



INFORME FINAL

FIP Nº 97 - 20

**Parámetros poblacionales  
de raya volantín VIII a  
X Regiones y métodos de  
asignación de edades**

abril

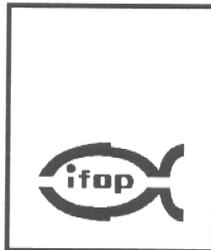
1 9 9 9

## **REQUIRENTE**

**CONSEJO DE INVESTIGACION PESQUERA - CIP**  
**Presidente del Consejo: JUAN MANUEL CRUZ SANCHEZ**

## **EJECUTOR**

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - IFOP**  
**Director Ejecutivo: PABLO ALVAREZ TUZA**



**JEFE DE PROYECTO**

**RAUL GILI V.**

**AUTORES**

**RAUL GILI V.  
MIGUEL DONOSO P.  
VILMA OJEDA C.  
AMALIA LOPEZ A.  
HERNAN MIRANDA P.**

**CONSULTOR**

**MARCO SALAMANCA O.**

• Abril de 1999 •



## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente -Informe final se presentan los resultados logrados sobre el estudio de determinación de la edad y la época de desove de raya volantín entre la VIII y X Regiones.

En los inicios del estudio, la obtención de las muestras de vértebras y gónadas, aspecto de gran sensibilidad de este estudio, se vió seriamente entorpecida por el cierre de la única Empresa dedicada a la captura de rayas, lo que se debió a la pérdida del poder comprador de este recurso, surgida a raíz de la crisis asiática. Posteriormente, ésto se logró subsanar con la colaboración de las Empresas pesqueras de la XI Región que operan también en aguas de la X Región y que capturan rayas como fauna acompañante de la merluza común.

Otro aspecto relevante del estudio fue la identificación de la especie, tema al que se le dio especial atención a objeto de clasificar en terreno a la especie objetivo (*Raja chilensis*) y separar de las muestras aquéllas que podrían corresponder a otra especie. Un segundo filtro lo constituyó la identificación de formas diferentes en las láminas de vértebras en los ejemplares que provendrían de otra especie, que probablemente sería *R. trachyderma*. De esta manera se podría asegurar con un alto grado de confianza que los resultados que se entregan en este Informe corresponden a *Raja chilensis*.

Entre otros logros de este estudio está el optimizar la técnica de obtención de láminas de vértebras, logrando piezas de buena calidad, en corto tiempo y con el mínimo de pérdidas.



Se realizó un estudio de determinación de radioisótopos en las vértebras de raya, que se constituye en el primer avance de este tipo efectuado en peces cartilagosos en Chile, y que son muy escasos en el mundo. Se detectó la presencia de  $^{210}\text{Pb}$  en las vértebras de raya, lo que permite establecer que es factible determinar la edad de estos peces mediante técnicas radiométricas. De la segunda fase del estudio, se constató que para obtener edades más confiables es necesaria la utilización de modelos de decaimiento que involucren a dos isótopos como el par  $^{210}\text{Pb} / ^{226}\text{Ra}$  el que está basado en los principios de desequilibrio radioactivo entre pares de isótopos de una serie de decaimiento.

Las microfotografías realizadas a las vértebras revelaron una estructura en la cual se van depositando las capas de material, constituyéndose las más externas en las más jóvenes, aspecto fundamental en la determinación de edad mediante el uso de las estructuras duras.

Los tests estadísticos aplicados para comparar las asignaciones de edad, señalaron una concordancia aceptable, tomando en consideración la longevidad que caracteriza a esta especie (se determinó la edad a ejemplares de 21 años).

Se elaboró la relación talla-edad para *R.chilensis* separando por sexos y se ajustaron los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy cuyas ecuaciones fueron:

$$\begin{aligned} \text{MACHOS : } Lt &= 131,9 \text{ cm} * \left[ 1 - e^{-0,079 (t + 3,175)} \right] \\ \text{HEMBRAS : } Lt &= 143,8 \text{ cm} * \left[ 1 - e^{-0,073 (t + 2,545)} \right] \\ \text{AMBOS : } Lt &= 143,9 \text{ cm} * \left[ 1 - e^{-0,070 (t + 2,975)} \right] \end{aligned}$$



Los análisis realizados para establecer la existencia de diferencias significativas entre el crecimiento de machos y hembras, fueron positivos lo sugieren un tratamiento independiente para los sexos.

El análisis de los parámetros indica que esta especie presenta una tasa de crecimiento lenta y una longevidad media-alta, al compararla con otras especies del Género *Raja* .

Se elaboró una nueva escala de madurez sexual de 5 estados, en la que se incorporó el desarrollo de la glándula de la cápsula, lo que contribuye a hacerla más confiable y práctica. Además se determinó que la talla de primera madurez se produce a los 96 cm de longitud total. Se corroboró que esta especie desova en los meses de verano. Un segundo período de desove en invierno no fue posible constatarlo.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---



## INDICE GENERAL

	Página
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	i
<b>INDICE GENERAL</b> .....	v
<b>INDICE DE FIGURAS Y TABLAS</b> .....	vii
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	7
3.1 Objetivo general .....	7
3.2 Objetivos específicos .....	7
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	9
4.1 Zona de estudio.....	9
4.2. Plan de muestreo biológico.....	9
4.2.1 Aspectos taxonómicos. Clave de terreno para identificar las especies de rayas que componen las capturas .....	9
4.2.2 Muestreo de los desembarques.....	10
4.2.3 Diseño estadístico.....	10
4.3 Estudio de edad y crecimiento en vértebras de raya.....	16
4.3.1 Características morfológicas de las vértebras.....	16
4.3.2 Obtención de las muestras.....	17
4.3.3 Preparación de las muestras .....	17
4.3.4 Otras técnicas de preparación de láminas.....	18
4.3.5 Validación de la edad.....	19
4.3.6 Lectura de las láminas.....	22
4.3.7 Comparaciones de las determinaciones de edad .....	23



4.4	Estimación de los parámetros de crecimiento-----	25
4.5	Comparación de las curvas de crecimiento-----	27
4.6	Ciclo de madurez reproductiva y época de desove -----	28
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION-----</b>	<b>31</b>
5.1	Aspectos taxonómicos-----	31
5.2	Tamaño de la muestra analizada y proporción sexual-----	38
5.3	Estudio de edad en vértebras de raya -----	40
5.3.1	Preparación de las láminas-----	40
5.3.2	Otras técnicas de preparación de láminas-----	42
5.3.3	Validación de la edad-----	43
5.3.4	Lectura de las láminas-----	44
5.3.5	Comparación de las determinaciones de edad-----	45
5.3.6	Relación talla-edad de raya volantín -----	51
5.4	Estimación de parámetros de crecimiento-----	53
5.4.1	Comparación de los parámetros de crecimiento entre sexos -----	56
5.4.2	Comparación entre especies del Género <i>Raja</i> -----	57
5.5	Ciclo de madurez reproductiva y época de desove -----	59
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES -----</b>	<b>63</b>
<b>7.</b>	<b>OBSERVACIONES-----</b>	<b>67</b>
<b>8.</b>	<b>AGRADECIMIENTOS -----</b>	<b>67</b>
<b>9.</b>	<b>BASE DE DATOS -----</b>	<b>69</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----</b>	<b>75</b>

**FIGURAS**

**TABLAS**

**ANEXOS**

<b>ANEXO 1</b>	<b>Morfología externa de Raya</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>Instructivo para el muestreo de vértebras y gónadas de Raya</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>Estudio “Detección de isótopos naturales en vértebras de Raya volantín”</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>Determinación de edades radiométricas y tasa de crecimiento de raya volantín <i>Raja (Dipturus) chilensis</i></b>



## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS

- Figura 1. Lámina de vértebra de 0,3 mm de espesor de *Raja chilensis*, individuo de 71 cm LT.
- Figura 2. Láminas de vértebras de raya. (a) Forma "típica", lóbulos anchos, individuo de 71 cm LT. b) forma "atípica," lóbulos delgados, individuo de 137 cm LT.
- Figura 3. Dispersión de las lecturas de edad del Lector 1 v/s el Lector 2, con repetición, en láminas de vértebras de raya y curva ajustada a ambas variables.
- Figura 4. Distribución de frecuencias de tallas de rayas por sexos en la muestra para el estudio de edad y crecimiento. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Figura 5. Distribución de edades observadas en láminas de vértebras de raya en la muestra analizada. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Figura 6. Distribución de tamaños de los ejemplares de rayas entre las edades 5 y 15. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Figura 7. Relación talla-edad observada de machos y hembras de raya (*Raja chilensis*) Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Figura 8. Curvas de crecimiento del modelo de von Bertalanffy para machos, hembras y ambos. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Figura 9. Talla de primera madurez de hembras de raya volantín.
- Figura 10. Índice gonádico de raya volantín por mes.



