marca Buehler Isomet con dos hojas diamantadas de 0,37 mm separadas por un espaciador de un 1 mm de espesor. Cada otolito incluido se dispone de manera que la línea trazada en éste quede entre las dos hojas de corte, luego se sujeta el molde en el calzo de la máquina (Fig. 4).

Cada sección se pule por un lado utilizando una máquina de pulir marca Buehler con dos ruedas (Fig. 4), provista de papeles de lija al agua (600P y 1.500P) finalizando con crema de pulir 3M sobre paño de cotelette. La sección pulida se coloca en un vidrio portaobjetos, con la cara pulida hacia abajo y se fija con la misma resina epóxica. La cara sin pulir de la sección fijada, se pule en la máquina Buehler, usando los mismos implementos indicados para la cara opuesta. Las secciones se pulen a 0,3 mm del *primordium* y 0,4 mm en el borde. La estructura de finas bandas en el borde terminal es más difícil de resolver si la sección es



mucho menor que 0,4 mm. Pero a ese espesor, el centro más opaco del otolito es difícil de leer, por ello, este sector se debe dejar un poco más delgado. Las mediciones del grosor de las láminas se realizan con un micrómetro digital con 0,001 mm de incerteza. Las secciones así preparadas están listas para la lectura.

Lectura de secciones de otolitos de orange roughy

Las secciones finas y pulidas por ambas caras de otolitos se examinan bajo un microscopio binocular con luz transmitida y un aumento de 40x. El área próxima al **primordium** suele ser densa y oscura, así las zonas pueden ser difíciles de diferenciar. El diámetro del eje de las primeras tres zonas en otolitos enteros son aproximadamente 3,3 mm (Mace *et al.*, 1990), así en secciones, la distancia esperada desde el **primordium** al borde exterior de la tercera zona es 1,7 mm. Para medir las distancias se usa un retículo ocular, las primeras tres zonas tienden a ser más anchas que todas las otras. Zonas subsecuentes generalmente son más fáciles de interpretar. Los analistas no tienen conocimiento de la longitud del pez, al momento de las lecturas, ni de sus primeras lecturas cuando éstas se duplican.

Se cuentan las zonas desde el **primordium** a la Zona de *Transición* a 40X (Fig. 5 y 6). En la sección longitudinal de la mayoría de los otolitos este punto es claro e inequívoco, y generalmente ocurre donde la superficie del otolito empieza a curvarse. En un cierto porcentaje de los otolitos, el ancho de las bandas disminuye suavemente, por lo que la Zona de la *Transición* puede ser menos obvia. En esta situación la Zona de *Transición* se asigna al punto donde la superficie empieza a curvarse. En la zona de pre-*transición* las bandas, a menudo, están irregularmente espaciadas y raramente muestran un ancho regular decreciente a medida que aumenta la distancia desde el **primordium**.



Las cuentas de la Zona de Transición al margen de la sección se hacen a 60X, ya que la estructura de anillos es mucho más fina que en la región de pre-transición, particularmente en los márgenes de otolitos de peces grandes.

Algunas secciones de otolitos son difíciles de interpretar, esto es debido a la complicada estructura de las zonas y múltiples bandas afuera de la zona de transición. A veces es difícil de determinar si se deben contar bandas individuales o si se deben agrupar algunas bandas para representar el crecimiento de un año. En el área de post-transición, cambios sutiles en el color de la sección a veces marcarían los límites de la zona, indicando que bandas múltiples están presentes dentro de una zona.

Alfonsino

El otolito sagital de *alfonsino* es más bien plano, con una leve concavidad en la cara externa que es la que se analiza, sus bordes son regulares con pequeñas escotaduras en los márgenes, el ancho es levemente inferior al largo del otolito (Fig. 7). Las lecturas se realizan mediante un estéreo-microscopio con aumento de 10X e iluminación reflejada, colocando los otolitos sobre un fondo oscuro, inmersos en aceite. Esta estructura muestra un patrón de alternancia entre las zonas translúcidas y opacas que son claramente visibles sobre la parte anterior de su lado cóncavo. El núcleo se cuenta como la primera zona opaca y el foco se usa como el origen del eje a lo largo del cual se mide el radio de cada anillo empleando un micrómetro ocular.

Se consideró que cada anillo de crecimiento válido (descartando los anillos falsos y dobles), es equivalente a 1 año de vida del pez, esto se sustenta en la validación realizada mediante el análisis del periodicidad de formación del anillo translúcido en el borde de los otolitos por Lehodey y Grandperrin 1996 y Adachi *et al.*, 2000.



4.5.2 Precisión en las determinaciones de edad

El objetivo de comparar las determinaciones de edad de diferentes lectores sobre un conjunto de muestras, es contar con los elementos que permitan medir la precisión con que se está asignando las edades y la consistencia que tienen tales observaciones con el transcurrir del tiempo. Para comparar la precisión y/o el grado de concordancia entre las determinaciones de edad, entre un mismo lector (en diferentes tiempos), entre lectores o entre lecturas de edad sobre muestras preparadas por distintas técnicas, se han desarrollado diferentes métodos.

Uno de los métodos más comunes es comparar el porcentaje de determinaciones de edad que concuerdan, ya sea totalmente o aceptando una variabilidad dada, lo que se resumiría en contabilizar el número de muestras en que la diferencia de las edades determinadas por los lectores sobre una misma muestra es cero; ± 1 , ± 2 , etc. Este es un procedimiento simple, pero útil en una primera comparación de la información.

Otros métodos de comparación son los que consideran aspectos de desviación de las observaciones con respecto a valores promedios y la desviación estándar, como lo son los que describen Beamish y Fournier (1981) y Chang (1982), quienes proponen métodos para evaluar la precisión entre una serie de determinaciones de edad y consideran que un pequeño índice es preciso.

Beamish y Fournier (1981), calculan el porcentaje de error promedio (APE) como:

$$APE = \frac{100}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right]$$



donde:

- N : son los peces a los que se les asignó edad
- R : es el número de veces que fue leída la muestra
- X_{ij} : es la i-ésima determinación de edad del j-ésimo pez
- X_j : es la edad promedio calculada para el j-ésimo pez

Chang (1982), sugirió el uso de un coeficiente de variación (CV) para probar la concordancia entre lecturas de edad utilizando un índice de precisión (D) que se describe como:

$$D = \frac{100}{N} \cdot \sum_{j=1}^N \frac{V}{\sqrt{R}} = \frac{100}{N} * \sum_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{R}} \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R (X_{ij} - X_j)^2}}{R-1} \cdot X_j$$

donde los símbolos tienen el mismo significado que en la fórmula anterior.

4.5.3 Estimación de los parámetros de crecimiento

Para la estimación del crecimiento, la información básica es la totalidad de las observaciones de talla-edad actual. Este procedimiento se usa especialmente, en los casos en que la técnica de lectura utilizada no permite medir los anillos de crecimiento con exactitud, debido a que el corte muchas veces no pasa por el origen, no siendo comparables las mediciones, más aún cuando son de tal longevidad que no es factible medir los anillos, como en el caso presente de *orange roughy*. Por ello se opta por contar los anillos obteniendo la edad al momento de la captura, lo que se denomina edad actual.

Cuando además de contarlos, se miden los anillos, se tiene la alternativa de estimar los parámetros mediante la técnica de retrocálculo, en este estudio no se utilizó, ya que se cuenta con el rango completo de edades de *alfonsino* (desde la edad 1 en



adelante), que es el aporte principal del retrocálculo, al estimar la longitud media de los individuos para las edades menores, que muchas veces no están en la pesquería, generalmente, debido a la selectividad del arte de pesca, y por lo tanto, no presentes en la muestra de estructuras duras.

Las estimaciones de los parámetros de crecimiento del modelo de Von Bertalanffy para machos, hembras y ambos, se obtuvieron empleando la rutina no lineal del paquete estadístico, Systat 7.0 (SPSS INC.), entregando los valores de L_{∞} , K y t_0 con sus respectivos intervalos de confianza (95%), las matrices de correlación y los errores estándares. La formulación del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy es la siguiente:

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

donde:

- L_{∞} : longitud asintótica, es la longitud máxima promedio que alcanzarían los peces si crecieran indefinidamente
- K : coeficiente de crecimiento (edad^{-1})
- t_0 : edad hipotética del pez cuando su longitud es cero

4.5.4 Comparación de las curvas de crecimiento

Para comparar las curvas de crecimiento resultantes de machos hembras y ambos, se empleó el test T^2 de Hotelling como lo propuso Bernard (1981), pero con una formulación similar a la propuesta por Cerrato (1990), que es la siguiente:

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



donde $(P_1 - P_2)'$ es el vector transpuesto (vector fila) de $(P_1 - P_2)$, siendo este último el vector diferencia de los parámetros de crecimiento (vector columna). Además, $S_{(P_1 - P_2)}$ representa la matriz de varianza-covarianza del vector diferencia de estimaciones.

La regla de decisión del estadístico T^2 considera como hipótesis la igualdad de los vectores de parámetros de crecimiento. Esta se rechaza si el T^2 calculado iguala o supera el valor crítico T_o^2 y se acepta en el caso contrario. El valor crítico se calcula de acuerdo a la siguiente formulación:

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

donde F corresponde al percentil de la distribución de Fisher con 3 y $N_1 + N_2 - 6$ grados de libertad y donde N_1 y N_2 corresponde al tamaño muestral utilizado para estimar los parámetros de crecimiento.

Otro método de comparación fue sugerido por Chen *et al.*, (1992), el que utiliza los valores de las sumas de cuadrados residuales producidos en el proceso de ajuste de los parámetros de los sexos en forma separada y en conjunto. La formulación es la siguiente:

$$F = \frac{\frac{RSS_p - RSS_s}{3(K-1)}}{\frac{RSS_s}{N-3K}}$$

donde:

- N : Número total de ejemplares
- K : Número de grupos a comparar
- RSS_s : Suma de cuadrados residuales adicionada de los grupos a comparar
- RSS_p : Suma de cuadrados residuales del ajuste agrupado



Por otra parte, Munro y Pauly (1983) propusieron un indicador que representa y cuantifica la energía de un hábitat determinado, ya que incide directamente sobre el crecimiento de los individuos y por lo tanto está relacionado con el metabolismo y la alimentación. Este es el Índice de crecimiento efectivo (Φ') cuya formulación es la siguiente:

$$\Phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_{\infty}$$

4.6 Estimación de mortalidad natural en *orange roughy* y *alfonsino*

Se realizaron estimaciones de la mortalidad natural mediante el uso de métodos específicos estándares que hoy en día se manejan en la literatura y que se dividen en tres grandes grupos:

a) Métodos con relación a la historia de vida o Bioanalógicos

- Método de Rikhter y Efanov (1976)

Este modelo consiste en una relación hiperbólica entre la tasa instantánea de mortalidad natural y la edad de primera madurez sexual:

$$M = \frac{1,521}{tm_{50\%}^{0,720}} - 0,155$$

donde:

M : Mortalidad natural
 $tm_{50\%}$: edad de primera madurez sexual



- **Método de Alagaraja (1984)**

Este modelo se asocia directamente a la longevidad del individuo, y se expresa como la edad a la que el 99% de una cohorte habría muerto sólo por causas naturales, vale decir, si T_{max} representa la longevidad media y M1% la mortalidad natural correspondiente al 1% de supervivencia, entonces se tiene que:

$$M1\% = -\ln(0,01) / T_{max}$$

donde :

T_{max} : máxima esperanza de vida del individuo (años)

- **Método de Alverson y Carney (1975)**

Los autores proponen un método basado en el tiempo de una cohorte, la cual maximiza sus pesos agregados y su edad máxima teórica:

$$M = \frac{3 * K}{e^{T_{max} * K * 0.25} - 1}$$

donde la longevidad máxima podrá ser deducida por la expresión de Taylor (1958):

$$T_{max} = t_0 - \ln(0,05) / K$$

donde :

K : coeficiente de crecimiento del modelo de Von Bertalanffy.
 t_0 : edad teórica que tiene un pez cuando su talla es cero



- **Método de Roff (1988)**

Esta metodología emplea la siguiente expresión para el cálculo de la mortalidad natural:

$$M = \frac{3 * K * e^{-K * tms_{opt}}}{1 - e^{-K * tms_{opt}}}$$

donde tms_{opt} corresponde a la edad en la cual el 100% de los ejemplares se encuentran sexualmente maduros.

- **Modelo de Taylor (1958)**

Este modelo relaciona M con los parámetros de crecimiento (K y t_0), a través de la siguiente expresión:

$$M = \frac{2,966 * K}{2,966 + K * t_0}$$

- **Mortalidad Total (Z)**

Con el fin de extraer por intercepto un probable valor alternativo de M, a través del posible efecto de correlación entre la mortalidad total anual y el esfuerzo de pesca, se plantean dos enfoques regresionales distintos:



b) Métodos de análisis de curvas de captura

• Método regresional de la captura en tallas

Corresponde a la linearización de la curva de captura, basada esencialmente en tallas, aún cuando están igualmente disponibles para edades. El supuesto básico detrás de este método consiste en que cuando se enfrenta a una población en estado virginal, las estimaciones de la mortalidad total entregan una estimación de M , dado que la población no ha sufrido presión de pesca ($Z = M$).

En su forma talla-específica el método se describe como:

$$\ln\left(\frac{C(L)}{\Delta_i(L)}\right) = c - Z * t(\bar{L}_i)$$

donde:

$$\Delta_i(L) = \frac{1}{K} * \ln\left(\frac{L_\infty - \bar{L}_i}{L_\infty - L_{i+1}}\right)$$

$$t(\bar{L}_i) = t_0 - \frac{1}{K} * \ln\left(1 - \frac{\bar{L}_i}{L_\infty}\right)$$

- $C(L)$: captura del L -ésimo intervalo de talla
 $\Delta_i(L)$: tiempo (años) transcurrido en el crecimiento entre \bar{L}_i y \bar{L}_{i+1}
 $t(\bar{L}_i)$: edad correspondiente a la talla \bar{L}_i
 \bar{L}_i : marca de clase del i -ésimo intervalo de tallas
 L_∞ : máxima talla promedio que puede alcanzar la especie
 K y t_0 : corresponden a los parámetros de crecimiento de Von Bertalanffy.

Realizando algunos arreglos algebraicos se obtiene la curva en edades

$$\ln(C(t, t + \Delta t)) = g - Zt$$



donde:

t : tiempo
 g : constante

• **Van Sickle (1977)**

Se estima el coeficiente instantáneo de mortalidad total a través de la relación existente entre los logaritmos naturales del número de individuos presentes a cada longitud versus la talla respectiva:

$$\ln N(Z) = a + S L(Z)$$

donde:

$$Z = a - g * S + K$$

Z : Tasa instantánea de mortalidad
 N : Número de individuos presentes en cada longitud "L"
 g : Tasa media de crecimiento anual en longitud
 K : Coeficiente de crecimiento de Von Bertalanffy
 S : Tasa anual de sobrevivencia
 a : constante

Finalmente, la elección de M que en definitiva se empleará en los análisis posteriores, estará supeditada a la selección de aquellos valores que se encuentren en el dominio propuesto por Beverton y Holt (1959):

$$1,5 \leq \frac{M}{K} \leq 2,5$$

y de éstos, a un estimador insesgado de M ponderado por el inverso de su varianza en la forma:



$$M = \frac{\sum M_i * \sigma_i^{-2}}{\sum \sigma_i^{-2}}$$

donde las varianzas de cada valor puntual de M, se determinan a través de simulación de Monte-Carlo bajo la hipótesis de normalidad de los parámetros biológicos involucrados.

Curva de captura linearizada, basada en datos de composición de tallas.

Este método utiliza la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy inversa para convertir las tallas a edades, de manera que no supone una determinación directa de la edad.

$$t(L) = t_0 - \frac{1}{k} * \ln\left(1 - \frac{L}{L_{\infty}}\right)$$

así se estima

$$L1 = L(t) \text{ y } L2 = L(t + \Delta t)$$

Con esta correspondencia se puede cambiar el intervalo de edad $[t+\Delta t]$ por la talla $[L1, L2]$ y modificar la notación para el número de individuos capturados.

$$C(t + \Delta t) = C(L1, L2)$$

A partir de lo anterior se obtiene el término $(t + \Delta t/2)$ siendo aproximadamente igual a

$$t\left(\frac{L1 + L2}{2}\right) = t_0 - \frac{1}{K} * \ln\left(1 - \frac{L1 + L2}{2L_{\infty}}\right)$$



El resultado final es la “curva de captura linearizada de tallas convertidas”

$$\ln \frac{C(L1, L2)}{\Delta t(L1, L2)} = c - Z * \left(t \frac{L1 + L2}{2} \right)$$

Siendo

- Z = pendiente
- c = constante (intercepto)
- C = captura
- L = talla

En este punto, Z representa la mortalidad total ejercida sobre el recurso, pero como se trata de estructuras de un recurso en estado prácticamente virginal, Z representa la mortalidad natural M.

Curva de captura acumulativa basada en datos de composición de longitud (Jones y van Zalinge, 1981).

Al igual que en el caso anterior este método se basa en la ecuación de Von Bertalanffy, considerando que

$$\ln C(L, L_{\infty}) = d - Z * \left[t_0 - \frac{1}{K} * \ln \left(1 - \frac{L}{L_{\infty}} \right) \right]$$

que se puede convertir a

$$\ln C(L, L_{\infty}) = d - Z * t_0 - \frac{Z}{K} * \ln L_{\infty} + \frac{Z}{K} * \ln(L_{\infty}, L)$$

Los primeros tres términos son constantes que se expresan como

$$a = d - Z * t_0 - \frac{Z}{K} * \ln L_{\infty}$$

Obteniéndose finalmente la ecuación de Jones y van Zalinge



$$\ln C(L, L_{\infty}) = a + \frac{Z}{K} * \ln(L_{\infty}, L)$$

en que las pendientes de la ecuación a ser regresionada es $\frac{Z}{K}$, de esta manera, si se conoce K, podemos obtener un estimado de Z, que para un recurso en estado virginal corresponde a M.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Convenio de Asesoría Técnica IFOP-NIWA

En virtud del Convenio de Asesoría Técnica entre el Instituto de Fomento Pesquero y el NIWA (Anexo 1), se desarrollaron dos Pasantías Técnicas, la primera con un integrante del equipo de trabajo de IFOP en los laboratorios de edad del **National Institute of Water and Atmospheric Research** de Nueva Zelandia y en la segunda viajó una investigadora neozelandesa a Chile para trabajar en el laboratorio de edad del IFOP. Los principales resultados de ambas actividades, se presentan a continuación, y en detalle en los Anexos 2 y 3.

5.1.1 Pasantía en los laboratorios del NIWA.

Los trabajos desarrollados en los laboratorios del NIWA en Wellington y Nelson fueron los siguientes:

a) **Incorporación de la técnica de preparación de láminas de otolitos de *orange roughy* para la determinación de edad.**

En este punto se distinguen los siguientes pasos:

- Preparación de láminas de otolitos.
- Inclusión de los otolitos en resina.
- Corte de los otolitos.
- Pulido y montaje de las láminas:
 - Pulido manual de una cara y montaje de la lámina.
 - Pulido mecánico de la lámina fijada.



b) Análisis de edad y comparación de lecturas de láminas de otolitos de *orange roughy*.

El trabajo se dirigió, en primer lugar, al análisis de otolitos de ejemplares de tamaño inferior a los 10 cm de longitud estándar, utilizando un microscopio estereoscópico con aumento de 30X e iluminación reflejada. Estos otolitos presentan entre uno y tres anillos y son los que, en Nueva Zelanda, permitieron validar los tres primeros años de vida de los peces siguiendo las clases modales (Fig. 8). Se analizó un total aproximado de 35 ejemplares pequeños. Este examen de otolitos enteros y las dimensiones que presentan, cobra importancia al momento del análisis de secciones de otolitos, donde es posible observar y medir las marcas correspondientes a los tres primeros anillos de crecimiento.

La determinación de la edad en secciones de otolitos de ejemplares adultos de *orange roughy*, se realizó empleando microscopios estereoscópicos con aumento de 30X y 60X e iluminación transmitida. Las lecturas se realizaron, sobre muestras de láminas de otolitos de 30 ejemplares del año 1998, preparadas durante 1999 en el laboratorio del NIWA, ya leídas por la Dra. Tracey y sobre la que se realizó la comparación y discusión de la posición y características de los anillos de crecimiento, así como también sobre la ubicación de la Zona de Transición. Junto a las anteriores se analizó una muestra de 52 ejemplares que se prepararon durante la pasantía.

Los resultados de esta tarea están en directa relación con la discusión que se generó entre las partes en el momento de la comparación de lecturas y es lo que permitió definir las características de los anillos de crecimiento y la diferencia con los anillos falsos. Asimismo, se establecieron los criterios para definir la Zona de *Transición* y la formación de anillos a partir de dicha zona. Se cuentan, entonces, anillos en dos sectores de la sección, que son:



- 1.- **Zona *Primordium* a Zona de *Transición*.**- Este sector de la lámina corresponde a los anillos ubicados entre el punto de origen o *primordium* del otolito y la Zona de *Transición*, vale decir es el área más antigua del otolito y con tasas de crecimiento más altas. Es factible observar numerosas marcas, sin embargo, éstas se van agrupando junto a una principal, que es la que se identifica como anual. Generalmente se observan gruesas, y dependiendo del corte realizado, son de tonalidad café oscuro. Al llegar a la Zona de *Transición*, los anillos oscuros prácticamente desaparecen. Esta área se ha asociado con la edad de primer desove de los ejemplares (Francis y Horn, 1997).
- 2.- **Zona de *Transición* a margen posterior.**- Los anillos que se forman después de la Zona de *Transición*, son más finos que los de la zona anterior y se forman muy próximos entre sí en una secuencia muy regular, producto de la notoria baja en las tasas de crecimiento.

Como una forma de contar con valores referenciales de determinación de edad, se presentan los resultados obtenidos en la comparación de lecturas. Se debe señalar, previamente, que en esta etapa se están comparando lecturas de analistas con gran desnivel en el conocimiento de la determinación de edad en *orange roughy*, de manera que los resultados se deben observar bajo este prisma.

En las Tablas 1 y 2 del Informe de Pasantía de la Primera Etapa (Anexo 2), se presentan los resultados obtenidos en la lectura de las muestras de 1998 y del 2000 (30 y 48 ejemplares respectivamente) y las diferencias observadas entre ellos. En la Fig. 1 del mismo Informe, las comparaciones corresponden a la muestra de 1998, donde es posible observar que, en ambos lectores, las determinaciones de edad, están asociadas a la longitud horquilla, dato desconocido al momento de la lectura. Otro tanto se puede establecer en la Fig. 2, que en A) se presentan las lecturas del



lector con experiencia, en B) las del lector en entrenamiento y en C) ambas lecturas. Si bien existen diferencias entre los lectores, éstas son más afines de lo esperado, vale decir que no son tan extremas, considerando la gran longevidad de la especie y el desnivel de experiencia de los lectores.

Comparando las determinaciones de edad en forma absoluta, y agrupando cada cinco anillos, en la Tabla 3 del Primer Informe, se observa que el grado de afinidad de lecturas entre 0 y 4 años alcanzó al 47% en la muestra total (C), y entre 5 y 9 años llegó al 22%. Estos valores deberán ser minimizados en la medida que se incremente la experiencia del segundo analista, para llegar a valores aceptables de acuerdo a la longevidad y a las dificultades en la determinación de la edad de la especie en estudio.

En cuanto a la concordancia alcanzada entre ambos lectores, en la zona de *pre-transición* para la muestra de 1998, para el intervalo de 0 a 4 anillos, el porcentaje de concordancia llegó al 84%, mientras que para la zona de *post-transición* la afinidad de lecturas bajó al 60%. Para la muestra del año 2000, para el primer intervalo (0 a 4 anillos) la concordancia fue del 80%, en tanto que en la siguiente zona, el grado de afinidad baja notablemente a sólo el 43%, incrementándose el intervalo de 5 a 9 anillos a 34%. Esto viene a confirmar la gran dificultad para establecer la edad que presenta esta especie, sin embargo, en la medida del incremento en experiencia de los analistas, la concordancia en las lecturas se va estrechando.

c) Análisis de edad y comparación de lecturas de otolitos de *alfonsino*

Esta especie presenta otolitos de un notable menor grado de dificultad para su interpretación, por lo que incluso es factible de leer enteros sin necesidad de aplicar



técnicas de preparación para hacer aparentes los anillos, como es el caso de *orange roughy* y otras especies, especialmente demersales, como congrio (ling), merluzas (hake) y merluza de cola (hoki).

El trabajo se realizó en conjunto con el Dr. Peter Horn en los laboratorios del NIWA ubicados en la ciudad de Nelson en Isla del Sur, Nueva Zelanda y se dirigió hacia los siguientes aspectos:

1. Revisión de lecturas de otolitos de *alfonsino* de Chile realizadas previamente por Raúl Gili en Valparaíso.
2. Revisión de lecturas de otolitos de *alfonsino* de Nueva Zelanda realizadas previamente por el Dr. Horn.
3. Revisión de lecturas de otolitos de *alfonsino* de Chile, no leídos previamente.

El trabajo se enfocó en primer lugar, a establecer los criterios que utilizaba cada analista para reconocer los anillos verdaderos, los anillos falsos y los tipos de borde, asimismo la forma de medir y el aumento e iluminación a utilizar. Todo esto con el fin de evaluar y unificar los criterios de identificación a utilizar. Los resultados de las lecturas comparadas en esta especie indicaron un alto grado de afinidad entre ambos analistas, variando en la mayoría de los casos entre 0 y 1 anillo de diferencia (79 y 97% respectivamente). En aquellos otolitos en que las diferencias eran mayores, la discusión reveló que ambos lectores tenían un nivel similar de dudas, deduciendo que la dificultad se encontraba básicamente en las características del otolito y no en la disparidad de criterios. En la Fig. 3 (Anexo 2), se puede apreciar el nivel de concordancia existente entre ambos lectores.

Se concluyó que los resultados de la Pasantía en el NIWA fueron óptimos, puesto que se cumplió a cabalidad con los objetivos propuestos para la etapa, quedando



capacitado el Jefe de Proyecto para desarrollar en Chile los trabajos para la preparación de los otolitos de *orange roughy*, incorporando los criterios para la lectura de los anillos de crecimiento de ambas especies y pudiendo con ello transferir estos conocimientos a otros integrantes del equipo de trabajo de este estudio.

El detalle de los resultados se entrega en el Anexo 2, Informe de Pasantía: Asesoría técnica en preparación y lectura de otolitos de *orange roughy* y *alfonsino*.

5.1.2 Pasantía en el laboratorio de edad de IFOP.

En la segunda etapa del Convenio con el NIWA se contempló la visita de la Investigadora Dianne Tracey al laboratorio de edad del IFOP en Valparaíso, la que se llevó a cabo entre el 12 y el 24 de marzo de 2001 y cuyos objetivos fueron la revisión de la técnica de preparación de secciones finas de otolitos de *orange roughy*, la comparación de lecturas realizadas y otros temas de relevancia. Esta visita fue de gran importancia ya que permitió evaluar la aplicación de la metodología de preparación de secciones de otolitos, la marcha en general del estudio y la discusión de aspectos relacionados con la validación de la determinación de la edad de *orange roughy*.

Las conclusiones alcanzadas luego de esta segunda etapa de la asesoría del experto del NIWA fueron las siguientes:

- 1. De la preparación de las muestras:** en el IFOP se replicó la técnica que utiliza el NIWA en Nueva Zelanda, se introdujeron modificaciones o refinamientos de manera de acomodar los diferentes aspectos de ella a las condiciones existentes en el país, principalmente en cuanto a diferencias de



materiales. Algunos cambios tendieron a acelerar la línea de producción de las secciones de otolitos sin perder calidad.

2. **De las lecturas de secciones de otolitos:** se continuó con las comparaciones de lecturas de las secciones de otolitos, incorporándose al segundo lector de IFOP, discutiendo los criterios de identificación de anillos e identificando la zona de transición.
3. **Otros comentarios:** se pudo apreciar que la edad a la cual se forma la zona de transición es similar a la observada en Nueva Zelandia, alrededor de los 30 años. Además, debido a que los tamaños de los ejemplares son más grandes, se han observado ejemplares de mayor edad, lo que es lógico en una pesquería que está en sus etapas iniciales.

En Anexo se presenta el Informe respectivo.



5.2 Implementación de la técnica de preparación y análisis de otolitos en el laboratorio de edad del IFOP.

En el laboratorio de edad del IFOP, se implementó una línea de trabajo con el fin de producir en forma eficiente, secciones longitudinales finas y pulidas de otolitos de *orange roughy*. La técnica de preparación y montaje de las secciones o láminas de otolitos, debió ser adaptada a los equipos del laboratorio y a los elementos disponibles en el país. Es así que los moldes individuales importados (USA) que se utilizan en Nueva Zelandia, en el caso de IFOP son nacionales y se optó por confeccionarlos en bandejas de 20 unidades. El tipo de resina epóxica que se está utilizando es diferente al empleado en el NIWA, sin embargo, entrega resultados similares.

El resto de los pasos que se deben seguir para la preparación de las secciones de otolitos es similar. Cabe señalar que el proceso de corte y pulido de las secciones es crucial para la identificación de los anillos de crecimiento de *orange roughy*. Si bien es un proceso largo y laborioso, los resultados son óptimos, si se siguen correctamente cada uno de los pasos descritos. El grosor diferenciado que deben tener los sectores del primordium y del margen, es un aspecto que se debe tomar en cuenta rigurosamente a fin de lograr láminas en que su calificación de legibles o ilegibles se deba sólo a las dificultades inherentes al otolito y no a deficiencias en la preparación de las muestras. En las Figs. 5 y 6 se pueden apreciar las láminas de otolitos de *orange roughy* que se elaboraron en los laboratorios de IFOP, en la primera se observan con luz reflejada y en la segunda con luz transmitida, con éstas se realizan las observaciones de la edad.

La calidad de las muestras de láminas de otolitos que se lograron en el laboratorio de edad del IFOP, fue óptima ya que fue factible diferenciar claramente los anillos



de crecimiento. Fue fundamental la pericia del técnico, ya que se debe pulir la lámina hasta un nivel preciso para no perder los anillos por un exceso de tratamiento. Por otra parte, fue provechoso que la misma persona que hizo las preparaciones también haya participado en las lecturas de las láminas, lo que le permitió un autocontrol de calidad. Estas fueron algunas de las razones por las cuales se lograron rápidamente muestras de excelente factura, tal como lo señaló en su Informe la Dra. D. Tracey (Anexo 3).

5.3 Estimación de edad y crecimiento en *orange roughy* y *alfonsino*

5.3.1 Muestreos biológicos

En el marco del presente estudio, se realizaron muestreos biológicos especiales de las especies objetivo en Plantas pesqueras de la Octava Región, junto al personal de muestreadores estables que labora en esta actividad en la Zona. Los objetivos de estas actividades fueron constatar aspectos específicos de la modalidad de muestreo tales como: la forma de conservar la estructura dura luego de su extracción del oído del pez, la posición que tiene dentro del sáculo y otras. Se verificaron las facilidades y limitaciones para la obtención de las muestras y se tomaron fotografías del procedimiento de muestreo, cuyas secuencias se presentan en el Anexo 4.

Se constató la colaboración que han dispensado al IFOP los ejecutivos de las Pesqueras de la Octava región, posibilitando el trabajo de obtención de la información biológico-pesquera en este proyecto y otros.

Se verificó además el riguroso cumplimiento del personal de muestreadores a las normas de seguridad e higiene que ha implantado cada Empresa para el ingreso y



desplazamiento al interior, ya que se están procesando productos fácilmente contaminables dirigidos a la exportación hacia países con estrictas normas sanitarias.

5.3.2 Tamaño y estructura de tallas en las muestras de edad

Para la estimación de la edad de *orange roughy*, se preparó un total de 686 otolitos de los cuales resultaron legibles 607, de éstos fueron 296 machos y 311 hembras. En machos, los tamaños fluctuaron entre 27 y 55 cm de longitud horquilla, en tanto que las hembras se distribuyeron entre 27 y 63 cm. Los otolitos ilegibles fueron 79, que representaron el 11% del total de muestras preparadas, este relativamente alto porcentaje indica el grado de mayor dificultad de la estructura en análisis. Por otra parte, se debe tomar en consideración que en los procesos de lecturas dobles y de discusión de éstas, el número real se eleva a una cifra cercana a los 1.250 análisis.

La distribución de tamaños por clase de tallas de 5 cm, para machos, hembras y ambos sexos se presenta en la Fig. 9. Se observa claramente una diferenciación en la estructura de tamaños, los machos presentaron una moda en la clase 35-39 cm mientras que las hembras fueron más grandes, con una moda en 45-49 cm y alcanzando tallas mayores (talla máxima: 63 cm) donde los machos fueron muy escasos (talla máxima: 55 cm), vale decir que todos los ejemplares observados por sobre esta talla fueron hembras.

Para el caso de *alfonsino*, se utilizó un total de 1.387 otolitos, de los cuales fueron 681 machos y 706 hembras. En machos los tamaños fluctuaron entre 17 y 53 cm de longitud horquilla, en tanto que las hembras se distribuyeron entre 17 y 57 cm. Los otolitos ilegibles fueron mínimos, sólo se descartaron algunos por estar inaptos para



la lectura, como por ejemplo algunas fracturas en la pieza. Con las lecturas dobles y discusiones, el número real de análisis alcanzó aproximadamente a 1.700.

La distribución relativa de tamaños por sexo se presenta en la Fig. 10, observándose un equilibrio en las clases de talla, disminuyendo drásticamente a partir de los 50 cm en machos y de los 54 cm en las hembras. En la muestra, las tallas menores a 30 cm presentan un cierto incremento debido a la necesidad de incorporar ejemplares de tallas pequeñas, que son poco frecuentes en las capturas a causa de la selectividad del arte de pesca. Estos ejemplares son importantes ya que determinan, en gran medida, la forma inicial de la curva de crecimiento.

Cabe señalar que ante la escasez de los ejemplares de tamaño pequeño y por sobre 50 cm, en las capturas comerciales, fue necesario que el personal de muestreadores abordó de las embarcaciones debiera realizar un esfuerzo adicional para obtener tales individuos de tallas extremas.

5.3.3 Precisión en las determinaciones de edad.

Debido a la complejidad de las estructuras para la asignación de la edad y la gran longevidad de la especie, la prioridad principal en los análisis de *orange roughy*, fueron las lecturas conjuntas de secciones de otolitos de este recurso y de otolitos enteros de *alfonsino*, a fin de discutir entre los dos lectores nacionales, los criterios de identificación de los anillos de crecimiento y estandarizar y unificar la forma de asignar la edad a las estructuras en análisis, de acuerdo con los criterios establecidos en la Asesoría Técnica del NIWA a IFOP para ambas especies.

En una segunda etapa del estudio, se realizó un programa de comparación de lecturas, que incluyó un total de siete procesos para *orange roughy* y cuatro para



alfonsino. Consistieron en lecturas separadas de los analistas, con el objetivo de evaluar el grado de afinidad que se lograba en la medida que éstos iban adquiriendo experiencia en el análisis del patrón de anillos de crecimiento de los otolitos. En estas actividades, se estableció una tendencia a incrementar la concordancia entre los lectores, aún cuando en algunos de los conjuntos de lecturas se observó un retroceso en el nivel de concordancia. La razón de ello está relacionada con la complejidad de los otolitos en análisis, que son los que evidentemente muestran el rango más alto de los estudiados hasta la fecha. Para ± 4 años la concordancia está alrededor del 40% y para ± 10 años el porcentaje sube al 67% con las fluctuaciones observadas en la Tabla 1. Un valor referencial lo entregaron Smith *et al.*, (1995) para *orange roughy* de Australia, con el 90% de concordancia para el rango de ± 10 anillos, pero con analistas entrenados en esta especie y con ejemplares de tallas y edades notablemente menores que los del presente estudio.

Otro tipo de comparación de lecturas consistió en evaluar la precisión obtenida en series de determinaciones de edad, en las que se consideran los valores promedio y la desviación estándar, éstos son: el porcentaje de error promedio (APE) de Beamish y Fournier (1981) y el índice de precisión sugerido por Chang (1982). En la Tabla 2 se presenta el grado de decremento en los valores porcentuales de los índices APE, V y D en la medida que se van realizando los procesos de comparación de lecturas, incrementándose el grado de precisión entre ambos lectores, transitando el APE desde 7,7% hasta 2,2% y confirmando el análisis del incremento relativo de la concordancia entre los dos lectores y sus fluctuaciones a causa de la complejidad de las estructuras. Smith *et al.*, (1995), señalaron que para el rango de ± 10 anillos, el índice APE fue de 4,4%. Por lo tanto, los niveles alcanzados en Chile se consideran aceptables para la gran longevidad que alcanza el recurso en estas aguas.



En *alfonsino* este procedimiento se repitió en cuatro ocasiones analizándose el progreso experimentado en la concordancia entre los dos lectores. Dado que esta especie presenta una longevidad por sobre los 20 años, una diferencia de ± 1 anillo es un nivel más que aceptable, por lo que los análisis se referirán a la concordancia total (0 diferencia) más la diferencia de un anillo entre ambos lectores. En la Tabla 3 se puede observar el progreso logrado en la concordancia entre los dos lectores, en la primera parte, se presenta la concordancia absoluta y en la segunda, la concordancia relativa. Se observa que en la primera lectura se logró un 58% de concordancia, para luego alcanzar un incremento gradual hasta la cuarta lectura comparada en que se alcanzó el 85,7% de concordancia. El grado de decremento en los valores porcentuales de los índices APE, V y D se presenta en la Tabla 4, sucediendo una progresión similar a la de *orange roughy*, confirmando el análisis del incremento relativo de la concordancia entre los dos lectores.

En ambas especies, fue posible advertir que uno de los lectores, consistentemente, estimaba mayores edades. En el caso de *orange roughy*, se decidió emplear las lecturas del lector que demostró mayor concordancia y consistencia en las lecturas comparadas con la Dra. D. Tracey durante su estadía en el laboratorio de IFOP. Según el mismo criterio, en *alfonsino*, se utilizaron las lecturas que realizó el lector que comparó con el Dr P. Horn.

La importancia de estos procesos de comparación de lecturas consiste en la discusión que se logra entre los analistas al verse enfrentados a diferentes patrones de disposición de anillos que entrega cada otolito, experiencia que cada analista va aplicando posteriormente. Las lecturas que se utilizaron en los análisis posteriores fueron las de consenso.



5.3.4 Relación edad-talla observada

De la lectura de los anillos de crecimiento en las láminas de otolitos de *orange roughy*, se obtuvo la relación entre la edad y el tamaño de los ejemplares para cada sexo. Se estableció que los machos fluctuaron entre 23 y 150 años mientras que las hembras oscilaron entre 21 y 164 años, por otra parte, los tamaños se distribuyeron entre 27 y 53 cm en machos y 27 y 63 cm en las hembras. (Tabla 5).

La relación entre la edad asignada y la longitud de los peces, para cada sexo se presenta en la Fig. 11 donde se observa que esta relación, se comporta de acuerdo al modelo de Von Bertalanffy, vale decir, existe una relación entre ambas variables donde, en la medida que se incrementa la edad, la longitud de los peces también experimenta un incremento, pero ésta se va haciendo cada vez menor hasta llegar a una asíntota, donde el crecimiento es prácticamente nulo. Esta Figura indica la existencia de un crecimiento diferenciado entre los sexos, probablemente con tasas más altas y una mayor longevidad en las hembras.

En la distribución de tamaños de *orange roughy* en las capturas que se han realizado en Chile, las tallas menores a 33 cm, prácticamente no están presentes, por lo que la relación edad-talla, presenta un sesgo en las tallas menores que corresponden a ejemplares inmaduros. La razón de la ausencia de ejemplares menores en las capturas chilenas de *orange roughy*, estaría relacionada con una segregación de los ejemplares inmaduros en los meses de invierno, época en que se congregan machos y hembras para fines reproductivos y que corresponde, precisamente, al período en que la flota ejerce su actividad extractiva.

De la lectura de los anillos de crecimiento en otolitos enteros de *Alfonsino*, se obtuvo la relación entre la edad y el tamaño de los ejemplares para cada sexo. En la



Tabla 6 se presenta la relación edad - talla promedio observada para machos y hembras con sus respectivas amplitudes mínimas y máximas, además del número de individuos para cada edad. Se observa que ambos sexos presentan tallas similares para las primeras edades, oscilando entre las edades 1 y 9 con valores muy próximos entre sí, luego se verifica que las hembras presentan mayores tamaños que los machos, llegando éstos hasta la edad 15, mientras que las hembras se prolongan hasta los 19 años, evidenciando un comportamiento característico de muchas especies, en que las hembras presentan una mayor longevidad.

Las curvas de distribución de tamaños de *alfonsino* de machos y hembras se presentan en la Fig. 12, donde es posible observar el comportamiento de los tamaños para cada sexo en la medida que avanza la edad. Se constata lo señalado anteriormente, que a contar de la edad 10 el tamaño de los machos se va haciendo menor que el de las hembras, alcanzando hasta los 15 años. Se aprecia, además, que el comportamiento de la distribución de tamaños de machos y hembras, es factible ajustar el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy.

5.3.5 Relación entre el radio del otolito y la longitud del pez en *alfonsino*

Como una manera de confirmar que el otolito es una estructura válida para establecer el crecimiento de los peces, se estimó la relación entre el radio de los otolitos (RO) en mm y la longitud horquilla de los peces (LH). Esta relación se grafica en la Fig. 13, observándose la proporcionalidad existente entre el incremento en tamaño del otolito y el incremento de longitud de los peces. Mediante mínimos cuadrados se estableció que corresponde a una relación de tipo potencial con coeficientes de determinación fluctuando entre $r^2 = 0,78$ y $0,87$; de manera que el



otolito es un buen predictor del crecimiento de los peces. Las ecuaciones que representan estas relaciones fueron:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : LH = 43,2734 * RO^{1,6134}; \quad n : 475 \quad ; \quad r^2 : 0,78 \\ \text{Hembras} & : LH = 39,1495 * RO^{1,7017}; \quad n : 495 \quad ; \quad r^2 : 0,87 \\ \text{Ambos} & : LH = 40,6044 * RO^{1,6086}; \quad n : 970 \quad ; \quad r^2 : 0,84 \end{aligned}$$

5.3.6 Zona de Transición en los otolitos de *orange roughy*

La Zona de Transición se ha identificado como el área de los otolitos que manifiesta un cambio en la estructura de éstos. En los otolitos de *orange roughy* se observa claramente una zona de cambio y se ha relacionado con una disminución abrupta de la tasa de crecimiento a causa de la desviación de energías que estaban destinadas a crecimiento somático, hacia los procesos involucrados con la reproducción, en este caso específico con la primera madurez sexual. En Nueva Zelanda, se ha establecido que la Zona de Transición varía, según el área de pesca, alrededor de los 30 cm LS y aproximadamente a los 30 años (Doonan, 1994 *vide* Francis y Horn, 1997; Tracey y Horn, 1999). Smith *et al.*, (1995) en *orange roughy* de Tasmania encontró que la tasa de crecimiento de la masa del otolito para ejemplares menores a 30 cm LS era de 4,9 mg/año⁻¹, en tanto que para peces mayores a 30 cm LS bajó drásticamente a 3,2 mg año⁻¹, lo que explicaría el porqué en esta especie, la zona de transición está tan claramente definida.

Los análisis de edad en otolitos de *orange roughy* realizados en el presente estudio, indican que la Zona de Transición se produce a los 30 años en machos y 32 años en hembras. En la Tabla 7 se presenta la edad de formación de la Zona de Transición según clases de tamaño de dos centímetros, observándose bajas fluctuaciones alrededor de los valores del promedio general para cada sexo, y



señalan que no existe una dependencia en relación al tamaño de los ejemplares. Esto estaría indicando que esta zona de cambio y por ende, la primera madurez sexual de *orange roughy* en aguas adyacentes al archipiélago de Juan Fernández, se produce a edades similares a las de Nueva Zelandia.