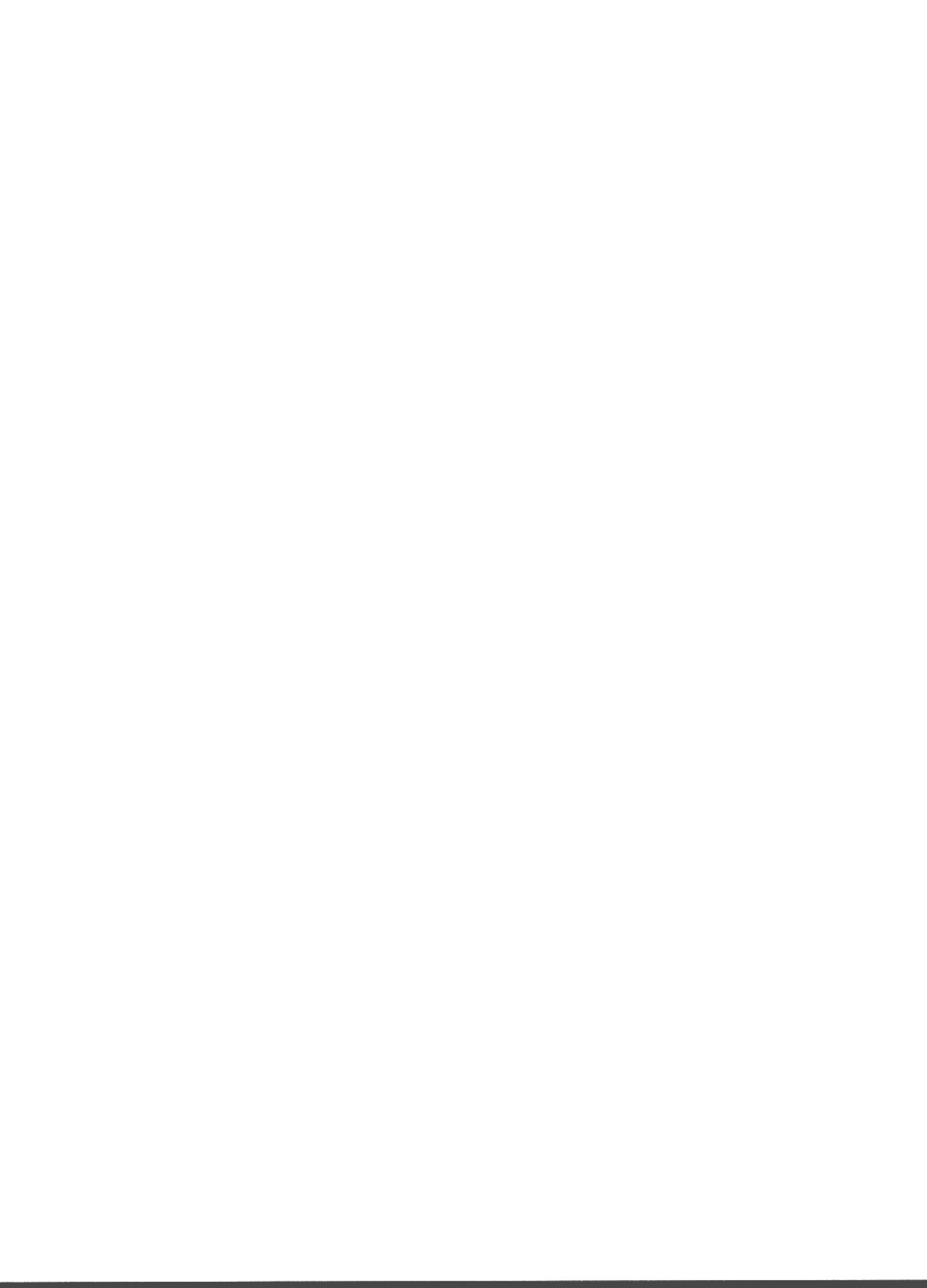
## TABLAS

- Tabla 1. Edades de raya asignadas en forma independiente por Lector1 y Lector 2.
- Tabla 2. Longitudes promedio y longitudes mínimas y máximas observadas por edad de raya. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998
- Tabla 3. Pesos promedio (gramos) y pesos mínimos y máximos observados (relación longitud-peso) por edad de raya. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998
- Tabla 4. Parámetros de crecimiento en longitud del modelo de von Bertalanffy para raya por sexo. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998
- Tabla 5. Longitudes promedio por edad estimadas para raya mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998
- Tabla 6. Comparación de los parámetros de crecimiento de *R. chilensis* mediante el test de Hotelling ( $T^2$ ).
- Tabla 7. Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de raya volantín mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.
- Tabla 8. Comparación de los parámetros de crecimiento estimados para raya en Chile.
- Tabla 9. Comparación de los parámetros de crecimiento estimados para distintas especies del Género *Raja*.
- Tabla 10. Número de individuos por estado de madurez por mes.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---





## 1. INTRODUCCIÓN

La pesquería de raya (*Raja sps*) se realiza entre la VIII y la X Regiones del país, lográndose volúmenes de captura de alrededor de las 3.000 toneladas anuales en los últimos años. Esta pesquería se inició como fauna acompañante de merluza común en las capturas de la flota de arrastre en la zona centro sur y de merluza del sur y congrio dorado en la zona sur austral. Posteriormente, se fue desarrollando para constituirse en un recurso alternativo de la flota artesanal e industrial que opera principalmente sobre merluza común en la zona centro sur y luego como especie objetivo para una empresa radicada en la X Región.

El recurso raya llegó a considerarse como una interesante fuente de ingreso para un sector de pescadores artesanales ubicados entre la VIII y X Regiones, que motivados por el poder de compra existente, han ejercido actividades extractivas sobre este tipo de peces cartilaginosos. En la actualidad, la crisis económica iniciada en los países asiáticos, principales importadores de este recurso, se ha reflejado en una baja en la demanda y en consecuencia, los desembarques han disminuído notablemente.

En las estadísticas pesqueras chilenas, al igual como sucede en numerosas pesquerías de rayas en el mundo, especialmente en las de Gran Bretaña, dentro del ítem rayas se incluyen varias especies (Holden, 1977; Pequeño y Lamilla, 1997; Nottage y Perkins, 1983). En efecto, dentro del género *Raja* en Chile, al menos habrían dos, tal como lo señala Leible (1987a) y Sielfeld y Vargas (1992), éstas serían *R. chilensis* (antes *R. flavirostris*) y *R. trachyderma*. Más aún, además de estas especies que pertenecen al subgénero *Dipturus*, están presentes también otros representantes de los subgéneros *Malacoraja*, *Rajella* y *Amblyraja*. (Pequeño, 1989 y Pequeño y Lamilla, 1997).



Dada la importancia de contar con los antecedentes biológicos necesarios para su manejo, tales como la edad, el crecimiento y la madurez sexual, el Fondo de Investigación Pesquera (FIP) solicitó la ejecución de un estudio para obtener una relación talla-edad por sexo, validar la determinación de edad y estimar los parámetros de crecimiento y la época de desove de raya volantín (*R. chilensis*).



## 2. ANTECEDENTES

Los peces elasmobranquios presentan características diferentes a las de los peces óseos y han evolucionado en forma independiente por, al menos 450 millones de años y al parecer, desde el período Carbonífero han desarrollado un patrón de vida similar al que se observa en la actualidad. Este patrón consiste en un lento crecimiento, gran tamaño de los adultos, reproducción tardía y producción de pocos y bien formados individuos. Esta estrategia es muy similar a la de los reptiles marinos (Hoenig y Gruber, 1990).

La edad en elasmobranquios se ha determinado utilizando las zonas depositadas en el centro de las vértebras. Estas zonas comprenden bandas opacas (a la luz reflejada) con alta concentración de calcio y fósforo y bandas translúcidas que están menos mineralizadas (Cailliet *et al.*, 1983a). Las diferencias en las proporciones de los constituyentes orgánicos e inorgánicos presentes, se traduce en una alternancia de bandas concéntricas, correspondiendo a zonas de crecimiento rápido (con mayor acumulación de componentes inorgánicos) y a zonas de crecimiento lento (con mayor deposición del componente orgánico).

En el exterior, se han realizado varios estudios de determinación de edad en especies del Género *Raja* empleando diversos métodos. Holden (1972) realizó estimaciones de parámetros de crecimiento para tres especies: *R. brachyura*, *R. clavata* y *R. montagui* basado en estudios de marcaje en el Mar Irlandés y en el Canal Bristol. Du Buit (1977), estimó edad y crecimiento para *R. batis* y *R. naevus* del Mar Céltico, basado en anillos en cuerpos vertebrales. Ryland y Ajayi (1984), estimaron también parámetros de crecimiento para tres especies de la pesquería mixta de la Bahía



Carmarthen, sur de Gales, estas especies fueron *R. clavata*, *R. microocellata* y *R. montagui*. y se utilizaron los cuerpos vertebrales para determinar la edad. En 1985, Brander y Palmer informaron de una estimación de tasas de crecimiento para *R. clavata* del Noreste del Mar Irlandés basado en las distribuciones de frecuencias de longitudes y comparando con estudios anteriores de otros autores.

La información disponible en Chile, acerca de la edad y el crecimiento de estos peces cartilaginosos es muy escasa. Entre ellas se cuenta con la tesis de grado de Fuentealba (1989), quien estima parámetros de crecimiento de *Raja (Dipturus) flavirostris* capturadas en la VIIIª Región, mediante el análisis de cortes de vértebras y con una muestra de 129 ejemplares. Ajusta los siguientes valores de los parámetros del modelo de von Bertalanffy:

- Machos :  $L_{\infty}$  : 118,9 cm ;  $K$  : 0,123 ;  $t_0$  : -1,43
- Hembras:  $L_{\infty}$  : 123,6 cm ;  $K$  : 0,127 ;  $t_0$  : -1,34

Luego, Gili en Bahamonde *et al.*, (1994), con muestras de rayas capturadas en la zona de Puerto Montt y empleando una técnica similar a la de Fuentealba (*op cit*), realiza también un ajuste de parámetros, obteniendo valores de  $L_{\infty}$  : 117,9 cm para machos y de  $L_{\infty}$  : 149,0 cm para hembras, este último resulta ser más alto que el estimado por la autora anterior. En dicho documento se discute la posibilidad de la existencia de algún grado de mezcla de dos especies en las capturas de raya apareciendo *Raja trachyderma* junto a *R. flavirostris*, como lo menciona Leible (1987 a y b).



Posteriormente, Gili en Bahamonde *et al.*, (1996), en un nuevo trabajo de pesca exploratoria de raya, esta vez en la zona sur austral de Chile, realiza un estudio sobre edad y crecimiento de raya volantín, efectuando dos innovaciones con respecto a los anteriores: por una parte mejora la técnica de obtención de láminas de vértebras con el empleo de una máquina de corte ISOMET, lográndose muestras de buena calidad y disminuyendo considerablemente los cortes ilegibles, y por otra, realiza los ajustes de crecimiento ingresando la totalidad de los pares de datos de talla-edad actual, con lo cual se considera en forma adecuada la varianza de los datos; en los estudios anteriores se habían ajustado los parámetros con las tallas medias a las diferentes edades. Se determinó una relación talla-edad y los parámetros de crecimiento estimados para la población estudiada fueron:

- Machos :  $L_{\infty}$  : 171,5 cm ;            K : 0,049 ;             $t_0$  : -3,449
- Hembras :  $L_{\infty}$  : 187,2 cm ;            K : 0,046 ;             $t_0$  : -2,822
- Ambos :  $L_{\infty}$  : 182,2 cm ;            K : 0,046 ;             $t_0$  : -3,125

En cuanto a los aspectos reproductivos, las rayas son ovíparas y tienen una baja tasa de reproducción con altas tasas de mortalidad entre los peces juveniles (Nottage y Perkins, 1983). Berestovskii *et al.*, (1994) indican que la duración del desarrollo embrionario de las rayas depende del tamaño específico del pez, la cantidad de huevos puestos por ellos y la temperatura del agua. Por otra parte, a diferencia de la mayoría de los teleósteos, que tienen sitios de desove bien definidos, las rayas depositan huevos en toda su extensión (Waring, 1984).

Además, Fuentealba y Leible (1990), utilizando el índice gonadosomático (IGS) y la relación diámetro del óvulo-tiempo, determinaron que *R. flavirostris* desova una vez



al año durante los meses de verano. Este estudio fue realizado con muestras procedentes del golfo de Arauco entre los meses de agosto y abril. Por otra parte, Donoso en Bahamonde *et al.*, (1996) estableció, empleando el IGS y los estados de madurez, que esta especie desova dos veces en el año, encontrándose cápsulas con embriones en los meses de enero y julio. Lo que coincide con lo reportado para *R. eglanteria* y *R. erinacea* en el hemisferio norte en que la producción de huevos encuentra sus valores más altos durante noviembre-enero y junio-julio (Richards *et al.*, 1963 ; Fitz and Daiber, 1963 *fide* Waring, 1984).



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Conocer los principales aspectos de la dinámica del crecimiento y del ciclo reproductivo anual de la raya volantín (*Raja flavirostris*) entre la VIII y X Regiones.

#### 3.2 Objetivos específicos

- 3.2.1 Validar los criterios de asignación de edades en raya volantín para la zona de estudio.
- 3.2.2 Determinar la relación talla-edad observada en el recurso raya volantín, por sexo, para la zona de estudio.
- 3.2.3 Estimar los parámetros de crecimiento de raya volantín en la zona de estudio.
- 3.2.4 Determinar la época de desove de raya volantín en la zona de estudio.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---



## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Zona de estudio**

El presente estudio abarca las actividades extractivas de raya realizadas entre la VIII y X Regiones.

### **4.2 Plan de muestreo biológico**

#### **4.2.1 Aspectos taxonómicos. Clave de terreno para identificar las especies de rayas que componen las capturas.**

De acuerdo con lo observado en terreno, las capturas de raya están compuestas por varias especies similares, que en las estadísticas normalmente aparecen dentro del ítem "Rayas". La causa de esta mezcla está relacionada, por una parte, con la dificultad que presentan algunas especies para ser identificadas y separadas por los muestreadores en terreno y por otra, con la escasa frecuencia de aparición en las capturas de algunas de las especies en ciertas zonas, quedando todas englobadas dentro del grupo mayoritario. Cabe señalar que en las Empresas Pesqueras, ya sea a bordo de las embarcaciones o en las Plantas procesadoras, se produce el descarte de las especies que no son de interés para el exportador, limitándose al procesamiento de la especie objetivo.

Aún cuando los aspectos taxonómicos de rayas, no están incluidos en los Objetivos de las Bases Técnicas del presente estudio, el Jefe de Proyecto consideró, como etapa previa, realizar un trabajo de recopilación y análisis bibliográfico sobre el



conocimiento actual de la posición taxonómica de las rayas en aguas chilenas, para luego intentar elaborar una clave de terreno para la identificación de las especies nacionales, que correlacione la información disponible en la literatura, las observaciones de laboratorio y las experiencias de terreno acumuladas por el personal del IFOP sobre este recurso hasta la fecha. En la literatura se cuenta con trabajos de autores como Norman (1937), Pequeño y Lamilla (1985), Leible (1984; 1987a y b) y Sielfeld y Vargas (1992), Lloris y Rucabado (1991) y otros.

Debido a la trascendencia de este tema es que los aspectos principales se presentan en el capítulo Resultados.

#### **4.2.2 Muestreo de los desembarques**

En los muestreos se recolectaron los datos biológico-pesqueros de los ejemplares, separando por sexos. Los datos fueron los siguientes: longitud total, peso total y sexo. Además se extrajeron las gónadas a las hembras y las vértebras a individuos de ambos sexos.

El procedimiento para la obtención de la información en terreno se realizó de acuerdo al Manual de muestreo utilizado por IFOP en las pesquerías demersales de la zona Centro-sur y Sur austral y para el que se distribuyó un Instructivo complementario.