5.3.7 Series de tamaño de otolitos

Como una manera de constatar las diferencias existentes en el tamaño y forma de los otolitos, en las Fig. 14 y 15, se presentan series comparadas de otolitos de *orange roughy* y *alfonsino*, según el rango de distribución de tallas de las capturas en el país. En *orange roughy* es posible advertir un fenómeno frecuente en esta especie en tallas mayores, algunos otolitos presentan tamaños notablemente menores que otros de ejemplares de la misma talla, al respecto, existen algunas explicaciones para esta situación, las que entregan Hare y Cowen (1995) y que se discuten a continuación:

La relación entre el crecimiento del otolito y el crecimiento somático está afectada por la tasa de crecimiento absoluta. Muchos estudios han encontrado que peces de crecimiento más rápido tienen otolitos más pequeños a una longitud dada, que peces de crecimiento más lento, lo que se conoce como el "efecto tasa de crecimiento" (Francis *et al.*, 1993; Secord y Dean, 1989 *fide* Hare y Cowen, 1995). Así también, si en un individuo la tasa de crecimiento no cambia en relación a la tasa de crecimiento de la población, entonces el supuesto de proporcionalidad no es violado. De esta manera, si un pez tiene otolitos de mayor tamaño que el promedio de la población a una longitud dada, lo tendrá durante toda su vida, asimismo, si el tamaño es menor que el promedio en sus inicios, alcanzaría tamaños inferiores (Campana, 1990 *fide* Hare y Cowen, 1995).



Otro factor que puede afectar la relación entre el crecimiento del otolito y el crecimiento somático, es la diferencia en el tiempo de respuesta del crecimiento somático respecto al del otolito frente a cambios en el medio ambiente. Se ha observado que existe un retraso en la respuesta del otolito, de manera que en estos casos la relación entre ambos no es constante (Molony y Choat, 1990 ; Gutiérrez y Morales-Nin, 1986. *fide* Hare y Cowen, 1995). Este aspecto es importante durante los primeros estadios de vida de los peces, pero que es interesante tomar en cuenta al analizar la proporcionalidad entre el crecimiento del otolito y el crecimiento somático del pez, ya que no sería tan constante como teóricamente se señala.

En el caso de *alfonsino* en la Fig. 15 se aprecia que la serie es más regular que la de *orange roughy* y un mayor tamaño de las estructuras de las hembras en relación a los machos en las tallas mayores, haciendo notar que estas series fueron construidas seleccionando los otolitos al azar y sólo fijando las tallas a separar.

5.3.8 Determinación de parámetros de crecimiento.

Para el ajuste de los parámetros de crecimiento en peces, es necesario que la muestra de estructuras duras disponga de la gama completa de edades y tallas presentes en la población, sin embargo, esto no siempre es posible lograrlo ya es frecuente que existan falencias en las tallas extremas, especialmente en las menores a causa de la selectividad del arte de pesca que utiliza la flota. Por otra parte, en las tallas mayores porque han sido removidos de la población por efecto de la pesca. Cuando el déficit es en las tallas menores, se soluciona empleando el retrocálculo de tallas a las edades pretéritas, siempre y cuando la estructura dura y la técnica de lectura empleada permita obtener mediciones de radios de los anillos de crecimiento. En el caso de *orange roughy* no se aplica debido a que sólo es



factible contar los anillos en las secciones de otolitos, debido a la gran cantidad de éstos presentes en los otolitos, estimando así sólo la edad actual de los peces.

En las capturas de *orange roughy* realizadas en aguas chilenas, sólo se obtienen los ejemplares de tallas superiores a los 33 cm LH, faltando entonces, los ejemplares de tamaño inferior a esa talla, vale decir los individuos inmaduros. Esta fracción de la población es importante ya que le otorga la curvatura a la línea que representa el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy. Como consecuencia de la ausencia de estos ejemplares juveniles, el valor de t_0 , cae en una región muy negativa. En efecto, en un ejercicio realizado con los datos obtenidos en este estudio, el valor de t_0 llegó a alrededor de -8 a -11.

Analizada esta situación, el equipo de trabajo inter-institucional (IFOP-NIWA), decidió incorporar los datos de edad-tallas de *orange roughy* recopilados para ejemplares de aguas de Nueva Zelandia por investigadores del NIWA, asumiendo la existencia de una similitud en las tasas de crecimiento entre la población chilena y neozelandesa para las edades 1 a 30 años y que están disponibles en ese país, no así en Chile hasta el momento. Los datos fueron aportados por Doonan y Tracey y provienen de Chatham Rise, que es una de las principales áreas de pesca de *orange roughy* de Nueva Zelandia. Esta muestra corresponde a 1.283 ejemplares de tallas comprendidas entre 1 y 30 cm LS y entre las edades 1 y 30 años. Cabe señalar que los datos correspondientes a las edades 1 a 9 no están diferenciados por sexo, por lo que se utilizó la misma base para machos y hembras. De las edades 10 a 30, los datos de N. Zelandia indican los sexos y a éstos se les agregaron los pocos ejemplares inmaduros que se analizaron en este estudio. Esta muestra se presenta en las Figuras 16 y 17 donde se observa que al incorporar los datos de ejemplares de Nueva Zelandia (en azul) se observó una continuidad con los ejemplares de mayor tamaño de Chile (en rojo) indicando que, si bien pudiesen



haber diferencias en las tasas de crecimiento de ambas poblaciones juveniles entre las dos áreas de pesca, éstas serían mínimas, permitiendo combinar los datos de la forma realizada.

Para la estimación de crecimiento de los parámetros del modelo de Von Bertalanffy en *orange roughy*, se utilizó la información de la edad actual y longitud del pez generada en este estudio, que fueron 296 observaciones para machos y 311 para hembras, más los ejemplares de tallas pequeñas de Nueva Zelandia ya señalados. Para ambas especies, el ajuste de los parámetros se realizó empleando el paquete estadístico Systat, el que entrega valores para la longitud asintótica (L_{∞}), el coeficiente crecimiento (K) y la edad teórica para la longitud cero (t_0) con sus respectivos errores estándares y límites de confianza, además de la matriz de varianza-covarianza, que permite la comparación de las estimaciones de parámetros para machos y hembras.

Las funciones de crecimiento para *orange roughy*, ajustadas mediante los datos edad-longitud horquilla (LH) fueron las siguientes:

$$\text{Machos} : Lh = 47,86 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,037 + 1,415)}]$$

$$\text{Hembras} : Lh = 53,80 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,030 + 1,691)}]$$

$$\text{Ambos} : Lh = 52,13 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,031 + 1,716)}]$$

Los límites inferior y superior para la longitud asintótica (L_{∞}) en machos oscilaron entre 47,45 y 48,26 cm LH, en hembras entre 53,36 y 54,23 cm, en tanto que para ambos sexos en conjunto, fluctuaron entre 51,74 y 52,52 cm (Tabla 8).



Con el objeto de permitir la comparación de los parámetros de *orange roughy* ajustados en Chile mediante los pares de valores edad actual-Longitud (LH), con aquellos de Nueva Zelanda, se convirtieron las longitudes horquilla a longitud estándar mediante las ecuaciones informadas por Young *et al.*, (2000):

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : \quad LS = 0,416 + 0,900 LH \\ \text{Hembras} & : \quad LS = 0,467 + 0,902 LH \end{aligned}$$

Las funciones de crecimiento ajustadas mediante los datos edad-longitud estándar fueron las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : \quad LS = 43,68 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,037 + 1,639)}] \\ \text{Hembras} & : \quad LS = 49,00 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,030 + 1,973)}] \\ \text{Ambos} & : \quad LS = 47,51 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,031 + 2,000)}] \end{aligned}$$

Los límites inferior y superior (95%) para la longitud asintótica (L_{∞}) en machos oscilaron entre 43,31 y 44,05 cm LS, en hembras entre 48,61 y 49,40 cm, en tanto que para ambos sexos en conjunto, fluctuaron entre 47,15 y 47,86 cm (Tabla 9). Las curvas de crecimiento en longitud horquilla para machos, hembras y ambos sexos se presentan en la Fig. 18 y para la longitud estándar en la Fig. 19.

La relación edad-talla estimada mediante las ecuaciones de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos para la longitud horquilla y estándar se presentan en las Tablas 10 y 11 respectivamente, en las que se constata que podrían existir diferencias en el crecimiento entre machos y hembras, lo que será comprobado con los análisis respectivos.



De la misma manera que para el crecimiento en longitud, se realizó un ajuste de parámetros de crecimiento en peso de *orange roughy*, para lo cual las longitudes horquilla observadas a cada edad, se convirtieron a peso mediante las ecuaciones de la relación longitud-peso aportadas por Young *et al.*, (2000), que son las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : W = 0,17513 * LH^{2,45360} \\ \text{Hembras} & : W = 0,13335 * LH^{2,54427} \\ \text{Ambos} & : W = 0,08805 * LH^{2,64867} \end{aligned}$$

Las funciones de crecimiento en peso resultantes para *orange roughy* fueron:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : W_t = 3.181 \text{ g} * [1 - e^{-(0,013 - 1,745)}]^{2,45360} \\ \text{Hembras} & : W_t = 4.990 \text{ g} * [1 - e^{-(0,009 - 1,925)}]^{2,54427} \\ \text{Ambos} & : W_t = 4.957 \text{ g} * [1 - e^{-(0,008 - 2,064)}]^{2,64867} \end{aligned}$$

El resultado de los ajustes, indicó que los valores para el peso asintótico (W_{∞}) fueron los siguientes: machos: 3.181 g, hembras: 4.990 g y ambos sexos: 4.957 g, observándose la gran diferencia existente entre los valores para machos y hembras. En la Tabla 12 se presentan los errores estándares y los límites de confianza al 95% para los tres parámetros, en la Fig. 20 se presentan las curvas de crecimiento en peso y en la Tabla 13 se entrega la relación edad-peso para *orange roughy* estimadas mediante las ecuaciones de crecimiento por sexo.



En *alfonsino*, para la estimación de crecimiento de los parámetros del modelo de Von Bertalanffy, se utilizó la información de la edad actual y longitud del pez generada en este estudio, empleando 646 observaciones para machos y 670 para hembras. La distribución de tamaños de machos y hembras entre las edades 1 a 19 se presentan en la Fig. 21.

Las ecuaciones de crecimiento en longitud (LH) estimadas por sexo para *alfonsino* fueron:

$$\text{Machos} : LH = 58,54 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,106 + 2,393)}]$$

$$\text{Hembras} : LH = 63,59 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,095 + 2,458)}]$$

$$\text{Ambos} : LH = 63,39 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,093 + 2,567)}]$$

Los límites inferior y superior para la longitud asintótica (L_{∞}) en machos oscilaron entre 55,8 y 61,73 cm. LH, en hembras entre 61,7 y 65,5 cm, en tanto que para ambos sexos en conjunto, fluctuaron entre 61,6 y 65,1 cm (Tabla 14).

La relación edad-talla estimada mediante las ecuaciones de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos (Tabla 15), al igual que para *orange roughy* indica que podrían existir diferencias en el crecimiento entre machos y hembras, lo que será comprobado con los análisis respectivos. Las curvas de crecimiento con la dispersión de los datos observados se presentan en la Fig. 22.

Las estimaciones de parámetros del presente estudio, se consideran adecuadas como una aproximación a conocer los parámetros de crecimiento poblacional de



ambos recursos y constituyen las primeras estimaciones para estas especies en Chile.

En *orange roughy* los valores obtenidos para las longitudes asintóticas resultan algo bajas si se toma en cuenta las tallas máximas observadas (63 cm), sin embargo, la longitud asintótica corresponde a la longitud máxima promedio que pueden alcanzar los ejemplares en la población en estudio, de manera que con respecto a la muestra analizada, que es un reflejo de la población de *orange roughy* en la zona, estas longitudes asintóticas son consistentes, ya que la representación de los ejemplares de tallas mayores fue extremadamente baja. En el caso de *orange roughy*, será necesario que en nuevos ajustes de parámetros se cuente con un mayor número de ejemplares de tallas grandes, así como también incorporar ejemplares de tamaño pequeño provenientes de aguas chilenas.

En *alfonsino*, los valores obtenidos para la longitud asintótica parecen ser altos, y por lo tanto, las tasas de crecimiento resultan bajas, en cuanto a la edad teórica a la longitud cero (t_0) fueron muy negativas, lo que está asociado a la falta de ejemplares de menor tamaño en las distribuciones de talla de las edades menores (1 a 3 años), y se debe a que los individuos con tasas de crecimiento menor se reclutan tardíamente a la pesquería, por lo que se cuenta primero con los ejemplares de mayor tamaño de la distribución de cada edad, entregando promedios más altos para las primeras edades. Como consecuencia de ello, se aplana la línea que representa el crecimiento, extendiéndola hacia un sector más negativo, como en este caso y probablemente el de otros autores en este mismo recurso.

Para determinar los parámetros de crecimiento en peso de *alfonsino*, las longitudes para cada edad se convirtieron a peso mediante las ecuaciones de la relación



longitud-peso para machos y hembras (aportadas por Tascheri, com. pers.), de la misma manera que se realizó para *orange roughy*, sin embargo los ajustes realizados no confluyeron hacia valores biológicamente aceptables y lógicos de manera que no se presentan parámetros de crecimiento en peso.

Las ecuaciones de las relaciones longitud-peso para *alfonsino* son:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : W = 0,019546 * LH^{3,03556} \\ \text{Hembras} & : W = 0,017826 * LH^{3,058816} \\ \text{Ambos} & : W = 0,018838 * LH^{3,044525} \end{aligned}$$

Los pesos correspondientes a las longitudes asintóticas calculados mediante las ecuaciones anteriores son:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : W_{\infty} \text{ (g)} = 4.532,0 \\ \text{Hembras} & : W_{\infty} \text{ (g)} = 5.850,9 \\ \text{Ambos} & : W_{\infty} \text{ (g)} = 5.772,1 \end{aligned}$$

Además, en la Tabla 16 se entregan los pesos promedios calculados para las edades 1 a 19.

5.3.9 Comparación de las estimaciones de parámetros de crecimiento

a) Comparación entre los sexos

Con el objeto de establecer, estadísticamente, la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras, en ambos recursos se compararon los valores obtenidos mediante el test T^2 de Hotelling. En *orange*



roughy, para un nivel de significancia del 95% demostró la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras, obteniéndose un valor observado de T^2 de 1.321,1 en tanto que el valor crítico fue de 11,6, rechazándose la Hipótesis de igualdad en el crecimiento de los dos sexos (Tabla 17). De manera similar, en *Alfonsino*, para el mismo nivel de significancia se demostró la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras, obteniéndose un valor observado de T^2 de 117,0; en tanto que el valor crítico fue de 11,6, rechazándose también la Hipótesis de igualdad en el crecimiento de los dos sexos (Tabla 17). En las Tablas 18 y 19 se presentan los valores que resultaron en el Test de Hotelling.

Para corroborar esta afirmación se utilizó el test propuesto por Chen *et al.*, (1992) que emplea la suma de los cuadrados residuales (Tablas 20 y 21). Al igual que en el test de Hotelling, para ambas especies se rechaza la hipótesis de igualdad para el conjunto de valores. Esto, además, fue comprobado con un ajuste y comparación de parámetros realizado mediante el método de máxima verosimilitud (Aubone y Wöhler, 2000) el que señaló que machos y hembras tanto de *orange roughy* como de *alfonsino*, presentan diferencias significativas en el crecimiento. Por lo tanto, mediante los test de comparación aplicados, se confirma lo observado en los análisis biológicos: machos y hembras deben ser tratados en forma separada por presentar características diferentes en el crecimiento durante su ciclo de vida.

b) Comparación de las estimaciones de parámetros realizadas por diferentes autores.

Las estimaciones de crecimiento de *orange roughy* se han realizado principalmente en Nueva Zelandia y Australia, es decir, en los países en que esta especie



constituye un recurso de gran importancia económica. Los ajustes realizados generalmente, han contado con muestras de ejemplares juveniles y los adultos raramente, han superado los 45 cm LS. Evidentemente, la estructura de tamaños disponible de las capturas comerciales chilenas difiere notablemente de aquéllas de los países oceánicos, puesto que en el archipiélago de Juan Fernández, los ejemplares presentaron una estructura de tallas que fluctuó aproximadamente entre 30 y 63 cm de longitud horquilla, pero que se concentran entre los 35 y 45 cm. Por el hecho de no contar con los ejemplares juveniles para realizar el ajuste de parámetros de crecimiento, se incorporaron datos recopilados por el NIWA, con lo que fue posible combinarlos y ajustarlos adecuadamente, por ello, se debe tener presente este aspecto al momento de la comparación de los valores.

Por otra parte, es muy importante y más aún en el caso de *orange roughy*, tomar en cuenta la técnica de preparación de los otolitos para la lectura, ya que los primeros autores (Kotlyar, 1981, van den Broek, 1983; Linkowski y Liwoch 1986; Williams, 1987; Robertson *et al.*, 1986) (*vide* Tracey y Horn, 1999) utilizaron criterios muy diferentes al emplear otolitos enteros, de manera que en este sentido son más comparables los estimados a partir del año 1988 ya que iniciaron los estudios de estimación de la edad en secciones de otolitos (Tabla 22; n° 4). De acuerdo a esta perspectiva, las longitudes asintóticas (L_{∞}) estimadas en el presente estudio son las más altas, y en consecuencia, los valores de K o coeficiente de crecimiento son los más bajos de la serie presentada en la Tabla 22 (cabe señalar que con fines de comparación, la longitud se uniformó a longitud estándar). Estos valores son consistentes con los mayores tamaños de los ejemplares encontrados en aguas chilenas hasta el momento, que corresponde a la fase inicial de la pesquería de este recurso.



En el presente estudio, la edad máxima observada correspondió a una hembra de 164 años, confirmando que esta especie es de una longevidad excepcional como ha sido manifestado por los investigadores australianos y neozelandeses (Fenton *et al.*, 1991; Mace *et al.*, 1990; Smith *et al.*, 1995) y por Smith *et al.*, (1998) quienes estimaron edades entre 14 y 162 años. Más recientemente, los investigadores franceses Allain y Lorance (2000), en ejemplares del oeste de las Islas Británicas, estimaron una edad máxima de 130 años, lo que corroboraron con estudios radiométricos, que fueron consistentes con las altas edades encontradas para esta especie.

Como un indicador del consenso alcanzado en la comunidad científica acerca de la alta longevidad de *orange roughy*, se puede señalar que durante el año 2002, el Consejo Internacional para la Explotación del Mar (CIEM) en el marco de la Unión Europea, realizará un Taller en el cual analizará la vulnerabilidad de las especies de profundidad, entre ellos *orange roughy (H. atlanticus)* y confirma la apreciación que en esta especie la longevidad supera los 125 años y alcanza su madurez sexual a los 30 años de edad.

Por su parte, *alfonsino* es una especie de amplia distribución en los océanos del mundo, también presenta una distribución circumpolar, encontrándose en los océanos Pacífico, Índico y Atlántico, se interna en éstos para alcanzar las costas de Japón por el Pacífico e Islas Canarias por el Atlántico, encontrándose incluso en el Mediterráneo (Rico *et al.*, 2001). Además, presenta una amplia distribución en la columna de agua, informándose desde los 25 m hasta los 1200 m de profundidad. Esto significa que, al comparar las estimaciones de parámetros de crecimiento realizadas en lugares tan diversos, se deben tomar en cuenta las condiciones de hábitat de cada uno, con distintas temperaturas y salinidades y diferentes tipos de



alimentación, además de las características de la muestra que tuvo a su disposición cada autor.

De la literatura analizada se comprueba que existen estimaciones para *alfonsino* de Japón, del Atlántico y del Pacífico Central a las que se agregan las presentes estimaciones del Pacífico Sur. En la Tabla 23 se presentan las estimaciones de parámetros que se han realizado hasta la fecha, observándose que existe una gran diversidad de resultados, desde valores de longitud asintótica de 37,8 cm LH de Ikenouye (1969) hasta los del presente estudio que son los mayores establecidos para esta especie (58,9 a 63,6 cm). Asimismo las tasas de crecimiento representadas por el coeficiente K resultan muy dispares, oscilando entre valores de 0,439 del mismo autor japonés y 0,017 de Rico *et al.*, 2001.

Una manera de comparar los parámetros de crecimiento es mediante el Índice de crecimiento efectivo de Munro y Pauly (1983), que representa y cuantifica el potencial energético de un hábitat o nicho determinado, ya que está directamente relacionado con el crecimiento de los organismos y de esta manera con el metabolismo y el consumo de alimentos. En la Tabla 22 se entregan los valores obtenidos en el presente estudio para *orange roughy*, observándose que están entre 1,84 y 1,86, con un valor de mediana de 2,01 considerando sólo los estudios realizados en secciones de otolitos, que son algo menores a los obtenidos en Nueva Zelandia con valores entre 1,94 y 2,04.

En el caso de *alfonsino*, los valores del Índice de crecimiento efectivo calculado para aguas chilenas, va de 2,56 a 2,58 que son similares a los registrados en Nueva Zelandia y Nueva Caledonia, los que fluctuaron entre 2,46 y 2,54, indicando una similitud en las condiciones existentes en estas zonas (Tabla 23).



- **Relaciones entre el coeficiente de crecimiento (K) y la longitud asintótica (L_{∞}) y entre el t_0 y el coeficiente de crecimiento.**

Otra forma de comparar las estimaciones de parámetros consiste en establecer parangones entre el coeficiente de crecimiento K y la longitud asintótica (L_{∞}) y entre el t_0 y el coeficiente K, con el objeto de determinar el comportamiento entre los conjuntos de valores y constatar las similitudes y diferencias.

Para analizar la relación K v/s L_{∞} de *orange roughy* en la Fig. 23, se presentan gráficamente estos valores, observando un grupo de valores alrededor de la mediana (10) y otros distantes de ella (1 a 3), que corresponde a los parámetros estimados mediante el análisis de otolitos enteros y que ya se había señalado que subestimaban la edad de *orange roughy*. Los valores registrados en el presente estudio (9a a 9c) son los que aparecen con los valores más altos de L_{∞} y por lo tanto, menores coeficientes de crecimiento.

El análisis de la relación entre (t_0) y el coeficiente de crecimiento (K) permite una aproximación a establecer cuales de la serie de parámetros podría representar mejor el crecimiento de la población de *orange roughy* y *alfonsino*. El contar con un valor de t_0 cercano a cero, otorga una mayor curvatura a la línea que representa el crecimiento de la población en estudio para aproximarse a la región asintótica de la misma, *contrario sensu* un valor muy negativo de t_0 indica una falta de curvatura y una más lenta aproximación a la asíntota.

La relación entre el t_0 y el coeficiente de crecimiento (K), se presentan en la Fig. 24, en la cual es posible apreciar que los valores estimados por los autores



neozelandeses (4 a 7a y b) se agrupan en valores de t_0 próximos a -0,5 y un coeficiente K de 0,07. Luego están los valores registrados en el presente estudio (9a, b y c) con valores más negativos de t_0 , pero con los coeficientes de crecimiento más bajos de la serie. Más negativos aún resultaron los valores entregados por Williams (1987) y Smith *et al.*, (1995) con t_0 alrededor de -3,0, pero el coeficiente de crecimiento es similar a los anteriores de Nueva Zelanda. Nuevamente quedan muy alejadas del resto, las estimaciones mediante otolitos enteros (1 a 3).

Como se puede observar, ambos análisis permiten establecer rangos entre los cuales se están ubicando los parámetros obtenidos y entregan por otra parte, antecedentes sobre los conjuntos de valores que deben ser descartados para la comparación, por estar ya obsoletos.

En *alfonsino*, a causa de la diversidad de regiones en las que se captura y de las que se tienen antecedentes acerca de su crecimiento, se realiza un análisis comparativo segregado por zonas. Así, la Figura 25A corresponde a las estimaciones realizadas para *alfonsino* de aguas de **Japón**, donde se observa que los valores de K se encuentran entre 0,13 y 0,32 y L_{∞} entre 44 y 54 cm LH, alejados de la mediana (9) y comparados con los valores del presente estudio (en verde) están muy alejados. Los valores entregados por Ikenouye (1969), se obtuvieron con una muestra de 209 ejemplares y observó sólo hasta 7 edades. Por otra parte, consideró un primer anillo como válido, que en los análisis posteriores se ha constatado ser un anillo falso. Masuzawa *et al.*, (1975), utilizaron para sus análisis de edad, muestras de escamas, pero no explicitaron el rango de tamaños de los ejemplares. En cuanto al número de muestras, para Sagami Bight usaron 365 ejemplares y para Zunan Sea, contaron con 100 muestras. Por su parte Adachi *et al.*, (2000), trabajaron con 260 ejemplares cuyas tallas oscilaron entre 21 y 48 cm



LH, capturados en el área de la isla Izu, estimando edades entre 2 y 23 años. Estos autores son los que han observado ejemplares de mayor edad.

Para el **O. Atlántico**, en la Figura 25B se observa una gran disparidad entre las estimaciones de los autores respecto a la mediana, con los valores de K fluctuantes entre 0,017 y 0,2 y L_{∞} entre 43 y 57 cm LH. Se observa que los valores estimados por Rico *et al.*, (2001) (7b) para el área de Isla Madeira, se acercan a los establecidos en el presente estudio. De León y Malkov (1979) estimaron sus parámetros utilizando muestras de otolitos de *alfonsino* cuyos ejemplares presentaron una limitada distribución de tallas, para Angular Rise usaron 230 ejemplares de entre 32 y 48 cm, mientras que para New Year Rise fueron 228 muestras de entre 19 y 41 cm. Rico *et al.*, (2001), trabajaron con muestras de otolitos de tres zonas diferentes: Islas Canarias, Isla Madeira e Islas Azores, estimando edades hasta 9, 12 y 11 años respectivamente en ejemplares que fluctuaron entre 15 y 43 cm LH. Los tamaños de muestra fueron 643, 617 y 860 ejemplares que fueron capturados entre 200 y 650 metros de profundidad.

Los valores estimados en **Nueva Zelandia y en Nueva Caledonia**, se presentan en la Fig. 25C, constatándose que éstas presentan valores muy próximos entre sí, además que los estimados por Massey y Horn (1990) para las hembras (4b y 4d) resultan cercanos a los determinados en el presente estudio. Estos autores son los que dispusieron de más ejemplares para sus estimaciones: para Pallisier Bank contaron con 2.289 muestras, para Paoami Ridge: 364 y para Tuaheni High: 515 muestras. La longitud de los peces fluctuó entre 29 y 42 cm LH y fueron capturados entre 200 y 800 metros de profundidad. Lehodey y Grandperrin (1996), por su parte, utilizaron 610 ejemplares de *alfonsino* capturados en Nueva Caledonia, con un amplio rango de tallas fluctuantes entre 13 y 52 cm LH, estimando hasta 14 años en machos y 15 años en hembras.



El análisis de la relación entre (t_0) y el coeficiente de crecimiento (K) en *alfonsino* se representa en la Fig. 26A, donde se observan valores de t_0 muy próximos a cero obtenidas por Masuzawa *et al.*, (1975) en dos zonas de **Japón**, con valores de K fluctuantes entre 0,19 y 0,32. Mientras que Adachi *et al.*, (2000), obtuvo valores de -2,0 y - 3,6 y similares valores de K (0,15; 0,16).

La Figura 26B corresponde a las estimaciones realizadas para el **O. Atlántico**, donde, al igual que para el caso de la relación con L_{∞} , se presenta una gran disparidad en los datos respecto a la mediana (9). Se observa que los valores estimados por Rico *et al.*, (2001) son muy negativos (-5,8), sin embargo, son los que más se aproximan a los del presente estudio en cuanto a la longitud asintótica.

En la Figura 26C, se presenta un conglomerado de valores obtenidos en Oceanía y el presente estudio alrededor de la mediana (9). Para todos los conjuntos de parámetros, los valores de t_0 resultan ser muy negativos (-2 a -4). Las causas de la negatividad de t_0 del presente estudio, como ya se señaló, podrían estar asociadas al hecho de no contar con los ejemplares de tallas menores, en este caso correspondientes a las edades 1 a 3, y si se tienen estas edades, en las distribuciones de tamaños faltan los ejemplares más pequeños de cada una, vale decir, un sesgo en la cola izquierda de éstas, cuyos individuos tienen menores tasas de crecimiento y por ello se reclutan tardíamente a la pesquería. Esto, generalmente, se corrige con la utilización de la técnica de retrocálculo, ya que es valiosa cuando no se cuenta con ejemplares para las primeras edades, sin embargo, Massey y Horn (1990) aplicaron el retrocálculo (4c y 4d) obteniendo también valores altamente negativos de t_0 .



De la comparación de las Fig. 25 y 26 se puede establecer que las estimaciones de parámetros obtenidas en el presente estudio se asemejan más a las logradas en Nueva Zelandia y Nueva Caledonia. En el presente estudio se estimaron los valores más altos de longitud, con una observación de talla máxima en 57 cm y reportes de ejemplares hasta los 59 cm, por otra parte, en los ejemplares de tallas menores, si bien existe falencia en algunas de ellas, se contó con un tamaño de muestra aceptable. Los valores del coeficiente de crecimiento K son muy homogéneos, oscilan entre 0,087 y 0,146, es decir las tasas de crecimiento son muy similares en *alfonsino* de aguas neozelandesas, Nueva Caledonia y Juan Fernández.

c) Comparación de la relación edad-talla estimada por los diversos autores.

Una forma práctica de comparar las estimaciones realizadas, la constituye el análisis de las relaciones edad-longitud de cada uno y sus curvas de crecimiento.

En el caso de *orange roughy*, en el Cuadro 1 se comparan las longitudes obtenidas del cálculo de las funciones para algunas edades relevantes. A objeto de una mejor comparación, los tamaños se uniformaron a longitud estándar (LS). Se observa que las primeras estimaciones (columnas 1 y 2), que corresponden a análisis de otolitos enteros (van den Bröek, 1983 y Williams, 1987) presentan notables diferencias con el resto de las estimaciones, con tamaños de peces entre 37 y 41 cm para los 20 años, mientras que Robertson *et al.*, (1988, *fide* Tracey y Horn, 1999) (col. 3), para la misma edad presentan sólo 21 cm que es el menor tamaño para toda la serie. A contar de Mace y Doonan (1988, *fide* Tracey y Horn, 1999) (col. 4), en los autores neozelandeses se inicia un proceso de afinamiento progresivo de las estimaciones, en la medida que iban incorporando nueva y mejor información, para llegar a los ajustes de parámetros cuyos valores se representan en las columnas 7a y 7b, que



corresponden a machos y hembras respectivamente, y que de acuerdo con los autores, no presentaron diferencias significativas. Por su parte, los valores vigentes para Australia se representan en la columna 8 estimados por Smith *et al.*, (1998), sin diferenciar por sexo.



Cuadro 1. Cuadro comparativo entre las relaciones edad-longitud estándar (cm) estimadas para *orange roughy* por los diferentes autores (1 a 9).

EDAD (años)	LONGITUD ESTÁNDAR (cm)											
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	8	9a	9b	9c
10	33.4	29.4	13.1	20.0	19.4	19.2	18.8	18.0	21.6	15.4	14.9	14.5
20	36.6	41.0	21.1	30.1	29.7	28.3	27.7	27.2	29.7	24.2	23.8	23.1
30			27.4	35.4	35.4	32.8	32.1	32.1	34.2	30.2	30.4	29.5
50					40.3	36.2	35.3	36.3	38.0	37.3	38.9	37.7
100							36.4	37.9	39.5	42.7	46.8	45.3
150										43.5	48.5	47.0

7a y 7b : vigentes en Nueva Zelanda
8 : vigentes en Australia
9a a 9c : estimados en el presente estudio
a : machos
b : hembras
c : ambos sexos

AUTORES:

1. van den Bröek (1983)
2. Williams (1987)
3. Robertson *et al.*, (1988)
4. Mace y Doonan (1988), Robertson y Mace (1988)
5. Mace *et al.*, (1990)
6. Francis *et al.*, (1983), Doonan (1993)
7. (a) Doonan (1994); Francis *et al.*, (1995) (Machos)
7. (b) Doonan (1994); Francis *et al.*, (1995) (Hembras)
8. Smith *et al.*, (1995)
9. (a) Presente estudio. (Machos)
9. (b) Presente estudio. (Hembras)
10. (c) Presente estudio. (Ambos)



Finalmente en las columnas 9a, 9b y 9c, se presentan los valores que corresponden a las estimaciones realizadas para *orange roughy* de Chile. Se observa que representan las menores tasas de crecimiento de la serie, así a los 20 años esta especie tendría entre 23 y 25 cm, mientras que los estimados de N. Zelandia indican que estarían entre 27 y 28 cm y en Australia (col. 8) en los 30 cm LS. Asimismo a los 30 años, que corresponde, aproximadamente, a la edad de primera madurez de esta especie, en Chile estaría en los 30 cm, en tanto que en N. Zelandia estaría en 32 cm y en Australia en 34 cm. Por último para los 100 años de edad, en Chile los ejemplares están entre 43 y 47 cm, demostrando diferencias significativas entre los sexos, mientras que en los países señalados estarían en 36 y 40 cm respectivamente, sin diferencias entre los sexos. Al respecto, esto último se explica ya que en los países de Oceanía cuentan con buena representación de ejemplares juveniles y adultos jóvenes, y no así en los adultos viejos, lo que no les ha permitido establecer diferencias significativas en el crecimiento entre los sexos. Al contrario ocurre en la actualidad en la pesquería chilena en la cual no se encuentran los juveniles inmaduros.

En la Tablas 24 y 25 se presentan las distribuciones completas de las relaciones edad- longitud, señaladas, como asimismo en la Fig. 27, se muestran las curvas de crecimiento para toda la serie de estimaciones de parámetros disponibles para *orange roughy*.

Alfonsino

En el caso de *alfonsino*, ante el mayor número de estimaciones de parámetros, los análisis comparativos se realizaron, en primer lugar, sin diferenciar por sexo y luego para machos y hembras.



- **Ambos sexos (ver Tabla 26)**

Los valores de parámetros para ambos sexos fueron presentados por Ikenouye, 1969; Masuzawa *et al.*, 1975 (2a y 2b); de León y Malkov, 1979 (3a y 3b); Rico *et al.*, 2001 y en el presente estudio. Para Nueva Zelandia y Nueva Caledonia los autores no realizaron ajustes para ambos sexos.

El primer trabajo fue realizado por Ikenouye, 1969, (1); para aguas japonesas, con una muestra pequeña y como ya se ha señalado, este autor tomó en consideración un anillo supernumerario, que aparece con frecuencia antes del primer anillo por lo que le entregó un bajo valor para la edad 1 (8,75 cm), al igual que Masuzawa *et al.*, 1975 (2b).

En la Tabla 26 y Fig. 28C se puede observar que se presentan las mayores disparidades en las estimaciones. Si se toma como referencia la talla 41 cm que en el presente estudio corresponde a 9 años, para los autores japoneses (2a y 2b) es 7 y 8 años, para de León y Malkov, (1979) corresponde a 9 y 11 a 12 años (3a y 3b) y para Rico *et al.*, 2001 entre 14 y 16 años, según la zona de pesca.

- **Machos (ver Tabla 27)**

Las estimaciones para machos fueron realizadas por Massey y Horn (1990) con datos observados (4a) y con retrocálculo (4c), por Lehodey y Grandperrin (1996) (5a) y por Adachi *et al.*, (2000), observándose en la Tabla 27 y en la Fig. 28A que los valores más cercanos a los del presente estudio son los dos de Massey y Horn (1990) ya que entre las edades 1 a 5 son prácticamente idénticas, luego las estimadas en este estudio se separan notoriamente de las de Nueva Zelandia.



- **Hembras (ver Tabla 28)**

Las estimaciones para hembras realizadas por los mismos autores anteriores presentan un cuadro general muy similar al descrito para machos, pero evidenciándose una notable separación de los valores estimados por Adachi (2000) para las hembras de alfonsino de Japón, con observaciones hasta los 23 años. Entre los valores del presente estudio y los de Massey y Horn (1990) existe una cierta similitud hasta la edad 5 y a contar de ésta se separan (Tabla 28 y Fig. 28B).

De acuerdo a los análisis realizados, la población de *alfonsino* que habita en las proximidades del archipiélago de Juan Fernández, frente a la costa chilena, presenta características en su crecimiento, que la asemejan a la población de Nueva Zelandia y algo menos al de Nueva Caledonia. Se comprobó que en las tres zonas existe un crecimiento diferenciado entre machos y hembras con tasas de crecimiento menor y una mayor longevidad en las hembras. En la zona de Juan Fernández se han encontrado ejemplares de mayor tamaño que los de N. Zelandia y N. Caledonia y en general, de mayor tamaño que en todas las zonas comparadas, como un reflejo, probablemente por tratarse de una población con una pesquería en sus etapas iniciales, sin embargo no se observaron las mayores edades (19 años en Chile y 23 en Japón).

5.4 Estimaciones de mortalidad natural

La tasa de mortalidad natural (M), es un parámetro crítico de ser conocido ya que define la longevidad de las cohortes en poblaciones naturales, siendo clave en la dinámica de las poblaciones de peces. En la evaluación de un stock, se intenta reproducir la dinámica intrínseca de la población en estudio, más aún si ésta se encuentra bajo explotación. En este contexto, a excepción del modelo de producción excedentaria (ej. Schaefer, 1954; Pella y Tomlinson 1969), todos los



modelos matemáticos de dinámica de stock, incluyen dentro de sus parámetros la Tasa de mortalidad natural (M), la que normalmente se asume constante para las edades y años, esto debido a la gran dificultad de ser estimada directamente.

Hoy en día existe una diversidad de métodos para la estimación de M , entre ellos se pueden citar aquellos que consideran el análisis de datos de captura, los que provienen usualmente de la captura comercial o de cruceros de investigación realizados con el fin de evaluar el stock. Por otra parte, están los correlacionados con otros parámetros de la historia de vida y que son denominados bioanalógicos.

Los valores estimados de M para *orange roughy* y *alfonsino*, así como la longevidad y los parámetros de crecimiento utilizados, se presentan en las Tablas 29, 30 y 31. Para *orange roughy* se consideraron los parámetros estimados para longitud horquilla y longitud estándar, mientras que para *alfonsino* sólo longitud horquilla. Las estimaciones se realizaron por sexo y para ambos sexos en conjunto, calculándose también la razón M/K , según Beverton y Holt (1959), la que normalmente oscila entre 1,5 y 2,5. Lo anterior, asume que una tasa de crecimiento (K) alta se corresponde con una tasa de mortalidad natural (M) alta, y K bajo para un M bajo.

De las estimaciones, se puede observar que el método de Alverson y Carney (1975) es el que entrega los valores más altos de M , con valores entre 0,082 y alrededor de 0,105 en *orange roughy* y entre 0,263 y 0,359 para *alfonsino*, presentando ambos recursos, razones de M/K muy superiores a lo encontrado por Beverton y Holt (op. cit.). Esta variación incluye las estimaciones de machos y hembras.

En el caso de *orange roughy*, en general tanto para estimaciones realizadas con longitud lorquilla (LH) como longitud estándar, la razón M/K muestra que la mayoría



de las estimaciones se encuentra en rangos razonables, sólo se apartan levemente del rango propuesto por Beverton y Holt (op cit). Los métodos de Alverson y Carney (op cit) y Taylor (op cit), pueden considerarse como los límites inferior y superior, respectivamente (Tablas 29 y 30).

En los valores de M, resultados de utilizar los parámetros obtenidos por LH (Tabla 29), se puede observar que para machos y hembras los métodos de Alagaraja, Rikhter y Evanof, entregan valores cercanos: 0,059 y 0,066 para los primeros, en tanto que para hembras éstos oscilan entre 0,048 y 0,057. Estas estimaciones concuerdan con longevidades estimadas en 79 años para machos y 97 en hembras. Para el caso de los parámetros de crecimiento obtenidos con LS, la situación es similar a la anterior con una mínima diferencia en las estimaciones de M (Tabla 30), considerándose como consistentes.

Las estimaciones para *alfonsino* mediante la fórmula de Alagaraja (1984) y las de Rikhter y Evanof (1976), son similares variando entre 0,148 y 0,178 en machos, mientras que en hembras varía entre 0,136 y 0,158, con estimaciones de la razón M/K dentro del rango propuesto y que además son coherentes con la longevidad estimada en hembras (27 a 32 años) y en machos (23 y 29 años) (Taylor 1958).

Los valores obtenidos con los métodos de Roff (1988) y Taylor (op.cit.) comprenden los límites superior e inferior, de las estimaciones consideradas como adecuadas de acuerdo con el criterio de la razón M/K, aún cuando la de Taylor es menor a 1,5, se puede considerar como razonable.

Comparando estos resultados con los obtenidos en Nueva Zelandia para *alfonsino*, se puede decir que las estimaciones realizadas con Roff (op. cit), son las que más se asemejan. Sin embargo, se debe hacer notar que en ese país se estima una



longevidad de 20 años para el recurso, lo que obligatoriamente implica que su tasa de mortalidad natural debe ser mayor (0,23, método de Alagaraja, 1984) (Annala *et al.*, 2001).

Los métodos para derivar la mortalidad natural a partir de datos de captura, están basados en estimar la disminución de la abundancia, relativa o absoluta de los peces. Una de las formas más comunes de agrupar a los peces para el propósito citado es por edad, sin embargo también se utiliza en muchas ocasiones la agrupación por talla. El método de curva de captura consiste en determinar el mejor ajuste a una línea recta a través de la porción descendente de la distribución de frecuencia logaritmizada. La pendiente de esta regresión lineal corresponde a la tasa de mortalidad, la que en un estado inicial de la pesquería o virginal se asume que corresponde aproximadamente a la mortalidad natural.

En este estudio, se realizaron estimaciones de M a partir de curvas de captura agrupadas en tallas, las que se sometieron a dos métodos de estimación: de "curva de captura linearizada convertida a tallas", que es revisada por (Pauly 1983 ;1984), en este método se considera la transformación de las talla a edades mediante la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy inversa. Un segundo método utilizado corresponde al de "curva de captura acumulativa basada en datos de composición de tallas" (método de Jones y van Zalinge, 1981). Para estos análisis, la estructura de tallas empleada, para ambas especies, correspondió a la del año 1998, que presentó un rango amplio de distribución de tamaños.

En las Figuras 29 y 30, se muestran las curvas de captura linearizada y linearizada acumulada para *orange roughy* y *alfonsino*, en ellas se aprecia, gráficamente, que los ajustes son adecuados, como lo confirman las Tablas 32 a 35.



Para *orange roughy* los valores de M estimados están totalmente dentro de los rangos de valores obtenidos mediante los métodos bioanalógicos (Tabla 29). En general, se puede apreciar que las estimaciones de M son bastante consistente, considerando que M es uno de los parámetros más inciertos y difíciles de conocer. Estas estimaciones, especialmente las obtenidas por curva de captura para las hembras, son cercanas a las obtenidas en Nueva Zelanda que corresponde a 0,045, que ha sido calculado mediante una metodología que utiliza las edades medias. (Annala y *et al.*, 2001),.

Los valores de M para *alfonsino*, en cambio, son más altos que los estimados por los métodos bioanalógicos, siendo próximos a los obtenidos por el método de Alverson y Carney (op cit) (Tabla 31). Las estimaciones de M por curva de captura son bastante más altos que los estimados en Nueva Zelanda.

Se debe hacer notar que las estimaciones de mortalidad natural por métodos de curva de captura dependen mucho de la subjetividad en la elección de los puntos a ser considerados en la regresión, por lo que puede tener variación de una determinación a otra, si estas las realizan distintas personas, pudiendo obtenerse una variabilidad de resultados para un mismo set de datos.

Estimador insesgado de M ponderado por el inverso de la varianza (método Monte Carlo).

La estimación de un valor de mortalidad natural por sexo, se realizó mediante un promedio ponderado por el inverso de las varianzas correspondientes a cada una de las estimaciones obtenidas por los métodos bioanalógicos, considerando aquellos en que la razón M/K se encuentra entre los valores recomendados por Beverton y Holt (1959), este método corresponde a un estimador insesgado de la mortalidad natural.



En este sentido, el procedimiento consistió en realizar mil remuestreos de las distribuciones normales teóricas correspondientes a los parámetros de crecimiento, las que están definidas a partir de su media y varianza provenientes de los valores estimados y sus respectivas desviaciones estándar presentados en las Tablas 12, 13 y 14. De lo anterior se deduce que se realizaron 4.000 estimaciones de M para cada sexo, ya que cuatro resultados de los métodos bioanalógicos se encontraban en el rango de M/K recomendado.

Las distribuciones de M estimadas a partir de los parámetros de crecimiento y métodos bioanalógicos se muestran en las Figuras 31 a 33. Se puede apreciar que en todos los casos, las distribuciones son de tipo acampanado, lo que es esperable dado que las distribuciones de los parámetros de crecimiento se asumieron normales.