#### **4.2.3 Diseño estadístico**

Sobre la base de la información generada en otros proyectos, para las Regiones de mayor importancia, se definió el procedimiento estadístico o Plan de muestreo que se señala a continuación:



## 1. X Región

En esta Región, al inicio del estudio, existía una sola empresa que operaba con una única embarcación (Kum - Ho) destinada a la pesca de raya como recurso objetivo y que procesaban con una planta en tierra. Dicha embarcación, normalmente, realizaba dos mareas (viajes) mensuales y recalaba en Puerto Montt (Chinquihue) para el desembarque.

A contar de enero de 1998, la empresa pesquera instalada en la Xª Región dejó de operar a consecuencia de una disminución en la rentabilidad de la actividad, derivada de la crisis de los países asiáticos. Ante esta situación, se exploraron otras alternativas para obtención de muestras biológicas, estableciendo que en las empresas pesqueras instaladas en la XIª Región (Puerto Chacabuco) era factible, ya que aún cuando se dedican principalmente a la captura de merluza del Sur, cubriendo la Xª Región, capturan rayas como fauna acompañante.

La experiencia de muestreo en planta indicó que, por día de muestreo, dos personas entrenadas pueden medir y pesar a lo más 60 a 70 ejemplares de raya. Atendiendo a que en cada muestreo del desembarque, se debe registrar los datos de las variables ya señaladas y además agregar la extracción de gónadas y de vértebras por sexo, se definió el siguiente plan de muestreo:

1. A nivel de desembarque, se mantuvo una actividad de muestreo tendiente a cubrir todos los viajes de la embarcación dedicada a este recurso.
2. Las variables longitud total, edad y estados de madurez, categorizadas se distribuyen según una multinomial.



En el caso de la variable longitud total, la fracción principal de la distribución se encuentra aproximadamente entre los 45 y 150 cm de longitud total, la cual categorizadas en clases de tallas de 5 cm genera una distribución multinomial de 21 clases de longitud.

La variable edad, muestra una diferenciación entre hembras y machos. En hembras, se tiene una distribución de edades registradas entre los 5 y 32 años con 27 clases anuales de edad, en tanto que en los machos se tienen 15 clases de edad distribuidas entre la edad 5 y la 20 (Gili en Bahamonde *et al.*, 1996).

En lo referente a la variable estados de madurez, Donoso en Bahamonde *et al.*, (1996) definió 6 estados que son:

ESTADO	CARACTERÍSTICAS
1	Sin óvulos presentes
2	Ovulos pequeños (<10 mm) apegados a la pared, sin presencia de vitelo.
3	Ovulos pequeños (<10 mm) apegados a la pared, con presencia de vitelo.
4	Ovulos medianos (>10 mm y <30 mm) separados de la pared con vitelo.
5	Ovulos grandes (>30 mm) separados de la pared con abundante vitelo.
6	Cápsulas con paredes duras listas para eclosionar.

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



A continuación, se expone el procedimiento de estimación de los parámetros de las distribuciones de longitud total, edad y estados de madurez, además de la determinación del tamaño de la muestra.

- **Estimación de la proporción de ejemplares por clase ( $P_k$ )**

Atendiendo a que las variables longitud, edad y estados de madurez categorizadas en clases tienen una distribución multinomial, el estimador de ejemplares por clase en cada caso tendrá la misma estructura y estará dado por la siguiente relación:

$$\hat{P}_k = \frac{n_k}{n}$$

donde:

- $k$  : indica la clase (longitud, edad, estados de madurez)
- $n_k$  : número de ejemplares de la clase "k" en la muestra
- $n$  : tamaño de la muestra

- **Estimación de la varianza del estimador de la proporción de ejemplares por clase**

La estimación de la varianza del estimador de  $P_k$  se hace a través del estimador

$$\hat{V}[\hat{P}_k] = \frac{\hat{P}_k(1 - P_k)}{n}$$

- **Estimación del coeficiente de variación de la estimación de  $P_k$ .**

Una medida de la precisión de la estimación de  $P_k$  se obtiene mediante la estimación del coeficiente de variación dado por el estimador:



$$CV(\hat{P}_k) = \frac{\sqrt{\hat{P}_k [1 - \hat{P}_k] / n}}{\hat{P}_k}$$

- **Determinación del tamaño de muestra**

Las dificultades inherentes al muestreo de este recurso para obtener información de longitud, peso y la extracción de gónadas y vértebras, no permiten asegurar *a priori* un tamaño de muestra que garantice niveles de precisión menores a un error  $d = 0,075$  con un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ . Para este nivel de exigencia, Tortora, (1978), entrega una solución para determinar el tamaño de muestra ante diferentes combinaciones de riesgo " $\alpha$ ", error " $d$ " y número de clases de talla " $k$ ", las cuales para algunos casos particulares de " $\alpha$ ", " $d$ " y " $k$ ", se muestran en la Tabla siguiente:

**Tamaño de muestra de longitud (Riesgo " $\alpha$ " = 0,05)**

Clase de tallas	Error " $d$ "		
	0,05	0,075	0,10
" $k$ "			
2	380	166	92
3	568	249	138
4	618	272	150
5	657	289	160
6	690	303	168
7	717	315	174
8	741	325	180
9	762	335	185
10	781	343	190
11	798	350	194
12	813	357	198
13	828	363	201
14	841	369	204
15	853	375	207
24	891	393	217



En una primera etapa se trata de obtener un tamaño de muestra “n” anual no inferior a 400, para un nivel de significación  $\alpha = 0,05$  y un error de estimación  $d = 0,075$  (7,5%). No obstante, se hicieron esfuerzos para lograr un tamaño de muestra aproximado a los 900 ejemplares o superior, para satisfacer un nivel de precisión más exigente como “d” = 0,05 y  $\alpha = 0,05$ .

Cabe hacer notar que este esfuerzo de muestreo para garantizar niveles de mayor precisión, está dirigido fundamentalmente a conseguir una mejor distribución de longitud y una relación edad-talla más ajustada.

- **Relación longitud-peso**

La relación entre la longitud total y el peso total de los ejemplares, se calculó mediante la expresión siguiente:

$$y = a * x^b$$

donde:

$y$  : peso total estimado

$a$  y  $b$  : constantes

$x$  : longitud total

## 2. VIII Región

El procedimiento para determinar el tamaño de muestra en esta Región es idéntico al señalado para la X Región, sin embargo, se debe hacer notar que los desembarques de raya entre la VIII y la X Región, se realizan fundamentalmente en esta última. En efecto, en 1997 ésta concentró el 88% (1165 t) del desembarque total en dichas



zonas y un porcentaje muy bajo (12%) se produjo en la VIII Región, (SERNAPESCA, 1998), de manera que los esfuerzos de muestreo se dirigieron principalmente hacia la X Región. Cabe señalar que en la XI Región se incrementaron notablemente los desembarques de raya, alcanzando en 1997, un volumen de 1400 toneladas equivalentes al 47% del desembarque nacional.

### **4.3 Estudio de edad y crecimiento en vértebras de raya**

#### **4.3.1 Características morfológicas de las vértebras**

En condriictios estas estructuras están compuestas de cartílago calcificado. El centro vertebral consiste de un cuerpo calcáreo de dos conos opuestos, en cuyo centro existe un orificio que corresponde a la ubicación de la notocorda primitiva. Para los efectos de lectura de anillos, este punto ha sido considerado como el foco de la vértebra, en cada cono, el foco está rodeado por una serie de anillos concéntricos, los que permiten determinar la edad (Ferreira y Vooren, 1991).

El interior de cada cono está revestido por un pericordio que consiste de una capa fibrosa que cubre una capa germinativa de células de condroblastos, que durante la fase de crecimiento éstos se diferencian en condrocitos para formar el cartílago maduro, que es un tejido celular consistente en células embebidas en su matriz orgánica. La mineralización se produce a través de la matriz presentando un patrón de alternancia de zonas de mayor o menor mineralización, correspondiendo a los anillos concéntricos. Los anillos son translúcidos y fuertemente calcificados, mientras que las bandas de crecimiento son ópticamente opacas y menos calcificadas, lo que está en concordancia con el hecho que los anillos se tiñen oscuros con el nitrato de plata (Ferreira y Vooren, 1991).



#### **4.3.2 Obtención de las muestras**

A los ejemplares obtenidos en la zona de estudio, se les extrajo un trozo de la columna vertebral ubicado en la región abdominal, que corresponden aproximadamente a las vértebras 15 a 20 contadas desde la sinarcual hacia el sector posterior (ver Instructivo de muestreo). Las muestras extraídas se mantuvieron congeladas en bolsas individuales de polietileno rotuladas hasta su preparación.

#### **4.3.3 Preparación de las muestras**

- **Limpieza y secado de las vértebras**

Una vez en el laboratorio los trozos de columna vertebral, mediante un cuchillo, se despojaron de la musculatura y tejido conectivo, en seguida se dejaron secar a temperatura ambiente. Previo al secado total se debe separar cada vértebra para impedir que se peguen unas con otras una vez secas. Si no se realiza este paso, las estructuras se fracturan al proceder a separarlas. El almacenamiento de las vértebras se realizó en bolsas de papel de 7 x 15 cm con su respectiva información de procedencia, fecha de captura, longitud y sexo.

- **Obtención de las láminas**

La técnica de corte utilizada se adaptó de la desarrollada para otolitos de jurel por Gili y Cid (1993) y que consiste básicamente en lograr láminas utilizando una máquina de corte lento marca ISOMET-BUEHLER implementada con dos hojas de corte diamantadas de 10 cm de diámetro y 0,3 mm de espesor, separadas por un disco espaciador de 0,3 mm lo que permitió obtener láminas de dicho grosor.



Para lograr la lámina, la vértebra se fija a un trozo de cartón rectangular mediante gotas de adhesivo instantáneo. Este cartón se coloca en una brazo que enfrenta a las dos hojas de corte, se regula la posición a fin de que la lámina sea obtenida del centro de la vértebra y se procede a realizar el corte en sentido antero-posterior. Las láminas se conservaron individualmente en cajas plásticas con capacidad para 28 unidades.

#### **4.3.4 Otras técnicas de preparación de láminas**

Aún cuando con la técnica desarrollada se han hecho evidentes los anillos de crecimiento en las láminas de vértebras, se realizaron algunas experiencias de preparación con otras técnicas que a continuación se señalan.

- **Tostado**

El tostado es una técnica descrita por Christensen (1964), quien la aplicó a otolitos de peces y tiene como finalidad que las bandas con más alta concentración de materia orgánica, al entrar en contacto con el calor, se tuestan brindando un tono café oscuro que resalta frente a las bandas de bajo contenido proteico que solamente toman un tono café claro. Se evalúa si esta alternancia de tonalidades, facilita la discriminación de las bandas de crecimiento en las vértebras.

- **Radiografías**

En la toma de radiografías de las vértebras, se ha observado que las bandas estrechas aparecen blancas, mientras las anchas, que implican zonas de mayor crecimiento, aparecen más oscuras.



Esta técnica se ha experimentado con éxito en otras especies de elasmobranquios (Urist, 1961 *vide* Schwartz, 1983; Cailliet *et al.*, 1983b), por lo que es utilizado como método de comparación frente a las otras técnicas empleadas en la especie en estudio.

#### 4.3.5 Validación de la edad

**Verificación** es el proceso mediante el cual se confirma la interpretación numérica que se realiza en la estructura analizada y constituye un concepto análogo a establecer la precisión en las lecturas, lo que se conoce también como el grado de reproductibilidad o consistencia del recuento de las bandas concéntricas. El concepto **validación**, en tanto, corresponde a la confirmación del significado temporal de un incremento de crecimiento, vale decir, la determinación de la exactitud de la edad determinada con respecto a la edad verdadera (Wilson *et al.*, 1987). Como métodos de validación de la edad, se consideran los siguientes: marcaje y recaptura, combinando marcas externas con inyecciones de oxitetraciclina, el seguimiento de clases muy fuertes a través del tiempo, seguimiento de peces jóvenes cuya edad sea conocida previamente y la técnica basada en el decaimiento de radioisótopos (Kimura y Lyons, 1991).

De acuerdo con Beamish y McFarlane, (1983), la validación debiera ser parte de todo estudio de edad. Sin embargo, la mayoría de los métodos sólo son aplicables a algunas de las especies, ya sea por razones biológicas de éstas o por lo oneroso que resulta su implementación.

Dada la falta de conocimiento sobre la periodicidad de formación de los anillos de crecimiento en las vértebras de raya, en este estudio, se ha asumido que cada anillo



determinado equivale a un año de vida del pez, tal como se ha realizado en la mayoría de los estudios de edad en elasmobranquios. Existen algunos antecedentes que sugieren que este supuesto tendría una base real, ya que los estudios realizados en algunas especies, han dado como resultado la formación de un anillo por año. En efecto, Grant *et al.*, 1979 (*In*: Ferreira y Vooren, 1991), para el tiburón (*Galeorhinus australis*), mediante datos de marcaje y recaptura estimaron una longevidad de 40 años, ya que varios ejemplares fueron recuperados después de más de 25 años y el 10% de los ejemplares recapturados se produjo después de 15 años. Asimismo Holden y Vince, 1973 *fide* Holden, (1977) mediante marcaje con tetraciclina en *Raja clavata* establecieron que en las vértebras se depositaba un anillo por año. Este método tiene la limitante que es muy caro de implementar tanto por el uso de embarcaciones como por el prolongado período de seguimiento que se debe hacer de las capturas, por ello, si bien sus resultados entregan abundante información, esta metodología ha sido puesta en práctica en contadas ocasiones.

- **Método radiométrico**

En los últimos años, con el objetivo de confirmar la edad de los peces, se están empleando procedimientos independientes, tales como técnicas que miden el desequilibrio radiactivo entre  $^{226}\text{Ra}$  y  $^{210}\text{Pb}$  (Bennett *et al.*, 1982; Fenton *et al.*, 1990; Campana *et al.*, 1990; Fenton *et al.*, 1991; Fenton & Short, 1994; Milton *et al.*, 1995). Esta técnica también se ha empleado en otro tipo de organismos tales como almejas (Turekian *et al.*, 1975 y 1979 *fide* Cailliet *et al.*, 1983a) y corales (Dodge & Thompson, 1974 *fide* Cailliet *et al.*, 1983a).

En elasmobranquios el estudio radiométrico se ha empleado analizando, tanto las bandas internas del centro como las de la periferia de la vértebra, basado en la



presencia de radionúcleos de vida relativamente corta. La diferencia en los niveles de actividad de los radionúcleos entre bandas, puede ser usada para determinar edades, por cuanto estos elementos tienen una tasa de decaimiento constante y conocida (Cailliet *et al.*, 1983a). Por otra parte, Welden *et al.*, (1987), mediante la técnica radiométrica, realizaron una comparación de la edad de cuatro especies de tiburones de California (géneros: *Triakis*, *Alopias*, *Squatina* y *Carcharodon*), evaluando la aplicabilidad de este procedimiento en estos peces, de acuerdo al cumplimiento o no de los supuestos en que se basa el método radiométrico. Sus resultados fueron muy variables y probablemente poco válidos, a causa de que se habrían violado dos supuestos básicos del método.

En el presente estudio se pretende obtener información sobre la factibilidad de aplicar la técnica de decaimiento de radionúcleos con el fin de determinar la edad. Como el desarrollo actual de esta técnica en nuestro país es incipiente, debido a los costosos implementos y equipos de medición de emisiones alfa que se requieren, se ha planteado el uso de esta técnica básicamente como una experiencia piloto, inicialmente dedicada a verificar la presencia del isótopo a estudiar y a trabajar con las muestras, a fin de establecer su comportamiento ante el tratamiento previo a que deben ser sometidas.

La primera etapa del estudio tuvo como objetivos básicos, por una parte, determinar una técnica de limpieza de las estructuras para eliminar el contenido de lípidos sin perder materia inorgánica y por otra parte, establecer la presencia de isótopos que permitieran posteriormente cuantificar la edad. Ambos objetivos se lograron, por lo que se dio inicio a la segunda etapa del estudio experimental de determinación de edad mediante la medición cuantitativa de los isótopos presentes.



#### 4.3.6 Lectura de las láminas

El examen de las láminas se realizó bajo un microscopio estereocópico marca Nikon modelo SMZ-2, con aumento de 20X. Como fuente de iluminación se utilizó luz transmitida y en algunos casos con luz reflejada para verificar ciertas marcas. Se emplearon iluminadores de fibra óptica y normales. Para la lectura, las láminas se sumergieron en “aceite para niños” lo cual ha dado muy buenos resultados por su alto grado de transparencia, por otra parte este aceite no produce ningún efecto negativo en la estructura de la lámina, además que es inocuo para el operador y de bajo costo.