En el caso del orange roughy, el procedimiento de Monte Carlo se realizó para las estimaciones de los parámetros de crecimiento hechas a partir de mediciones tanto de longitud horquilla como estándar, por lo que para este recurso, finalmente, se obtuvieron dos valores de mortalidad natural para cada sexo (Tablas 36 y 37). No obstante y como era de esperar, ambas estimaciones por sexo son coincidentes, ya que el coeficiente de mortalidad natural responde a la historia de vida de la especie, es así que para los machos de orange roughy, el valor estimado de M fue de 0,053 en tanto que en las hembras fue de 0,047.

Los valores de mortalidad natural promedio ponderados, estimados para machos de alfonsino fue de 0,1618 mientras que para hembras este fue de 0,1520 (Tabla 38).



Mortalidad natural a la edad

Debido a la variabilidad de la mortalidad, dependiendo de la etapa de vida de la que se esté analizando, se han propuesto varios modelos cualitativos de análisis de M a través de la vida de una cohorte. Uno de ellos es el denominado **curva de bañera**, el que señala que en etapas tempranas, la cohorte sufre una alta mortalidad natural por depredación, la cual va disminuyendo a medida que los peces aumentan de tamaño, llegando a una relativa estabilidad en el período adulto para luego en la senescencia, nuevamente aumentar por motivos de enfermedades y otros.

Chen y Watanabe (1989), desarrollaron un modelo cuantitativo que estima la mortalidad natural por edades y que se basa en los parámetros de crecimiento t_0 y K y que en su esencia divide en dos períodos la vida del pez, separados por el evento en que el pez termina su etapa reproductiva o comienzo de la senescencia.

Tomando este modelo como base, se realizaron las estimaciones de mortalidad natural a la edad para orange roughy y alfonsino. El primer recurso, no presenta una curva de bañera al graficar M por edad respecto de la edad, sino una suerte de estabilización hasta las edades mayores. Así, en orange roughy, la mortalidad natural a edades tempranas es bastante alto respecto del período de estabilización (superior a 0.6), sin embargo, muestra una rápida caída hasta los 10 años para de ahí en adelante disminuir su tasa de decaimiento, luego a partir de los 35 años aproximadamente, estabilizarse en valores alrededor de 0.045 en machos y 0.040 en hembras, cuando se utilizan los parámetros de crecimiento estimados por LS, en tanto que para las estimaciones hechas a partir de parámetros provenientes de mediciones de LH los valores de M fueron muy próximos: alrededor de 0,045 en machos y de 0,041 en hembras (Figuras 34 y 35). Cabe hacer notar que la edad en la cual se produce la estabilización de M en orange roughy, está cercana a la edad



de primera madurez sexual (30 años) (Gili com. pers.). En alfonsino, en cambio, se aprecia que la mortalidad natural sigue una curva tipo bañera en ambos sexos, mostrando valores sobre 0,3 en los primeros años, para luego mantenerse en alrededor de 0,13 entre las edades 11 y 25 en machos, en tanto que alrededor de 0,12 para las edades 11 a 30 en las hembras (Figura 36), para luego en la senescencia aumentar nuevamente. Sin embargo, los peces que realmente llegan a esta etapa son muy pocos por lo que el comportamiento de esta parte de la curva no es significativo en la dinámica de la población que está siendo explotada. Por otra parte, las edades en que se presenta el efecto de curva de bañera incluso están alejadas de las estimaciones de L infinito y longevidad estimada por Taylor (1958), por lo que se podría considerar como una situación más bien teórica, aún cuando se podría dar el caso que unos pocos individuos alcancen estas edades.

Una posible hipótesis para explicar que el efecto de curva de bañera se manifiesta más en el caso de alfonsino, sería que esta especie, por presentar un ciclo de vida más corto, alcanzaría su longitud asintótica en menor tiempo, lo que conduciría a que los ejemplares senescentes de la población, estarían circunscritos a un menor número de años incrementándose los valores de M , en comparación al caso del orange roughy que muestra una mayor estabilidad y una de las mayores longevidades informadas en peces.

Considerando lo anterior, es posible obtener una estimación de M para el período de estabilización, el que representaría una suerte de estimado promedio para ese período, el que está definido entre las edades t y $t+\Delta$, que corresponden al comienzo y final del período mencionado de acuerdo con la ecuación expuesta para tal efecto en la metodología.



Para orange roughy, las estimaciones de M para el período de estabilización, son algo menores que para el método de Monte Carlo obteniéndose valores de alrededor de 0.047 en machos y 0.042 en hembras (Tabla 39), esto considerando que la estimación se realizó a partir de los parámetros de crecimiento estimados desde longitud horquilla (LH) y longitud standard (LS).

Por otra parte, para los machos de alfonsino se obtuvo un valor de 0.125 para la estimación de M correspondiente al período de estabilización de M , en tanto que para las hembras este valor fue de 0.119 (Tabla 39), valores que también son un poco menores a los obtenidos con la metodología de Monte Carlo, los que a su vez dependían de la estimación de métodos bioanalógicos remuestreados.

El alto valor que en orange roughy estaría tomando M en las primeras etapas de su vida, a diferencia de otras especies, no cubre las edades que participan en la pesquería de Chile por lo que esto no afectaría estimaciones de abundancia que dependan de M como un parámetro de entrada ya que para la mayoría de estos procedimientos se considera M como una constante.



6. CONCLUSIONES

De las actividades realizadas para dar cumplimiento a los Objetivos del presente estudio, se desprenden las siguientes conclusiones:

Objetivo específico N° 1

Determinar el o los procedimientos aplicables para la asignación de edades en los recursos orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) y alfonsino (*Beryx splendens*)

- Para la estimación de la edad de *orange roughy*, se estableció que el procedimiento más confiable e inobjetable correspondió al análisis de los anillos de crecimiento contenidos en secciones longitudinales finas y pulidas de otolitos *sagitta* montadas en portaobjetos y analizadas mediante el uso de microscopio con aumentos de 40 y 60X y luz transmitida.
- En el caso de alfonsino, el procedimiento más adecuado para las estimaciones de edad consistió en la utilización de los otolitos enteros sin tratar, sumergidos en aceite, bajo microscopio de bajo aumento (10X) e iluminación reflejada.
- Para el desarrollo, principalmente del primer Objetivo, se firmó un convenio de colaboración con el National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA) de Nueva Zelandia, mediante el cual esta Institución entregó a IFOP una asesoría en la preparación y lectura de otolitos de ambas especies-objetivo.



- En el Laboratorio de edad del IFOP se elaboraron muestras de secciones longitudinales de otolitos de *orange roughy*, con la calidad y cantidad de las que se producen en el Laboratorio de edad del NIWA.
- Los análisis de comparación de lecturas de *orange roughy* y de *alfonsino* entre los lectores, indicaron un incremento gradual en la concordancia y que fue aceptable para el nivel de longevidad que presentan ambos recursos.

Objetivo específico N° 2

Estimar los parámetros de crecimiento para los recursos *orange roughy* (*Hoplostethus atlanticus*) y *alfonsino* (*Beryx splendens*), según el modelo de crecimiento aplicado.

- Para las estimaciones de edad de *orange roughy*, se contó con 607 preparaciones, provenientes del archipiélago de Juan Fernández comprendidas entre 27 y 63 cm de longitud horquilla (LH) y cuyas edades estimadas oscilaron entre 21 y 164 años.
- En *orange roughy* el ajuste de los parámetros del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy, se realizó con los pares de valores edad actual-longitud horquilla. Debido al sesgo existente en las capturas chilenas en los ejemplares juveniles, fue necesario incorporar datos edad-talla para esta fracción (menores a 30 cm; n: 1.283) provenientes de las capturas de esta especie en Nueva Zelandia, los que fueron aportados por el NIWA, asumiendo una similitud en el crecimiento entre ambos stocks en esa fracción de tamaños.



Esto permitió obtener una relación edad-talla actual para las edades 1 a 164 y estimar los parámetros de crecimiento del modelo de Von Bertalanffy en longitud-horquilla siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : Lh = 47,86 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,037 + 1,415)}] \\ \text{Hembras} & : Lh = 53,80 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,030 + 1,691)}] \\ \text{Ambos} & : Lh = 52,13 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,031 + 1,716)}] \end{aligned}$$

- A objeto de comparar los valores con los de Nueva Zelandia y Australia se ajustaron parámetros utilizando la longitud estándar y son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : Ls = 43,68 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,037 + 1,639)}] \\ \text{Hembras} & : Ls = 49,00 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,030 + 1,973)}] \\ \text{Ambos} & : Ls = 47,51 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,031 + 2,000)}] \end{aligned}$$

- Las funciones de crecimiento en peso resultantes para *orange roughy* fueron:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : Wt = 3.181 \text{ g} * [1 - e^{-(0,013 - 1,745)}] 2,45360 \\ \text{Hembras} & : Wt = 4.990 \text{ g} * [1 - e^{-(0,009 - 1,925)}] 2,54427 \\ \text{Ambos} & : Wt = 4.957 \text{ g} * [1 - e^{-(0,008 - 2,064)}] 2,64867 \end{aligned}$$

- Mediante la identificación de la Zona de Transición en los otolitos se estableció la edad y la talla de primera madurez de *orange roughy* en aguas chilenas, la que estaría en 30 y 32 años para machos y hembras respectivamente y se produciría alrededor de los 30 cm de longitud estándar (33 cm longitud horquilla).



- Para las estimaciones de edad de *alfonsino*, se utilizaron 1.377 ejemplares provenientes del archipiélago de Juan Fernández, comprendidos entre 17 y 57 cm (LH) y cuyas edades estimadas oscilaron entre 1 y 19 años.
- Para *Alfonsino* se realizaron los mismos ajustes edad-longitud horquilla, obteniendo las siguientes funciones:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : Lt = 58,54 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,106 + 2,393)}] \\ \text{Hembras} & : Lt = 63,59 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,095 + 2,458)}] \\ \text{Ambos} & : Lt = 63,39 \text{ cm} * [1 - e^{-(0,093 + 2,567)}] \end{aligned}$$

- Los pesos correspondientes a las longitudes asintóticas calculados mediante las ecuaciones de la relación longitud-peso fueron:

$$\begin{aligned} \text{Machos} & : W_{\infty} \text{ (g)} = 4.532,0 \\ \text{Hembras} & : W_{\infty} \text{ (g)} = 5.850,9 \\ \text{Ambos} & : W_{\infty} \text{ (g)} = 5.772,1 \end{aligned}$$

- Mediante tres test estadísticos se estableció que, en ambas especies, existen diferencias significativas en el crecimiento entre machos y hembras, de manera que estas últimas son más longevas y presentan una menor tasa de crecimiento que los machos.
- Se compararon los estimados de *orange roughy*, con los de otros autores de Nueva Zelandia y Australia, y de *alfonsino* con autores de diversas regiones (Océanos Pacífico, Atlántico e Indico), estableciendo que los ejemplares analizados en Chile son los de mayor tamaño y presentan las menores tasas de crecimiento, siendo probablemente más longevas los de aguas chilenas.



Objetivo específico N° 3

Efectuar estimaciones de mortalidad natural de orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) y alfonsino (*Beryx splendens*).

- Los valores de M estimados para *orange. roughy* mediante los métodos de Roff, Taylor, Rikhter y Efanov están entre 0,037 y 0,067 para machos, mientras que en las hembras este parámetro varió de 0,03 y 0,058, sin considerar los valores obtenidos por el método de Alverson y Carney, ya que su razón M/K estuvo fuera de los rangos recomendados por Beverton y Holt (1958).
- En *alfonsino*, los métodos bioanalógicos entregaron valores entre 0,1 y 0,21 para machos y entre 0,095 y 0,22 para hembras. Al igual que en el caso anterior, el método de Alverson y Carney entregó valores de M que no concuerdan con las recomendaciones respecto de la razón M/K.
- En lo que respecta a las estimaciones de M por la curva de captura en *alfonsino*, éste dio valores muy altos respecto de las estimaciones de métodos bioanalógicos, así como al compararlos con los estimados de M para Nueva Zelanda.
- La mortalidad natural por edades para orange roughy no presenta una curva de tipo bañera y muestra un período de estabilización que comienza aproximadamente en la edad 35.



- La mortalidad natural a la edad de alfonsino es claramente de tipo bañera, aún cuando el aumento de M se produce a edades muy mayores por lo que éstos no tienen un efecto en la fase explotada del recurso.
- En general se puede considerar que las estimaciones son consistentes y ajustadas al conocimiento del tiempo de vida de estos recursos.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adachi, K., K. Takagi, E. Tanaka, S. Yamada and T. Kitakado. 2000. Age and growth of alfonsino *Beryx splendens* in the waters around the Izu Island. Fisheries Science **66** : 232-240
- Alagaraja, K. 1984. Simple method for estimation of parameter for assessing exploited fish stock. Indian J. Fish., **31** : 177-208.
- Allain, V. y P. Lorance. 2000. Age estimation and growth of some deep-sea fish from the northeast atlantic ocean. Cybium, 24 (3) suppl.; 7-16.
- Alverson, D. and M. Carney. 1975. A graphic review of growth and decay of population cohort. J. Cons. Int. Explor. Mer. **36** : 133-143.
- Andrews, A.H., K. H. Coale, J. L. Nowicki, C. Lundstrom, Z. Palacz, E. J. Burton and G. M. Cailliet. 1999a. Application of an ion-exchange separation technique and thermal ionization mass spectrometry to ^{226}Ra determination in otoliths for radiometric age determination of long-lived fishes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **56**: 1329-1338.
- Andrews, A. H., G. M. Cailliet and K. H. Coale. 1999b. 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., K. J. Sullivan y C. J. O'Brien (Comps.) 2000. Report from the Fishery Assessment Plenary, May 2000: stock assessments and yield estimates. 495 p. (Unpublished report held in NIWA library, Wellington).



- Annala, J. H., K. J. Sullivan, C. J. O'Brien y N. W. McL. Smith. (Comps.) 2001. Report from the Fishery Assessment Plenary, May 2001: stock assessments and yield estimates. 515 p. (Unpublished report held in NIWA library, Wellington).
- Aubone, A. y O. Wöhler. 2000. Aplicación del método de máxima verosimilitud a la estimación de parámetros y comparación de curvas de crecimiento de Von Bertalanffy. INIDEP. Informe Técnico 37. 21p
- Bahamonde F., R. 1978. Distribución y abundancia relativa de los principales recursos demersales entre Corral (40° LS) y el Cabo de Hornos (57° LS). Ins. Fom. Pesq., 28, 1-23.
- Beamish, R.J. and E.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. and G. A. McFarlane. 2000. Reevaluation of the interpretation of annuli from otoliths of a long-lived fish, *Anoploma fimbria*. Fisheries Research. **46** : 105-111.
- Beverton, R. and S. Holt, 1959. A review of the lifespan and mortality rates of fish in nature and their relation to growth and other physiological characteristics. In: CIBA foundation, colloquia on ageing. Vol 5. The lifespan of animals, edited by G. E. W. Wolstenholme and M. O'connor. London. Churchill. **5** :142-180.
- Bernard, D. R. 1981. Multivariate analysis as a mean of comparing growth in fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **38**: 233-236.
- Busakhin, S. V. 1982. Systematics and distribution of the Family Berycidae (Osteichthyes) in the world ocean. J. Ichthyol. **22** (6) : 21p.



- Campana, S., M. Annad y J. McMillan. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Trans. of Am. Fish. Soc.* **124** : 131-138.
- Campana, S. E. y S. R. Thorrold. 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **58** (1) : 30-38.
- Campana, S. E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology.* 59: 197-242.
- Charuau, A., H. Dupouy y P. Lorance. 1995. French exploitation of the deep-water fisheries of the North Atlantic. *In: Hopper, A. G. ed. Deep-water fisheries of the North Atlantic oceanic slope. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Deep-Water Fisheries of the North Atlantic Oceanic Slope.* Hull, U.K. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. Pp. 337-356.
- 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. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **39** : 1208-1210.
- Chen, S. and S. Watanabe. 1989. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi.* **55** (2), 205-208.



- Chen, Y., A. Jackson and H. Harvey. 1992. A comparison of Von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data. *Can. J. Fish Aq. Sci.* 49 : 1228-1235.
- Clark, M.R., D.J. Fincham and D. M. Tracey. 1994. Fecundity of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) in New Zealand waters. *N. Z. J. Mar. Freshwat. Res.* 28 (2) : 193-200.
- Degens, E.T., W.G. Deuser and R.L. Haedrick. 1969. Molecular structure and composition of fish otoliths. *Collect reprints. Wood Hole Ocean. Ins.* Part. 2 : 2214. 21 p.
- de Leon, M. E. and A. Malkov. 1979. Preliminary study of the age and growth of *Beryx splendens*, Lowe from the Western Central Atlantic. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 44 (4) : 62-73.
- Doonan, I. J. and D. M. Tracey. 1997. Natural mortality estimates for orange roughy in ORH 1 (Bay of Plenty). *New Zealand Fisheries Assessment Research 97/26.* 9p.
- Dove, S. G. 1998: Understanding the black box: Otoliths as environmental monitors. 2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application, Bergen, 20–25 June 1998. Invited Contribution No. 3. (Sólo resumen).
- Fenton, G. E., D. A. Ritz and S. A. Short. 1990. ^{210}Pb : ^{226}Ra disequilibria in otoliths of blue grenadier, *Macruronus novaezelandiae*; problems associated with radiometric ageing. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 41 : 467-473.



- Fenton, G. E., S. A. Short and D. A. Ritz. 1991. Age determination of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Pisces: Trachichthyidae) using ^{210}Pb : ^{226}Ra disequilibria. Mar. Biol. **109** :197-202.
- Fenton, G. E. y S. A. Short. 1995. Radiometric analysis of blue grenadier, *Macruronus novaezelandiae*, otolith cores. Fish. Bull. **93** : 391-396
- Francis R.I.C.C. 1995. The longevity of orange roughy: a reinterpretation of the radiometric data. New Zealand Fisheries Assessment Research 95/2. 13p.
- Francis R.I.C.C. and P.L. Horn. 1997. Transition zone in otoliths of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) and relationship to the onset of maturity. Mar. Biol. **129** : 681-687.
- Galaktionov, G. Z. 1984. Features of the schooling behavior of the alfonsina, *Beryx splendens* (Berycidae), in the Thalassobathyl depths of the Atlantic ocean. J. Ichthyol. 1987. **24** (5) : 148-151.
- Gauldie, R. W. 1987. The effect of surface sculpturing on the interpretation of opaque and hyaline zones in the orange roughy otolith. N. Z. J. Mar. Freshwat. Res. **21** (2) : 267-274.
- Gauldie, R. W. 1988. The fine structure of check rings in the otolith of the New Zealand orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*). Appl. Ichthyol. Z. angew. Ichthyol. **4** (3) : 140-146.
- Gauldie, R. W. 1990. Phase differences between check ring locations in the orange roughy otolith (*Hoplostethus atlanticus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. **47** (4) : 760-765.



- Gauldie, R. W. 1995. Biological history and age estimation from the zones, checks, and microincrements of the otolith of the alfonsin, *Beryx splendens* (Berycidae). *CYBIUM* 19 (2) : 107-129.
- Gauldie, R. W. 1997. The biological basis for estimates of age and growth of orange roughy. Report for The Exploratory Fishing Company Limited. New Zealand. 50p.
- Gauldie, R. W., K. Xi and S. K. Sharma. 1994. Developing a Raman spectral method for measuring the strontium and calcium concentrations of fish otoliths. *Can.J.-Fish.-Aquat.-Sci.* 51 (3) : 545-551.
- Gauldie, R. W., I. F. West and 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 composition. *Bull. Mar. Sci.* 56 (1) : 76-102.
- Gili V., R. 1998. Estimación de la edad de *orange roughy* en aguas chilenas. Informe Técnico para FIP 95-19. 13 p.
- Gunderson, D.R., 1997. Trade-off between reproductive effort and adult survival in oviparous and viviparous fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 990-998.
- Hare, J. A. y R. K. Cowen. 1995. Effect of age, growth rate, and ontogeny on the otoliths size-fish size relationship in bluefish, *Pomatomus saltatrix*, and the implications for back-calculation of size in fish early life history stages. *Can.J. Fish. Aquat. Sci.* 52 (9) : 1909-1922.



- Horn P.L. and B. R. Massey. 1989. Biology and abundance of alfonsino and bluenose off the Lower east coast North Island, New Zealand. New Zealand Fish. Tesh. Rep. N° 15, 32 p.
- Horn, P. L., D. M. Tracey and M. R. Clark. 1998. Between-area differences in age and length at first maturity of the orange roughy *Hoplostethus atlanticus*. Marine Biology. **132** : 187–194.
- Ikenouye, H. y H. Masuzawa. 1968. An estimation on parameters of growth equation basing on the results of tagging experiments of Japanese alfonsino fish. Nippon swisan Gakkaishi. 34: 97-107. (In Japanese).
- Ikenouye, H. 1969. Age determination by otolith of a Japanese alfonsin, *Beryx splendens*, with special reference to growth. Journal of the Tokyo University of Fisheries 55(2): 91-98.
- Isarev, A. T. 1991. Age determination technique for the alfonsino (*Beryx splendens* Lowe) from the Vavilov Ridge area. Biological Resources of the Thalassobathyal World Ocean. A.S. Grechina, ed.. pp. 97-110.
- Ivanin, N. A. 1987. On the discovery of a juvenile Beryx-alfonsino, *Beryx splendens*, in the region of thr North australian trough of the Indian Ocean. J. of Ichthyology. **27** (3): 171-172.
- JAMARC (Japan Marine Fishery Resource Center).1986. Important fishes trowled off Patagonia. 369p.
- JAMARC (Japan Marine Fishery Resource Center).1990. Fishes collected by the R/V Shinkai Maru around New Zealand. 419p.



- Jones, R. N.P. y van Zalinge 1981. Estimates of mortality rates and population size for shrimp in Kuwait waters. *Kuwait Bull. Mar. Sci.*, 2:273-288.
- Kalish, J. M., R. J. Beamish, E. B. Brothers, J. M. Casselman, R.I.C.C. Francis, H. Mosegaard, J. Panfili, E. D. Prince, R. E. Thresher, C. A. Wilson and P. J. Wright. 1995. Glossary for Otolith Studies. In *Recent developments in fish otolith research*. D. H. Secord, J. M. Dean, S. E. Campana (eds), and A. B. Miller (ass. ed.). The Belle W. Baruch Library in Marine Science N° 19. 723-729.
- Kastelle, C. R., D. K. Kimura and S. R. Jay. 2000. Using $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ disequilibrium to validate conventional ages in Scorpaenids (genera ***Sebastes*** and ***Sebastolobus***). *Fisheries Research*. **46** : 299-312.
- Kimura D. K. and C. R. Kastelle. 1995. Perspectives on the relationship between otolith growth and the conversion of isotope activity ratios to fish ages. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **52** : 2296-2303
- Kotlyar, A. N. 1980. Age and growth speed of the bigheads, ***Hoplostethus atlanticus*** Collet and ***H. mediterraneus***, Cuvier (Trachichthyidae, Beryciformes). In *Fishes of the open ocean*. Edited by P.V. Shirston. Moscow Institute of Oceanography, Moscow. pp. 68-88.
- Kotlyar, A. N. 1987(a). Age as related to growth rate in the alfonsino ***Beryx splendens*** Lowe. *J. Ichthyol.* **27** (1) : 73-80.
- Kotlyar, A. N. 1987(b). Age and growth of alfonsino, ***Beryx splendens***. *J. Ichthyol.* **27** (2) : 104-111.



- Labbé F. J. y P. M. Arana. 2001. Alimentación de orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Pisces: Trachichthyidae), en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Valparaíso 36 (1) : 75-82.
- Lehodey, P., P. Marchal and R. Grandperrin. 1994. Modelling the distribution of *alfonsino*, *Beryx splendens*, over the seamounts of New Caledonia. *Fishery Bulletin*. 92 (4) :748-759
- Lehodey, P.; and R. Grandperrin. 1996. Age and growth of the alfonsino *Beryx splendens* over the seamounts off New Caledonia. *Mar. Biol.* 125 (2) : 249-258.
- Leiva, B., R. Bahamonde, M. Rojas y M. Donoso. 1997. Aspectos Pesqueros Biológicos. En: *Prospección de recursos demersales en aguas interiores de la X y XI Región*. Informe Final FIP 95-19. 113p + Anexos.
- Lillo, S., R. Bahamonde, B. Leiva, M. Rojas, M. A. Barbieri, M. Donoso y R. Gili. 1999. *Prospección del recurso orange roughy (Hoplostethus spp) y su fauna acompañante entre la I y X Región*. Informe Final FIP 98-05, IFOP 49p.+ Anexo.
- Mace, P. M., J. M. Fenaughty, R. P. Coburn and I. J. Doonan. 1990. Growth and productivity of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) on the north Chatham rise. *N. Z. J. Mar. Freshwater. Res.* 24 : 105-119
- McFarlane, G. A. and R. J. Beamish. 1995. Validation of the otolith cross-section method of age determination for sablefish (*Anoploma fimbria*) using oxytetracycline. In *Recent developments in fish otolith research*. Edited by D. H. Secor, J. M. Dean and S. E. Campana. The Belle W. Baruch Library in



- Marine Science, N° 19. University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina. Pp.319-329.
- Massey, B. R. and P. L. Horn. 1990. Growth and age structure of alfonsino (*Beryx splendens*) from the lower east coast, North Island, New Zealand. N. Z. J. Mar. Freshwat. Res. **24** (1) : 121-136.
- Masuzawa, T. Y. Kurata, K. Onishi. 1975. Results of group study on population of demersal fishes in water from Sagami Bay to southern Izu Islands-population ecology of Japanese alfonsin and other demersal fishes. Japan Aquatic Resources Conservation Association fishery research paper 28. 105p (In Japanese. English translation held at Fisheries research Centre Library, MAF, P.O. Box 297, Wellington.
- Morales-Nin, B.Y.O. 1987: The influence of environmental factors on microstructure of otoliths of three demersal fish species caught off Namibia. South African Journal of Marine Science. **5**: 255-262.
- Mugiya, Y., N. Watabe y J. Yamada. 1981. Diurnal rhythm in otolith formation in the goldfish. Comp. Biochem. Phys. **68**: 659-662.
- Mundy, B. C. 1990. Development of larvae and juveniles of the alfonsins, *Beryx splendens* and *B. decadactylus* (Berycidae, Beryciformes). Bull. of Mar. Sc. **46** (2) : 257-273.
- Munro, J. L. and D. Pauly. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. Fishbytes **1** (1) : 5-6.
- Pauly, D. 1983. Length-converted catch. A powerful tool for fisheries research in the tropics. (Part I). ICLARM News., **4**(3):10-13.



- Pauly, D. 1984 (a). Length-converted catch. A powerful tool for fisheries research in the tropics. (Part II). ICLARM Fishbyte. 2(1):17-19.
- Pauly, D. 1984 (b). Length-converted catch. A powerful tool for fisheries research in the tropics. (Part I). ICLARM. 2(3):9-10.
- Payan, P., A. Edeyer, G. Borelli, H. De Pontual, G. Boeuf and N. Mayer-Gostan. 1998. Heterogeneity of endolymph chemistry in the inner ear of two teleosts (*Oncorhynchus mykiss* and *Psetta maxima*): relation to otolith growth? 2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application, Bergen, 20–25 June 1998. Contribution No. 105. (Abstract only.).
- Pella, J. J., and P. K. Tomlinson. 1969. A generalized stock-production model. Inter. Am. Trop. Tuna Comm., Bull. **13** : 416-496.
- Pequeño. R., G. 1989. Peces de Chile. Lista sistemática revisada y comentada. Rev. Biol. Mar., Valparaíso. **24** (2) : 1-132.
- Platt, C., A. N. Popper and W. N. Tavolga. (1981). Fine structure and function of the ear. Hearing and sound communication in fishes. R. R. Fay eds. New York NY USA Springer Verlag. pp. 3-38.
- Radtke, R. L., M. L. Fine and J. Bell. 1985: Somatic and otolith growth in the oyster toadfish (*Opsanus tau* L). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. **90**: 259–275.
- Rico, V. J.M. Lorenzo, J.A. Gonzalez, H.M. Krug, A. Mendonca, E. Gouveia and M. Afonso Dias. 2001. Age and growth of the alfonsino *Beryx splendens* Lowe, 1834 from the Macaronesian archipelagos. Fisheries Research 49 (3): 233-240



- Rikhter, V. A. and V. N. Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. ICNAF. Res. Doc., 76/VI/8:12 pp.
- Roff, D. A., 1988. The evolution of migration and some life history parameters in marine fishes. Environ. Biol. **22** (2) : 133-146.
- Romanek, C. S. and R. W. Gauldie. 1996: A predictive model of otolith growth in fish based on the chemistry of the endolymph. Comparative Biochemistry and Physiology. **114 A** : 71-79.
- Schaefer, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. Inter. Am. Trop. Tuna Comm., Bull. **1** (2) : 27-56.
- Sherstyukov, A. and A. S. Nostov. 1986. Collections of juvenile alfonsino, *Beryx splendens* (Berycidae) in the region of the Uglovoye submarine rise. Journal of Ichthyology. **26** (5): 123-124
- Shiomi, H. 1972. Mathematical Science. **109**, 25-35.
- Sickle, J. van. 1977. Mortality rates from size distribution: the application of a conservation law. Oecologia, Berl. **27**:311-318
- Simkiss, K. 1974. Calcium metabolism of fish in relation to ageing. In The proceeding of an international symposium on ageing of fish. Ed. by T.B. Bagenal. Unwin Bros. Ltd. The Gresham Press, Old Woking, Surrey, England, pp 1-12.
- Smith, D.C. and S. G. Robertson. 1992. The problem of ageing orange roughy. In: The measurement of age and growth in fish and shellfish. Hancock, D.A.



- (ed). Canberra, A.C.T. Australia Bureau of Rural Resources. no. **12** : 116-120
- Smith, D. C., G. E. Fenton, S. G. Robertson and S. A. 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.
- Smith, D. C., S. G. Robertson y A. K. Morison. 1998. Age composition of Orange roughy in the eastern and Southern Management zones. Fisheries Research & Development Corp. Marine and Freshwater Resources Inst. (Australia) 38p.
- Taylor, C. 1958. Temperature, growth and mortality- The Pacific Cockle. J. Cons. CIEM, **26** :117-124.
- Tracey, D. M. and P. L. Horn. 1999. Background and review of ageing orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*, Trachichthyidae) from New Zealand and elsewhere. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. **33**: 67-86.
- Tracey, D. y R. Gili. 2000. Informe de Pasantía. Asesoría técnica en preparación y lectura de otolitos de orange roughy y alfonsino. Convenio NIWA-FOP. Documento Interno. 14p.+Tablas y Figuras.
- Vetter, E. F. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: a review. Fish. Bull. : **86** (1) : 25-43.
- West, I. F. and R. W. Gauldie. 1994: Determination of fish age using ^{210}Pb . ^{226}Ra disequilibrium methods. Can. J. of Fish. and Aquat Sci. **51**: 2333–2340.



Young, U., Z., F. Balbontín, J. Rivera, M.I. Ortego, R. Tascheri, M. Rojas y S. Lillo.
2000. Estudio biológico pesquero del recurso orange roughy. Informe Final.
FIP N° 99 – 05. IFOP, 73p. +Tablas y Figuras

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

FISHBASE.: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
www.fao.org



8. GLOSARIO

Annulus (pl. annuli): una de las series de zonas concéntricas sobre una estructura que puede ser interpretada en términos de edad. La apariencia óptica de estas marcas depende de la estructura del otolito y de la especie y debiera definirse en términos de las características específicas sobre la estructura. Tradicionalmente se ha usado este término para distinguir la marca anual. Cabe hacer notar que el latín "*anus*" significa anillo, mientras que "*annus*" corresponde a año.

Asteriscus (pl. asterici): uno de los tres pares de otolitos encontrados en el laberinto membranoso de los peces óseos, se encuentra al interior de la lagena, de la parte inferior. En los peces no ostarioficeos el asteriscus es pequeño y su forma es aplastada o como cuarto de luna.

Core: área o áreas que rodea a uno o más primordia a su vez está delimitado por las primeras zonas de crecimiento diario.

Exactitud: cercanía de una medida o valor calculado a su valor verdadero.

Lapillus (pl. lapilli): uno de los tres pares de otolitos encontrados en el laberinto membranoso de los peces óseos. Es el más dorsal de los otolitos y se encuentra al interior del "utrículo" de la parte superior. En general es más pequeño que el otolito sagitta.

Precisión: grado de proximidad que tienen las repeticiones de medidas de una misma cantidad. Cuando una técnica de medida está libre de sesgo, la precisión implica exactitud.



Primordium (pl. *primordia*): es la compleja estructura inicial de un otolito, consiste en material granular o fibrilar rodeado de uno o más núcleos ópticamente densos de 0,5 a 1,0 micrón de diámetro. En estados tempranos de crecimiento del otolito, si varios *primordia* están presentes, generalmente se funden para formar el core del otolito.

Sagitta (pl. *sagittae*): uno de los tres pares de otolitos que se encuentran en el laberinto membranoso de los peces óseos, se encuentra en el sáculo ubicado en la parte inferior. Generalmente está comprimido lateralmente y tiene una forma elíptica, sin embargo, la forma del sagitta varía considerablemente entre las especies. En peces no ostariofisios, el sagitta es mucho más grande que el asteriscus y el lapillus. El sagitta es el otolito usado con más frecuencia en estudios de edad.

Sulcus acusticus (o sulcus): hendidura a lo largo de la superficie medial (interior) del otolito sagitta. Una delgada porción de la membrana otolítica se encuentra dentro del sulcus acústicus. Los estudios de edad se refieren con frecuencia a esta área, debido a la claridad de los incrementos cerca del sulcus en secciones transversales de otolitos.

Validación: proceso de estimación de la exactitud de un método de estimación de edad. Si el método involucra contar zonas, entonces el proceso de validación implica confirmar el significado temporal de las zonas que están siendo contadas. La validez de un procedimiento de estimación de la edad indica que el método es firme y está basado en hechos.



Verificación: proceso para establecer si algo es verdadero, la verificación implica probar algo, tal como una hipótesis, que puede ser determinada en términos absolutos como verdadero o falso.

Zona de Transición: sector de cambio en la estructura del otolito entre dos regiones, se puede reconocer como una zona de cambio abrupto en la forma de los incrementos. En orange roughy la zona de transición se ha asociado con la madurez sexual.

Zona hialina: área del otolito que permite el paso de mayor cantidad de luz que las zonas opacas. Se prefiere usar el término zona translúcida.

Zona opaca: área del otolito que restringe el paso de la luz en comparación con la zona translúcida al utilizar luz reflejada. En otolitos no tratados y baja luz transmitida, las zonas opacas aparecen oscuras y las translúcidas brillantes. Bajo luz refleja es al revés.

Tomado principalmente de Kalish *et al.*, (1995).



9. BASE DE DATOS Y ARCHIVOS DE IMAGENES

9.1 BASE DE DATOS

En esta Base de Datos, se incluyen los datos básicos recopilados en el estudio, los archivos de Figuras, Tablas y Anexos por contener las bases utilizadas en su elaboración.

DATOS

Archivo: **01_ORH_EDAD_MACHOS_CHILE.XLS. Determinación de edad de orange roughy 30KB**

Columna A	NUMERO	
Columna B	EDAD	
Columna C	LS	(Longitud estándar)
Columna D	LH	(Longitud horquilla)

Archivo: **02_ORH_EDAD_HEMBRAS_CHILE.XLS. Determinación de edad de orange roughy 32KB**

Columna A	NUMERO	
Columna B	EDAD	
Columna C	LS	(Longitud estándar)
Columna D	LH	(Longitud horquilla)



Archivo: **03_ORH_EDAD_AMBOS_NZ.XLS.**
Determinación de edad de orange roughy en Nueva Zelandia
89 KB

Columna A NUMERO
Columna B EDAD
Columna C LS

Archivo: **04_ALF_EDAD_MACHOS_CHILE.XLS.**
Determinación de edad de alfonsino 48 KB

Columna A NUMERO
Columna B EDAD
Columna C LH (Longitud horquilla)
Columna D SEXO

Archivo: **05_ALF_EDAD_HEMBRAS_CHILE.XLS. Determinación de**
edad de alfonsino 48 KB

Columna A NUMERO
Columna B EDAD
Columna C LH (Longitud horquilla)
Columna D SEXO



9.2 FIGURAS

26.200 KB

- Figura 1.** Esquema general del oído derecho de un pez teleósteo, indicando sus componentes principales. (De Platt *et al.*, 1981).
- Figura 2.** Etapas del proceso de preparación de secciones longitudinales, finas y pulidas de *orange roughy*. 1. Selección y marcado del otolito. 2. Inclusión en resina. 3. Corte de la sección. 4. Sección sin pulir. 5. Montaje. 6. Pulido. 7. Análisis. 8. Sección vista bajo microscopio. 9. Análisis de crecimiento. (Fotos: R. Gili)
- Figura 3.** Otolito izquierdo de ejemplar adulto de *orange roughy* y su nomenclatura, señalando la posición del corte longitudinal para obtener la sección de 1 mm. (Foto R. Gili).
- Figura 4.** Equipamiento del laboratorio de estudios de edad para la preparación de secciones de otolitos de *orange roughy*. (Fotos R. Gili).
- Figura 5.** Láminas de otolitos de *orange roughy* bajo luz reflejada. A) Ejemplar hembra de 41 cm LH. Lámina completa. B) Ejemplar macho de 50 cm LH. Sector posterior. (Fotos: R. Gili y L. Cid).
- Figura 6.** Lámina de otolitos de un ejemplar hembra de *orange roughy* de 41 cm LH, vistas con luz transmitida. Preparadas según la técnica adaptada del NIWA. (Fotos R. Gili y L. Cid).



- Figura 7.** Otolito izquierdo de ejemplar adulto de *Alfonsino* y su nomenclatura. (Foto R. Gili)
- Figura 8.** Ejemplar juvenil de *orange roughy* y otolitos sagitales señalando la presencia de un anillo de crecimiento. (Fotos: Pez : Niwa; otolito : R.Gili.)
- Figura 9.** Estructura de tallas de los ejemplares en la muestra de otolitos para determinar la edad de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 10.** Estructura de tallas de los ejemplares en la muestra de otolitos para determinar la edad de *alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 11.** Relación edad-talla de machos y hembras de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 12.** Relación edad-talla de machos y hembras de *alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 13.** Relación entre el radio de los otolitos y la longitud de *alfonsino*. Zona del archipiélago de Juan Fernández.
- Figura 14.** Series de otolitos izquierdos de machos y hembras de *orange roughy*, entre 27 y 63 cm de longitud horquilla. (Foto : R.Gili y L. Cid).



- Figura 15.** Series de otolitos izquierdos de machos y hembras *de alfonsino*, entre 20 y 56 cm de longitud horquilla. (Foto : R.Gili y L. Cid).
- Figura 16.** Relación edad-talla para machos de *orange roughy*. En azul datos del NIWA, en rojo datos de IFOP. En la Figura A se considera la longitud horquilla; en B la longitud estándar.
- Figura 17.** Relación edad-talla para hembras de *orange roughy*. En azul datos de Nueva Zelanda, en rojo datos de Chile. En la Figura A se considera la longitud horquilla; en B la longitud estándar.
- Figura 18.** Curvas de crecimiento en longitud (LH) para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*. Zona archipiélago de Juan Fernández. Chile.
- Figura 19.** Curvas de crecimiento en longitud (LS) para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*. Zona archipiélago de Juan Fernández.,Chile.
- Figura 20.** Curvas de crecimiento en peso del modelo de Von Bertalanffy estimadas para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*
- Figura 21.** Distribución de tamaños de machos (Ma) y hembras (He) de *alfonsino* entre las edades 1 a 19. Zona del archipiélago de Juan Fernández.



- Figura 22.** Curvas de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos de *alfonsino*. Zona archipiélago de Juan Fernández. Chile.
- Figura 23.** Relación entre la longitud asintótica (L) y el coeficiente de crecimiento (K) de *orange roughy* estimados en Nueva Zelanda y Australia, comparados con los resultados del presente estudio (9a a 9c). (Para identificar los autores ver Tabla 22).
- Figura 24.** Relación entre los valores de t_0 y el coeficiente de crecimiento (K) de *orange roughy* estimados en Nueva Zelanda y Australia, comparados con los resultados del presente estudio (9a a 9c).
- Figura 25.** Relación entre la longitud asintótica (L) y el coeficiente de crecimiento (K) de *alfonsino* (*Beryx splendens*) en tres áreas de su distribución y comparación con los resultados del presente estudio.
- Figura 26.** Relación entre los valores de t_0 y el coeficiente de crecimiento (K) de *alfonsino* (*Beryx splendens*) en tres áreas de su distribución y comparación con los resultados del presente estudio.
- Figura 27.** Curvas de crecimiento ajustadas para *orange roughy* por distintos autores para las zonas de pesca de Nueva Zelanda, Australia y Chile.
- Figura 28.** Curvas de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos de *alfonsino* ajustadas por distintos autores y comparación con las estimadas en el Presente estudio.



- Figura 29.** Curvas de captura (A) y curvas de captura acumulada (B) con sus respectivos ajustes para machos y hembras de *orange roughy*.
- Figura 30.** Curvas de captura (A) y curvas de captura acumulada (B) con sus respectivos ajustes para machos y hembras de *alfonsino*.
- Figura 31.** Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestreos de Monte Carlo para *orange roughy* (L H).
- Figura 32.** Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestreos de Monte Carlo para *orange roughy* (L S).
- Figura 33.** Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestreos de Monte Carlo para *alfonsino*.
- Figura 34.** Mortalidad natural de *orange roughy* por edad (par.crec. estimados a partir de LH)
- Figura 35.** Mortalidad natural de *orange roughy* por edad (par.crec. estimados a partir de LS)
- Figura 36.** Mortalidad natural de *alfonsino* por edad.



9.3 TABLAS

3.215 KB

- Tabla 1.** Progreso en las concordancias de las determinaciones de edad de *orange roughy* entre dos lectores, luego de siete procesos de comparación.
- Tabla 2.** Porcentaje de concordancia (APE, V y D) entre dos lectores, para siete procesos de comparación de lecturas de secciones de otolitos de *orange roughy*.
- Tabla 3.** Progreso en las concordancias de las estimaciones de edad de *alfonsino* entre dos lectores, luego de cuatro procesos de comparación.
- Tabla 4.** Porcentaje de concordancia (APE, V y D) entre dos lectores, para cuatro procesos de comparación de lecturas de otolitos de *alfonsino*.
- Tabla 5.** Longitudes promedio (LH) y mínimas y máximas observadas por edad para machos y hembras de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández. Entre la edad 1 y 30 (azul) corresponde a los datos de Nueva Zelanda, aportados por el NIWA (*)
- Tabla 6.** Longitudes promedio (cm) y mínimas y máximas observadas por edad para machos y hembras de *alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.



- Tabla 7.** Edad (años) de *orange roughy* al momento de formación de la Zona de Transición. Análisis por clase de tallas de 2 cm.
- Tabla 8.** Parámetros de crecimiento en longitud horquilla (LH) del modelo de Von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández. (Incluyendo datos de ejemplares pequeños de N. Zelandia).
- Tabla 9.** Parámetros de crecimiento en longitud estándar (LS) del modelo de Von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández. (Incluyendo datos de ejemplares pequeños de N. Zelandia).
- Tabla 10.** Longitudes horquilla promedio (cm) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 11.** Longitudes estándar promedio (cm) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 12.** Parámetros de crecimiento en peso del modelo de Von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández.
- Tabla 13.** Pesos promedio (g) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento en peso ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 14.** Parámetros de crecimiento en longitud del modelo de Von Bertalanffy para *Alfonsino* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández.



- Tabla 15.** Longitudes promedio (cm) por edad calculadas para *alfonsino* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 16.** Pesos promedio (g) estimadas para las edades 1 a 19 de *alfonsino* mediante las ecuaciones de la relación longitud horquilla-peso para machos, hembras y ambos sexos.
- Tabla 17.** Comparación de los parámetros de crecimiento de *orange roughy* mediante el test de Hotelling (T^2).
- Tabla 18.** Valores del test T^2 de Hotelling aplicado para verificar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras de *orange roughy*.
- Tabla 19.** Valores del test T^2 de Hotelling aplicado para verificar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras de *alfonsino*.
- Tabla 20.** Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de *orange roughy* mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.
- Tabla 21.** Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de *alfonsino* mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.