Las lecturas fueron realizadas por dos lectores independientes, sin conocimiento de la talla y el sexo de los ejemplares a fin de evitar que estos datos influyan sobre el lector al asignar la edad de cada ejemplar, y sólo se contaron los anillos presentes en la lámina. La medición de los anillos no es aconsejable debido a la variabilidad que existe al efectuar el corte de la vértebra, vale decir, cuán próximo al centro se realizó el corte. El recuento de los anillos se realizó en las cuatro secciones de cada corte. Las láminas, normalmente, no requirieron un pulido especial ya que el corte las entrega con un acabado aceptable.

Cada anillo de crecimiento observado, se consideró como equivalente a un año de vida del pez. Esto se ha determinado en prácticamente todas las especies de elasmobranquios en que se ha estimado la edad a través de las vértebras o espinas de aletas. Se ha sugerido que la periodicidad del ingreso del calcio desde la sangre, la deposición y/ o reabsorción entre el sistema circulatorio y los tejidos de vértebras y espinas, está regulado por el sistema endocrino mediante la producción de hormonas tipo calcitonina. Este control parece estar moderado, tanto por factores



abióticos como bióticos. Entre los primeros se cuenta la longitud del día, la temperatura y la química del agua, entre los segundos está la alimentación y el efecto que producen los predadores, los parásitos y la competencia (Hoenig y Gruber, 1990).

#### **4.3.7 Comparación de 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, ya sea se mantengan o cambien las técnicas de preparación de las muestras.

Para comparar la precisión y/o el grado de concordancia entre las determinaciones de edad, ya sea 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 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 dos (o más) lectores sobre una misma muestra es cero;  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ , etc., hasta la diferencia máxima que sea observada.

Si bien es un procedimiento simple, es muy útil en una primera comparación y apreciación 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:

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

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

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

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

En el caso de bajos porcentajes de concordancia o bien si se desea investigar al interior de las determinación de edad entre lectores, Hoenig *et al.*, (1995) sugieren realizar una evaluación empleando un test de simetría, el cual permitiría detectar si un lector entrega sistemáticamente edades más viejas que otro, comprobar hacia qué edades se acentúan las diferencias y por último probar si el número de peces



asignado a la edad  $i$  por el lector 1 y a la edad  $j$  por el lector 2, difiere significativamente del número de peces asignado a la edad  $j$  por el lector 1 y a la edad  $i$  por el lector 2.

El método Bowker (1948, *fide* Hoenig *et al.*, 1995) fue diseñado para probar la hipótesis que una tabla de contingencia  $m \times n$  compuesta por dos clasificaciones de una muestra en categorías, es simétrica alrededor de la diagonal principal.

Ho: valores en las celdas  $n_{ij}$  por sobre la diagonal son iguales a los valores en las celdas  $n_{ji}$  bajo la diagonal.

Ha: valores en las celdas  $n_{ij}$  por sobre la diagonal son diferentes de los valores en las celdas  $n_{ji}$  bajo la diagonal.

El test estadístico que presenta Hoenig *et al.*, (1995) es:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{m-1} \cdot \sum_{j=j+1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ji})^2}{n_{ij} + n_{ji}}$$

el cual es distribuido como una variable chi-cuadrado con  $m(m-1)/2$  grados de libertad para una tabla que no tiene celdas vacías.

#### 4.4 Estimación de los parámetros de crecimiento

Para la estimación del crecimiento, la información básica fue la totalidad de las observaciones de talla-edad actual. Este procedimiento se usa 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. Por ello se opta por contar los anillos considerados como anuales, obteniendo la edad al momento de la captura, lo que se denomina edad actual. La limitante de esta técnica, a diferencia de la técnica del retrocálculo, es que no se cuenta con información de las primeras edades; lo que es frecuente debido a que estos individuos no están presentes en la pesquería.

La estimación de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy para machos, hembras y ambos, se obtuvo empleando la rutina no lineal del paquete estadístico Systat, utilizando el método Gauss Newton para las iteraciones, y que entrega los valores de  $L_{\infty}$ ,  $K$  y  $t_0$  con sus respectivos intervalos de confianza (95 %), las matrices de correlación y los errores estándar. La formulación del modelo de crecimiento de von Bertalanffy es la siguiente:

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

donde:

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

Para la estimación del peso asintótico, se puede optar por introducir el valor de la longitud asintótica en la ecuación de la relación longitud-peso correspondiente. Otra forma sería realizando los ajustes no lineales, con los pesos convertidos mediante la ecuación de la relación longitud-peso, en forma similar al ajuste de crecimiento en longitud.



#### 4.5 Comparación de las curvas de crecimiento

Para comparar las curvas de crecimiento resultantes, se empleó el test  $T^2$  de Hotelling como lo propuso Bernard (1981), pero con una formulación similar a la propuesta por Cerrato (1990), la cual 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  $T_0^2$  y acepta en el caso contrario. El valor crítico se calcula de acuerdo a la siguiente formulación:

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

donde  $F$  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 cual 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 habitat 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 ( $\Phi$ ) cuya formulación es la siguiente:

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

#### 4.6 Ciclo de madurez reproductiva y época de desove

Para determinar los estados de madurez en hembras, se aplicó críticamente la clave entregada por Donoso en Bahamonde *et al.*, (1996), compuesta por seis estados de madurez, considerando presencia o ausencia de huevos, tamaño de los huevos, adherencia a la pared, contenido de vitelo y presencia de cápsulas queratínicas.



La condición reproductiva de la especie se analizó a través del índice gonádico (*IG*), calculado por Kume y Joseph (1969) que se expresa como:

$$IG = (w / Lt^3) * 10^4$$

donde:

*w* : peso de la gónada, en gramos

*Lt* : longitud total del pez en cm

El ciclo de madurez anual y la época de desove de esta especie para la zona de estudio se analiza mediante ambos métodos.

En el caso de peces elasmobranquios como las rayas, donde existe un dimorfismo sexual externo por la presencia de claspers en los machos, la identificación del sexo se realiza por observación directa.





## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Aspectos taxonómicos

Ya que los antecedentes recopilados sobre rayas en Chile, indicaban un grado de mezcla de especies en las capturas y con dificultades para su identificación en terreno, se realizó un análisis de la literatura sobre la taxonomía de estos peces y que permitiera intentar elaborar una clave de terreno para identificar las especies más frecuentes en las capturas, especialmente la especie objetivo: raya volantín, como paso previo a los muestreos destinados a establecer sus parámetros poblacionales.

Debido a su trascendencia, se presenta una reseña de la posición taxonómica de las rayas y su relación con especies afines. Se debe considerar que a causa de que los peces cartilaginosos constituyen un grupo poco estudiado, su ubicación sistemática está experimentando continuos cambios, situación a la que se encuentran afectas las especies de rayas chilenas (Pequeño, com. pers.). Las características que se señalan corresponde a los criterios indicados por Sielfed y Vargas (1992) y por Pequeño (1989). Cabe señalar que este aspecto constituye un campo abierto a los ictiólogos chilenos, puesto que aún quedan grandes interrogantes por resolver acerca de las especies que componen la ictiofauna de Chondrichthyes en Chile y que con apoyo económico se podrían ir dilucidando.

Las rayas pertenecen a la **Clase Chondrichthyes**, vale decir que son peces con el esqueleto cartilaginoso, que puede estar a veces muy calcificado, pero que nunca presentan un tejido óseo, entre otras características no tienen vejiga natatoria y presentan fecundación interna.



Esta clase contiene dos subclases: Holocephali (peje-gallo) y **Elasmobranchii** a la cual pertenecen los tiburones y las rayas. Entre las características de esta última subclase, están las de poseer 5 a 7 aberturas branquiales por lado, aletas dorsales y espinas siempre rígidas, numerosos dientes dispuestos normalmente en series paralelas.

Entre los **Elasmobranchii** se reconocen dos superordenes: Selachimorpha o Pleurotremata , constituida por los tiburones y **Batidoidimorpha** o Hypotremata o Batoidea que reúne a las rayas, manta-rayas, torpedos, peces guitarra, peje-águilas y otros. Algunas características de los peces de este superorden son: presentar las aberturas branquiales en posición ventral, aletas pectorales expandidas y unidas anteriormente a los lados de la cabeza siempre por sobre las aberturas branquiales, las que generalmente son 5 a cada lado, cuerpo fuertemente deprimido, sin aleta anal, ojos y espiráculos sobre la superficie dorsal y otras.

Se considera que el superorden **Batidoidimorpha** contiene un sólo Orden, **Rajiformes**, el cual está formado por 5 subórdenes, que son:

<b>Pristoidei</b>	:	peces sierra
<b>Rhinobatoidei</b>	:	pez guitarra
<b>Myliobatidoidei</b>	:	peje-águila
<b>Torpedinoidei</b>	:	torpedos
<b>Rajoidei</b>	:	rayas

El suborden **Rajoidei**, ha estado sometido a constantes variaciones, principalmente, a causa de la inadecuada definición de sus caracteres distintivos. En la actualidad, en este suborden se identifican dos familias: **Pseudorajidae** y **Rajidae** (Nelson,



1984 en Sielfeld y Vargas, 1992). Diferenciándose los ejemplares de la primera, por no poseer aletas dorsales y la cola muy larga (1,5 a 2 veces la longitud del cuerpo) (Género *Gurgesiella*), en tanto que *Rajidae* presenta dos aletas dorsales y cola más corta (1,5 veces la longitud del cuerpo). La piel áspera con numerosos dentículos dérmicos y por lo general con espinas mayores.

En esta familia se distinguen 5 géneros, que para identificarlos, Sielfeld y Vargas (1992) presentan una clave, que se transcribe a continuación:

• **Clave de identificación de géneros de la familia *Rajidae***

1. Superficie ventral de la cola, con excepción de una estrecha línea media, cubierta uniformemente con dentículos dérmicos  
.....*Malacoraja* Stehmann, 1970
- Superficie ventral de la cola, no cubierta uniformemente con dentículos dérmicos  
.....2
2. Los radios pectorales no alcanzan el extremo del hocico; cráneo con un proceso rostral rígido y fuerte, que alcanza el extremo distal del hocico  
.....*Raja* Linnaeus, 1758
- Los radios pectorales alcanzan el extremo del hocico; proceso rostral flexible, a veces interrumpido  
.....3
3. Cartílago rostral no unido al cráneo; a cada lado de la fontanela anterior del cráneo, se encuentra una fontanela basal  
.....*Psammobatis* Günther, 1870



- Cartílago rostral unido al cráneo; sin fontanelas basales en el cráneo .....4

4. Cartílago rostral delgado y recto; borde distal de las aletas pélvicas cuando extendidas, suavemente cóncavas .....**Sympterigia** Müller y Henle, 1841.

- Cartílago rostral delgado, generalmente ondulado; aletas pélvicas, cuando extendidas, su borde distal es fuertemente emarginado .....**Bathyraja** Ishiyama, 1958

• **Características del Género *Raja***

Este género ha sido colector de numerosas especies de rayas llegando a contener más de 100 especies nominales (Stehmann, 1970, en Sielfeld y Vargas, 1992). Morfológicamente es muy variable dando origen a numerosos subgéneros. Entre los que involucran a especies chilenas se encuentran ***Amblyraja*, *Rajella* y *Dipturus***. Este último reúne a especies de gran tamaño (hasta 25 m de longitud total y que entre otras características poseen un rostro largo y agudo; disco romboidal de ángulos agudos y los claspers carecen de pseudosiphon externo.

Sielfeld y Vargas, (1992) presentan la siguiente clave para identificar a las especies de rayas chilenas:



• **Clave para la identificación de especies de rayas en aguas chilenas**

1. Agujones nucales presentes, generalmente 1 o 2 .....2

- Agujones nucales ausentes .....4

2. Los agujones del disco y cola, presentan costillas en parte de su recorrido, siendo basalmente radiados o estrellados .....3

- Los agujones del disco y cola, no presentan costillas en su recorrido, siendo más bien lisos y de base oval; 12 a 30 agujones centrocaudales  
.....*Raja (Dipturus) chilensis* Guichenot, 1848

3. Con 12 a 18 agujones en la serie media, que se extiende desde el nivel del ángulo posterior de las aletas pectorales, hasta el origen de la primera aleta dorsal  
.....*Raja (Amblyraja) freerichsi* Krefft, 1870

- Generalmente con 24 a 28 (raramente 20 a lo más) agujones en la serie media, que se extiende desde el nivel del ángulo posterior de las aletas pectorales, hasta el origen de la primera aleta dorsal  
..... *Raja (Amblyraja) georgiana* Norman, 1938

4. Superficie ventral profusamente cubierta de abundante espinulación; ausencia de agujones escapulares y supraescapulares  
..... *Raja (Dipturus) trachyderma* Krefft y Stehmann, 1975

- Superficie ventral lisa, o excepcionalmente espinulada sólo en la cola; 1 a 2 agujones supraescapulares, y 1 agujón escapular  
..... *Raja (Rajella) sadowskii* Krefft y Stehmann, 1974



La especie objetivo de este estudio es la raya volantín cuyo nombre científico es ***Raja (Dipturus) chilensis*** Guichenot, 1848, el que en adelante se utilizará en este texto. Debido a que ***Raja chilensis*** Guichenot, 1848, tiene prioridad sobre ***Raja flavirostris*** Philippi, 1892, y se considera a la segunda como sinónimo de la primera (Pequeño y Lamilla, 1985). Por otra parte, por características de la forma del cuerpo, longitud del rostro, coloración del disco y de los pigmentos negros en los canales de la línea lateral en la cara ventral del cuerpo Stehmann, 1970 y Menni, 1973 (en Sielfeld y Vargas, 1992) incluyen a esta especie en el subgénero ***Dipturus*** (Leible, 1987b).

Esta especie presenta la superficie dorsal principalmente lisa, pero el carácter diagnóstico es la presencia de un aguijón nugal ubicado en la línea media detrás de los ojos y espiráculos (excepcionalmente algunos especímenes pueden presentar 2 o 3, y en algunas hembras de gran tamaño pueden haberse perdido, quedando sólo una cicatriz). La superficie ventral es lisa. La coloración de la superficie dorsal y ventral es similar, siendo el rostro amarillo rojizo, mientras que el disco y región caudal son pardos o rojo-violeta, con los bordes más rojos. Cabe señalar que la coloración de los ejemplares debe ser tomada con mucha precaución por cuanto se presentan variaciones entre las distintas áreas de la distribución de estas especies.

Una especie muy similar a ***R. chilensis*** es la raya espinuda o ***R. trachyderma*** que se diferencian por poseer, esta última, el dorso y el vientre profusamente cubiertos de espinas y no presentar el aguijón nugal. La coloración del disco y región caudal es parda oscura con tonos rojizos, tanto en el dorso como en el vientre (Leible 1987b; Lloris y Rucabado, 1991).



- **Clave experimental de identificación de rayas en terreno**

Con la información disponible en la literatura y el aporte del biólogo marino Sr. Sergio Mora (IFOP), se elaboró una clave de terreno de carácter experimental para la identificación de las rayas más comunes que aparecen en las capturas y para tratar de diferenciar la “raya volantín” de la “raya volantín espinuda”, vale decir ***Raja (Dipturus) chilensis*** y ***Raja (Dipturus) trachyderma***, agregando antecedentes de los otros géneros como ***Psammobatis***, ***Sympterigja*** y ***Bathyraja***, de probable aparición en las capturas, que como ya se señaló, son separados y descartados ya que sus aspectos morfológicos son fácilmente diferenciables por la tripulación de las embarcaciones. Esta información se entrega en el Anexo 1.

Con respecto a la elaboración de una clave de terreno para diferenciar rayas, se debe destacar que muchos de los elementos distintivos son internos, frecuentemente sólo apreciables mediante laboriosas preparaciones de las estructuras, resultando ser un trabajo muy difícil de realizar aún para los especialistas. Sin embargo, para el éxito del estudio, se debió recurrir a las observaciones y experiencias personales para resumidas en un documento manejable por los muestreadores, principalmente con énfasis en los aspectos morfológicos externos. Está claro que se han desarrollado métodos más confiables para identificar como la electroforesis y otros, que sería deseable de ser empleados, pero en la actualidad y considerando la realidad que presentan estas pesquerías, se vé dificultada su aplicación.

Ahora, como lo señalara el Evaluador del Informe de Avance, quien realizó interesantes aportes que se incluyen en este documento, uno de los caracteres que se han utilizado recientemente es la morfología externa e interna de los órganos



copuladores, que funcionan como un sistema específico tipo “llave-cerradura” y que actúan para mantener un aislamiento reproductivo o barrera precigótica. Señala, además que este método sería apropiado para diferenciar especies a través de los machos, sin embargo no resuelve el problema para hembras y juveniles.