- Tabla 22.** Ajustes de parámetros de crecimiento en longitud (LS) realizados para *orange roughy* (*Hoplostethus atlanticus*) por diversos autores. Comparación con los resultados del presente estudio.
- Tabla 23.** Ajustes de parámetros de crecimiento en longitud (LS) realizados para *alfonsino* (*Beryx splendens*) por diversos autores. Comparación con los resultados del presente estudio.
- Tabla 24.** Relación edad-talla (LS) para *orange roughy* estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 25.** Relación edad-talla (LS) para *orange roughy* estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 26.** Relación edad-talla para ambos sexos de *alfonsino* estimadas mediante la ecuación de crecimiento por distintos autores y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 27.** Relación edad-talla para machos de *alfonsino* estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.
- Tabla 28.** Relación edad-talla para hembras de *alfonsino* estimadas mediante la ecuación de crecimiento por distintos autores y comparación con las estimaciones del presente estudio.



- Tabla 29.** Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *orange roughy* con parámetros de crecimiento estimados por longitud horquilla (LH).
- Tabla 30.** Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *orange roughy* con parámetros de crecimiento estimados por longitud estándar (LS).
- Tabla 31.** Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *alfonsino*.
- Tabla 32.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura linealizada de *orange roughy* por sexo.
- Tabla 33.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura acumulada de *orange roughy* por sexo.
- Tabla 34.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura linealizada de *alfonsino* por sexo.
- Tabla 35.** Resultados de las regresiones lineales para curva de captura acumulada de *alfonsino* por sexo.
- Tabla 36.** Mortalidad natural promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de métodos bioanalógicos en *orange roughy* (LH), a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados.



Tabla 37. Mortalidad natural promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de métodos bioanalógicos en *orange roughy* (LS), a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados.

Tabla 38. Mortalidad natural Promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de métodos bioanalógicos en *alfonsino*, a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados.

Tabla 39. Estimación promedio de M para el rango de edades en que se produce la estabilización de la mortalidad natural.

9.4. IMÁGENES FOTOGRÁFICAS

1.	Secuencias_muestreo	01muestreo O.roughy	16.496 KB
2.	Secuencias_muestreo	02muestreo Alfonsino	8.336 KB
3.	Fotografías Anexo 2	01Fotos 1_3 Otol. OR	3.170 KB
4.	Fotografías Anexo 2	02Foto Otol. Alf	670 KB
5.	Fotografías Anexo 2	03Equipos_Niwa	3.028 KB

FIGURAS

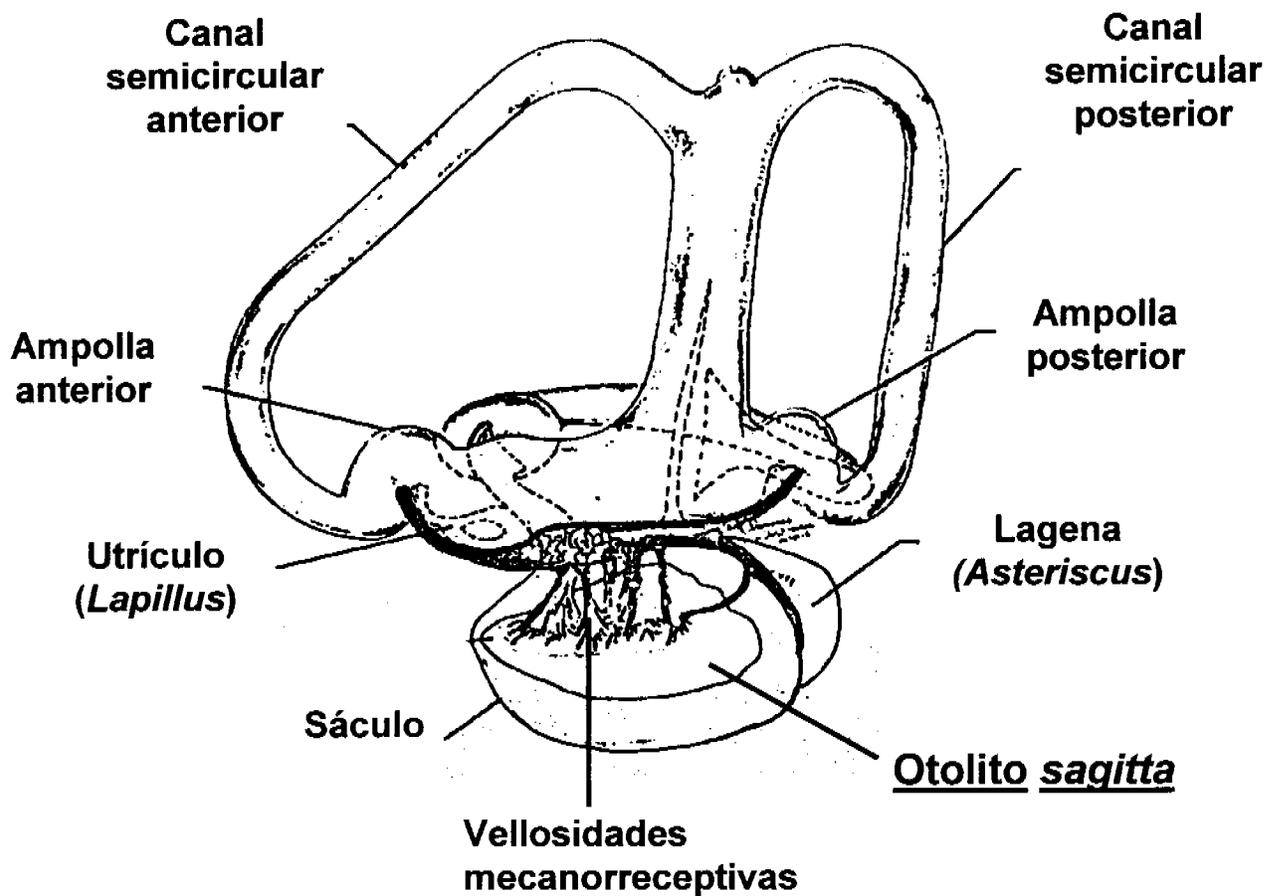


Fig. 1. Esquema general del oído derecho de un pez teleósteo, indicando sus componentes principales. (De Platt *et al.*, 1981)

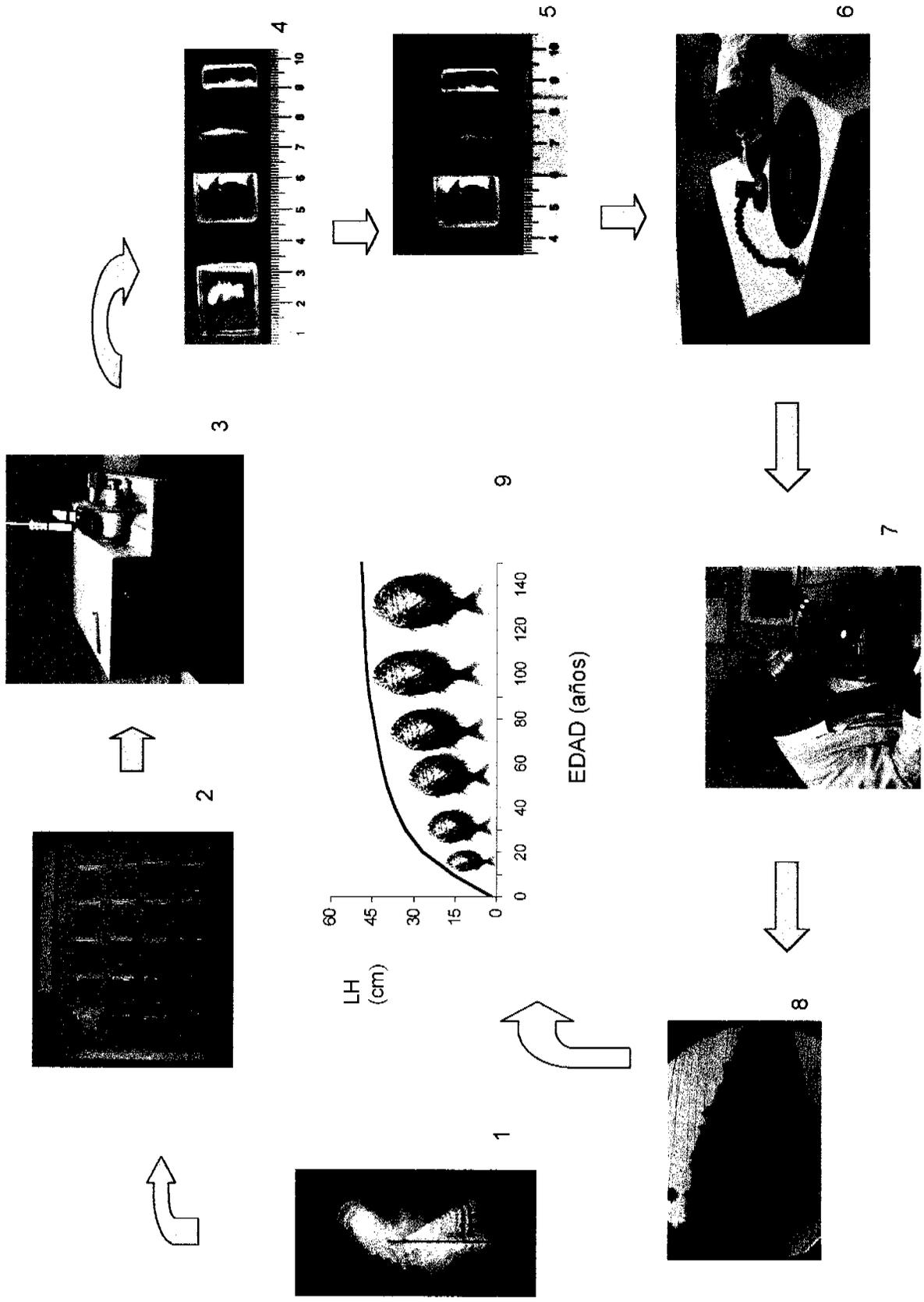


Fig. 2. Etapas del proceso de preparación de secciones longitudinales, finas y pulidas de *orange roughy*.
 1. Selección y marcado del otolito. 2. Inclusión en resina. 3. Corte de la sección. 4. Sección sin pulir. 5. Montaje.
 6. Pulido. 7. Análisis. 8. Sección vista bajo microscopio. 9. Análisis de crecimiento. (Fotos R. Gil)

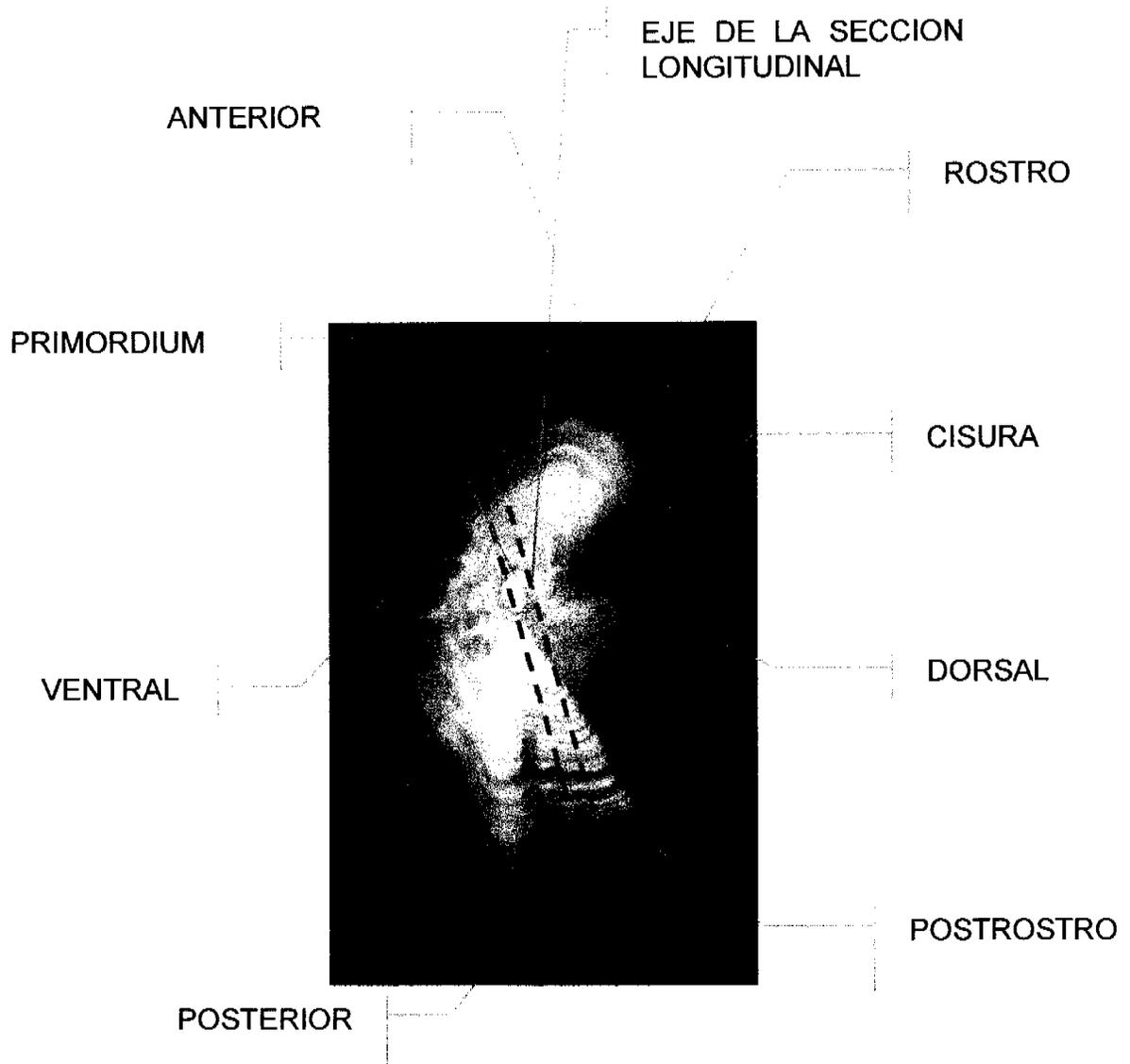
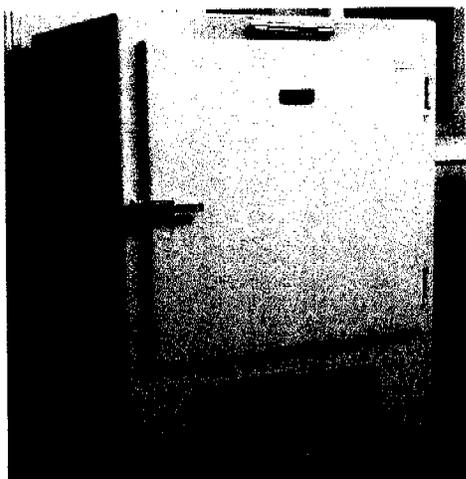
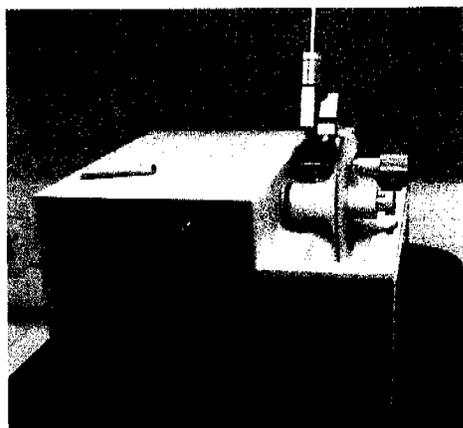


Fig. 3. Otolito izquierdo de ejemplar adulto de *orange roughy* y su nomenclatura, señalando la posición del corte longitudinal para obtener la sección de 1 mm (Foto R.Gili).



Estufa de secado Marca Heraeus. Con temperatura graduable hasta 105 ° C.



Cortadora de otolitos marca Buehler modelo Isomet con dos discos de corte diamantados.



Pulidora de otolitos marca Buehler modelo Metaserv, con dos discos de 8". Velocidad graduable hasta 500 rpm.

Fig. 4. Equipamiento del laboratorio de estudios de edad para la preparación de secciones de otolitos de *orange roughy* (Fotos R. Gili).

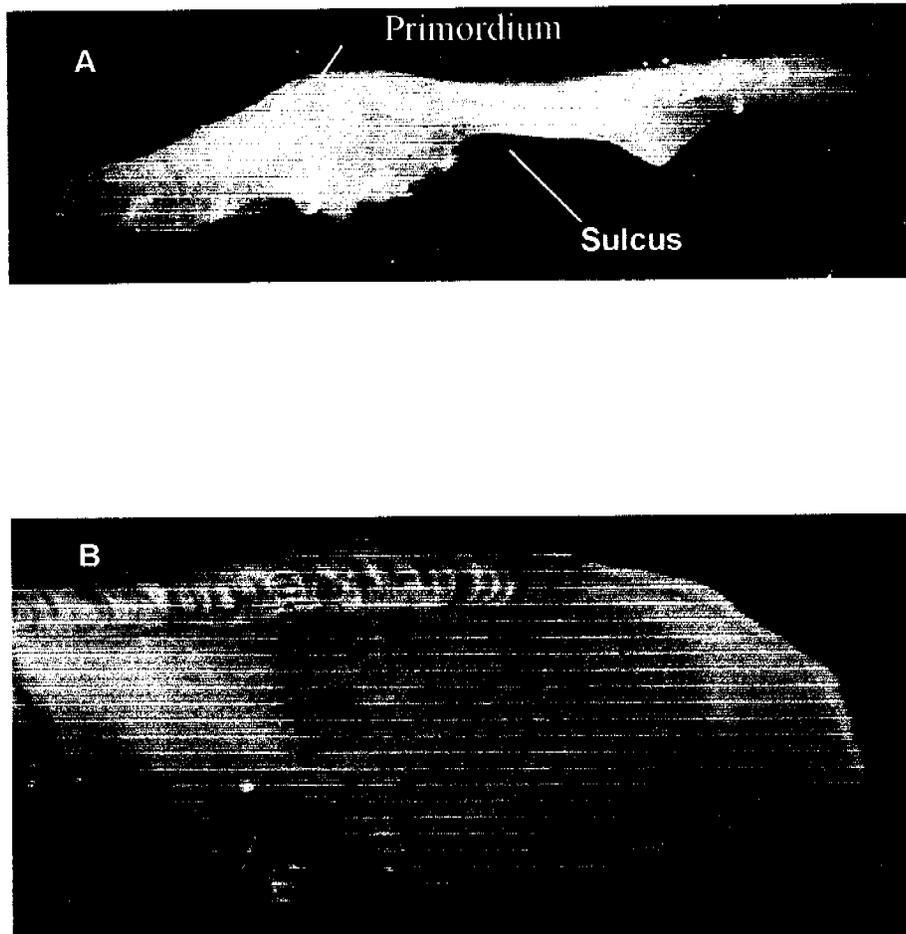


Fig. 5 Láminas de otolitos de *orange roughy* bajo luz reflejada. A) Ejemplar hembra de 41 cm LH. Lámina completa. B) Ejemplar macho de 50 cm LH. Sector posterior. (Fotos: R.Gili y L.Cid).

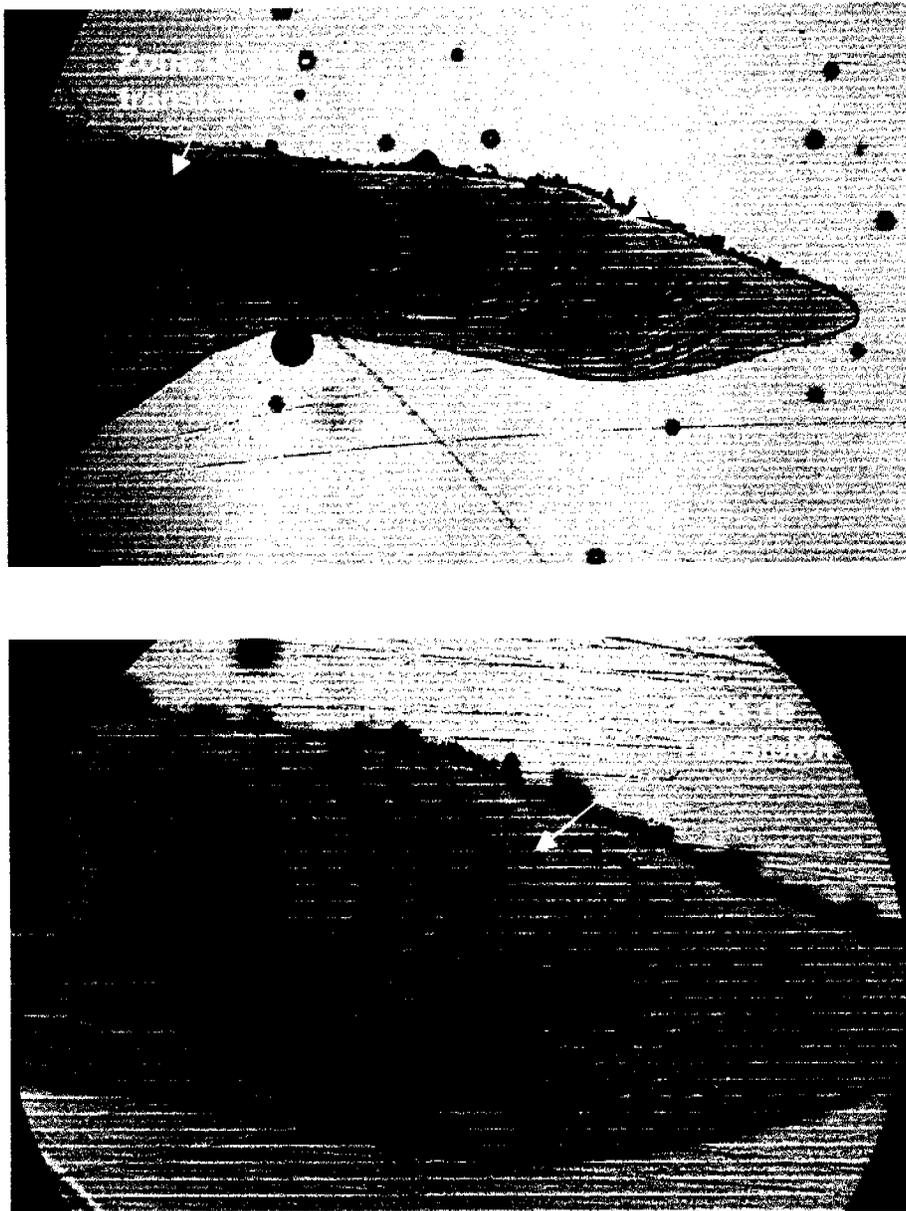


Fig. 6. Láminas de otolitos de un ejemplar hembra de *orange roughy* de 41 cm LH, vistas con luz transmitida. Preparadas según la técnica adaptada del NIWA. (Fotos R.Gili y L.Cid).

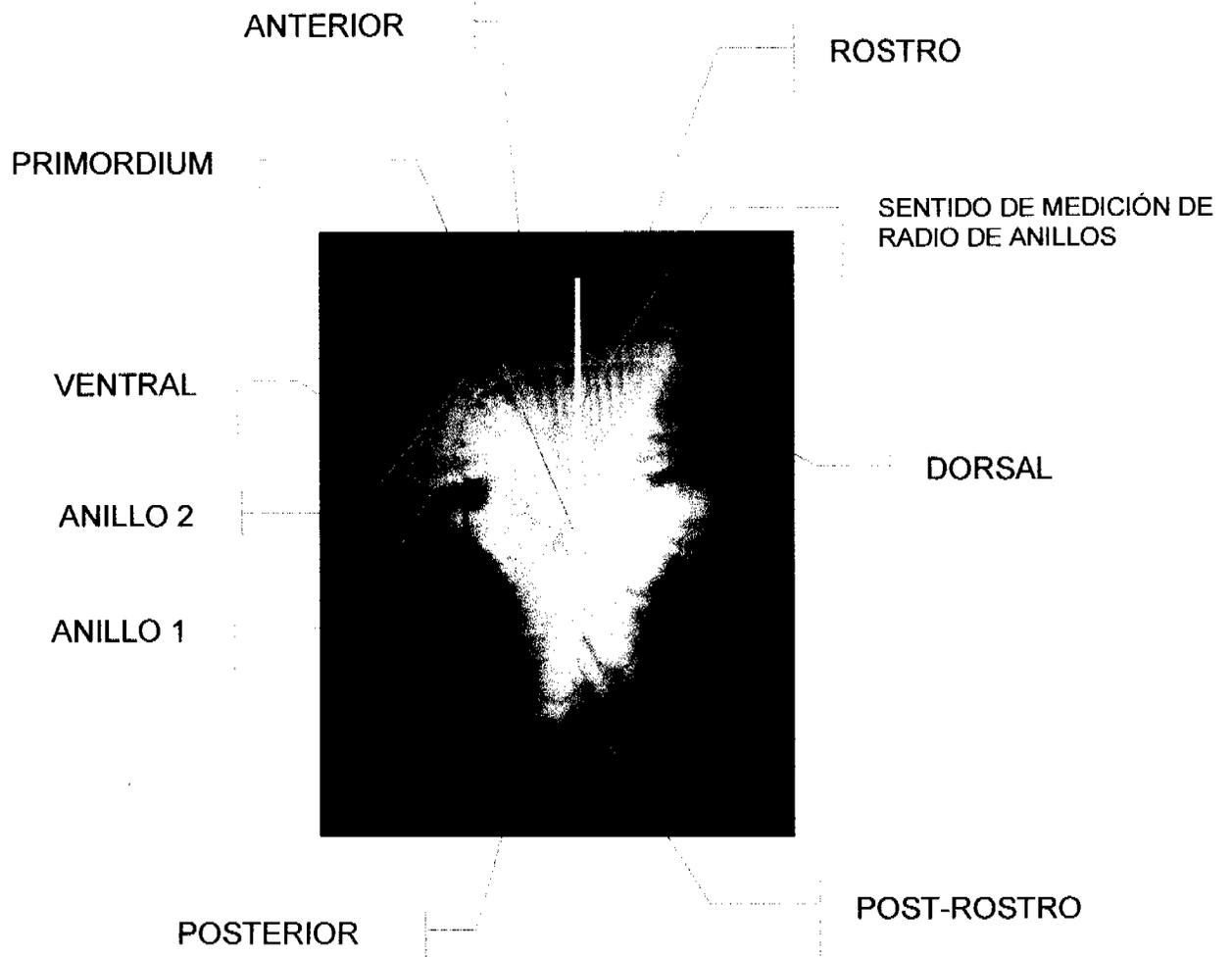
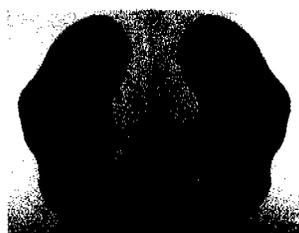


Fig. 7. Otolito izquierdo de ejemplar adulto de *alfonsino* y su nomenclatura.
(Foto R. Gili)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO



1 mm



5 cm

Fig. 8. Ejemplar juvenil de *orange roughy* y otolitos sagitales señalando la presencia de un anillo de crecimiento. (Fotos: Pez : Niwa ; otolito : R.Gili.)

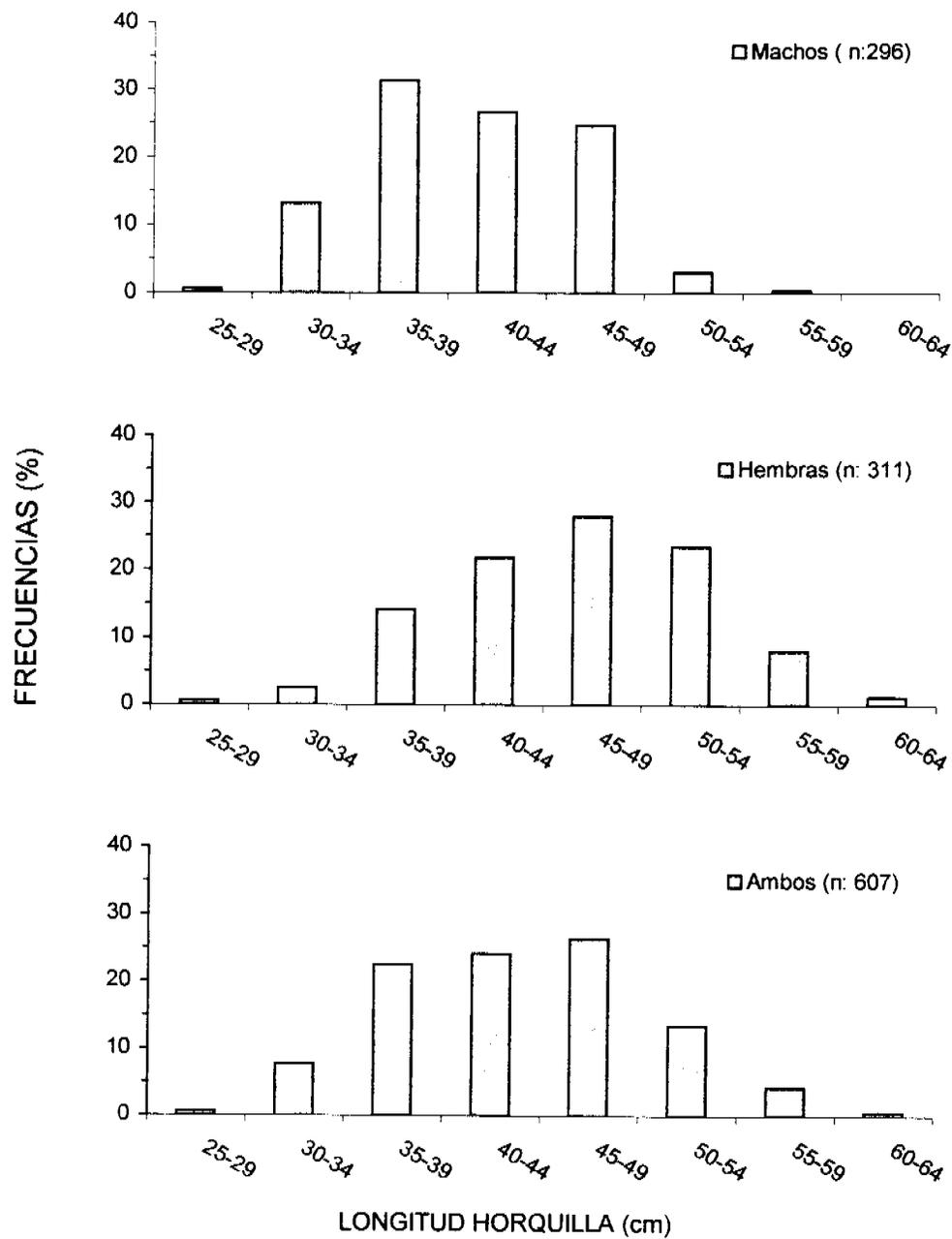


Fig. 9. Estructura de tallas de los ejemplares en la muestra de otolitos para determinar la edad de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.

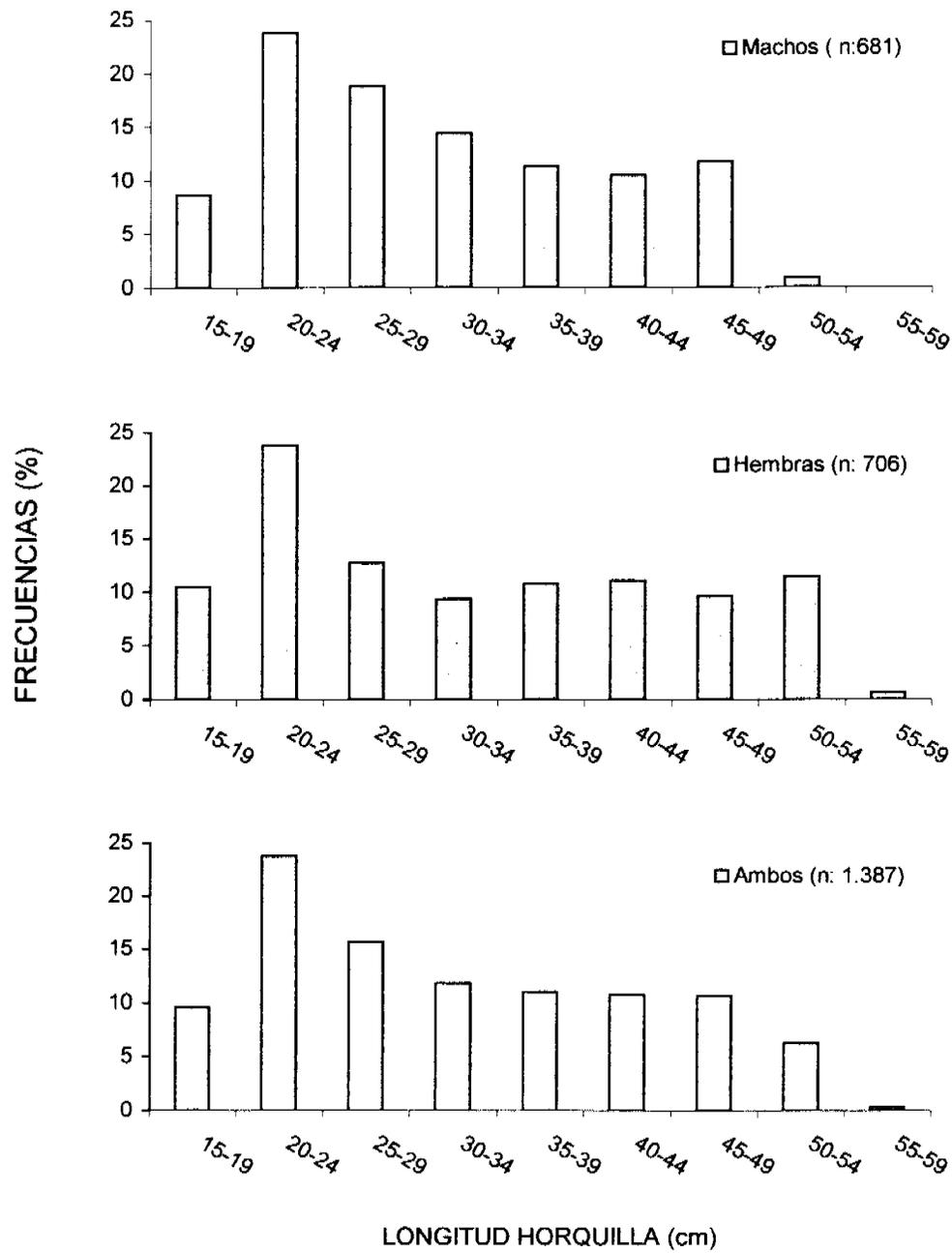


Fig. 10. Estructura de tallas de los ejemplares en la muestra de otolitos para determinar la edad de *Alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.

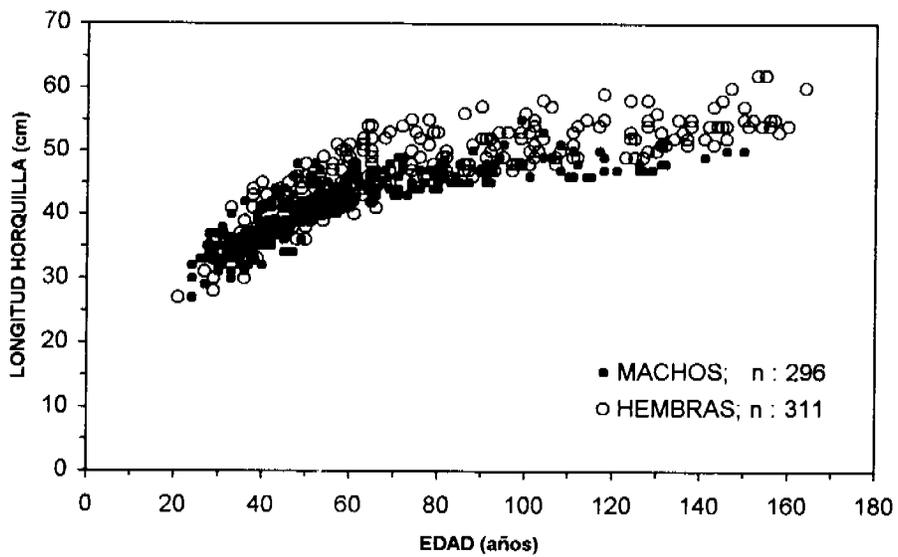


Fig. 11. Relación edad-talla de machos y hembras de *orange roughy* de la zona del archipiélago de Juan Fernández.

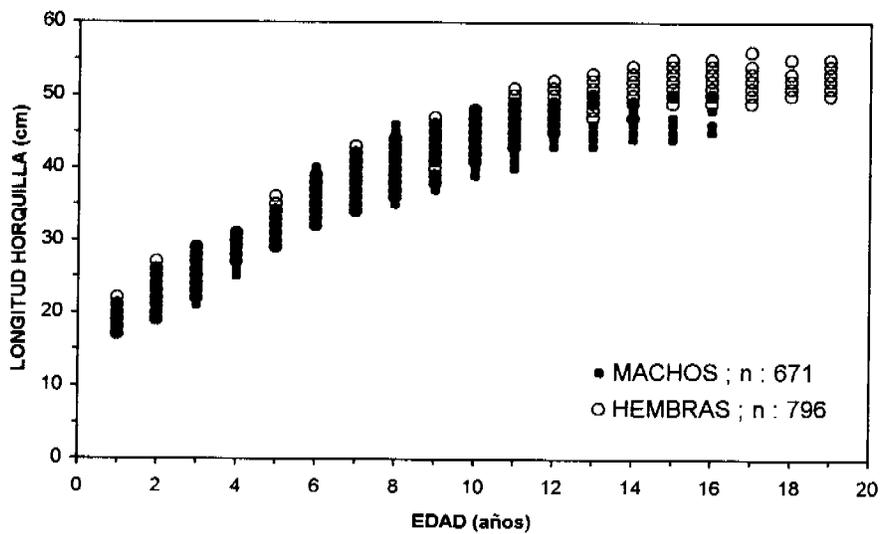


Fig. 12. Relación edad-talla de machos y hembras de *alfonsino* de la zona del archipiélago de Juan Fernández.

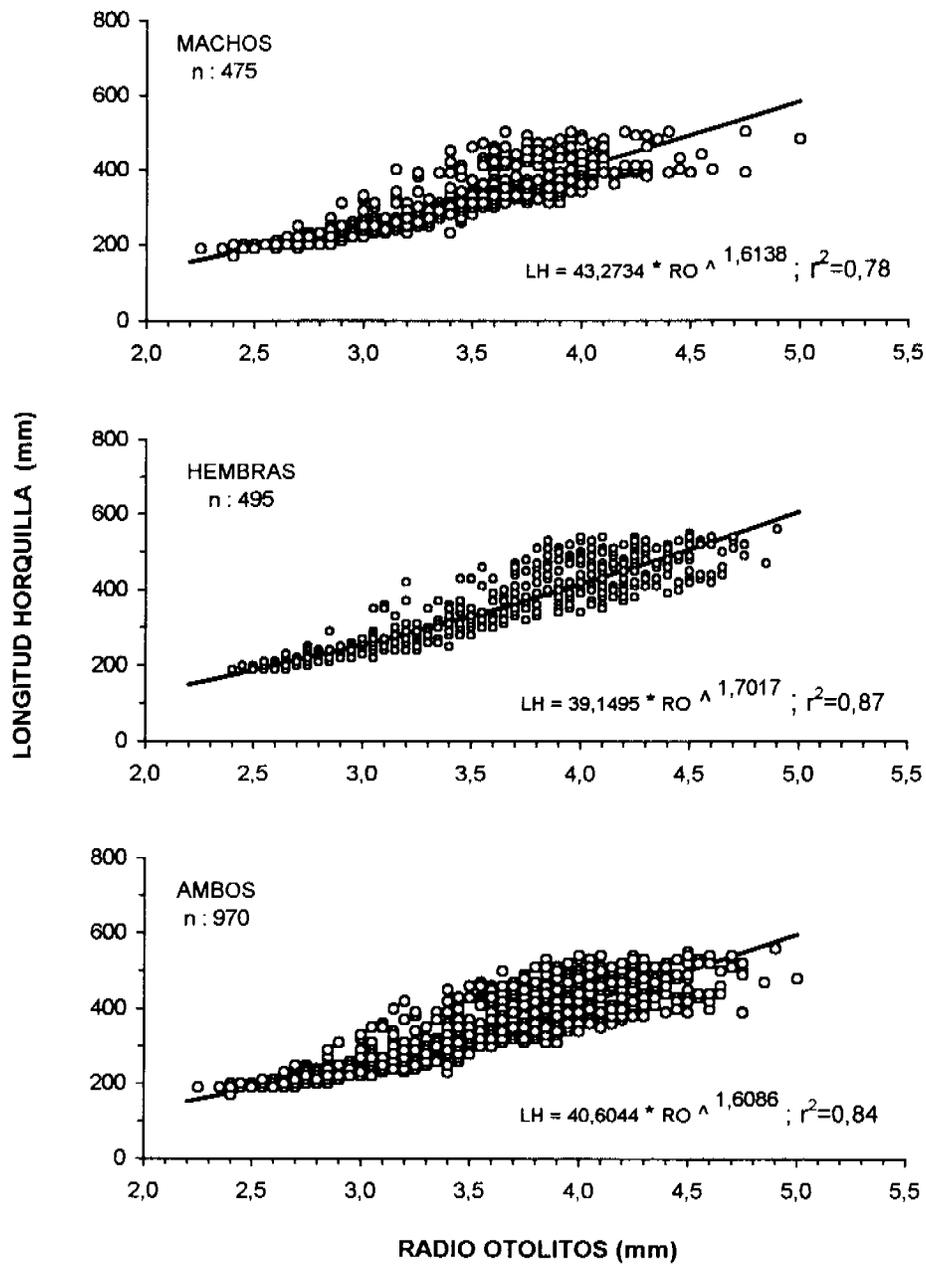


Fig. 13. Relación entre el radio de los otolitos y la longitud de *alfonsino*. Zona del archipiélago de Juan Fernández.

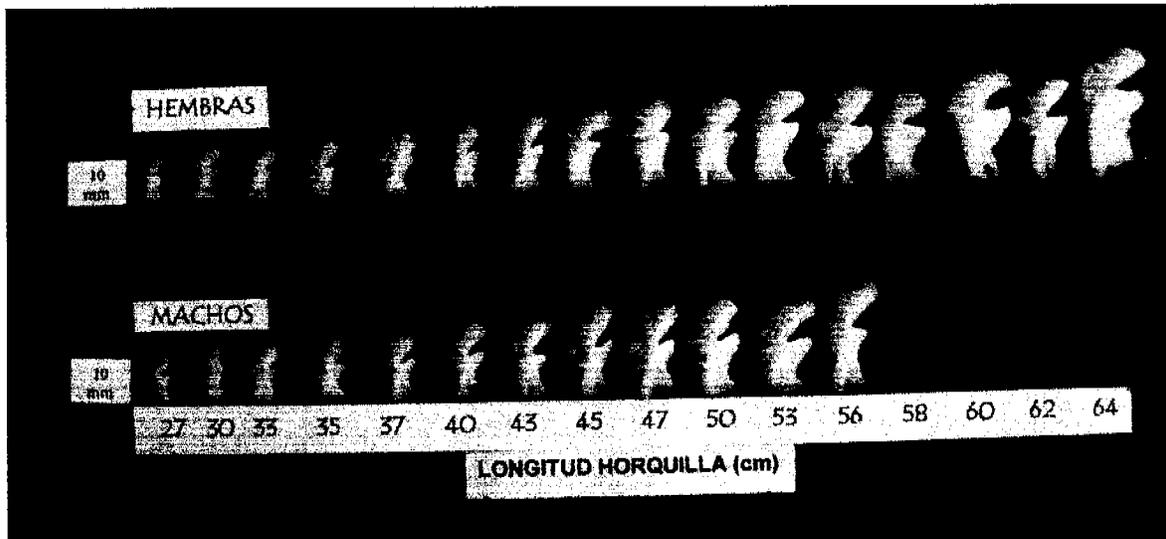


Fig. 14. Series de otolitos izquierdos de machos y hembras de *orange roughy*, entre 27 y 63 cm de longitud horquilla. (Foto : R.Gili y L. Cid).

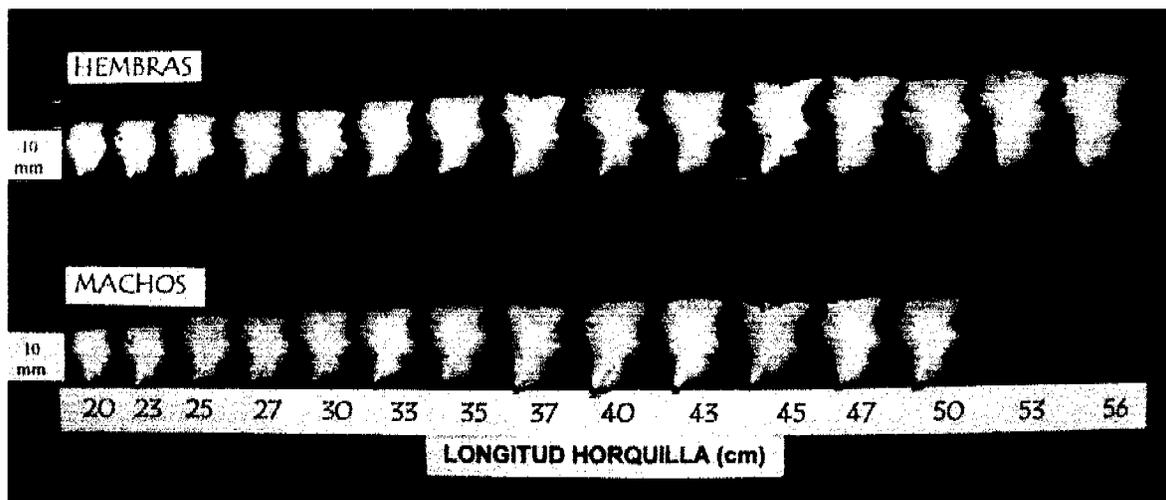


Fig. 15. Series de otolitos izquierdos de machos y hembras de *alfonsino*, entre 20 y 56 cm de longitud horquilla. (Foto : R.Gili y L. Cid).

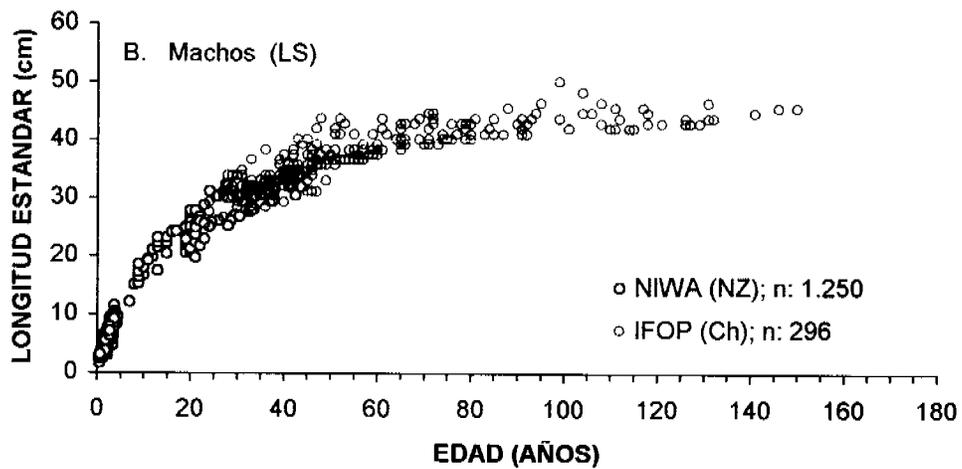
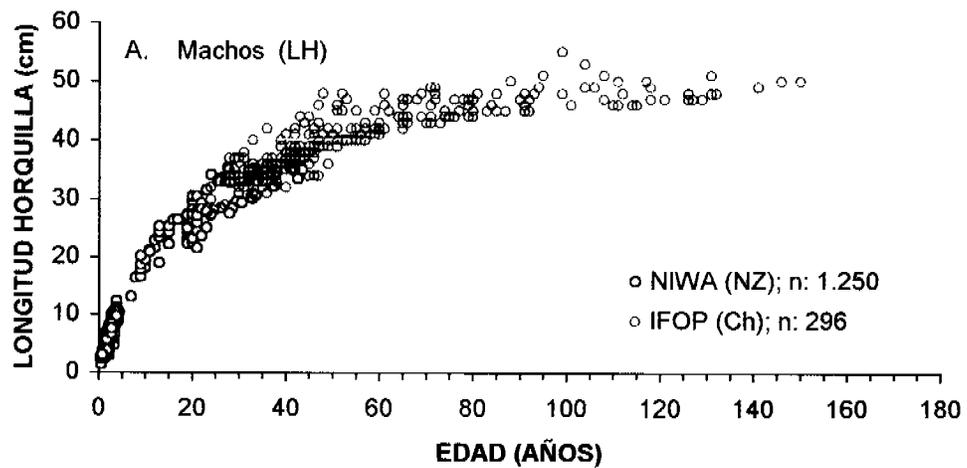


Fig. 16. Relación edad-talla para machos de *orange roughy*. En azul datos del NIWA, en rojo datos de IFOP. En la Figura A se considera la longitud horquilla; en B la longitud estándar.

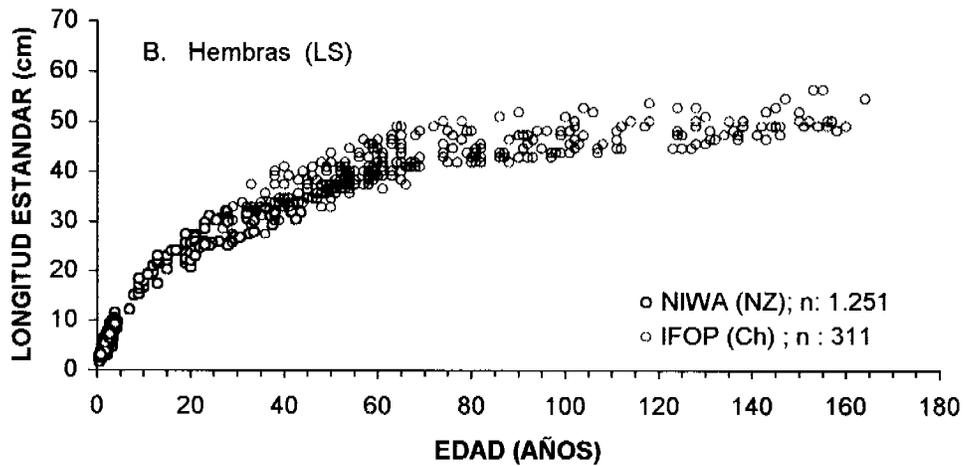
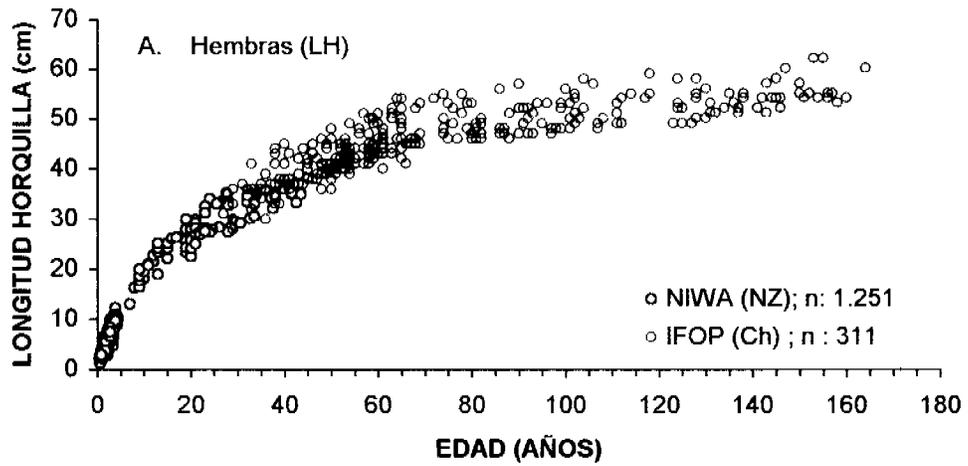


Fig. 17. Relación edad-talla para hembras de *orange roughy*. En azul datos del NIWA, en rojo datos de IFOP. En la Figura A se considera la longitud horquilla; en B la longitud estándar.

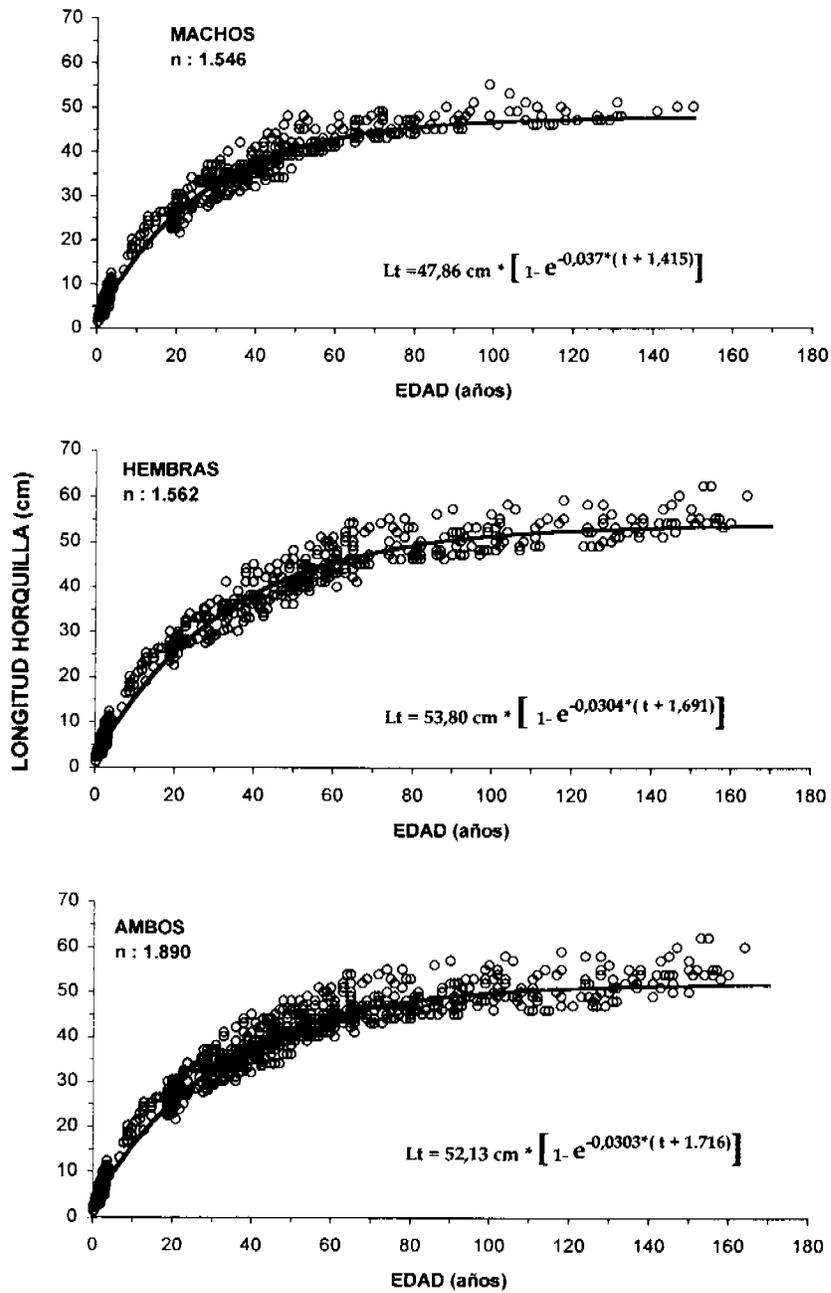


Fig. 18. Curvas de crecimiento en longitud (LH) para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*. Zona archipiélago de Juan Fernández, Chile.

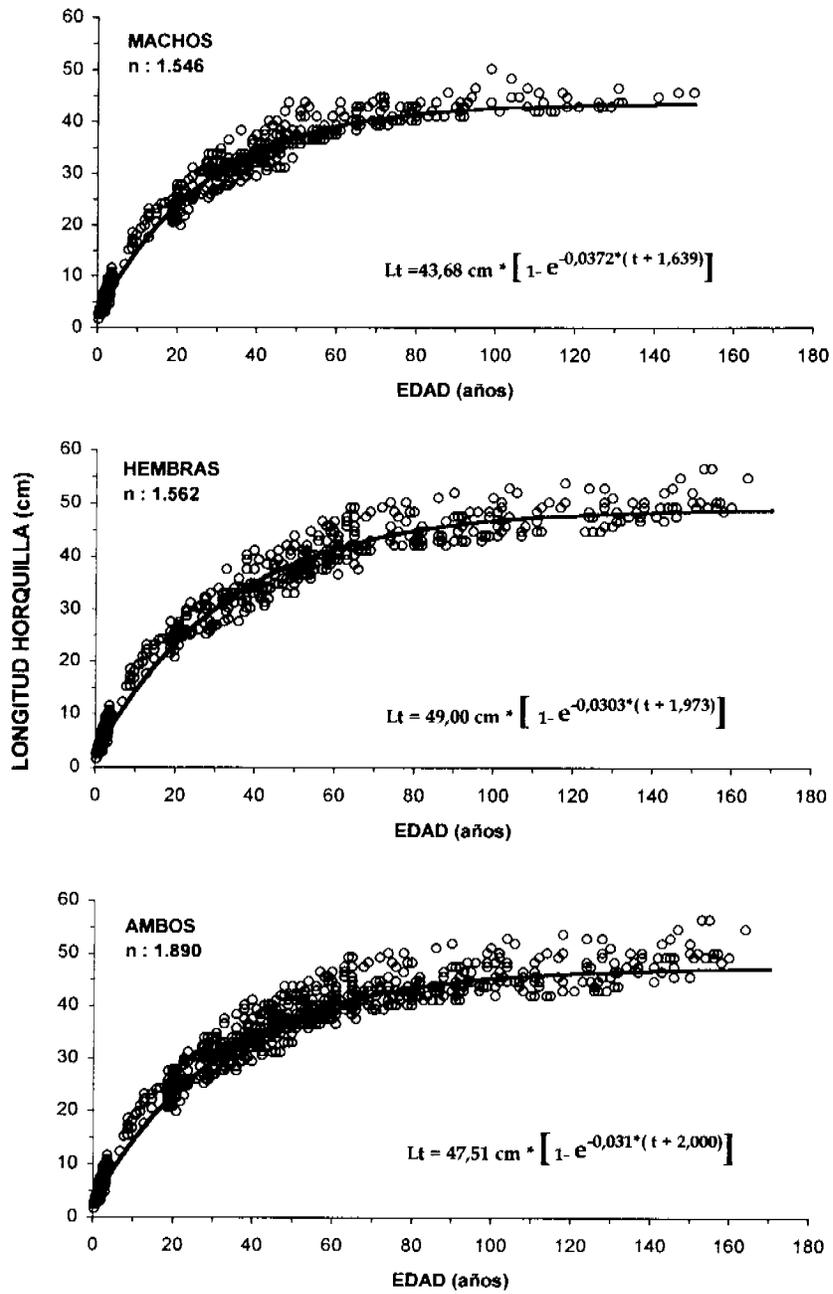


Fig. 19. Curvas de crecimiento en longitud (LS) para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*. Zona archipiélago de Juan Fernández. Chile.

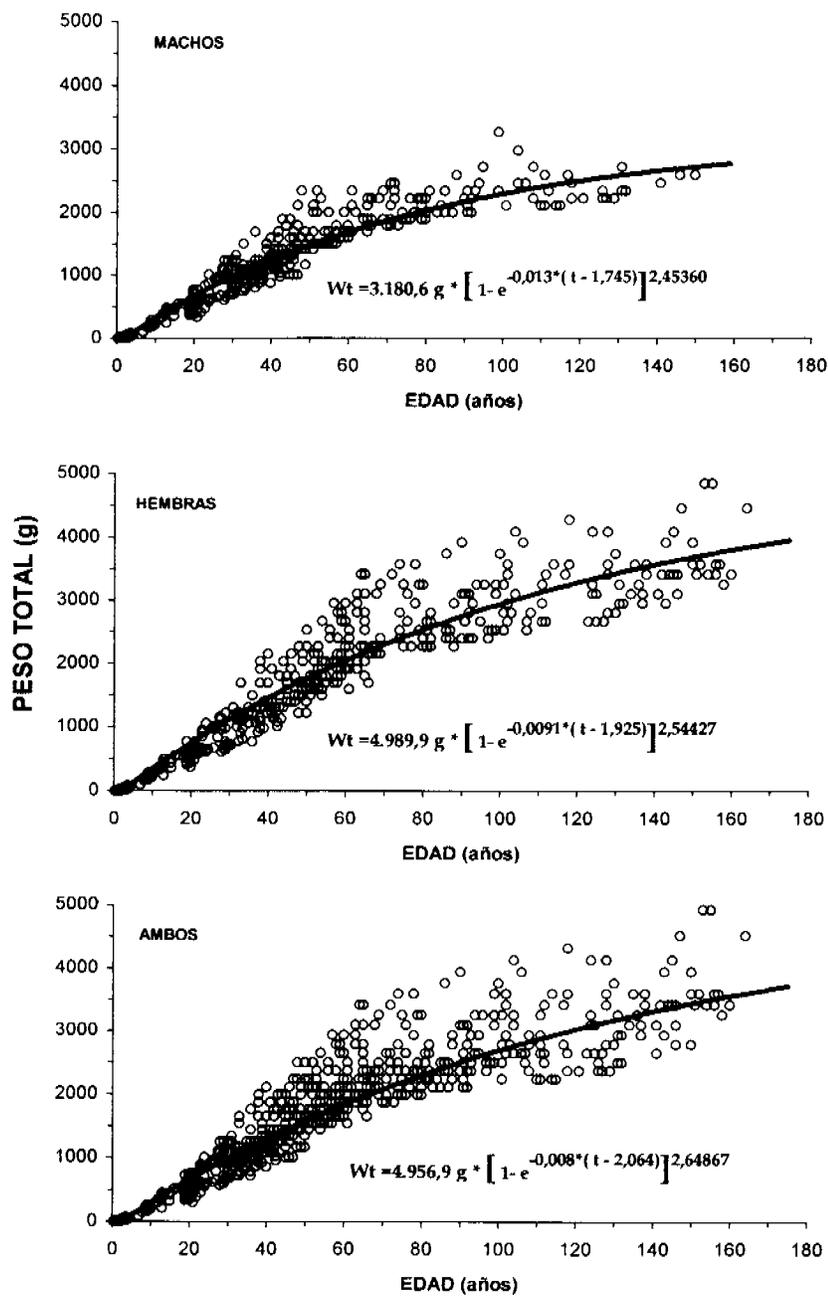


Fig. 20. Curvas de crecimiento en peso del modelo de von Bertalanffy estimadas para machos, hembras y ambos sexos de *orange roughy*.

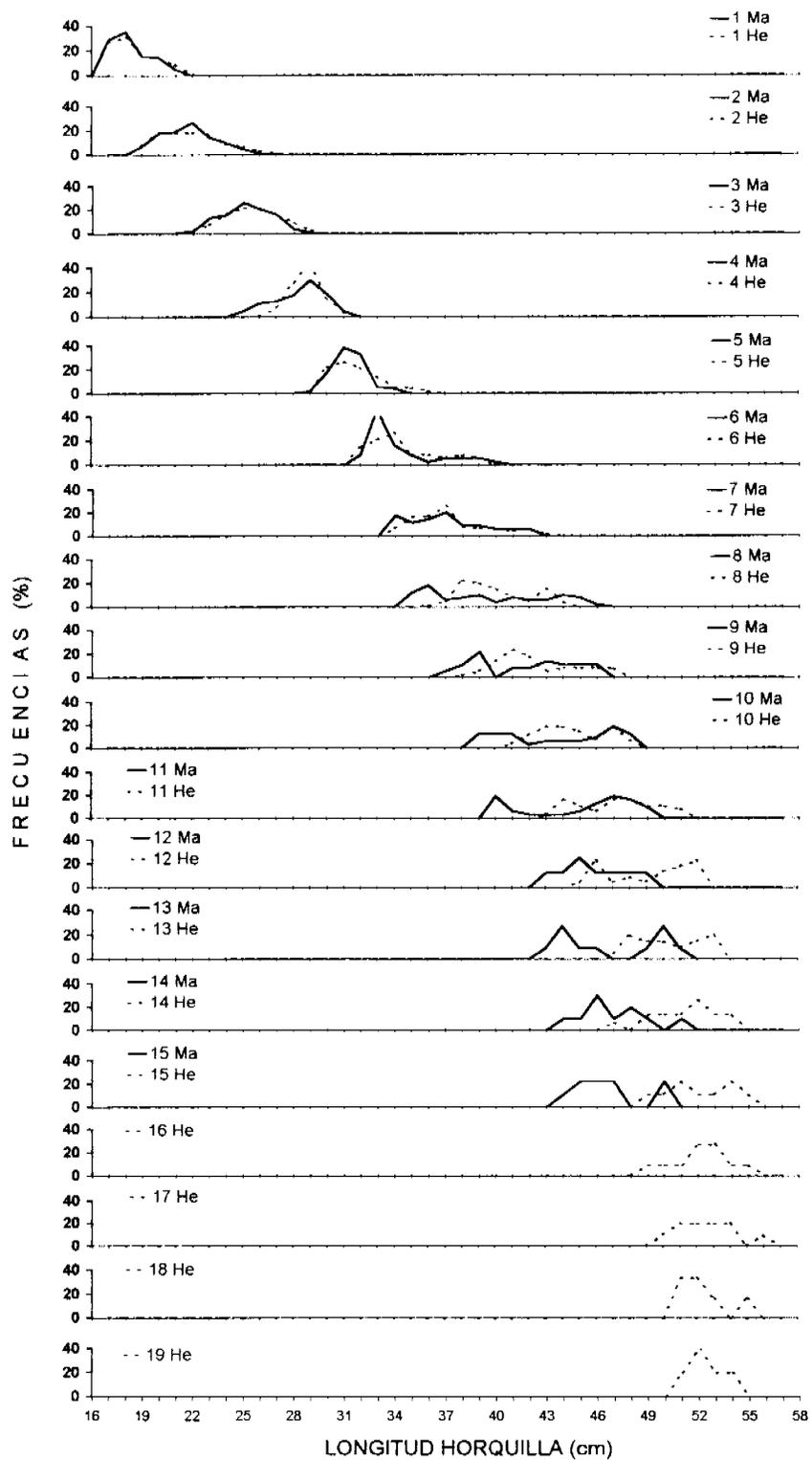


Fig. 21. Distribución de tamaños de machos (Ma) y hembras (He) de *alfonsino* entre las edades 1 a 19. Zona archipiélago de Juan Fernández.

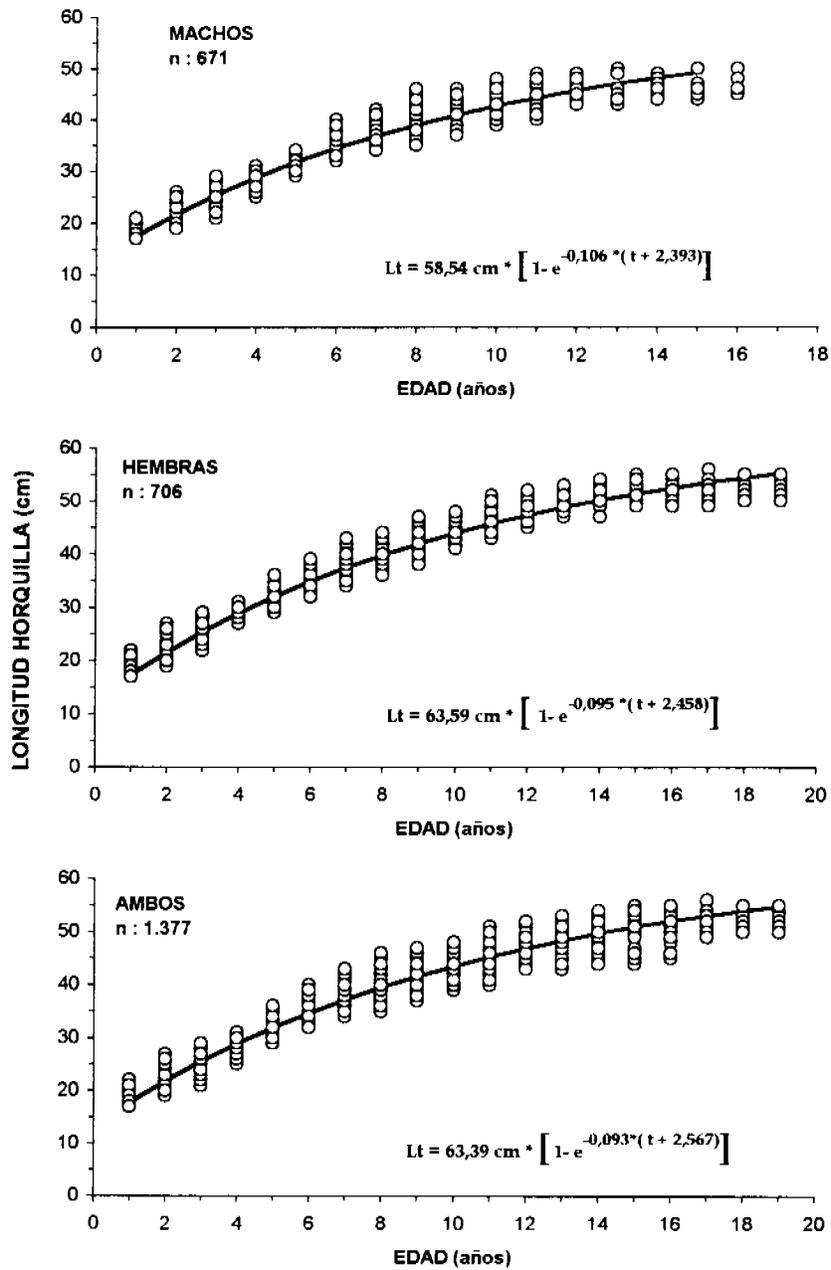


Fig. 22. Curvas de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos de *alfonsino*. Zona archipiélago de Juan Fernández, Chile.

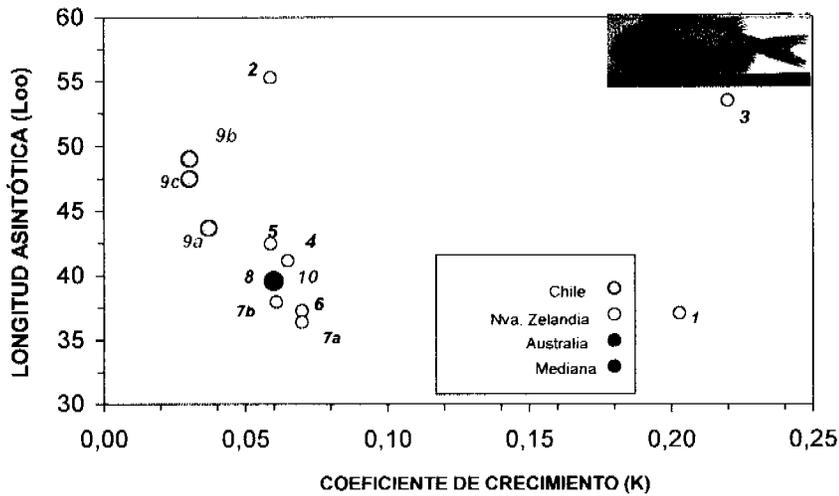


Fig. 23. Relación entre la longitud asintótica (L_{∞}) y el coeficiente de crecimiento (K) de *orange roughy* estimados en Nueva Zelandia y Australia, comparados con los resultados del presente estudio (9a a 9c). (Para identificar los autores ver Tabla 22).

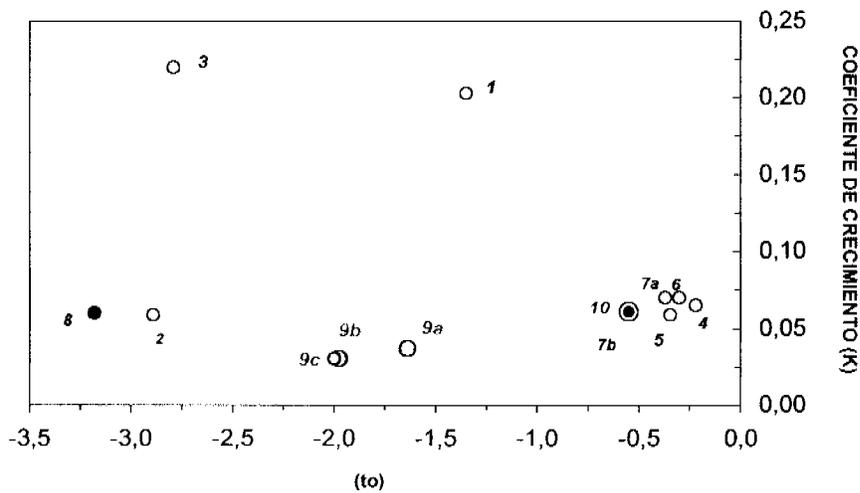


Fig. 24. Relación entre los valores de t_0 y el coeficiente de crecimiento (K) de *orange roughy* estimados en Nueva Zelandia y Australia, comparados con los resultados del presente estudio (9a a 9c).

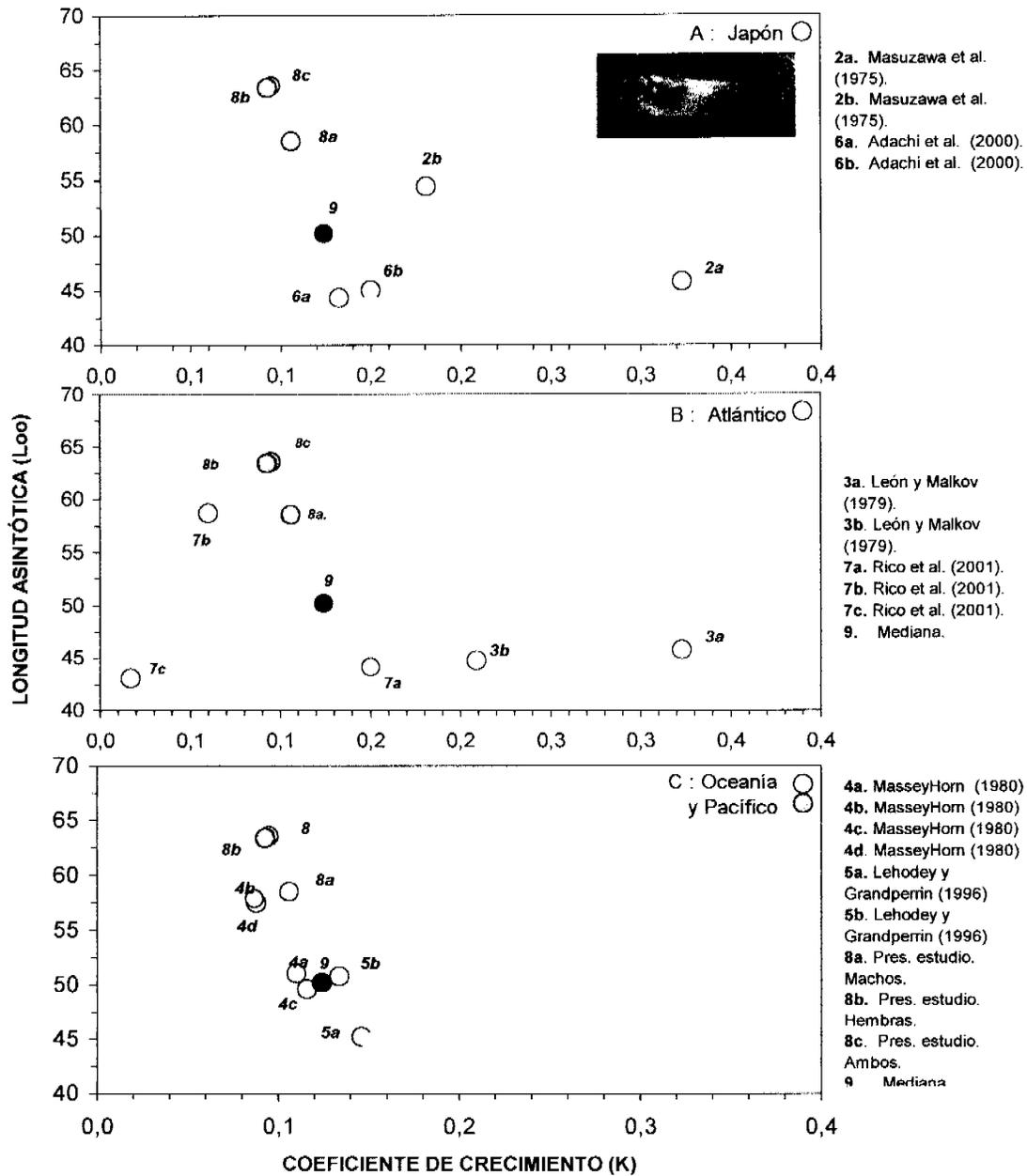


Fig. 25. Relación entre la longitud asintótica (L_{∞}) y el coeficiente de crecimiento (K) de *alfonsino* (*Beryx splendens*) en tres áreas de su distribución y comparación con los resultados del presente estudio.

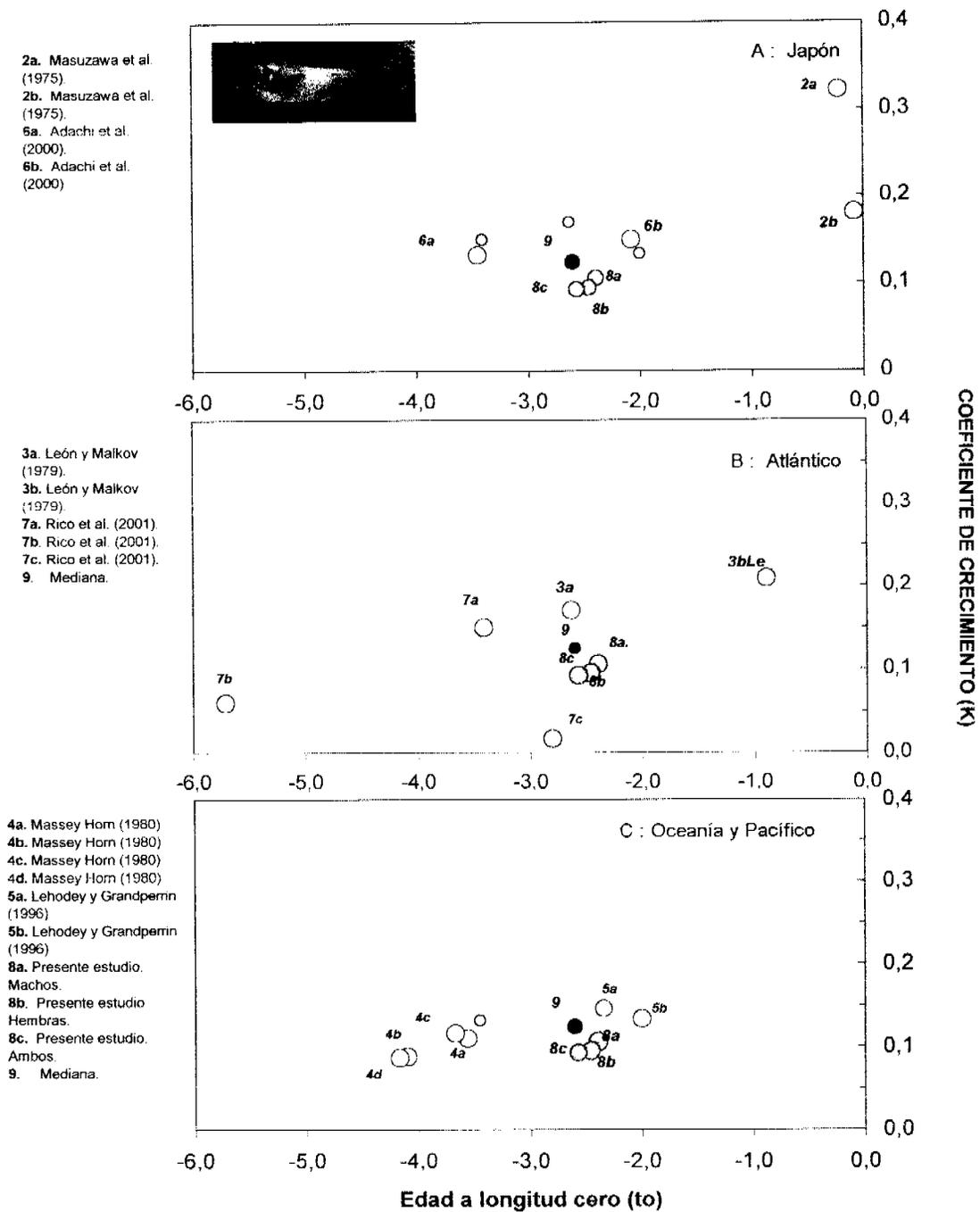


Fig. 26. Relación entre los valores de t_0 y el coeficiente de crecimiento (K) de *alfonsino* (*Beryx splendens*) en tres áreas de su distribución y comparación con los resultados del presente estudio.

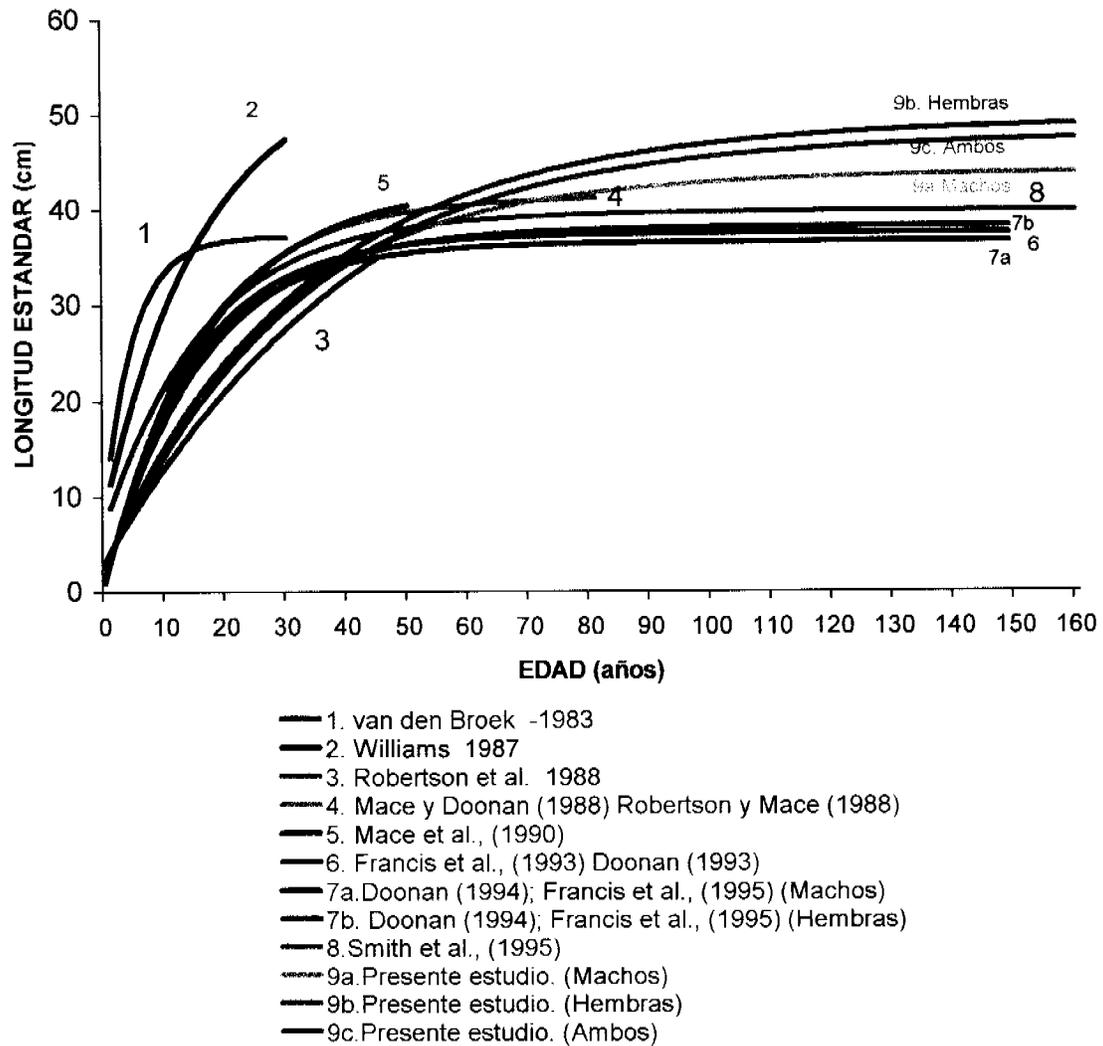


Fig. 27. Curvas de crecimiento ajustadas para *orange roughy* por distintos autores para las zonas de pesca de Nueva Zelandia, Australia y Chile.

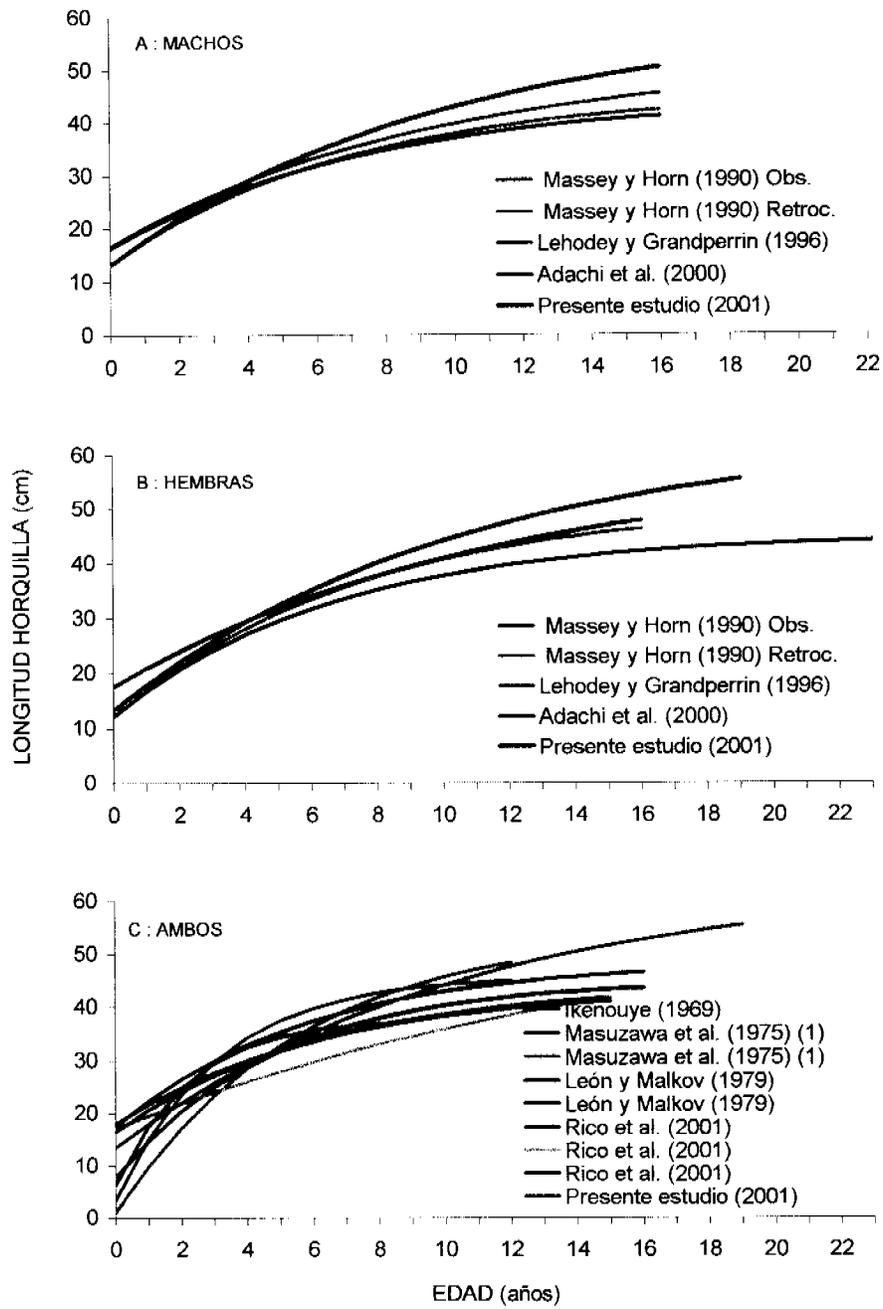


Fig. 28. Curvas de crecimiento para machos, hembras y ambos sexos de *alfonsino* ajustadas por distintos autores y comparación con las estimadas en el Presente estudio.

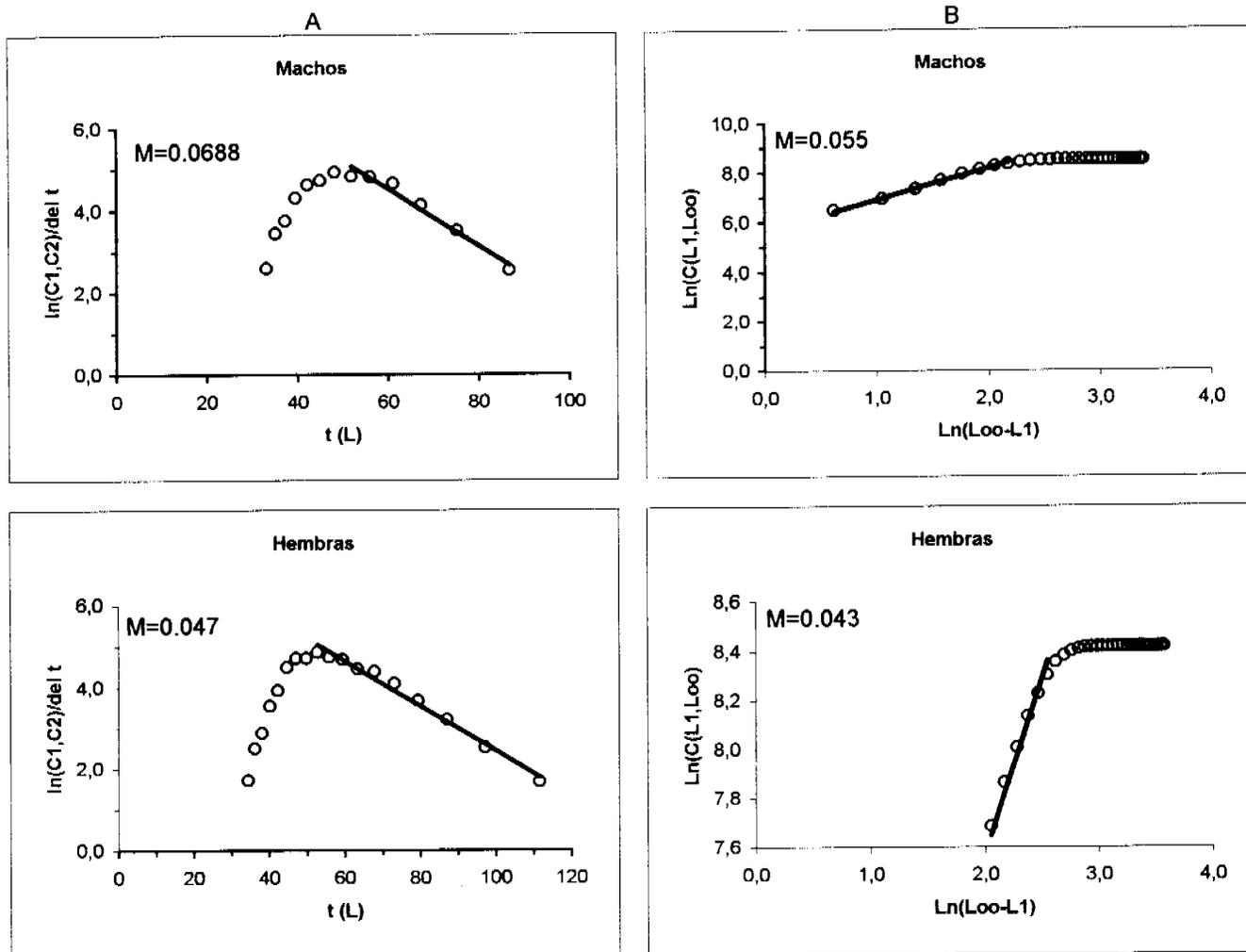


Fig. 29. Curvas de captura (A) y curvas de captura acumulada (B) con sus respectivos ajustes para machos y hembras de *orange roughy*.

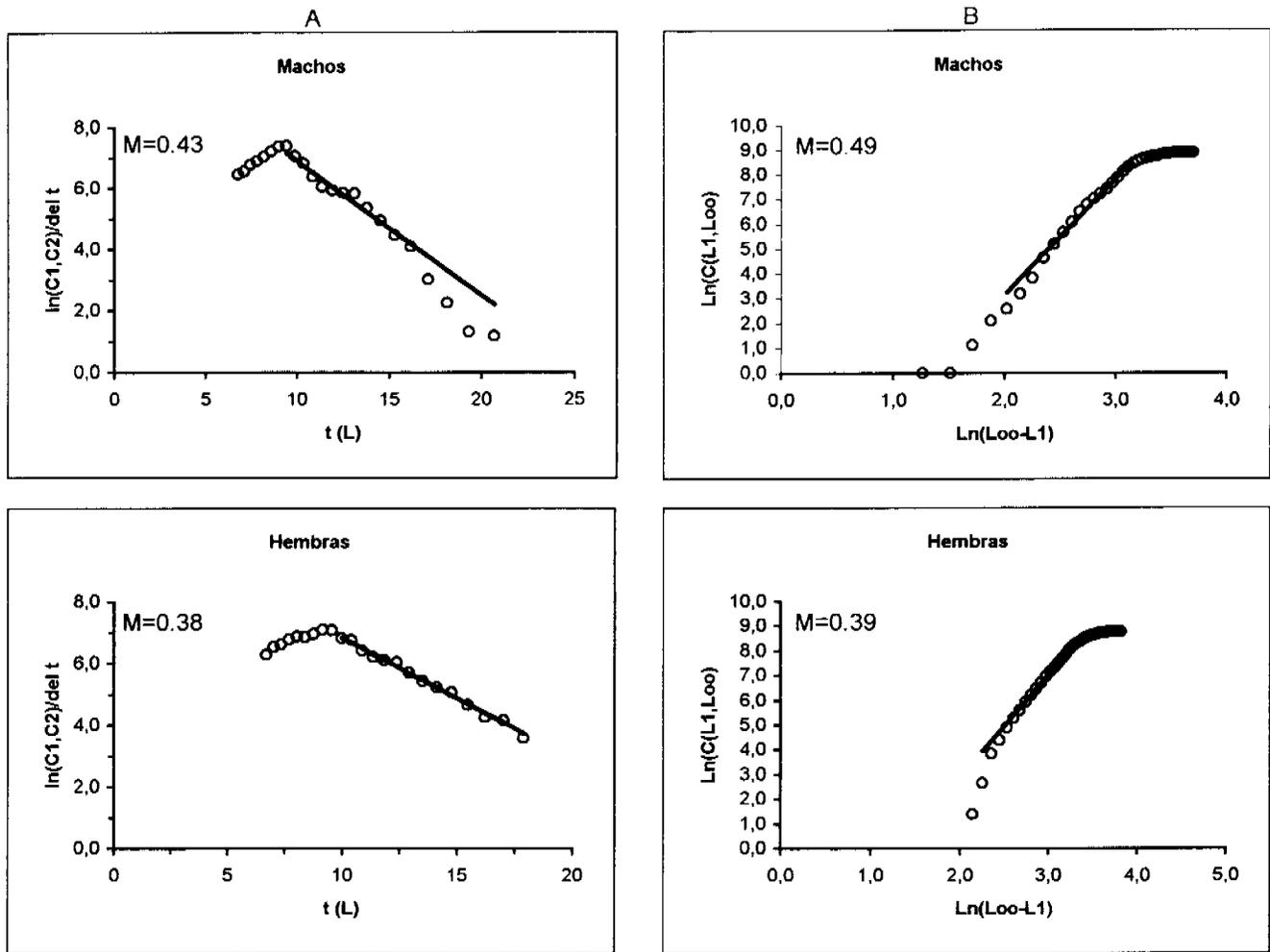
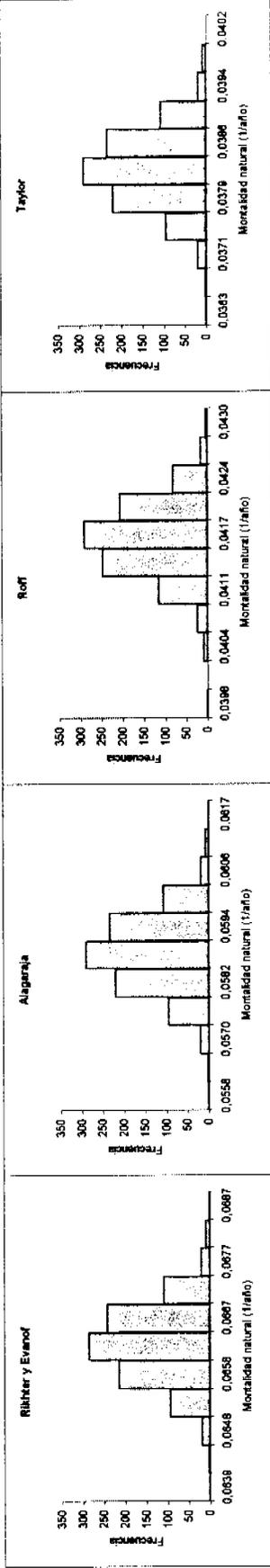
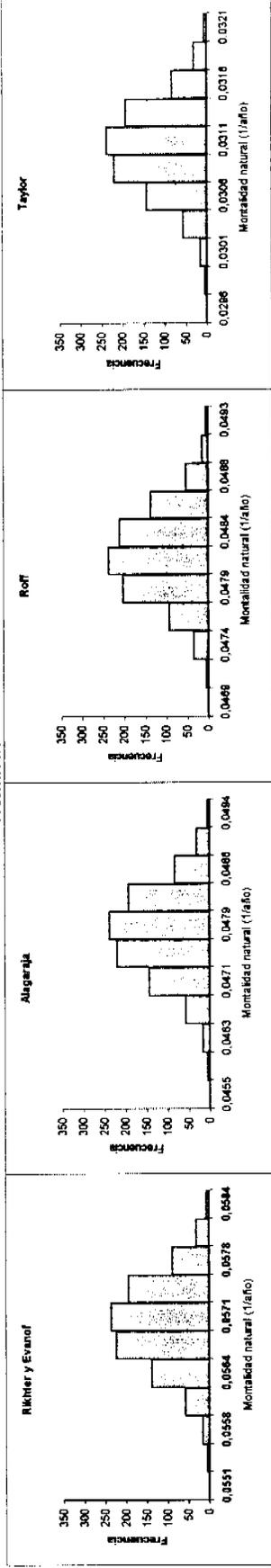


Fig. 30. Curvas de captura (A) y curvas de captura acumulada (B) con sus respectivos ajustes para machos y hembras de *alfonsino*.

Machos



Hembras



Ambos sexos

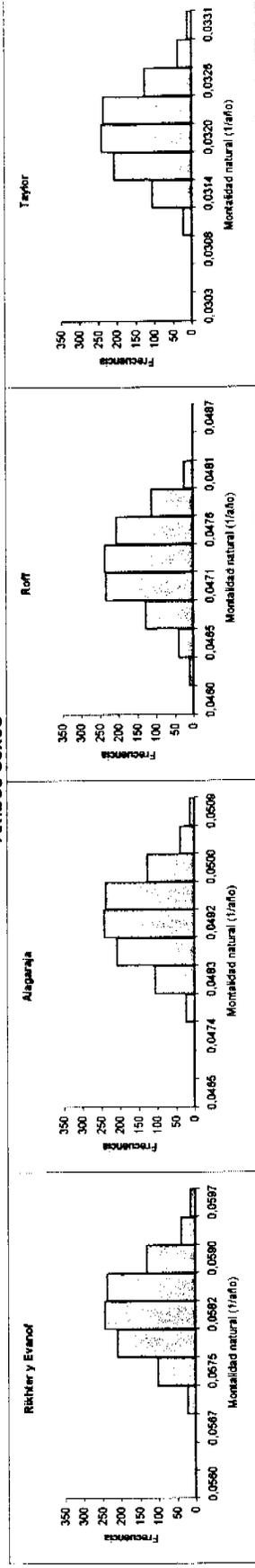


Figura 31. Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestros de Monte Carlo para orange roughy (L-H).

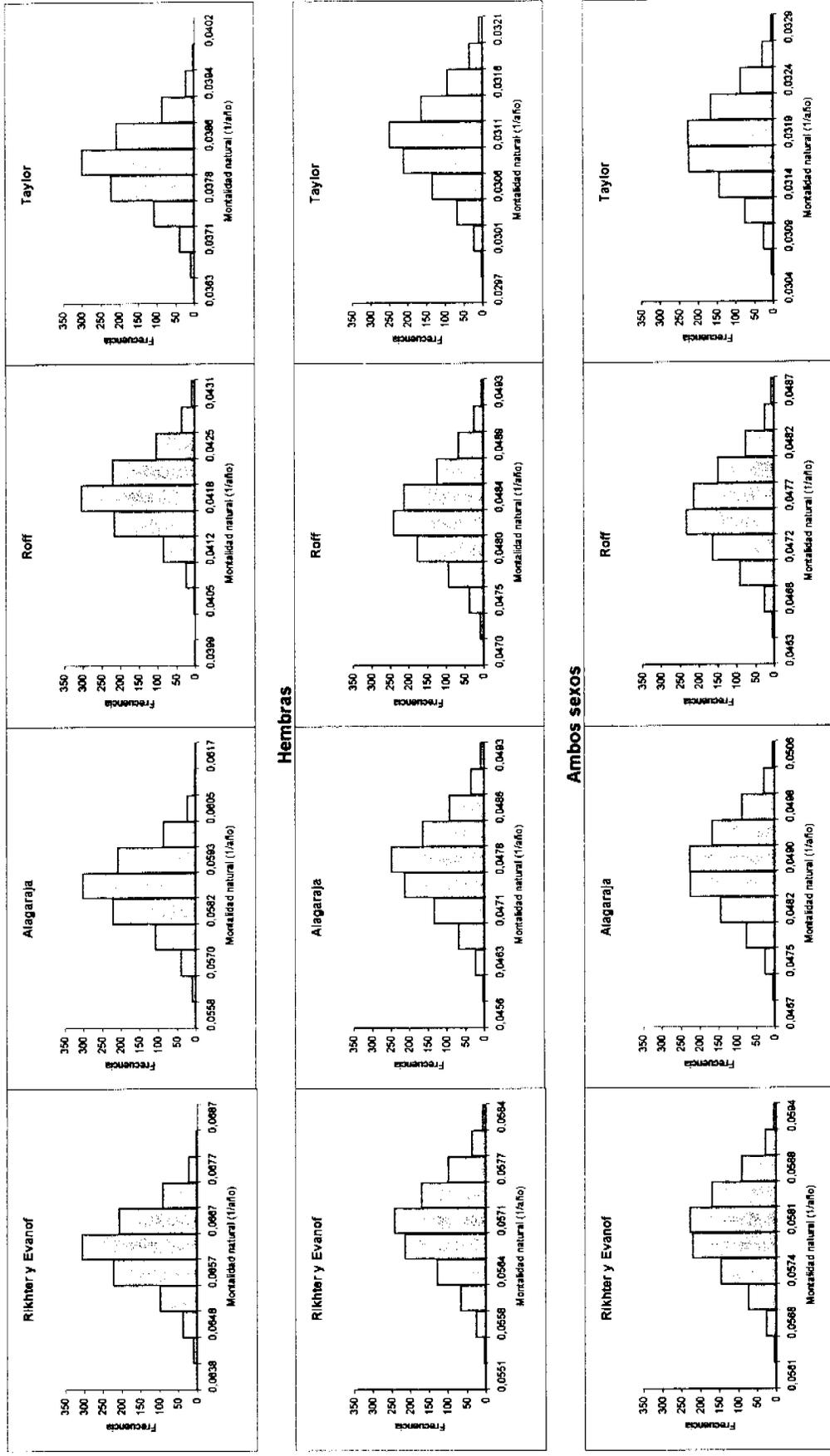


Figura 32. Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestros de Monte Carlo para orange roughly (L.S).

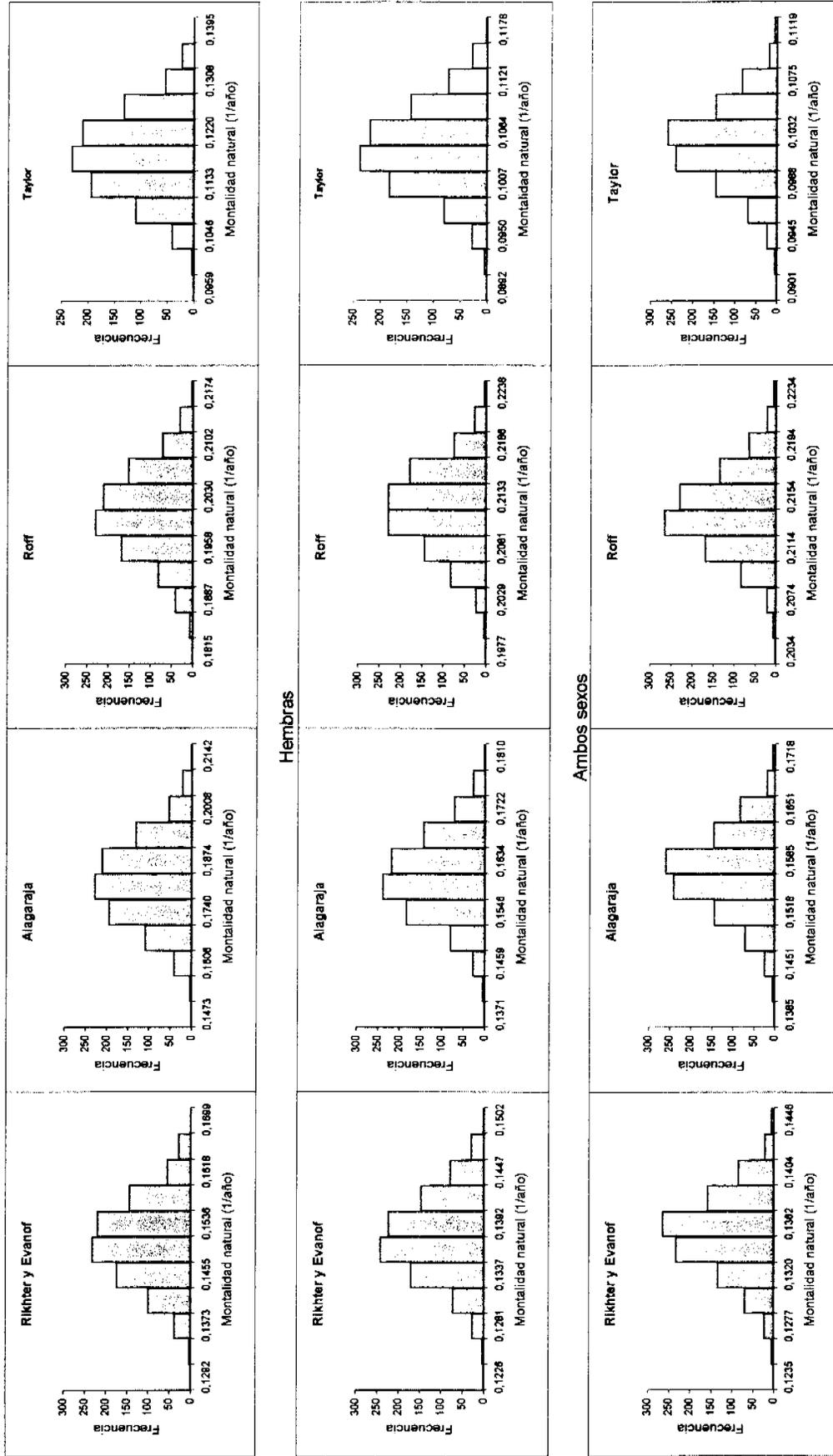


Fig. 33. Distribuciones de frecuencia de la mortalidad natural estimada para distintos métodos bioanalógicos, mediante 1.000 remuestros de Monte Carlo para atónsino.

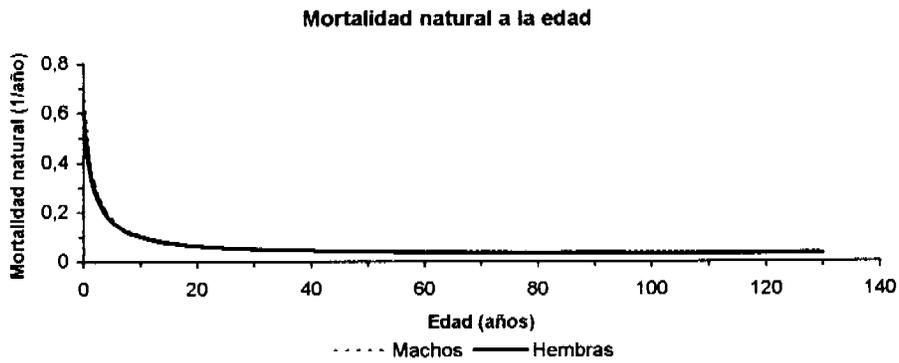


Fig. 34. Mortalidad natural de orange roughy por edad (par.crec. estimados a partir de L.H.)

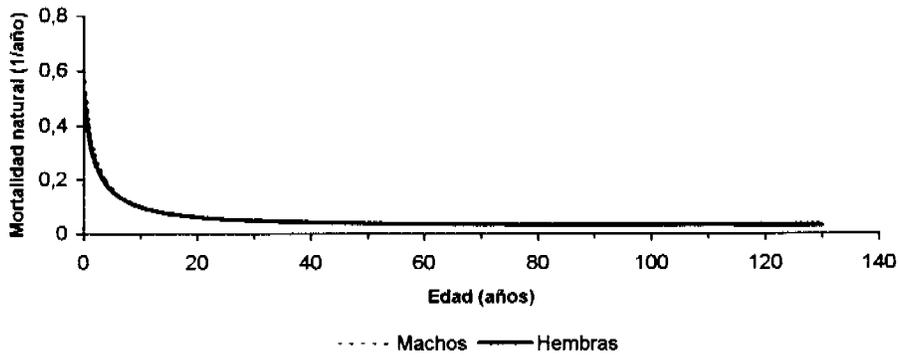


Fig. 35. Mortalidad natural de orange roughy por edad (par.crec. estimados a partir de L.S.)

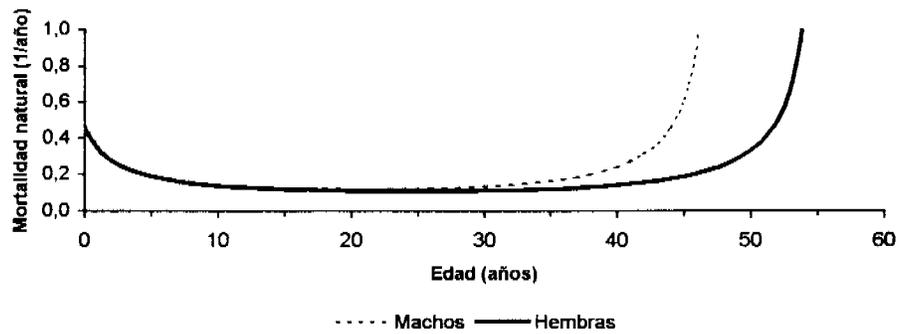


Fig. 36. Mortalidad natural de alfonsino por edad.

T A B L A S

Tabla 1. Progreso en las concordancias en las determinaciones de edad de *orange roughy* entre dos lectores, luego de siete procesos de comparación.

EIDADES	PROCESOS DE LECTURAS (Número)							TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	
(-) (25)		1						1
(-) (20-24)								0
(-) (15-19)		1						1
(-) (11-14)		2	1		1			4
(-) (6-10)	1	1	4		1			7
-5			2		1		1	4
-4		2		1			2	5
-3	2			1	1	2		6
-2		1	1	1	1		3	7
-1		1	1				3	5
0	1		1		1	1	2	6
1		1	2	2	1		1	7
2			2	1		2	2	7
3	1		2	1	2	1	1	8
4	1	1	2		1	1	1	7
5	3				4	2	1	10
(+) (6-10)	2	1	4	6	4	2		19
(+) (11-14)	2			4	4	3	1	14
(+) (15-19)	1	2	1	3	2	3		12
(+) (20-24)	3	6	1	1	1	1		13
25+	1	1		1		1		4
TOTAL	18	21	24	22	25	19	18	147

EIDADES	PROCESOS DE LECTURAS (%)							TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	
(-) (25)		4,8						0,7
(-) (20-24)								
(-) (15-19)		4,8						0,7
(-) (11-14)		9,5	4,2		4,0			2,7
(-) (6-10)	5,6	4,8	16,7		4,0			4,8
-5			8,3		4,0		5,6	2,7
-4		9,5		4,5			11,1	3,4
-3	11,1			4,5	4,0	10,5		4,1
-2		4,8	4,2	4,5	4,0		16,7	4,8
-1		4,8	4,2				16,7	3,4
0	5,6		4,2		4,0	5,3	11,1	4,1
1		4,8	8,3	9,1	4,0		5,6	4,8
2			8,3	4,5		10,5	11,1	4,8
3	5,6		8,3	4,5	8,0	5,3	5,6	5,4
4	5,6	4,8	8,3		4,0	5,3	5,6	4,8
5	16,7				16,0	10,5	5,6	6,8
(+) (6-10)	11,1	4,8	16,7	27,3	16,0	10,5		12,9
(+) (11-14)	11,1			18,2	16,0	15,8	5,6	9,5
(+) (15-19)	5,6	9,5	4,2	13,6	8,0	15,8		8,2
(+) (20-24)	16,7	28,6	4,2	4,5	4,0	5,3		8,8
25+	5,6	4,8		4,5		5,3		2,7
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
(-) 4-(+) 4	27,8	28,6	45,8	31,8	28,0	36,8	83,3	39,5
(-) 10-(+) 10	61,1	38,1	87,5	59,1	68,0	57,9	94,4	66,7
(-) 14-(+) 14	72,2	47,8	91,7	77,3	88,0	73,7	100,0	78,9
(-) 19-(+) 19	77,8	61,9	95,8	90,9	96,0	89,5	100,0	87,8
(-) 24-(+) 24	94,4	90,5	100,0	95,5	100,0	94,7	100,0	96,6

Tabla 2. Porcentaje de concordancia (APE, V y D) entre dos lectores, para siete procesos de comparación de lecturas de *orange roughy*.

N° DE MUESTRA	n	APE (%)	V (%)	D (%)
1	18	7,7	10,9	7,7
2	21	8,8	12,5	8,8
3	24	4,4	6,2	4,4
4	22	5,9	8,3	5,9
5	25	5,8	8,1	5,8
6	28	6,5	9,2	6,5
7	19	2,2	3,1	2,2

Tabla 3. Progreso en las concordancias en las estimaciones de edad de *affonsino* entre dos lectores, luego de cuatro procesos de comparación.

N° DE LECTURA	DIFERENCIA ABSOLUTA EN EL NUMERO DE ANILLOS											Dif. de 1 anillo Total (n°)
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
1°		2	7	9	12	8	9		1	2		29
2°		2	3	6	15	10	2					27
3°			1	7	13	12	4	1				29
4°				6	19	10	7					36

N° DE LECTURA	DIFERENCIA (%) EN EL NUMERO DE ANILLOS ENTRE LECTURAS											Dif. de 1 anillo Total (%)
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
1°		4,0	14,0	18,0	24,0	16,0	18,0		2,0	4,0		58,0
2°		5,3	7,9	15,8	39,5	26,3	5,3					71,1
3°			2,6	18,4	34,2	31,6	10,5	2,6				76,3
4°				14,3	45,2	23,8	16,7					85,7

Tabla 4. Porcentaje de concordancia (APE, V y D) entre dos lectores, para cuatro procesos de comparación de lecturas de otolitos de *alfonsino*.

N° DE MUESTRA	n	APE (%)	V (%)	D (%)
1	50	12,4	17,5	12,4
2	41	7,5	10,6	7,5
3	38	6,9	9,7	6,9
4	42	6,6	9,3	6,6

Tabla 5. Longitudes promedio (LH) y mínimas y máximas observadas por edad para machos y hembras de *orange roughy* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández. Entre la edad 1 y 30 corresponde a los datos de Nueva Zelandia, aportados por el NIWA (*).

EDAD	MACHOS				HEMBRAS			
	PROMEDIO	MIN	MAX	N°	PROMEDIO	MIN	MAX	N°
1	3,7	1,4	6,7	349	3,6	1,3	6,6	349
2	5,8	2,8	8,3	520	5,7	2,7	8,2	520
3	8,3	4,8	10,6	221	8,2	4,7	10,5	221
4	10,2	8,6	12,4	35	10,1	8,5	12,3	35
7	13,1	13,1	13,1	1	13,1	13,1	13,1	1
8	16,4	16,4	16,4	1	16,3	16,3	16,3	1
9	18,3	16,6	20,1	4	18,2	16,5	20,0	4
10	19,9	18,0	21,0	4	19,8	18,0	21,0	8
15	24,4	22,0	26,0	4	25,0	22,0	26,0	8
20	26,5	22,0	30,0	32	26,8	23,0	30,0	25
25	30,2	27,0	33,0	16	29,5	27,0	34,0	10
30	32,7	28,0	38,0	29	31,4	28,0	37,0	12
35	34,6	30,0	42,0	22	34,6	30,0	39,0	13
40	37,1	32,0	41,0	27	38,0	33,0	45,0	14
45	38,4	34,0	44,0	2	40,7	35,0	45,0	12
50	40,7	36,0	46,0	12	41,3	36,0	48,0	19
55	41,1	40,0	45,0	11	44,4	39,0	49,0	12
60	42,6	41,0	48,0	14	46,0	40,0	52,0	22
65	44,3	42,0	47,0	12	47,3	41,0	54,0	13
70	44,7	43,0	49,0	11	49,9	45,0	53,0	4
75	44,6	44,0	47,0	6	50,2	46,0	55,0	9
80	46,1	44,0	48,0	10	48,7	46,0	43,0	10
85	45,8	45,0	48,0	4	48,4	46,0	56,0	11
90	47,8	45,0	48,0	4	50,2	46,0	57,0	8
95	50,0	49,0	51,0	2	51,7	49,0	53,0	3
100	48,5	46,0	55,0	3	52,4	48,0	56,0	7
105	50,0	49,0	51,0	3	53,6	50,0	58,0	4
110	48,5	46,0	50,0	4	51,0	49,0	53,0	4
115	50,0	46,0	46,0	3	53,5	55,0	55,0	1
120	47,5	47,0	49,0	3	53,1	49,0	59,0	4
125	47,2	47,0	48,0	2	51,1	49,0	58,0	6
130	49,5	47,0	51,0	4	53,1	50,0	58,0	4
135					53,3	52,0	55,0	4
140	49,0	49,0	49,0	1	53,5	52,0	54,0	1
145	50,0	50,0	50,0	1	54,1	52,0	58,0	6
150	50,0	50,0	50,0	1	55,0	54,0	57,0	3
155					56,8	54,0	62,0	4
160					54,0	54,0	54,0	1
164					60,0	60,0	60,0	1

(*) Entre las edades 1 a 9 corresponde a datos sin diferenciar sexos.

Tabla 6. Longitudes promedio (cm) y mínimas y máximas observadas por edad para machos y hembras de *alfonsino* de la Zona del archipiélago de Juan Fernández.

EDAD	MACHOS				HEMBRAS			
	PROMEDIO	MIN	MAX	Nº	PROMEDIO	MIN	MAX	Nº
1	18,3	17	21	62	18,4	17	22	82
2	21,8	19	26	131	22,0	19	27	159
3	25,1	21	29	107	25,5	22	29	70
4	28,3	25	31	63	28,8	27	31	25
5	31,3	29	34	52	31,7	29	36	41
6	34,3	32	40	37	34,6	32	39	34
7	37,1	34	42	34	37,3	34	43	47
8	39,5	35	46	49	40,0	36	44	44
9	41,7	37	46	37	42,4	38	47	38
10	43,7	39	48	32	44,6	41	48	27
11	45,0	40	49	31	47,2	43	51	36
12	45,9	43	49	8	49,1	45	52	22
13	46,5	43	50	10	50,3	47	53	20
14	46,6	44	49	9	51,3	47	54	15
15	46,7	44	50	9	52,1	49	55	9
16					52,2	49	55	11
17					52,3	49	56	11
18					52,0	50	55	7
19					52,4	50	55	7

Tabla 7. Edad (años) de *orange roughy* al momento de formación de la Zona de Transición. Análisis por clase de tallas de 2 cm.

LH (cm)	EDAD (años)	
	MACHOS	HEMBRAS
30 - 31		
32 - 33	28	29
34 - 35	28	30
36 - 37	29	32
38 - 39	28	32
40 - 41	30	29
42 - 43	30	32
44 - 45	29	32
46 - 47	33	31
48 - 49	34	32
50 - 51	32	35
52 - 53	30	33
54 - 55		35
56 - 57		30
58 - 59		35
60 - 61		23
62 - 63		32
PROMEDIO	30	32

Tabla 8. Parámetros de crecimiento en longitud horquilla (LH) del modelo de von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández . (Incluyendo datos de ejemplares pequeños de N. Zelandia).

SEXO	PARÁMETRO	VALOR	ERROR EST.	LÍMITES		N	EDADES	ÍNDICE CRECIMIENTO EFECTIVO (ϕ)
				INF.	SUP.			
MACHOS	L ϕ (cm LH)	47,86	0,208	47,45	48,26	1516	1-150	1,93
	K	0,0374	0,0005	0,0364	0,0383			
	to	-1,414	0,045	-1,503	-1,326			
HEMBRAS	L ϕ (cm LH)	53,80	0,223	53,36	54,23	1554	1-164	1,94
	K	0,0304	0,0004	0,0296	0,0311			
	to	-1,691	0,055	-1,798	-1,583			
AMBOS	L ϕ (cm LH)	52,13	0,200	51,74	52,52	1.890	1-164	1,93
	K	0,0313	0,0004	0,0306	0,0321			
	to	-1,716	0,057	-1,828	-1,604			

Tabla 9. Parámetros de crecimiento en longitud estándar (LS) del modelo de von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández. (Incluyendo datos de ejemplares pequeños de N. Zelandia).

SEXO	PARÁMETRO	VALOR	ERROR EST.	LÍMITES		N	EADADES	ÍNDICE CRECIMIENTO EFECTIVO (ϕ)
				INF.	SUP.			
MACHOS	L_{∞} (cm LS)	43,68	0,188	43,31	44,05	1516	1-150	1,85
	K	0,0372	0,0005	0,0363	0,0381			
	to	-1,639	0,047	-1,731	-1,548			
HEMBRAS	L_{∞} (cm LS)	49,00	0,201	48,61	49,40	1554	1-164	1,86
	K	0,0303	0,0004	0,0296	0,0311			
	to	-1,973	0,057	-2,084	-1,862			
AMBOS	L_{∞} (cm LS)	47,51	0,180	47,15	47,86	1.890	1-164	1,84
	K	0,0303	0,0004	0,0306	0,0320			
	to	-2,000	0,059	-2,114	-1,884			

Tabla 10. Longitudes horquilla promedio (cm) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.

EDAD (Años)	LONGITUD HORQUILLA (cm)		
	MACHOS	HEMBRAS	AMBOS
1	4,1	4,2	4,2
5	10,2	9,9	9,9
10	16,6	16,1	16,0
15	22,0	21,4	21,2
20	26,4	26,0	25,7
25	30,0	29,9	29,5
30	33,1	33,3	32,8
35	35,6	36,2	35,6
40	37,7	38,7	38,0
45	39,4	40,8	40,1
50	40,9	42,6	41,8
55	42,1	44,2	43,3
60	43,0	45,6	44,6
65	43,9	46,7	45,7
70	44,5	47,7	46,6
75	45,1	48,6	47,4
80	45,6	49,3	48,1
85	46,0	49,9	48,7
90	46,3	50,5	49,2
95	46,6	51,0	49,6
100	46,8	51,4	50,0
110	47,1	52,0	50,6
120	47,3	52,5	51,0
130	47,5	52,8	51,3
140	47,6	53,1	51,5
150	47,7	53,3	51,7
160		53,4	51,8
170		53,5	51,9
180		53,6	52,0

Tabla 11. Longitudes estándar promedio (cm) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.

EDAD (Años)	LONGITUD ESTANDAR (cm)		
	MACHOS	HEMBRAS	AMBOS
1	4,1	4,2	4,1
5	9,6	9,3	9,1
10	15,4	14,9	14,5
15	20,2	19,7	19,1
20	24,2	23,8	23,1
25	27,5	27,4	26,5
30	30,2	30,4	29,5
35	32,5	33,0	32,0
40	34,4	35,3	34,2
45	36,0	37,2	36,1
50	37,3	38,9	37,7
55	38,4	40,3	39,1
60	39,3	41,5	40,3
65	40,0	42,6	41,3
70	40,6	43,5	42,1
75	41,2	44,2	42,9
80	41,6	44,9	43,5
85	41,9	45,5	44,1
90	42,2	46,0	44,6
95	42,5	46,4	45,0
100	42,7	46,8	45,3
110	43,0	47,4	45,9
120	43,2	47,8	46,3
130	43,4	48,1	46,6
140	43,5	48,3	46,9
150	43,5	48,5	47,0
160		48,6	47,2
170		48,7	47,3
180		48,8	47,3

Tabla 12. Parámetros de crecimiento en peso del modelo de von Bertalanffy para *orange roughy* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández.

SEXO	PARÁMETRO	VALOR	ERROR EST.	LÍMITES		N	EIDADES
				INF.	SUP.		
MACHOS	W_{∞} (g)	3.180,6	56,29	3.070,2	3.291,0	1516	1-150
	K	0,0130	0,0004	0,0123	0,0137		
	to	1,745	0,082	1,584	1,906		
HEMBRAS	W_{∞} (g)	4.989,9	116,62	4.761,1	5.218,6	1554	1-164
	K	0,0091	0,0003	0,0085	0,0098		
	to	1,925	0,130	1,671	2,179		
AMBOS	W_{∞} (g)	4.956,9	131,24	4.699,5	5.214,3	1.890	1-164
	K	0,0080	0,0003	0,0078	0,0090		
	to	2,064	0,164	1,742	2,386		

Tabla 13. Pesos promedio (g) por edad calculadas para *orange roughy* mediante las ecuaciones de crecimiento en peso ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.

EDAD (Años)	MACHOS		HEMBRAS		AMBOS	
	LH (cm)	PESO (g)	LH (cm)	PESO (g)	LH (cm)	PESO (g)
20	26,4	672,4	26,0	756,8	25,7	662,6
25	30,0	830,4	29,9	945,1	29,5	831,0
30	33,1	978,4	33,3	1.125,0	32,8	992,7
35	35,6	1.117,1	36,2	1.296,9	35,6	1.148,2
40	37,7	1.247,0	38,7	1.461,2	38,0	1.297,5
45	39,4	1.368,8	40,8	1.618,1	40,1	1.441,0
50	40,9	1.482,9	42,6	1.768,1	41,8	1.578,9
55	42,1	1.589,8	44,2	1.911,4	43,3	1.711,3
60	43,0	1.690,0	45,6	2.048,3	44,6	1.838,6
65	43,9	1.783,9	46,7	2.179,2	45,7	1.960,8
70	44,5	1.871,8	47,7	2.304,2	46,6	2.078,3
75	45,1	1.954,3	48,6	2.423,7	47,4	2.191,2
80	45,6	2.031,5	49,3	2.537,8	48,1	2.299,6
85	46,0	2.103,9	49,9	2.646,9	48,7	2.403,8
90	46,3	2.171,7	50,5	2.751,1	49,2	2.503,9
95	46,6	2.235,2	51,0	2.850,7	49,6	2.600,1
100	46,8	2.294,8	51,4	2.945,8	50,0	2.692,5
110	47,1	2.402,8	52,0	3.123,6	50,6	2.866,6
120	47,3	2.497,7	52,5	3.286,0	51,0	3.027,3
130	47,5	2.581,0	52,8	3.434,2	51,3	3.175,7
140	47,6	2.654,2	53,1	3.569,5	51,5	3.312,6
150	47,7	2.718,4	53,3	3.693,0	51,7	3.439,0
160			53,4	3.805,8	51,8	3.555,7
170			53,5	3.908,8	51,9	3.663,5
180			53,6	4.002,9	52,0	3.762,9

Tabla 14. Parámetros de crecimiento en longitud (LH) del modelo de von Bertalanffy para *alfonsino* por sexo. Zona archipiélago de Juan Fernández.

SEXO	PARÁMETRO	VALOR	ERROR EST.	LÍMITES		N	EDADES	INDICE CRECIMIENTO EFECTIVO (ϕ)
				INF.	SUP.			
MACHOS	L_{∞} (cm)	58,54	1,386	55,82	61,26	671	1 a 15	2,56
	K	0,106	0,006	0,094	0,118			
	to	-2,393	0,138	-2,663	-2,122			
HEMBRAS	L_{∞} (cm)	63,59	0,966	61,69	65,48	706	1 a 19	2,58
	K	0,095	0,004	0,088	0,102			
	to	-2,458	0,097	-2,649	-2,266			
AMBOS	L_{∞} (cm)	63,39	0,891	61,64	65,13	1.377	1 a 19	2,57
	K	0,0928	0,003	0,087	0,099			
	to	-2,567	0,083	-2,731	-2,403			

Tabla 15. Longitudes horquilla promedio (cm) por edad calculadas para *afonsino* mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.

EDAD (Años)	LONGITUD HORQUILLA (cm)		
	MACHOS	HEMBRAS	AMBOS
1	17,7	17,8	17,9
2	21,8	22,0	21,9
3	25,5	25,7	25,6
4	28,8	29,2	28,9
5	31,8	32,3	32,0
6	34,5	35,1	34,8
7	36,9	37,7	37,3
8	39,1	40,0	39,6
9	41,0	42,2	41,7
10	42,8	44,1	43,6
11	44,4	45,9	45,4
12	45,8	47,5	47,0
13	47,1	48,9	48,4
14	48,2	50,3	49,8
15	49,3	51,5	51,0
16	50,2	52,6	52,1
17		53,6	53,1
18		54,5	54,0
19		55,3	54,8

Tabla 16. Pesos promedio (g) estimadas para las edades 1 a 19 de *alfonsino* mediante las ecuaciones de la relación longitud horquilla-peso para machos, hembras y ambos sexos.

EDAD (Años)	PESO(g)		
	MACHOS	HEMBRAS	AMBOS
1	119,7	119,2	122,1
2	225,7	226,2	227,0
3	363,2	367,5	364,1
4	526,9	538,9	529,7
5	711,0	735,5	719,0
6	909,7	951,7	927,0
7	1.117,5	1.182,2	1.148,7
8	1.329,7	1.422,1	1.379,5
9	1.542,2	1.666,8	1.615,3
10	1.751,8	1.912,7	1.852,4
11	1.956,0	2.156,4	2.088,0
12	2.152,7	2.395,5	2.319,5
13	2.340,6	2.627,9	2.545,0
14	2.518,7	2.852,0	2.762,9
15	2.686,5	3.066,6	2.972,1
16	2.843,7	3.271,0	3.171,8
17		3.464,6	3.361,5
18		3.647,3	3.540,9
19		3.818,9	3.709,9

Tabla 17. Comparación de los parámetros de crecimiento de *orange roughy* mediante el test de Hotelling (T^2).

RECURSO	COMPARACIÓN	T^2		n1/n2	DECISIÓN
		CALCULADO	CRÍTICO		
<i>O. ROUGHY</i>	MACHOS	1321,101	11,558	1.516	DIFERENCIAS SON SIGNIFICATIVAS
	VIS				
	HEMBRAS	1.554			
<i>ALFONSINO</i>	MACHOS	116,982	11,567	670	
	VIS				
	HEMBRAS			706	

Tabla 18. Valores del test T^2 de Hotelling aplicado para verificar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras de *orange roughy*.

TEST DE HOTELLING		Metodología de Bernard (1981), modificada por Cerrato,1990	
COMPARACION PARAMETROS DE CRECIMIENTO			
ESPECIE :	ORANGE ROUGHY	ZONA :	Arch. JUAN FERNANDEZ
PARAMETROS	MACHOS		HEMBRAS
<i>L_{oo}</i>	47,856		53,797
<i>K</i>	0,03736		0,03037
<i>t_o</i>	-1,41460		-1,69088
ERROR ST			
<i>L_{oo}</i>	0,2076		0,2226
<i>K</i>	0,00048		0,00038
<i>t_o</i>	0,04498		0,05488
<i>N</i>	1516		1554
			F = 3,85
MATRIZ DE VAR-COVARIANZA			
	1 -0,873727 -0,520303		1 -0,980102 -0,842652
	-0,873727 1 0,732061		-0,980102 1 0,921244
	-0,520303 0,732061 1		-0,842652 0,921244 1
RESULTADO			
Obs. T^2 .	1321,101		
VAL CRITICO	11,557544		
SI VALOR OBS T^2 < VALOR CRIT = DIFERENCIAS NO SON SIGNIFICATIVAS			
DECISION			
DIFERENCIAS SON SIGNIFICATIVAS			

Tabla 19. Valores del test T^2 de Hotelling aplicado para verificar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras de *alfonsino*.

TEST DE HOTELLING		Metodología de Bernard (1981), modificada por Cerrato,1990	
COMPARACION PARAMETROS DE CRECIMIENTO			
ESPECIE :	ALFONSINO	ZONA :	Arch. JUAN FERNANDEZ
PARAMETROS	MACHOS	HEMBRAS	
<i>L_{oo}</i>	58,541	63,587	
<i>K</i>	0,1059	0,0954	
<i>t_o</i>	-2,39280	-2,45770	
ERROR ST			
<i>L_{oo}</i>	1,3863	0,9656	
<i>K</i>	0,00605	0,00356	
<i>t_o</i>	0,13774	0,0974	
<i>N</i>	670	706	F = 3,85
MATRIZ DE VAR-COVARIANZA			
	1 -0,980302 -0,86148	1 -0,973637 -0,823281	
	-0,980302 1 0,937001	-0,973637 1 0,917488	
	-0,86148 0,937001 1	-0,823281 0,917488 1	
RESULTADO			
Obs. T^2 .	116,9815		
VAL CRITICO	11,666886		
	SI VALOR OBS T^2 < VALOR CRIT = DIFERENCIAS NO SON SIGNIFICATIVAS		
	DECISION		
	DIFERENCIAS SON SIGNIFICATIVAS		

Tabla 20. Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de *orange roughy* mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.

ESPECIE :	OR. ROUGHY	VAR1 :	MACHOS
ZONA :	J. FERNÁNDEZ	VAR2 :	HEMBRAS
PERIODO :	1999-2000	Nº VAR:	2
MÉTODO de LECTURA :	OTOLITOS		
	SS	N	DF
RSSp :	5433,117	607	604
RSS1 :	1557,454	296	293
RSS2 :	2872,971	311	308
RSSs :	4430,426		601
DF(p-(1+2)):	3		
K(nºvar):	2		
F(calc.) =		45,3	
F(Tab.3,601) =		2,6	
COMENTARIO:	Si $F_{(calc.)} > F_{(Tab.)} = VAR1$ distinta de $VAR2$		
	RECHAZA HIPOTESIS DE IGUALDAD		

De: Basada en Chen *et al.*, (1992)

Tabla 21. Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de *alfonsino* mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.

ESPECIE :	ALFONSINO	VAR1 :	MACHOS
ZONA :	J.FERNANDEZ	VAR2 :	HEMBRAS
PERIODO :	1999-2000	Nº VAR:	2
MÉTODO de LECTURA :	OTOLITOS		
	SS	N	DF
RSSp :	6388,890	1377	1374
RSS1 :	3159,816	671	668
RSS2 :	2929,083	706	703
RSSs :	6088,899		1371
DF(p-(1+2)):	3		
K(nºvar):	2		
F(calc.)	=	22,5	
F(Tab.3,1371)	=	2,6	
COMENTARIO:	Si $F_{(calc.)} > F_{(Tab.)} = VAR1$ distinta de $VAR2$		
	RECHAZA HIPOTESIS DE IGUALDAD		

De: Basada en Chen *et al.*, (1992)

Tabla 22. Ajustes de parámetros de crecimiento en longitud (L-S) realizados para *orange roughy* (*Hoplostethus atlanticus*) por diversos autores. Comparación con los resultados del presente estudio.

	AUTOR	AÑO	ZONA	AREA	SEXO	L _∞ (LS)	K	t ₀	INDICE CREC. EFECT.	TÉCNICA DE LECTURA	n	LS MAX	EDAD MAX
1 (*)	van den Broek (1983)	1983	Challenger Plateau	N. Zelanda	Ambos	37,1	0,203	-1,35	2,45	OTOLITOS ENTEROS	643	42	21
2 (*)	Williams (1987)	1987	Chatham Rise	N. Zelanda	Ambos	55,27	0,059	-2,89	2,28	ENTEROS		40	18
3 (*)	Robertson et al. (1988)	1988-87	Chatham Rise	N. Zelanda	Ambos	53,5	0,022	-2,79	1,80	ENTEROS			
4 (*)	Mace y Doonan (1988) Robertson y Mace (1988)	1987-88	Chatham Rise	N. Zelanda	Ambos	41,2	0,065	-0,22	2,04	SECCIONES			
5 (*)	Mace et al. (1990) Robertson (1989) Francis y Robertson (1990, 1991) Francis et al. (1992)	1990 1988-89 1989-90 1991-92 1992-93	Chatham Rise	N. Zelanda	Ambos	42,5	0,059	-0,35	2,03	SECCIONES	242		
6 (*)	Francis et al. (1993) Doonan (1993)	1993	Chatham Rise	N. Zelanda	Ambos	37,3	0,07	-0,3	1,99	SECCIONES	400		
7a (*)	Doonan (1994) Francis et al. (1995)	1994-95 1995-96 1994-95 1995-96	Chatham Rise	N. Zelanda	Machos	36,4	0,07	-0,37	1,94	SECCIONES	432		
7b (*)	Francis y Horn (1997) Doonan et al. (1998) Horn et al. (1999)	1998-97 1997-98 1997-98	Chatham Rise	N. Zelanda	Hembras	39,0	0,061	-0,55	1,94	SECCIONES			
8	Smith et al. (1995)	1987-89	Southern	Australia	Ambos	39,8	0,06	-3,18	1,97	SECCIONES	386	18 a 42	125
9a	Presente estudio (***)	2001	Archipiélago de J. Fernández (Incluye datos de juveniles de N. Zelanda)	Chile	Machos	43,68	0,037	-1,64	1,85	Chile: SECCIONES	1.516	1 a 48	150
Hembras					48,00	0,030	-1,97	1,86	N. Zelanda: Enteros (Juveniles)	1.554	1 a 57	164	
Ambos					47,51	0,030	-2,00	1,84		1.890	1 a 57	164	
10	Mediana (N° 4 a 9)					41,2	0,060	-0,55	2,01				

(*) Datos tomados de Mace et al., 1990 y Tracey y Horn, 1999

(**) Datos de Chile oscilaron sólo entre 25 y 48 cm LS en machos y entre 25 y 57 cm LS en hembras.

(***) De J. Fernández se analizaron 296 y 311 ejemplares para machos y hembras respectivamente.

Tabla 23. Ajustes de parámetros de crecimiento en longitud (LS) realizados para *Beryx splendens* por diversos autores. Comparación con los resultados del presente estudio.

	AUTOR	ZONA	AREA	SEXO	L_{∞}	K	t_0	INDICE DE CRECIMIENTO EFECTIVO (ϕ)	TECNICA DE AJUSTE	n	LH MAX (cm)	EDAD MAX (años)
1	Ikenouye (1969)	Sagami Bay	Japón	Ambos	37,8	0,439	0,40	2,80	Observados	209	36	7
2a	Masuzawa <i>et al.</i> (1975) (1)	Sagami Bight	Japón	Ambos	45,8	0,323	-0,22	2,83		365		
2b	"	Zunan Sea	Japón	Ambos	54,4	0,181	-0,08	2,73		100		
3a	de León y Malkov (1979)	Angular Rise	Atlántico	Ambos	48,5	0,170	-2,63	2,60		230	48	
3b	"	New Year Rise	Atlántico	Ambos	44,8	0,209	-0,89	2,62		228	41	
4a	Masse y Horn (1990)	Nueva Zelanda	Oceania	Machos	51,1	0,110	-3,56	2,46	Observados	3157	49	12
4b	"	Nueva Zelanda	Oceania	Hembras	57,5	0,088	-4,10	2,46	Observados		57	16
4c	"	Nueva Zelanda	Oceania	Machos	49,6	0,116	-3,67	2,46	Retrocálculo		49	12
4d	"	Nueva Zelanda	Oceania	Hembras	57,9	0,087	-4,17	2,46	Retrocálculo		57	16
5a	Lehodey y Grandperrin (1996)	Nueva Caledonia	Oceania	Machos	45,2	0,146	-2,34	2,47	Observados	610	52	14
5b	"	Nueva Caledonia	Oceania	Hembras	50,8	0,134	-2,00	2,54	Observados			15
6a	Adachi <i>et al.</i> (2000)	Izu Island	Japón	Machos	44,35	0,132	-3,45	2,42	Observados	158	48	23
6b	"	Izu Island	Japón	Hembras	45,03	0,150	-2,08	2,48	Observados	85		
7a	Rico <i>et al.</i> (2001)	Islas Canarias	Atlántico	Ambos	44,51	0,150	-3,41	2,47	Observados	643	39	9
7b	"	Madeira	Atlántico	Ambos	58,71	0,060	-5,71	2,32	Observados	617	41	12
7c	"	Azores	Atlántico	Ambos	43,1	0,017	-2,80	1,50	Observados	860	43	11
8a	Presente estudio	Arch. J. Fernández	Pacífico	Machos	58,54	0,106	-2,39	2,58	Observados	671	55	15
8b	"	Arch. J. Fernández	Pacífico	Hembras	63,59	0,096	-2,46	2,58	Observados	706	57	19
8c	"	Arch. J. Fernández	Pacífico	Ambos	63,39	0,093	-2,57	2,57	Observados	1377	57	19
9	Mediana				50,2	0,12415	-2,5965	2,50				

*(1) Análisis de escamas

Tabla 24. Relación edad-talla (LS) para **orange roughy** estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.

Edad (años)	1 van den Broek 1983	2 Williams 1987	3 Robertson <i>et al.</i> 1988	4 Mace y Doonan (1988) Robertson y Mace (1988)	5 Mace <i>et al.</i> , (1990)	6 Francis <i>et al.</i> , (1993) Doonan (1993)
1	14,1	11,3	4,3	3,1	3,2	3,2
2	18,3	13,9	5,4	5,5	5,5	5,5
3	21,8	16,2	6,4	7,8	7,6	7,7
4	24,6	18,5	7,4	9,9	9,6	9,7
5	26,9	20,6	8,4	11,9	11,5	11,6
6	28,8	22,6	9,4	13,7	13,3	13,3
7	30,3	24,4	10,4	15,4	14,9	14,9
8	31,5	26,2	11,3	17,1	16,5	16,4
9	32,6	27,9	12,2	18,6	18,0	17,8
10	33,4	29,4	13,1	20,0	19,4	19,2
11	34,1	30,9	14,0	21,3	20,7	20,4
12	34,6	32,3	14,9	22,6	22,0	21,5
13	35,1	33,6	15,7	23,8	23,2	22,6
14	35,5	34,9	16,5	24,9	24,3	23,6
15	35,8	36,0	17,3	25,9	25,3	24,5
20	36,6	41,0	21,1	30,1	29,7	28,3
25			24,5	33,2	33,0	31,0
30			27,5	35,4	35,4	32,8
35			30,2	37,0	37,2	34,1
40			32,6	38,2	38,6	35,1
45			34,8	39,0	39,6	35,7
50					40,3	36,2
60					41,3	36,8
70					41,8	37,0
80					42,1	37,2
90					42,3	37,2
100						
120						
140						
160						

Tabla 25. Relación edad-talla (LS) para *orange roughy* estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.

Edad	7 Doonan (1994); Francis et al., (1995)		8 Smith et al., (1995)		9 Presente estudio		
	Machos	Hembras	Ambos		Machos	Hembras	Ambos
1	3,3	3,4	8,8		4,1	4,2	4,1
2	5,6	5,5	10,6		5,5	5,6	5,4
3	7,6	7,4	12,3		6,9	6,9	6,7
4	9,6	9,2	13,9		8,3	8,1	7,9
5	11,4	10,9	15,4		9,6	9,3	9,1
6	13,1	12,5	16,8		10,8	10,5	10,2
7	14,7	14,0	18,1		12,0	11,7	11,3
8	16,1	15,4	19,4		13,2	12,8	12,4
9	17,5	16,8	20,5		14,3	13,9	13,5
10	18,8	18,0	21,6		15,4	14,9	14,5
11	20,0	19,2	22,7		16,4	15,9	15,5
12	21,1	20,3	23,7		17,4	16,9	16,4
13	22,1	21,4	24,6		18,3	17,9	17,4
14	23,1	22,4	25,5		19,3	18,8	18,3
15	24,0	23,3	26,3		20,2	19,7	19,1
20	27,7	27,2	29,7		24,2	23,8	23,1
25	30,2	30,0	32,3		27,5	27,4	26,5
30	32,1	32,1	34,2		30,2	30,4	29,5
35	33,3	33,7	35,6		32,5	33,0	32,0
40	34,2	34,8	36,6		34,4	35,3	34,2
45	34,9	35,6	37,4		36,0	37,2	36,1
50	35,3	36,3	38,0		37,3	38,9	37,7
60	35,9	37,1	38,7		39,3	41,5	40,3
70	36,1	37,5	39,1		40,6	43,5	42,1
80	36,3	37,7	39,3		41,6	44,9	43,5
90	36,3	37,8	39,5		42,2	46,0	44,6
100	36,4	37,9	39,5		42,7	46,8	45,3
110	36,4	38,0	39,6		43,0	47,4	45,9
120	36,4	38,0	39,6		43,2	47,8	46,3
130			39,6		43,4	48,1	46,6
140			39,6		43,5	48,3	46,9
150			39,6		43,5	48,5	47,0
160			39,6		43,6	48,6	47,2

Tabla 27. Relación edad-talla para machos de *alfonsino* estimadas por distintos autores mediante la ecuación de crecimiento y comparación con las estimaciones del presente estudio.

Edad	4a (Observados) Massey y Horn 1990	4c (Retrocálculo) Massey y Horn 1990	5a Lehodey y Grandperin 1996	6a Adachi et al. 2000	8a Presente estudio 2001
1	20,16	20,75	17,44	19,74	17,68
2	23,38	23,91	21,21	22,79	21,79
3	26,27	26,72	24,47	25,46	25,49
4	28,85	29,23	27,29	27,80	28,81
5	31,17	31,46	29,72	29,85	31,80
6	33,25	33,44	31,82	31,65	34,49
7	35,11	35,21	33,64	33,22	36,91
8	36,77	36,79	35,21	34,60	39,09
9	38,26	38,19	36,57	35,81	41,04
10	39,60	39,44	37,74	36,87	42,80
11	40,80	40,55	38,75	37,79	44,39
12	41,87	41,55	39,63	38,61	45,81
13	42,83	42,43	40,39	39,32	47,09
14	43,69	43,21	41,04	39,94	48,24
15	44,47	43,91	41,61	40,49	49,28
16	45,16	44,54	42,09	40,97	50,21

Tabla 28. Relación edad-talla para hembras de *affonsino* estimadas mediante la ecuación de crecimiento por distintos autores y comparación con las estimaciones del presente estudio.

Edad	4b (Observados) Massey y Horn 1990	4d (Retrocálculo) Massey y Horn 1990	5b Lehodey y Grandperrin 1996	6b Adachi et al. 2000	8b Presente estudio 2001
1	20,79	20,97	16,82	16,65	17,81
2	23,88	24,05	21,08	20,60	21,95
3	26,72	26,87	24,81	24,00	25,73
4	29,31	29,46	28,07	26,93	29,16
5	31,68	31,83	30,92	29,45	32,28
6	33,86	34,00	33,41	31,62	35,12
7	35,85	35,99	35,59	33,49	37,70
8	37,67	37,82	37,50	35,10	40,04
9	39,34	39,49	39,17	36,48	42,18
10	40,87	41,02	40,63	37,67	44,12
11	42,27	42,43	41,90	38,70	45,88
12	43,56	43,72	43,02	39,58	47,49
13	44,73	44,90	43,99	40,34	48,95
14	45,81	45,98	44,85	40,99	50,27
15	46,79	46,98	45,59	41,55	51,48
16	47,69	47,89	46,25	42,04	52,58
17				42,46	53,58
18				42,81	54,48
19				43,12	55,31
20				43,39	
21				43,62	
22				43,81	
23				43,98	

Tabla 29. Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *orange roughy* con parámetros de crecimiento estimados por longitud horquilla (LH).

Machos									
	K	to	L _∞	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,0383	-1,326	48,26	76,89	0,067	0,060	0,106	0,041	0,039
Estimado	0,0374	-1,414	47,86	78,69	0,066	0,059	0,103	0,042	0,038
Lim. Inf.	0,0364	-1,503	47,45	80,80	0,065	0,057	0,101	0,042	0,037
M/K									
Lim. Sup.					1,7541	1,5638	2,7572	1,0635	1,0174
Estimado					1,7666	1,5649	2,7600	1,1101	1,0182
Lim. Inf.					1,7806	1,5658	2,7624	1,1650	1,0188
Hembras									
	K	to	L _∞	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,0311	-1,583	54,23	94,74	0,058	0,049	0,086	0,047	0,032
Estimado	0,0304	-1,691	53,80	96,85	0,057	0,048	0,084	0,048	0,031
Lim. Inf.	0,0296	-1,798	53,36	99,41	0,056	0,046	0,082	0,049	0,030
M/K									
Lim. Sup.					1,8570	1,5629	2,7551	1,5230	1,0169
Estimado					1,8697	1,5641	2,7580	1,5807	1,0176
Lim. Inf.					1,8843	1,5650	2,7604	1,6502	1,0183
Ambos									
	K	to	L _∞	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,0321	-1,604	52,52	91,66	0,059	0,050	0,089	0,046	0,033
Estimado	0,0313	-1,716	52,13	93,99	0,058	0,049	0,086	0,047	0,032
Lim. Inf.	0,0306	-1,828	51,74	96,07	0,057	0,048	0,085	0,048	0,031
M/K									
Lim. Sup.					1,8416	1,5641	2,7582	1,4439	1,0177
Estimado					1,8557	1,5653	2,7611	1,5070	1,0184
Lim. Inf.					1,8684	1,5665	2,7640	1,5639	1,0192

Longevidad máxima de acuerdo con Taylor 1958

Tabla 30. Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *orange roughy* con parámetros de crecimiento estimados por longitud estándar (LS).

Machos									
	K	to	L _∞	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,0381	-1,548	44,05	77,08	0,067	0,060	0,105	0,041	0,039
Estimado	0,0372	-1,639	43,68	78,89	0,066	0,058	0,103	0,042	0,038
Lim. Inf.	0,0363	-1,731	43,31	80,80	0,065	0,057	0,101	0,042	0,037
M/K									
Lim. Sup.					1,7602	1,5681	2,7681	1,0736	1,0203
Estimado					1,7727	1,5692	2,7707	1,1208	1,0210
Lim. Inf.					1,7855	1,5702	2,7732	1,1707	1,0216
Hembras									
	K	to	L _∞	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,0311	-1,862	49,40	94,46	0,058	0,049	0,086	0,047	0,032
Estimado	0,0303	-1,973	49,00	96,90	0,057	0,048	0,084	0,048	0,031
Lim. Inf.	0,0296	-2,084	48,61	99,12	0,056	0,046	0,082	0,049	0,030
M/K									
Lim. Sup.					1,8609	1,5675	2,7666	1,5230	1,0199
Estimado					1,8752	1,5685	2,7691	1,5891	1,0206
Lim. Inf.					1,8882	1,5696	2,7717	1,6502	1,0212
Ambos									
	K	to	L _∞	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,0320	-1,884	47,86	91,73	0,059	0,050	0,089	0,046	0,033
Estimado	0,0303	-2,000	47,51	96,87	0,057	0,048	0,084	0,048	0,031
Lim. Inf.	0,0306	-2,114	47,15	95,79	0,057	0,048	0,085	0,048	0,031
M/K									
Lim. Sup.					1,8474	1,5688	2,7698	1,4529	1,0207
Estimado					1,8756	1,5690	2,7702	1,5891	1,0209
Lim. Inf.					1,8724	1,5712	2,7757	1,5639	1,0223

longevidad máxima de acuerdo con Taylor 1958

Tabla 31. Estimaciones de M de acuerdo a distintos métodos bioanalógicos para *alfonsino*.

Machos									
	K	to	L_{∞}	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,118	-2,122	61,26	23,27	0,1604	0,1979	0,3589	0,1871	0,1289
Estimado	0,106	-2,393	58,54	25,87	0,1484	0,1780	0,3229	0,1992	0,1159
Lim. Inf.	0,094	-2,663	55,82	29,21	0,1358	0,1577	0,2859	0,2120	0,1027
M/K									
Lim. Sup.					1,3591	1,6775	3,0414	1,5855	1,0922
Estimado					1,4001	1,6794	3,0463	1,8796	1,0935
Lim. Inf.					1,4449	1,6774	3,0412	2,2551	1,0922
Hembras									
	K	to	L_{∞}	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,102	-2,266	65,48	27,10	0,1434	0,1699	0,3072	0,2034	0,1106
Estimado	0,095	-2,458	63,59	29,08	0,1363	0,1584	0,2865	0,2109	0,1031
Lim. Inf.	0,088	-2,649	61,69	31,39	0,1288	0,1467	0,2653	0,2186	0,0955
M/K									
Lim. Sup.					1,4062	1,6658	3,0120	1,9943	1,0845
Estimado					1,4343	1,6672	3,0156	2,2200	1,0855
Lim. Inf.					1,4642	1,6670	3,0150	2,4838	1,0853
Ambos									
	K	to	L_{∞}	Longev.	Rikhter	Alagaraja	Alverson	Roff	Taylor
				Taylor	Evanof		Carney		
Lim. Sup.	0,099	-2,403	65,13	27,86	0,1406	0,1653	0,2992	0,2066	0,1076
Estimado	0,0928	-2,567	63,39	29,71	0,1341	0,1550	0,2805	0,2133	0,1009
Lim. Inf.	0,087	-2,731	61,64	31,70	0,1279	0,1453	0,2629	0,2197	0,0946
M/K									
Lim. Sup.					1,4201	1,6698	3,0223	2,0869	1,0872
Estimado					1,4452	1,6700	3,0227	2,2984	1,0873
Lim. Inf.					1,4704	1,6697	3,0218	2,5252	1,0871

longevidad máxima de acuerdo con Taylor 1958

Tabla 32. Resultados de las regresiones lineales para curva de captura linealizada de orange roughy por sexo.

Machos		ANÁLISIS DE VARIANZA				
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Coef. de det R ²	0,968	1,000	3,982	3,982	120,558	0,000
Observaciones	6,000	4,000	0,132	0,033		
		5,000	4,114			
		Coefficientes	Inferior 95.0%	Superior 95.0%		
Intercepción		8,652	7,476	9,827		
Pendiente		-0,069	-0,086	-0,051		
M		0,069				
Hembras		ANÁLISIS DE VARIANZA				
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Coef. de det R ²	0,985	1,000	9,999	9,999	523,161	0,000
Observaciones	10,000	8,000	0,153	0,019		
		9,000	10,151			
		Coefficientes	Inferior 95.0%	Superior 95.0%		
Intercepción		7,955	7,527	8,384		
Pendiente		-0,055	-0,061	-0,050		
M		0,055				

Tabla 33. Resultados de las regresiones lineales para curva de captura acumulada de orange roughy por sexo.

Machos		ANÁLISIS DE VARIANZA				
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Coef. de det R ²	0,993	1,000	1,557	1,557	730,308	0,000
Observaciones	7,000	5,000	0,011	0,002		
		6,000	1,568			
Hembras		ANÁLISIS DE VARIANZA				
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Coef. de det R ²	0,997	1,000	8,591	8,591	3568,252	0,000
Observaciones	12,000	10,000	0,024	0,002		
		11,000	8,615			
Machos		ANÁLISIS DE VARIANZA				
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Coef. de det R ²	0,993	1,000	1,557	1,557	730,308	0,000
Observaciones	7,000	5,000	0,011	0,002		
		6,000	1,568			
Hembras		ANÁLISIS DE VARIANZA				
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Coef. de det R ²	0,997	1,000	8,591	8,591	3568,252	0,000
Observaciones	12,000	10,000	0,024	0,002		
		11,000	8,615			

k	0,037
Z/k	1,263
Z=M	0,047

k	0,030
Z/k	1,446
Z=M	0,044

Tabla 34. Resultados de las regresiones lineales para curva de captura linealizada de *aifonsino* por sexo.

Machos	
Coef. de det R ²	0,970
Observaciones	11,000

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1,000	8,301	8,301	294,125	0,000
Residuos	9,000	0,254	0,028		
Total	10,000	8,555			

Coeficientes		
	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	11,282	12,027
Pendiente	-0,439	-0,381
M	0,439	

Hembras	
Coef. de det R ²	0,991
Observaciones	13,000

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1,000	9,396	9,396	1234,560	0,000
Residuos	11,000	0,084	0,008		
Total	12,000	9,480			

Coeficientes		
	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	10,735	11,060
Pendiente	-0,390	-0,365
M	0,390	

Tabla 35. Resultados de las regresiones lineales para curva de captura acumulada de **alfonsino** por sexo.

Machos	
Coef. de det R ²	0,992
Observaciones	13,000

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1,000	15,667	15,667	1322,620	0,000
Residuos	11,000	0,130	0,012		
Total	12,000	15,797			

Coefficientes		
	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-6,196	-5,407
Pendiente	4,674	4,957
Z/k	4,674	

k 0,106
Z/k 4,674
Z=M 0,495

Hembras	
Coef. de det R ²	0,999
Observaciones	13,000

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1,000	6,979	6,979	13169,261	0,000
Residuos	11,000	0,006	0,001		
Total	12,000	6,985			

Coefficientes		
	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-5,386	-5,143
Pendiente	4,138	4,217
Z/k	4,138	

k 0,095
Z/k 4,138
Z=M 0,393

Tabla 36. Mortalidad natural Promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de los métodos bioanalógicos en orange roughy (LH), a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados .

METODO	Machos		Hembras		Ambos	
	Promedio	Desv Est.	Promedio	Desv Est.	Promedio	Desv Est.
Rikhter Evanof	0,066	6,36E-04	0,057	5,25E-04	0,058	5,52E-04
Alagaraja	0,059	7,78E-04	0,048	6,06E-04	0,049	6,43E-04
Roff	0,042	4,29E-04	0,048	3,76E-04	0,047	3,92E-04
Taylor	0,038	5,06E-04	0,031	3,94E-04	0,032	4,18E-04
Promedio ponderado	0,047		0,044		0,045	

Tabla 37. Mortalidad natural Promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de los métodos bioanalógicos en orange roughy (LS), a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados .

METODO	Machos		Hembras		Ambos	
	Promedio	Desv Est.	Promedio	Desv Est.	Promedio	Desv Est.
Rikhter Evanof	0,066	6,70E-04	0,057	5,42E-04	0,058	5,58E-04
Alagaraja	0,058	8,18E-04	0,048	6,26E-04	0,049	6,48E-04
Roff	0,042	4,51E-04	0,048	3,88E-04	0,047	3,95E-04
Taylor	0,038	5,32E-04	0,031	4,07E-04	0,032	4,22E-04
Promedio ponderado	0,047		0,044		0,044	

Tabla 38. Mortalidad natural Promedio y desviación estándar estimadas para los resultados de los métodos bioanalógicos en alfonsino, a partir del muestreo Monte Carlo y estimación del promedio ponderado de estos resultados .

METODO	Machos		Hembras		Ambos	
	Promedio	Desv Est.	Promedio	Desv Est.	Promedio	Desv Est.
Rikhter Evanof	0,149	6,59E-03	0,136	4,42E-03	0,134	3,28E-03
Alagaraja	0,179	1,08E-02	0,159	7,04E-03	0,155	5,20E-03
Roff	0,199	6,10E-03	0,211	4,19E-03	0,213	3,14E-03
Taylor	0,116	7,05E-03	0,103	4,59E-03	0,101	3,39E-03
Promedio ponderado	0,1609		0,1541		0,1528	

Tabla 39. Estimación promedio de M para el rango de edades en que se produce la estabilización de la mortalidad natural.

	Machos	Hembras
Orange roughy (LH)	0,0477	0,0421
Orange roughy (LS)	0,0474	0,0418
Alfonsino	0,1247	0,1189

A N E X O S

ANEXO 1

Convenio de Colaboración

**Asesoría técnica en
preparación y lectura de
otolitos de orange roughy
y alfonsino**



CONVENIO DE COLABORACIÓN.

Antecedentes.

De acuerdo con los requerimientos metodológicos expuestos en las Bases especiales y lo comprometido en la Propuesta Técnica de este estudio, se materializó la firma de un Convenio de Colaboración con el National Institute of Water and Atmospheric Research (**NIWA**) de Nueva Zelandia. Como es de amplio conocimiento, en aguas de ese país y Chile existen numerosos recursos pesqueros en común, tales como merluza de cola o hoki, merluza del sur, congrio dorado, jurel, orange roughy y alfonsino, entre otros.

El **NIWA** cuenta con una experiencia de muchos años de estudio en las especies objetivo del presente estudio (desde 1979), con numerosas publicaciones sobre la pesquería, edad y crecimiento y otros aspectos biológicos de éstos y otros recursos, permitiendo a las autoridades definir e instaurar normas de manejo de sus pesquerías. Por otra parte, el **NIWA** mantiene estrecha colaboración con varias instituciones científicas de reconocido prestigio, entre las que se cuentan, para los fines de las especies del estudio, el **CSIRO** de Australia y el **IFREMER** de Francia, además de colaboración con especialistas de Namibia.

En **IFOP**, investigadores de la Unidad Edad y Crecimiento mantienen desde 1998 contactos profesionales con investigadores neozelandeses especialistas en estudios de edad y crecimiento de orange roughy y alfonsino (Dianne Tracey y Peter Horn), quienes han estado aportando valiosos y actualizados antecedentes sobre ambos recursos pesqueros, en especial de orange roughy.



Por otra parte, importantes razones determinaron que en **IFOP** se haya establecido que la línea de estudios del **NIWA** es la correcta. Del cuidadoso análisis realizado a la literatura especializada, se constató el consenso alcanzado en la comunidad científica internacional acerca de la gran longevidad del orange roughy. Cabe señalar que, desde los inicios de los estudios sobre la edad de orange roughy, se fueron presentando discrepancias sobre la edad máxima que alcanzaba la especie según los estudios realizados y la técnica utilizada, entre los primeros autores se señala a Kotlyar, (1981) que en escamas y otolitos no encontró un patrón de zonas, estimado hasta 24 años en ejemplares de 58 cm, a Van den Broek (1983), que analizando otolitos enteros no tratados, llegó a determinar hasta 21 años en ejemplares de 42 cm, luego Linkowski y Liwoch (1986), también trabajaron con otolitos enteros, pero no encontraron un decremento uniforme, Sullivan y Parkinson (1987) encontraron una relación entre el pez y el tamaño de los otolitos prediciendo la edad para los cuatro primeros años y afirmando que debía tener una mayor longevidad que la que se pensaba, Williams (1987), no pudo encontrar correlación entre anillos de otolitos enteros y de secciones que consideró como anillos diarios. Sólo Mace *et al.*, (1990) con ejemplares pequeños y siguiendo clases modales pudieron validar hasta el tercer año. Entre tanto Gauldie, en una serie de trabajos, trató de demostrar una menor longevidad, explorando diversas técnicas, entre ellas los anillos diarios, sin embargo, en ninguna de sus publicaciones entregó una validación que pudiera sustentar sus afirmaciones, aparte de este autor, no existen otros investigadores que aún mantengan esa opinión.

Luego, mediante el método radiométrico Fenton *et al.*, (1991) establecieron que la especie podía alcanzar hasta los 150 años, lo que después fue ajustado a 125 años por Smith *et al.*, (1995). Charuau *et al.*, (1995), establecieron que la especie era más longeva de lo que ellos pensaban, luego de realizar análisis de edad con otolitos enteros y encontrar una gran dispersión en las edades de ejemplares de 30



cm y más y como consecuencia, los investigadores del IFREMER adoptaron la técnica de determinación de edad mediante secciones finas de otolitos aplicada por Nueva Zelandia y Australia e integrándose a los estudios de comparación de lecturas de orange roughy que se realizan entre científicos de Nueva Zelandia, Australia y Namibia.

En Chile, otro antecedente fue aportado por Gili en Lillo *et al.*, (1999), quien analizó muestras de otolitos de orange roughy enteros y seccionados, llegando a establecer la gran complejidad que presenta la lectura de otolitos enteros y la gran cantidad de anillos presentes en las secciones de otolitos. Es ese estudio, se estableció la importancia de perfeccionar la técnica de obtención de secciones de otolitos.

Como se puede constatar, en la actualidad, los antecedentes biológicos de este recurso confluyen a establecer una longevidad excepcional, sin embargo, no es la única especie, ya que existen antecedentes de otras especies del género **Sebastes**, **Coryphaenoides**, **Anoploma** y otros que alcanzan también grandes edades (Kastelle *et al.*, 2000; Andrews *et al.*, 1999 a y b; Beamish y McFarlane 2000).

No obstante lo anterior y como ocurre con muchos estudios de determinación de edad, aún persisten dudas respecto a la verdadera edad de orange roughy, por cuanto sólo ha sido posible validar hasta el cuarto anillo de crecimiento. Cabe señalar que las técnicas tradicionales de validación no son factibles de aplicar a peces de profundidad y larga vida, especialmente por problemas de barotrauma. La única alternativa que, en estos momentos, se considera aceptable para validar los estudios de edad de peces de profundidad y de gran longevidad son los estudios de determinación de edad por técnicas radiométricas como son las que se



están realizando en el Moss Landing Marine Laboratory (EE.UU, Andrews *et al.*, 1999 a y b).

Los estudios sobre la edad de alfonsino analizados de la literatura disponible, son bastante más sencillos que los de orange roughy, debido a la menor dificultad que presenta la lectura de anillos de crecimiento y la menor longevidad que se ha establecido (alrededor de los 20-23 años), existiendo al menos tres estudios de validación de la edad. Dado que ya ha sido abordado *in extenso* en el capítulo Antecedentes, no se entregarán más detalles en esta sección.

Etapas del Convenio.

El Convenio de Colaboración con el National Institute of Water and Atmospheric Research (**NIWA**) contempló las siguientes etapas:

1. Entrenamiento del biólogo Raúl Gili del IFOP en los métodos de preparación de otolitos de "orange roughy" (Peter Marriott).
2. Entrenamiento del biólogo Raúl Gili en el análisis de los otolitos de orange roughy (Dianne M. Tracey).
3. Analizar, en conjunto, las muestras de otolitos de orange roughy colectadas en Chile (Raul Gili y Di Tracey).
4. Analizar, en conjunto, las muestras de otolitos del alfonsino colectadas en Chile (Raul Gili y Peter Horn).



5. Complementar la asesoría técnica con una visita al laboratorio de edad en Chile con el objeto de preparar, analizar otolitos y discutir diferentes temáticas relacionadas con la edad y crecimiento de estas especies.
6. Proporcionar documentación biológico-pesquera sobre los recursos-objetivo del estudio.
7. Proporcionar la información técnica para implementar un laboratorio dirigido al análisis de las estructuras duras con énfasis en orange roughy.

Resultados.

La primera etapa de la Asesoría Técnica se efectuó con éxito en los laboratorios del NIWA en Wellington y Nelson (Nueva Zelandia) con una duración de tres semanas. La segunda etapa, se llevó a cabo en Chile con la visita al laboratorio de IFOP en Valparaíso de la investigadora Dianne M. Tracey entre el 12 y el 24 de marzo pasado.

Los resultados de este Convenio se entregan en los Informes de las dos etapas realizadas y en el texto principal del segundo Informe de Avance de este proyecto.

ANEXO 2

Informe de Pasantía

**Primera etapa. NIWA.
Nueva Zelanda**

INFORME DE PASANTÍA

Asesoría técnica en preparación y lectura de otolitos de orange roughy y alfonsino.

Participante : Raúl Gili Valdés – Jefe de Proyecto
Lugar : Instituto NIWA de Nueva Zelandia
Contraparte : Dra. Dianne Tracey (Niwa – Wellington, NZ)

1. ANTECEDENTES

Esta Comisión de Servicio la realizó el biólogo Sr. **Raúl Gili Valdés** entre el 10 de septiembre y el 2 de octubre de 2000 en el **National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA) de Nueva Zelandia**, en las sedes de Wellington (Isla del Norte) y Nelson (Isla del Sur) y forma parte de las actividades contempladas en el proyecto FIP 2000-12 "Estudio de edad, crecimiento y mortalidad natural de los recursos orange roughy y alfonsino". Las actividades fueron programadas por la Dra. **Dianne Tracey**, quien estuvo a cargo de los trabajos y participaron, además, el Dr. Peter Horn y el biólogo Sr. Peter Marriott.

Los recursos Orange roughy y Alfonsino se encuentran en aguas de diferentes zonas del mundo, tales como Nueva Zelandia, Australia, Namibia, Japón y Chile. Las principales capturas se realizan en las costas neozelandesas, recursos que se encuentran en explotación por más de 20 años y por la misma razón es el país que cuenta con mayor información científica sobre estas especies. Las capturas registradas en aguas neozelandesas durante la temporada 1998-1999 alcanzaron a las 16.058 ton en O. roughy y sólo 2.624 de alfonsino (Annala et al., 2000). En

nuestro país constituyen una nueva pesquería y como tal, con un bajo nivel de capturas (alrededor de las 1.500 ton en *O. roughy*) e información biológico-pesquera, por ello es que las diferentes Instituciones del Estado de Chile, han realizado esfuerzos por reunir la información básica de estos recursos con el fin de permitir una explotación inicial e ir recopilando mayores datos, como es el caso de la Subsecretaría de Pesca. En el mismo sentido, el Fondo de Investigación Pesquera (FIP), ha incluido dentro de sus prioridades, diversos estudios orientados hacia estos recursos, como por ejemplo el presente trabajo. El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) por su parte, desde hace unos años, ha estado interesado en desarrollar integralmente esta pesquería, realizando prospecciones pesqueras, desarrollando tecnologías de aprovechamiento, recopilando y analizando la información biológico-pesquera y produciendo información biológica como en el presente estudio, que se realiza como ya señalamos, por encargo del **FIP**.

El **IFOP** consciente del desarrollo alcanzado por el Instituto **NIWA** de Nueva Zelanda, en lo que se refiere a estos dos recursos, decidió integrar a sus investigadores en este estudio con el fin incorporar un conocimiento rápido y eficaz de aspectos biológicos tan importantes como la edad, el crecimiento y la mortalidad natural, de manera que permitan utilizar esta información en los modelos de evaluación y comparar sus resultados con los de otras pesquerías.

Uno de los principales aspectos a establecer en la Pasantía fue conocer e integrar la técnica de preparación de láminas de otolitos de *Orange roughy* para la determinación de edad. Se debe señalar que esta especie, de acuerdo a todos los antecedentes, presenta una gran longevidad, alcanzando en Nueva Zelanda los 130 años (Tracey y Horn, 1999, Annala et al., 2000) estando validados directamente hasta los 4 años y en forma indirecta, mediante el método de isótopos radiactivos, se estableció una alta longevidad que podría alcanzar hasta los 150 años (Mace et al., 1990; Fenton et al., 1991; Smith et al., 1995). El otolito es la única estructura dura que permite inferir la edad de *O.roughy* (Smith y

Robertson, 1992) y presenta notorias dificultades para la determinación de edad, por lo tanto, por su gran laboriosidad, la técnica de preparación de láminas de otolitos es un aspecto relevante para que la determinación de edad tenga una precisión aceptable, por lo que junto con las lecturas comparadas de las láminas constituyeron las actividades principales a realizar en la Pasantía. En el Anexo 2 se presentan otolitos enteros de esta especie.

En relación a Alfonsino, esta especie presenta un ciclo de vida semejante al de muchas especies conocidas, con una longevidad máxima alrededor de los 20 años, con otolitos con anillos de crecimiento claramente definidos y que no requiere, para su análisis una preparación previa, por lo que la principal actividad en esta especie fue dirigida a la determinación de edad y la comparación de los resultados. En el Anexo 2 se presentan otolitos enteros de esta especie.

2. OBJETIVO GENERAL

Efectuar una Pasantía en los laboratorios de determinación de edad de peces en el National Institute of Water and Atmospheric Research (**NIWA**) de Nueva Zelandia, con el fin de integrar conocimientos en la tecnología de preparación de otolitos de orange roughy y analizar los otolitos de esta especie y de alfonsino y comparar sus lecturas.

3. PLAN DE ACTIVIDADES

Septiembre de 2000

- Dgo. 10 Llegada a Wellington. Recepción por Dra. Tracey.
- Lun. 11 Presentación en NIWA. Reuniones con el Director Dr. McKoy, con el Dr. Robertson. Conocimiento general del Instituto y sus Investigadores. Presentación en el laboratorio de edad. Selección de muestras de otolitos.
- Mar. 12 Inicio de actividades prácticas. Preparación de muestras de otolitos de orange roughy.
- Mié. 13 Preparación de muestras de otolitos de orange roughy.
17:30 hrs. Viaje a Nelson. Recepción por el Dr. P.Horn.
- Jue. 14 Lectura de otolitos de alfonsino con el Dr. Horn.
- Vie. 15 Lectura y comparación de resultados con el Dr. Horn.
- Dgo. 17 Regreso de Nelson
- Lun. 18 Preparación de láminas de otolitos de O.roughy.
- Mar. 19 Preparación de láminas de otolitos de O.roughy
- Mié. 20 Preparación de láminas de otolitos de O.roughy. Lectura de otolitos de ejemplares pequeños (menores a 10 cm LS).
- Jue. 21 Preparación de láminas de otolitos de O.roughy. Lectura de otolitos de ejemplares pequeños.
- Vie. 22 Lectura de otolitos de ejemplares adultos, muestras chilenas.

- Lun. 25 Lectura de otolitos de ejemplares adultos.
- Mar. 26 Lectura de otolitos de ejemplares adultos. Comparación de lecturas.
- Mié. 27 Lectura de otolitos de ejemplares adultos. Comparación de lecturas.
- Jue. 28 Lectura de otolitos de ejemplares adultos. Comparación de lecturas.
- Vié. 29 Discusión de resultados y evaluación de la pasantía.

Octubre de 2000

- Lun 2 Visita al B/IP "**TANGAROA**", buque científico del NIWA.
Salida de Wellington (14:30 hrs.)

4. RESULTADOS

Los resultados de la Comisión de Servicio al Instituto NIWA de Nueva Zelandia, fueron los siguientes :

4.1 Incorporación de la técnica de preparación de láminas de otolitos de orange roughy para la determinación de edad.

- **Preparación de láminas de otolitos.**

En primer lugar se procedió a familiarizar al Sr. Gili con los equipos y materiales a utilizar y las precauciones inherentes a su funcionamiento y empleo, entre los equipos se cuenta: una cortadora de otolitos con 2 hojas de corte diamantadas marca Struers modelo Acutom 2, una pulidora marca Struers modelo Planopol 2, una estufa de secado digital marca Couthern serie 5 con temperatura graduable hasta 300 °C (Anexo, Fig.1).

El trabajo con las muestras se inicia con la selección de una submuestra estratificada, que en este caso fue de 50 otolitos con tallas comprendidas entre 25 y 63 cm de longitud horquilla. En el laboratorio se monta una línea de procesamiento, agrupando los otolitos de la muestra en lotes de entre 10 y 15 unidades y se inicia con la ubicación y marcaje del punto correspondiente al *primordium* y se marca una línea recta con lápiz indeleble hacia el extremo posterior, consistentemente se usó el otolito izquierdo

- **Inclusión de los otolitos en resina.**

Para la inclusión de los otolitos se utilizan moldes individuales plásticos (Cryomold standard de 25*20*5 mm) numerados de acuerdo a la muestra a preparar, a los

que se les traza una línea recta con el fin de hacerla coincidir, en el momento del montaje, con la ya marcada en el otolito.

En cada molde se vierte una cantidad que permita un grosor aproximado de 1 mm de resina, la que ha sido preparada con Araldite K142 en una proporción de 5 a 1 con el endurecedor. Estos moldes se colocan en una estufa de secado a 50 °C durante tres a cuatro horas.

Pasado ese tiempo los otolitos se instalan en los respectivos moldes haciendo coincidir las líneas trazadas tanto en el molde como en el otolito. El extremo anterior del otolito siempre debe quedar hacia la izquierda. Una vez en su posición, se prepara la resina de la manera ya señalada y se cubre completamente cada otolito. Se corrige la posición y se eliminan las burbujas. Estos moldes se colocan nuevamente en la estufa de secado a 50 °C por 24 horas.

Luego, los otolitos se extraen de los moldes, se numeran y se conservan en la bolsa o sobre correspondiente.

- **Corte de los otolitos.**

Para el corte del otolito incluido en la resina y obtención de las láminas, se utiliza la máquina de corte lento marca Struers modelo Acutom 2 con dos hojas de corte diamantado y un espaciador de aproximadamente 1 mm de espesor con lo que se obtiene una lámina de dicho grosor. Una vez obtenida la lámina se conserva junto a las otras partes en la bolsa correspondiente.

- **Pulido y montaje de las láminas.**

El proceso de pulido es fundamental en la preparación de las láminas de cortes de otolito y se distinguen dos etapas:

- **Pulido manual de una cara y montaje de la lámina.**

Pulido bajo agua con lija al agua grano 400 por app. 5 min.

Pulido bajo agua con lija al agua grano 1200 por app. 5 min.

Pulido en Alumina Linde A hasta que no queden rasguños.

La lámina se fija a un portaobjetos por la cara pulida (contacto de vidrio con cara pulida) mediante Araldite 5 min, se deben mezclar muy bien ambos componentes, la posición de la lámina se debe estandarizar. Se evitan las burbujas y la lámina debe quedar bien unida al vidrio.

Las láminas se ponen en la estufa de secado a 50 °C por 12 horas.

- **Pulido mecánico de la lámina fijada.**

Una vez endurecida la mezcla en las placas, se procede a pulir la superficie de la lámina. Para esto se utiliza la pulidora con lija al agua grano 400 y grano 1200. Se sujetan las placas con un instrumento metálico. Se debe controlar el grosor de la lámina midiendo con un **micrómetro digital**, en esta etapa el *primordium* debe estar alrededor de los 0,5 mm y el margen 0,55 mm. Luego se pasa a la lija 1200 cuidándose de mantener el grosor no inferior a 0,4 en el *primordium* y 0,46 en el margen. No deben quedar rasguños.

Finalmente la lámina se pule con Alumina, el *primordium* o foco debe quedar entre 0,35-0,37 y el margen a 0,40-0,42 mm. de grosor.

La lámina está lista para la lectura.

4.2 Análisis de edad y comparación de lecturas de láminas de orange roughy.

El trabajo se dirigió en primer lugar al análisis de otolitos de ejemplares de tamaño inferior a los 10 cm de longitud estándar, utilizando microscopios estereoscópicos con aumento de 30X e iluminación reflejada, los que presentan entre uno y tres anillos y son los que, en Nueva Zelandia, han sido validados siguiendo clases modales. Se analizó un total aproximado de 35 ejemplares pequeños. Este análisis sobre otolitos enteros y las dimensiones que presentan, cobra importancia al momento del análisis de láminas de otolitos donde es posible observar y medir las marcas correspondientes a los tres primeros anillos de crecimiento.

La determinación de la edad en láminas de otolitos de ejemplares adultos de orange roughy se realizó empleando microscopios estereoscópicos con aumento de 30X y 60X e iluminación transmitida. Las lecturas se realizaron, por una parte, sobre muestras de láminas de otolitos de 30 ejemplares del año 1998, preparadas durante 1999 en el laboratorio del NIWA, ya leídas por la Dra. Tracey y sobre la que se realizó la comparación y discusión de la posición y características de los anillos de crecimiento, así como también sobre la ubicación de la Zona de Transición. Junto a las anteriores se analizaron las muestras que se prepararon durante la pasantía, las que fueron 52 ejemplares.

Los resultados de esta tarea están en directa relación con la discusión que se genera entre las partes al momento de la comparación de lecturas y es lo que permite definir las características de los anillos de crecimiento y la diferencia con los anillos falsos. Asimismo, se establecieron los criterios para definir la Zona de Transición y la formación de anillos a partir de dicha zona.

1. **Zona *Primordium* a Zona de Transición.**- Esta zona corresponde a los anillos ubicados entre el punto de origen o *primordium* del otolito y la denominada Zona de Transición. Es factible observar numerosas marcas, sin embargo

éstas se van agrupando junto a una principal que es la que se identifica como anual. Generalmente se observan gruesas y dependiendo del corte realizado, son de tonalidad café oscuro, al llegar a la Zona de Transición, los anillos oscuros prácticamente desaparecen. Esta área se ha asociado con la edad de primer desove de los ejemplares (Francis y Horn, 1997).

2. Zona de Transición a margen posterior.- Los anillos que se forman después de la Zona de Transición, son más finos que los de la zona anterior y se forman muy próximos entre sí en una secuencia muy regular.

- **Comparación de lecturas**

Como una forma de contar con valores referenciales de determinación de edad, se presenta los resultados obtenidos en la comparación de lecturas, se debe señalar que se trata de comparar lecturas entre analistas con gran desnivel en el conocimiento de la determinación de edad en orange roughy, de manera que los resultados se deben observar bajo este prisma.

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos en la lectura de las muestras de 1998 y del 2000 (30 y 48 ejemplares respectivamente) y las diferencias observadas entre ellos. En la Fig. 1 las comparaciones corresponden a la muestra de 1998, donde es posible observar que en ambos lectores, las determinaciones de edad, están asociadas a la longitud horquilla, aspecto desconocido al momento de la lectura. Otro tanto se puede establecer en la Fig. 2 que en A) se presentan las lecturas del lector con experiencia, en B) las del lector con escasa experiencia y en C) ambas lecturas. Si bien existen diferencias entre los lectores, éstas son más afines de lo esperado, vale decir que no son tan extremas considerando la gran longevidad de la especie y el desnivel en cuanto a la experiencia de los lectores.

Comparando las determinaciones de edad en forma absoluta, y agrupando cada cinco anillos, en la Tabla 3 se observa que el grado de afinidad de lecturas entre 0 y 4 años alcanzó al 47% en la muestra total (C), y entre 5 y 9 años llegó al 22%. Estos valores deberán ser minimizados en la medida que se incremente la experiencia del segundo analista, para llegar a valores aceptables de acuerdo a la longevidad y a las dificultades en la determinación de la edad de la especie en estudio.

4.3 Análisis de edad y comparación de lecturas de alfonsino

Esta especie presenta otolitos de un notable menor grado de dificultad para su interpretación, por lo que incluso es factible de leer entero sin recurrir a aplicar técnicas de preparación para hacer aparentes sus anillos como es el caso de orange roughy y otras especies, especialmente demersales, como congrio (ling), merluzas (hake) y merluza de cola (hoki).

El trabajo se realizó en conjunto con el Dr. Peter Horn en los laboratorios del NIWA ubicados en la ciudad de Nelson en Isla del Sur, Nueva Zelanda y se dirigió hacia los siguientes aspectos:

1. Revisión de lecturas de otolitos de alfonsino de Chile realizadas previamente por Raúl Gili en Valparaíso.
2. Revisión de lecturas de otolitos de alfonsino de Nueva Zelanda realizadas previamente por el Dr. Horn
3. Revisión de lecturas de otolitos de alfonsino de Chile, no leídos previamente.

Los resultados de las lecturas comparadas en esta especie indicaron un alto grado de afinidad, variando en la mayoría de los casos entre 0 y 1 anillo de diferencia (Fig. 3). En aquellos otolitos en que las diferencias fueron mayores, la discusión realizada reveló que ambos lectores tenían el mismo nivel de dudas, de manera que la dificultad se encuentra básicamente en el otolito y no en la disparidad de

criterios. Por lo tanto, queda confirmado que esta especie presenta otolitos de menor grado de dificultad que orange roughy, además que no requiere de tratamiento especial para hacer aparentes los anillos de crecimiento.

4.4 Otros logros de la Pasantía

Durante el transcurso de la Pasantía fue posible conocer algunos aspectos del manejo del Instituto NIWA de Wellington, conocer a algunos de sus investigadores, su importante Biblioteca y su buque de investigación el B/IP "TANGAROA".

En cuanto a publicaciones del NIWA, fue posible solicitarlas sin restricción alguna y las requeridas fueron enviadas por correo, estando próximas a llegar a la Sede del IFOP. Otras fueron traídas personalmente, tales como el Informe del Plenario de las Pesquerías de Nueva Zelandia (2000) entregado al Jefe de la División Sr. M. Aguayo, aspectos de edad de merluza del sur para F. Cerna y aspectos sobre edad de bivalvos para V. Ojeda.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con la evaluación de los resultados obtenidos, se puede concluir que los Objetivos propuestos para esta Pasantía en el NIWA de Nueva Zelandia, se cumplieron en plenitud, incorporando la técnica de preparación de otolitos de O. roughy, integrando los criterios de definición de anillos de crecimiento, tanto en O. roughy como en alfonsino y comprobando que éstos, no difieren mayormente de los empleados comúnmente en especies chilenas. Viene ahora la etapa siguiente que es la de aplicación y transferencia de los nuevos conocimientos en el laboratorio de edad de IFOP en Valparaíso y evaluar sus resultados.

6. OBSERVACIONES

- La evaluación de resultados y comparación de lecturas se realizará durante una visita a Chile de la Dra Tracey, la que probablemente sea efectuada en marzo del 2001
- Otro aspecto a hacer notar es la necesidad de adquirir un Micrómetro digital, instrumento de precisión que se requiere para lograr con seguridad láminas del grosor necesario para la lectura. Dado que ésto se conoció durante la Pasantía, no fue dimensionado en el Proyecto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Annala, J.H., K.J. Sullivan y C.J. O'Brien. (Comps.) 2000. Report from the fishery Assessment Plenary, may 2000: stock assessment and yield estimates. 495 p. Unpublished report held in NIWA library, Wellington.
- Fenton, G; S. Short and D. Ritz. 1991. Age determination of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Pisces: Trachichthyidae) using $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ disequilibria. Marine Biology 109:197-202.
- Francis R.I.C.C. and P.L. Horn. 1997. Transition zone in otoliths of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) and relationship to the onset of maturity. Mar. Biol. 129 : 681-687.
- Mace, P.M., Fenaughty, J.M., Coburn, R.P. and Doonan, I.J. 1990. Growth and productivity of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) on the north Chatham rise. N.Z. J. Mar. Freshwater. Res. 24 : 105-119
- Smith, D.C. and S. G. Robertson. 1992. The problem of ageing orange roughy. In: The measurement of age and growth in fish and shellfish. Hancock, D.A. (ed). Canberra, A.C.T. Australia Bureau of Rural Resources. no. 12 pp. 116-120
- Smith, D.C., G.E. Fenton, S.G. Robertson and S.A. Short. 1995. Age determination and growth of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*): a comparison of annulus counts with radiometric ageing. Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 52, 391-401.
- Tracey, D.M. and P.L.Horn. 1999. Background and review of ageing orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*, Trachichthyidae) from New Zealand and elsewhere. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. Vol. 33: 67-86.

FIGURAS

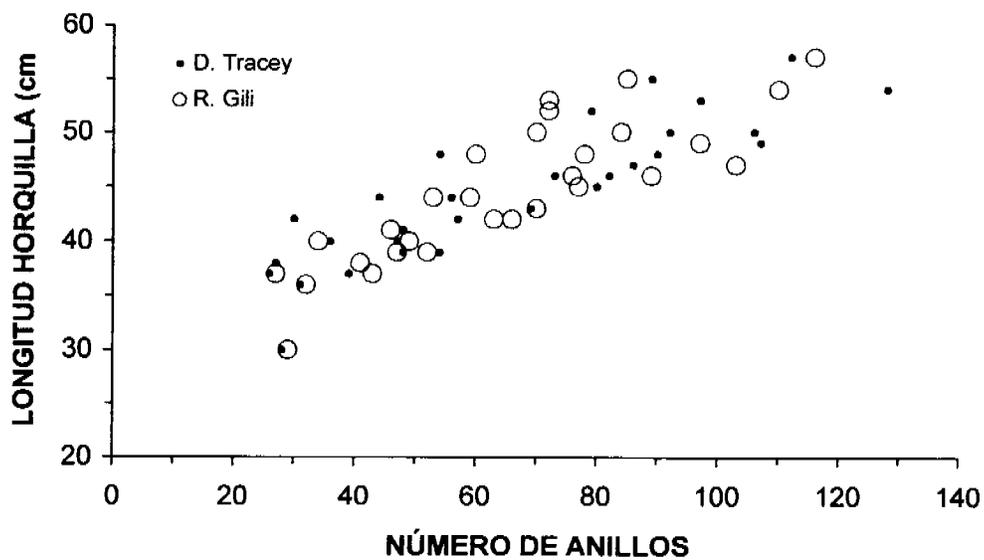


Fig. 1. Comparación de determinaciones de edad entre dos analistas en la muestra de láminas de *orange roughy* de 1998.

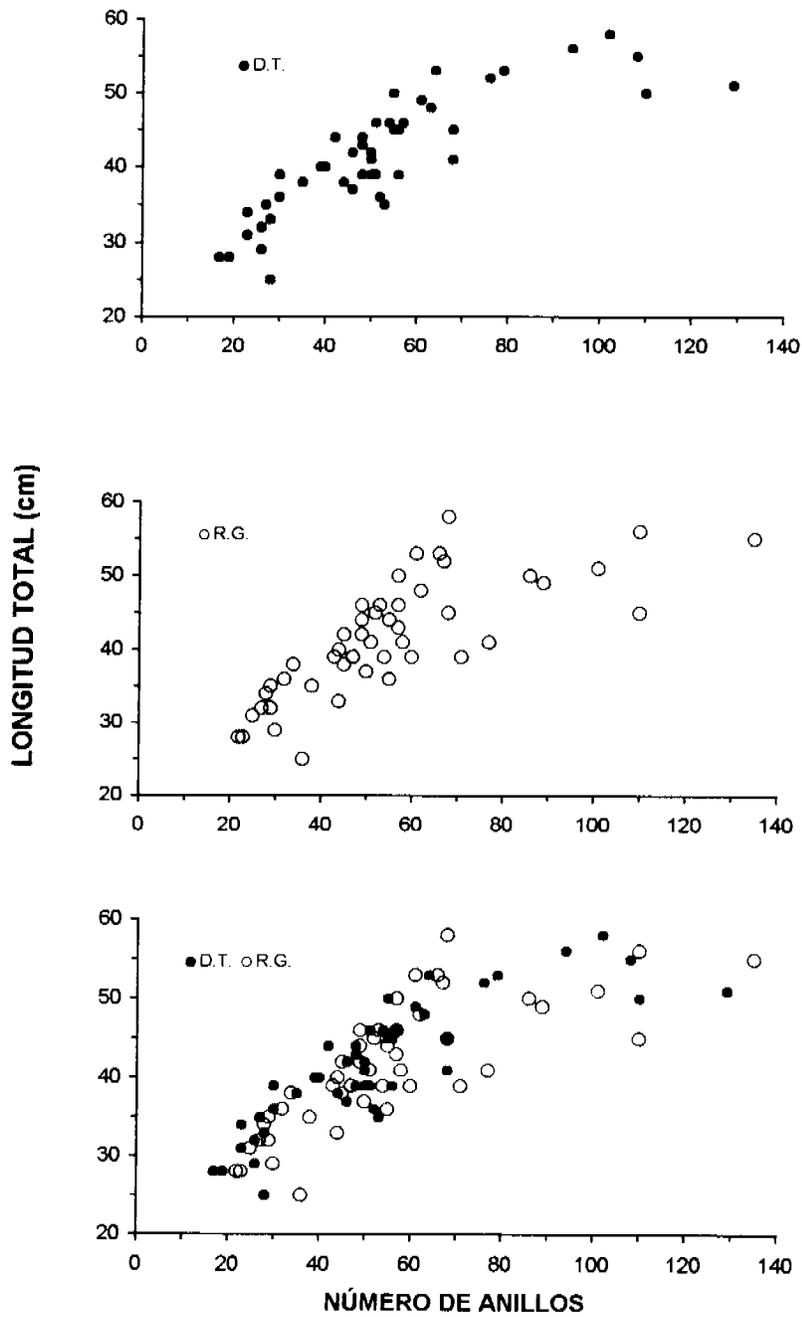


Fig. 2. Comparación de las determinaciones de edad entre dos analistas en la muestra de láminas de otolitos de Orange roughy capturados en el año 2000.

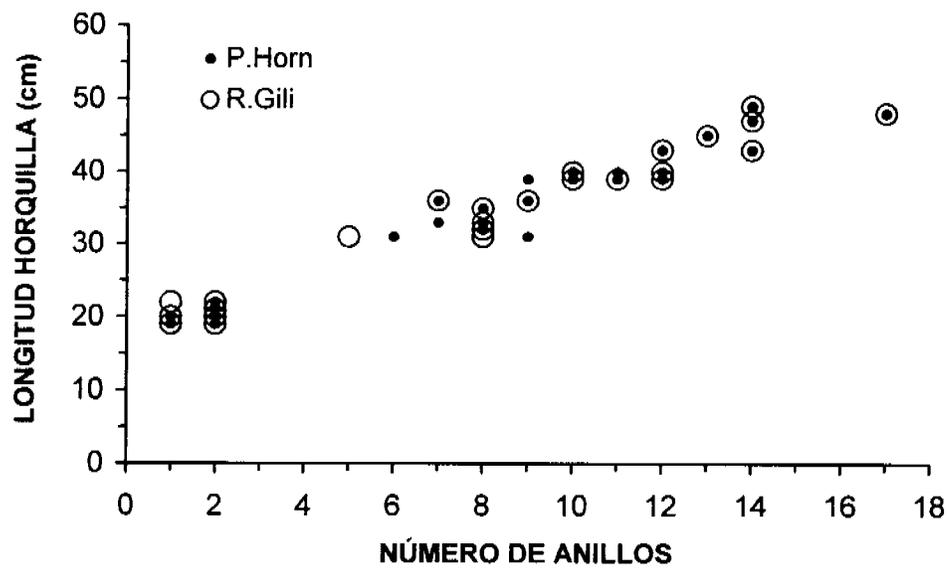
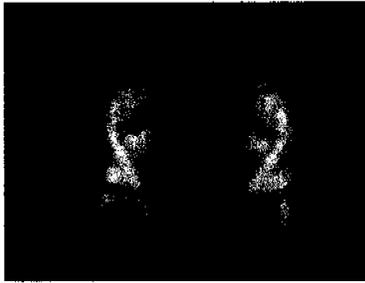
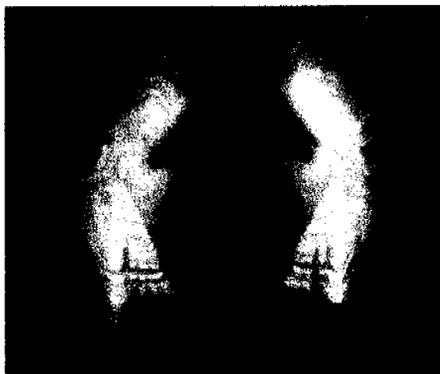


Fig. 3. Comparación de determinaciones de edad entre dos analistas en la muestra de otolitos de *alfonsino* (n:34).



1.



2.



3.

Foto 1. Otolitos de Orange roughy. 1. Hembra de 52 cm LH. 2. Macho de 42 cm LH. 3. Macho de 27 cm LH. (Fotos RG)

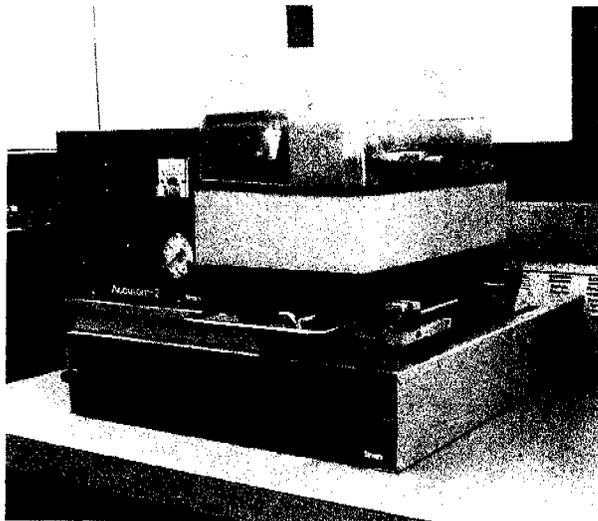


Foto 2. Otolitos sagittae de un macho de Alfonsino de 41 cm de longitud horquilla (Foto R.Gili)

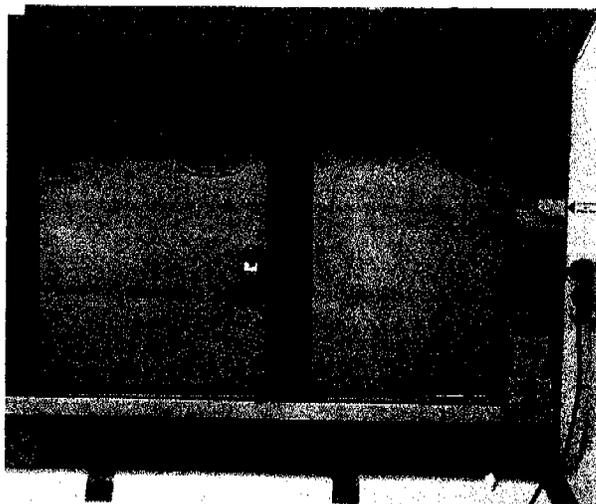
**EQUIPAMIENTO DEL NIWA PARA LA PREPARACIÓN DE LÁMINAS DE
OTOLITOS DE ORANGE ROUGHY**



Pulidora de otolitos.
Marca Struers
Modelo Planopol 2
(Fotos R.Gili)



Cortadora de otolitos.
Marca Struers
Modelo Accutom 2



Estufas de secado.
Marca Couthern
Serie five

TABLAS

Tabla 1. Resultados de las lecturas comparadas entre la Dra. D. Tracey y R. Gili en láminas de otolitos de orange roughy del año 1998. Niwa - Wellington (NZ). Septiembre de 2000.

Muestra N°	Otolito N°	LH (cm)	Número de anillos								
			D. Tracey			R. Gili			Diferencias		
			Prim-ZT	ZT-Borde pos.	Total	Prim-ZT	ZT-Borde pos.	Total	Prim-ZT	ZT-Borde pos.	Total
1	6	53	29	68	97	31	41	72	-2	27	25
2	80	39	29	25	54	31	21	52	-2	4	2
3	101	30	22	8	28	24	5	29	-2	1	-1
4	111	36	27	4	31	28	4	32	-1	0	-1
5	120	37	26	0	26			27		0	-1
6	129	37	30	9	39	28	15	43	2	-6	-4
7	132	55	33	56	89	32	53	85	1	3	4
8	135	52	32	47	79	32	40	72	0	7	7
9	137	50	30	62	92	30	40	70	0	22	22
10	140	41	34	14	48	33	13	46	1	1	2
11	141	40	30	8	36	28	6	34	2	0	2
12	144	54	30	98	128			110			18
13	145	46	27	55	82	28	48	76	-1	7	6
14	147	45	34	46	80	35	42	77	-1	4	3
15	150	36	27	0	27	26	15	41	1	-15	-14
16	157	43	24	45	69	25	45	70	-1	0	-1
17	162	39	29	19	48	32	15	47	-3	4	1
18	168	57	36	76	112	40	76	116	-4	0	-4
19	171	49	33	74	107			97			10
20	195	56		ilegible			ilegible				
21	197	46	28	45	73	32	57	89	-4	-12	-16
22	203	48	30	60	90	29	49	78	1	11	12
23	209	47	35	51	86			103			-17
24	213	42	32	25	57	36	27	63	-4	-2	-6
25	214	40	29	18	47	30	19	49	-1	-1	-2
26	216	50	29	77	106	30	54	84	-1	23	22
27	221	44	28	28	56	33	26	59	-5	2	-3
28	232	48	29	25	54	35	25	60	-6	0	-6
29	244	44	32	12	44	37	16	53	-5	-4	-9
30	253	42	26	4	30	31	35	66	-5	-31	-36

ZT = Zona de Transición

Tabla 2. Resultados de las lecturas comparadas entre D. Tracey y R. Gili en láminas de otolitos de orange roughy del año 2000. Niwa - Wellington (NZ), Septiembre de 2000.

Muestra Nº	Otolito Nº	LH (cm)	Número de anillos								
			D. Tracey			R. Gili			Diferencias		
			Prim-ZT	ZT-Borde pos.	Total	Prim-ZT	ZT-Borde pos.	Total	Prim-ZT	ZT-Borde pos.	Total
1	1	39	25	23	48	25	18	43	0	5	5
2	2	38	27	17	44	30	15	45	-3	2	-1
3	3	42	25	25	50	31	18	49	-6	7	1
4	4	40	25	15	40	29	15	44	-4	0	-4
5	5	40	26	13	39	33	11	44	-7	2	-5
6	9	44	22	20	42	21	26	49	1	-8	-7
7	10	43	31	17	48	33	24	57	-2	-7	-9
8	11	42	27	19	46	29	16	45	-2	3	1
9	12	44	23	25	48	26	29	55	-3	-4	-7
10	15	43									
11	19	45	31	25	56	34	34	68	-3	-9	-12
12	22	45	25	43	68	33	66	110	-8	-23	-42
13	24	41	26	24	50	30	28	58	-4	-4	-8
14	31	33			28	27	17	44			-16
15	32	41	24	26	50	30	21	51	-6	5	-1
16	35	39	29	27	56	30	24	54	-1	3	2
17	43	49	25	36	61	33	56	89	-8	-20	-28
18	67	58	27	75	102	33	35	68	-6	40	34
19	70	36	32	3	35	32	2	34	0	1	1
20	101	37	24	22	46	29	21	50	-5	1	-4
21	127	45	30	25	55	31	21	52	-1	4	3
22	130	46	29	28	57	32	25	57	-3	3	0
23	136	46	32	19	51	35	14	49	-3	5	2
24	137	28			17			23			-6
25	138	28			19			22			-3
26	142	34			23			28			-5
27	172	51	32	97	129	35	66	101	-3	31	28
28	177	35	25	28	53	25	13	38	0	15	15
29	180	36	32	20	52	34	21	55	-2	-1	-3
30	182	52	26	50	76	26	41	67	0	9	9
31	187	39	30		30	28	43	71			-41
32	188	39	27	24	51	31	28	60	-4	-5	-9
33	190	46	23	31	54	25	28	53	-2	3	1
34	191	50	29	26	55	33	24	57	-4	2	-2
35	193	41	34	34	68	36	41	77	-2	-7	-9
36	201	39	31	19	50	32	15	47	-1	4	3
37	203	49									
38	249	56	40	54	94	30	52	110			-16
39	254	35			27			29			-2
40	266	50	29	81	110	31	55	86	-2	26	24
41	284	55	31	77	108	32	103	135	-1	-26	-27
42	292	51									
43	297										
44	321	25	26	2	28	25	11	36	1	-9	-8
45	329	31			23			25			-2
46	330	32			26			27			
47	347	32			26			29			-3
48	348	36			30			32			-2
49	382	48	25	38	63	27	35	62			1
50	406	53	26	53	79	29	37	66	-3	16	13
51	426	29			26	28	2	30			-4
52	429	53	31	33	64	33	28	61	-2	5	3

ZT = Zona de Transición

Tabla 3. Diferencias en el número de anillos determinados por dos analistas en las muestras de lámina: de otolitos orange roughy. Años 1998 ; 2000 y Ambas muestras.

INTERVALO (N° ANILLOS)	1998		2000		AMBAS MUESTRAS	
	FRECUENCIAS	%	FRECUENCIAS	%	FRECUENCIAS	%
0	14	46,7	23	47,9	37	47,4
5	5	16,7	12	25,0	17	21,8
10	3	10,0	2	4,2	5	6,4
15	3	10,0	3	6,3	6	7,7
20+	5	16,7	8	16,7	13	16,7
TOTAL	30	100,0	48	100,0	78	100,0

ANEXO 3

Informe de Pasantía
Segunda etapa. IFOP. Chile

RESUMEN EJECUTIVO

Entre el 12 y 24 de marzo de 2001 en la Sede de Valparaíso del IFOP, se desarrolló la segunda etapa del Convenio de Colaboración entre el NIWA y el IFOP, mediante la cual la Institución de Nueva Zelandia completó la Asesoría sobre técnicas de preparación de secciones de otolitos de orange roughy y análisis de otolitos para la estandarización de criterios de lectura para la determinación de la edad en esta especie.

Para este efecto la investigadora del NIWA Di Tracey, trabajó durante dos semanas con los profesionales encargados de dicho aspecto del estudio en Chile: Raúl Gili y Luis Cid, evaluando el grado de legibilidad de las muestras preparadas en IFOP y aportando criterios para incrementar el grado de acuerdo en las lecturas de las secciones de otolitos de orange roughy.

Los resultados, tanto en la preparación de secciones, como en el grado de acuerdo alcanzado en las lecturas, indican que son muy buenos, de manera que será posible tener un alto nivel de confianza en las determinaciones de edad que se están realizando en IFOP, siendo comparables con las realizadas en Nueva Zelandia y otros países.

1. ANTECEDENTES

El 30 de agosto de 2000, fue la fecha de toma de razón mediante la cual, oficialmente, IFOP se adjudica el proyecto FIP 2000-12 "Estudio de edad, crecimiento y mortalidad natural de los recursos orange roughy y alfonsino". En el marco de dicho estudio, se firmó un Convenio de colaboración con el **National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA) de Nueva Zelanda**.

En este convenio se contempló la transferencia tecnológica sobre la preparación y análisis de otolitos de orange roughy y alfonsino, en cuya primera etapa el jefe del proyecto, viajó a Nueva Zelanda para trabajar con la investigadora Dianne Tracey en Wellington y el Dr. Peter Horn en Nelson, en orange roughy y alfonsino respectivamente. Asimismo, se acordó realizar una segunda etapa consistente en la venida a Chile de la especialista Di Tracey a objeto de evaluar la técnica de preparación de secciones de otolitos de orange roughy que se está aplicando en el laboratorio de IFOP, y además, comparar lecturas de esta especie con los participantes chilenos del estudio. Este programa corresponde al trabajo realizado durante dos semanas con motivo de la estadía de dicha especialista en la Sede de IFOP en Valparaíso, para lo cual, al final de este documento, se entrega su Informe con los comentarios correspondientes.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los resultados de la preparación de secciones de otolitos de orange roughy realizadas en el laboratorio de edad del IFOP en Valparaíso y comparar lecturas de secciones con el fin de incrementar el grado de afinidad entre los analistas, reforzando los criterios de identificación de anillos de crecimiento.

PROGRAMA DE TRABAJO

Participantes : Dianne Tracey – Investigadora NIWA
Raúl Gili V. – Investigador IFOP (Jefe de Proyecto)
Luis Cid M. – Analista IFOP

Lugar : Instituto de Fomento Pesquero – Valparaíso

Período : 12 – 24 de marzo de 2001

3. PLAN DE ACTIVIDADES

Marzo de 2001

Lunes 12 Llegada de D. Tracey a Santiago. Recepción por R. Gili. Traslado a Hotel.

Martes 13 Presentación en IFOP. Reuniones con el Grupo de Edad y Crecimiento y con el Jefe de la División. Conocimiento general del Instituto y sus Investigadores. Inicio de actividades prácticas: Evaluación de la metodología de preparación de secciones.

Miércoles 14 Continuación de la evaluación de la metodología de preparación de secciones de otolitos de orange roughy.

Jueves 15 Lectura de secciones de otolitos.

Viernes 16 Lectura de secciones de otolitos.

Sábado 17 Libre. Conocimiento sobre la ciudad de Valparaíso y alrededores.

- Domingo 18 Libre. Conocimiento sobre la ciudad de Valparaíso y alrededores.
- Lunes 19 Lectura de secciones de otolitos. Reunión con el Director Ejecutivo del IFOP.
- Martes 20 Lectura de secciones de otolitos. Reunión con R. Bahamonde y S. Lillo.
- Miércoles 21 Lectura de secciones de otolitos. Reunión en la Subsecretaría de Pesca con el Sr. Ricardo Norambuena y diferentes sectorialistas.
- Jueves 22 Lectura de secciones de otolitos. Evaluación de resultados de la interpretación de los otolitos.
- Viernes 23 Lectura de secciones de otolitos. Reunión final con el Jefe de la División. Reunión con Z. Young y R. Taschieri.
- Sábado 24 Evaluación de resultados de la interpretación de los otolitos. Discusión de los criterios de identificación utilizados emisión de Informe preliminar. Fin de las actividades.

4. RESULTADOS

El trabajo se organizó de manera que durante las dos semanas disponibles se pudiera cumplir con los objetivos planteados en cuanto a los aspectos técnicos y además, fuera posible sostener reuniones ejecutivas con diferentes investigadores del IFOP relacionados con temas afines.

4.1 Evaluación de la técnica de preparación de secciones longitudinales de otolitos de orange roughy.

R. Gili y L. Cid realizaron una completa demostración de la técnica aplicada en el laboratorio para la obtención de secciones de otolitos de orange roughy, señalando los pasos seguidos, de acuerdo a la técnica que se utiliza en el NIWA e identificando las modificaciones realizadas para su adaptación a las condiciones del medio nacional. En seguida se analizaron las láminas fijadas en portaobjetos a fin de establecer su calidad en cuanto a la legibilidad. Como resultado de esta actividad, la investigadora constató que los procedimientos siguen la técnica del NIWA, con algunos refinamientos, lo que le ha permitido afirmar que las secciones son de muy buena calidad, similares a las realizadas en el NIWA.

4.2 Lecturas de secciones de otolitos y comparación de resultados.

Esta fue la actividad que ocupó alrededor del 75% del tiempo de trabajo, ya que el otolito de esta especie, presenta dificultades para la discriminación de los anillos que ameritan un mayor trabajo conjunto, y así tender a la estandarización de criterios de interpretación.

Durante el trabajo bajo microscopio, se analizaron las secciones por parte de los tres analistas y en ocasiones, las mismas estructuras fueron analizadas dos veces por cada persona. Así con esta tarea fue posible discutir cada una de las muestras disponibles y alcanzar una progresión positiva en los niveles de acuerdo en las lecturas. Todo ello indica que la estimación de edad de orange roughy, que se efectuará en Chile, será confiable y comparable con la realizada en otras latitudes sobre esta especie.

4.3 Otras actividades.

Durante el período de trabajo de la investigadora en el laboratorio de determinación de edad del IFOP, se organizaron algunas reuniones de trabajo con investigadores del Instituto, cuya labor tiene directa relación con el Tema que motivó la venida de la Dra. Tracey a Chile. Vale decir personal de la Unidad Edad y Crecimiento, investigadores del Seguimiento de pesquerías demersales Centrosur y con las principales autoridades de la Institución. Todo ello ha permitido, por una parte, recabar un mayor grado de conocimiento sobre las actividades que se realizan en el **NIWA**, tanto en lo que se refiere a los aspectos técnicos propiamente tales como a los organizativos de dicha institución científica neozelandesa y por otra crear o incrementar los contactos profesionales entre investigadores de ambos Organismos de investigación. Así también se realizó una reunión de trabajo en la Subsecretaría de Pesca con el Sr. Ricardo Norambuena y numerosos sectorialistas de dicha Institución.

Un aspecto de relevancia, lo constituye el hecho que Di Tracey, en su viaje a Chile pasó a la ciudad de Monterrey en California (EE.UU), con el fin de contactarse personalmente con los investigadores Greg Cailliet y Allen Andrews, quienes en el laboratorio de Moss Landing han perfeccionado las técnicas radiométricas para

determinación de edad en peces y otros organismos marinos como los corales. El objetivo específico de la investigadora del NIWA fue establecer la posibilidad real de validar las determinaciones de edad realizadas en orange roughy, mediante las técnicas radiométricas refinadas por estos científicos norteamericanos. Con ello existe un preacuerdo con el NIWA para realizar la validación de la edad de orange roughy y otras dos especies de importancia económica en Nueva Zelanda.

5. COMENTARIOS FINALES

Con la participación de Di Tracey en Chile, se cierra un capítulo del Convenio de Colaboración con el NIWA en un aspecto puntual como es la determinación de la edad en orange roughy, a pesar de que seguiremos trabajando en conjunto. Sin embargo, el contacto personal queda, y no sólo para los participantes directos en el proyecto en cuestión, sino que para todo el resto del Instituto que así lo requiera, ya sea con esta investigadora o con otros de los numerosos que trabajan en dicha institución y que están desarrollando su quehacer en recursos afines a los de Chile. Por ello es posible decir que lo realizado hasta el momento en este proyecto con la materialización del primer Convenio NIWA-IFOP ha sido exitoso.

A summary of the orange roughly ageing project carried out in Chile by Di Tracey as part of a consultancy between NIWA and IFOP.

By Di Tracey

March 2001-24

1. METHODS

- **Preparation:**

The otolith thin section preparation technique followed the method described in Tracey & Horn (1999). Some changes and refinements were made to the technique (Raul Gili and Luis Cid pers comm). When mixing the resin the amount of hardener was reduced from that used by NIWA. Resin was used to fix the otolith thin section to the slide, and no aluminum was used during the polishing stage. For the final polishing stage a soft upholstery fabric was attached to the grinding wheel and all otolith thin sections were polished with the cloth. This removed any surface scratches and improved the clarity of the otolith section.

- **Otolith reading:**

Initially the reading protocol was re-stated and discussed with Raul and Luis. A sub-sample of the Chilean orange roughly otolith samples that had been prepared and aged in New Zealand by Raul and Di were then re-read by Di, Raul, and Luis. This ensured that although the microscopic equipment was slightly different and a measuring graticule was not available to measure the zones from 0 to 3 years, the otolith zone counts were consistent between the readers. The same magnification as used in NIWA was used to count the zones from the primordium to the transition zone (x36). A higher magnification was used to count from the transition zone to the outer margin of the otolith section (x100 as opposed to x64).

The otolith samples prepared in Chile were then aged by the three readers. Frequent comparisons were made between and within readers to ensure that the reading protocol was understood and was being followed consistently. Several samples were read twice by each reader to check for accuracy and for repeatability comparisons.

2. COMMENTS

The otolith thin sections prepared in Chile are of a very high quality and zone counts have been able to be obtained for most otoliths. At times counts could not be obtained accurately or confidently and the otolith section needed to be rejected. Normally this was due more to an atypical zone formation or to an unreadable otolith section edge, than to the otolith preparation technique itself. To date the proportion of unreadable otoliths has been low.

Overall the between reader agreement has been very good and there should be confidence in the results of the zone counts of orange roughy that will be obtained by IFOP staff in the future. As expected there is some between reader difference of zone counts (N.B. up to 10% error has been estimated for the New Zealand studies, see Doonan 1994). Typically the between reader error occurs primarily for the post transition zone counts. Good agreement usually takes place from the primordium to the transition zone where the zones are clear and regularly spaced. This was also found to be the case when ageing the Chilean samples.

It is valuable to have an additional person trained in the interpretation of orange roughy growth zones. Luis has now been trained to a similar level of Raul and can carry out this work.

To date no detailed analyses have been carried out of the orange roughy otoliths aged by the readers. First impressions are that the age to the transition zone is similar to the ages found in the New Zealand stocks (probably more similar to the Chatham Rise fishery). The maximum total ages however appear to be a higher which is expected for a orange roughy fisheries in an early stage of exploitation.

Estimates of natural mortality (M) need to follow the methods described in either Doonan (1990), Doonan and Tracey (1997), or in Tracey *et al.* (2000). The Chapman Robson estimator for M is applied in Tracey *et al.* (2000).

3. REFERENCES

- Doonan, I.J. 1994. Life history parameters of orange roughy: estimates for 1994. New Zealand Fisheries Assessment Research Document 94/12. 13p.
- Doonan, I.J. and D. M. Tracey. 1997. Natural mortality estimates for orange roughy in ORH 1 (Bay of Plenty). New Zealand Fisheries Assessment Research 97/26. 9p.
- Tracey, D.M. and P.L. Horn. 1999. Background and review of ageing orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*, Trachichthyidae) from New Zealand and elsewhere. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. **33**: 67-86.
- Tracey, D.M., K. George, and D.J. Gilbert. 2000. Estimation of Age, growth, and mortality parameters of black cardinalfish (*Epigonus telescopus*) in QMA 2 (East coast North Island). New Zealand Fisheries Assessment Research Report 2000/27. 15p.

ANEXO 4

**Muestras biológicas
de orange roughy y
alfonsino en una planta
de la octava región**



Foto 1: Preparación de los materiales y equipos de muestreo biológico en una Planta Pesquera de la VIII Región. La tenida de trabajo, en su totalidad, debe estar absolutamente limpia previo al ingreso a la pesquera



Foto 2: Corte ventral desde el ano hacia el sector anterior para observar el sexo y el estado de madurez sexual.



Foto 3: Observación del sexo del ejemplar y el estado de madurez sexual.



Foto 4: Pesando individualmente los peces. Peso total, luego peso eviscerado.



Foto 5: El cuchillo indica la posición del corte sobre el cráneo para la extracción de los otolitos de orange roughy



Foto 6: Inicio de corte para extracción de otolitos en orange roughy



Foto 7: Extracción de otolitos de los sáculos del oído. A la derecha se observa el cerebro.



Foto 8: Vista frontal de la extracción de otolitos



Foto 9: Extracción de otolitos.



Foto 10: Otolito izquierdo sobre la cabeza del pez indicando la dirección del otolito en el oído del pez.

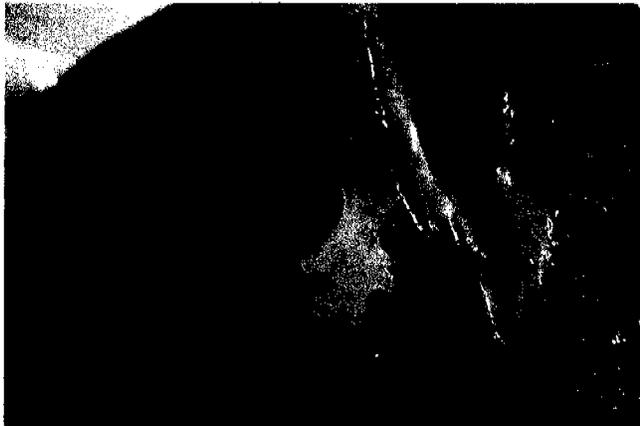


Foto 11: Aproximación de la foto anterior. Se observan marcas en el otolito debido a la hidratación natural.



Foto1: Mesón de muestreo biológico para Alfonsino y Orange roughy



Foto 2: Corte sobre el cráneo de Alfonsino para extraer los otolitos sagitta

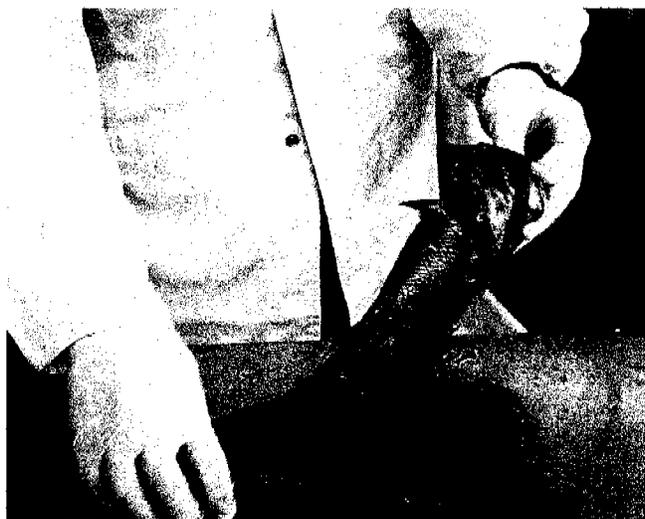


Foto 3. Visualización de los otolitos de Alfonsino

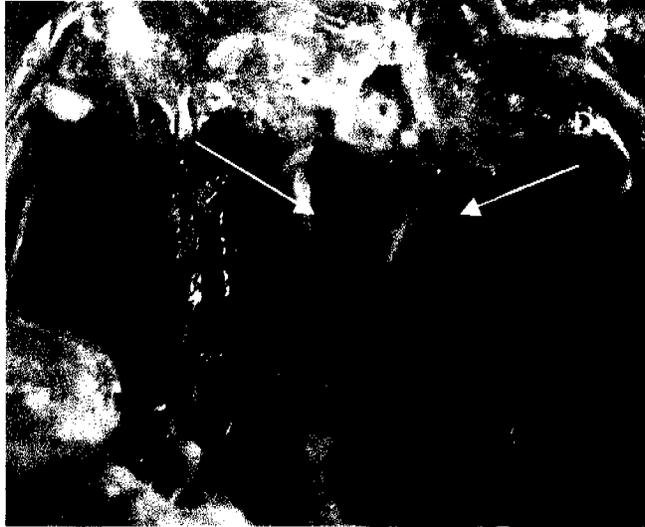


Foto 4: Ubicación de los otolitos en los sáculos. Las flechas indican el otolito izquierdo y el derecho. El cerebro al centro-superior



Foto 5: Otolito izquierdo fuera de su posición.



Foto 6: Otolito izquierdo de alfonsino. Nótese los diferentes guantes que debe usar el muestreador en estas especies.



Foto 7: Otolito izquierdo sobre la cabeza del pez indicando la posición del otolito en el oído del pez.