En la práctica, de la aplicación de la clave de terreno durante el proyecto, se puede establecer que se limitó a diferenciar las características de *R. chilensis* y a descartar o consignar como de dudosa identificación a aquellos ejemplares que se alejaban de éstas. Con posterioridad, en el análisis de las láminas de vértebras, las observaciones permitieron comprobar que éstas presentaban distinta forma, que se clasificaron como “atípicas”, lo que será tratado con mayor detalle más adelante.

Junto a lo anterior, se elaboró un instructivo para el procedimiento de muestreo de las vértebras y gónadas, todo lo cual se distribuyó al personal de muestreadores que se desempeña en las diversas embarcaciones y puertos de desembarque de las regiones X y XI, este instructivo se presenta en el Anexo 2.

Cabe hacer notar que, si bien a nivel de los muestreos biológicos, es factible de separar ambas especies, las estadísticas pesqueras probablemente continuarán reflejando una mezcla de especies, ante las dificultades para separar a simple vista la “raya volantín” de la “raya espinuda”.

## **5.2 Tamaño de la muestra analizada y proporción sexual**

Como se señaló en la Propuesta Técnica, además de la identificación de la especie a trabajar, el otro aspecto clave para la realización del estudio era la obtención de las muestras biológicas, por cuanto las características particulares de la pesquería



de raya en la zona, hacían extremadamente difícil y oneroso el procedimiento para recolectar las muestras necesarias, lo que se confirmó en el primer Informe de avance en que se señalaron estas dificultades. Sin embargo, durante el transcurso del estudio y gracias a la colaboración de las empresas pesqueras instaladas en Puerto Chacabuco, se logró obtener una cantidad de muestras que alcanzó a los 1.172 ejemplares, de los cuales 397 fueron machos y 775 hembras, representando una proporción cercana a 1 : 2. Esta muestra superó el tamaño de muestra programado de 400 para un nivel de error de estimación del 7,5% e incluso el de 900 que implicaba un 5% de error con un nivel de significancia de 0,05.

El hecho de contar con un tamaño de muestra superior al proyectado, permitió separar de la muestra en análisis, por una parte, aquellas muestras que provenían de ejemplares capturados fuera de la zona de estudio y por otra extraer aquellas que presentaban dudas en cuanto a la identificación de la especie.

Las características propias de esta pesquería y la coyuntura temporal que influyeron en una obtención más regular de las muestras biológicas de raya, las que se señalan a continuación:

- Durante los últimos años, las capturas de raya se han efectuado principalmente en la X Región, en tanto que éstas han sido muy bajas en la VIII Región. En efecto, según las estadísticas pesqueras en 1997 se desembarcaron 1165 y 152 toneladas respectivamente (SERNAPESCA, 1998), lo que fue corroborado mediante el seguimiento realizado en las caletas de esta última zona por personal del proyecto y de muestreadores del IFOP y confirmado por SERNAPESCA VIII Región.



- La pesquería de raya, estuvo restringida, a la actividad realizada por una empresa radicada en Puerto Montt, a la de algunos pescadores artesanales en la X Región y a las capturas incidentales de la flota arrastrera dedicada a la merluza común de la XI y VIII Regiones. Por lo tanto, la principal fuente de obtención de muestras de raya para este proyecto estaba en la X<sup>a</sup> Región, donde se ubicaba el poder comprador de este recurso y hacia el cual convergía la mayor parte de la producción. Más aún, se reforzaba esta situación con el inicio, de actividades de la nave pesquera Kum-Ho 33 de Pesquera del Sur en el último trimestre de 1997. Sin embargo, sólo alcanzó a realizar tres mareas entre noviembre y diciembre y a contar de enero de 1998 suspendió indefinidamente sus operaciones a causa de la crisis asiática, especialmente de Corea, que afectó seriamente la rentabilidad del programa de producción de dicha empresa dejando de ser el centro de acopio de rayas en la zona.

En consecuencia, los esfuerzos se dirigieron a las Pesqueras ubicadas en Puerto Chacabuco que también operan en aguas de la X Región, con el fin de coleccionar aquellos ejemplares de rayas que se capturan como fauna acompañante de la merluza del Sur (*Merluccius australis*). Como en estudios anteriores, se logró la colaboración de las Empresas, especialmente de Pesquera Frío-Sur, normalizándose la obtención regular de muestras.

### **5.3. Estudio de edad en vértebras de raya**

#### **5.3.1 Preparación de las láminas**

La preparación de láminas de vértebras empleada en este estudio, es una modificación de la señalada en la Propuesta Técnica. Lo relevante de este procedimiento es lo simple y exitoso que resultó y que contrasta con los descritos en



trabajos similares que implican una mayor laboriosidad y por ende un mayor esfuerzo de preparación, por este motivo se presenta a continuación:

En primer lugar se modificó el proceso de preparación de las vértebras, al eliminar el paso de extracción de la musculatura mediante el uso de agua caliente, que podría producir contracción del cartílago, ya que se comprobó que era suficiente la extracción mecánica en fresco de los restos orgánicos, lo que implicó una menor manipulación de la estructura. Por otra parte, se constató que la utilización de medios químicos para limpiar las vértebras no era necesaria ya que no entregó mayores beneficios en cuanto a la legibilidad de los anillos.

El medio de fijación para el corte de la estructura fue un adhesivo instantáneo (Super Bonder) lo que permitió obtener en forma rápida, láminas en sentido longitudinal de buena calidad rebajando al mínimo la posibilidad de fracturas en su elaboración. La forma de éstas toma el aspecto de una letra X o “Cruz de Malta” proporcionando cuatro secciones donde es posible contar los anillos de crecimiento (Fig. 1). Por otra parte, se estableció que el grosor de la lámina no debe ser inferior a 0,3 mm ni exceder de 0,35 ya que en el primer caso se tornan transparentes limitando las posibilidades de identificación de las marcas y si son más gruesos se dificulta la observación de los anillos por opacidad, en estos casos se procedía a lijar la lámina hasta obtener el grosor adecuado para la observación.

Con estas precauciones, se logró identificar en muy buena forma los anillos de crecimiento en las láminas, llegando a ser prácticamente nulo el porcentaje de láminas ilegibles. En aquellos casos en que se produjeron fracturas en las láminas, se procedió a repetir la operación de corte, hasta lograr una lámina en buenas condiciones.



Cabe destacar que el hecho que la técnica de obtención de muestras sea simple, rápida y eficiente, permite por una parte, lograr una gran cantidad de láminas en corto tiempo y por otra, proceder a repetir rápidamente los cortes en los casos de fracturas. Se debe hacer notar que no todas las especies se comportan de la misma manera frente a las distintas técnicas de preparación y métodos de tinción empleados (Gelsleichter *et al.*, 1998), por lo que la técnica de preparación utilizada en este estudio, bien pudiera no ser posible generalizarla a otras especies.

### 5.3.2 Otras técnicas de preparación de láminas

- **Tostado**

Con el objeto de establecer si la aplicación de técnicas como tostado permitía un mejoramiento en la legibilidad de los anillos, se realizaron experiencias con una serie de láminas. El tostado se realizó utilizando un cautín eléctrico, el que permitió lograr tonalidades de color café a sectores específicos de lámina evitando el quemado excesivo. Como resultado, se constató que esta técnica no mejora substancialmente la legibilidad de los anillos en las láminas, no obstante que en algunos casos se pudo visualizar anillos de difícil discriminación.

- **Radiografías**

De la aplicación de esta técnica, se pudo establecer que no aportó mayores antecedentes que los obtenidos mediante la observación directa de las láminas. La razón de ello se debe a condiciones más bien técnicas del equipo utilizado que a causas inherentes a la estructura de las vértebras.



### 5.3.3 Validación de la edad

Como una experiencia dedicada a obtener los primeros antecedentes para detectar la presencia de radioisótopos en las estructuras duras de raya, en el marco del presente proyecto, se efectuó el estudio “Detección de isótopos naturales en vértebras de raya volantín (*Raja (Dipturus) chilensis*)” elaborado por el Dr. Marco Salamanca, cuyo informe *in extenso* se entrega en el Anexo 3. Los resultados logrados en este estudio son promisorios, por cuanto en las vértebras, luego de un exitoso procedimiento químico con agentes oxidantes, realizado para eliminar todo vestigio de material orgánico, se detectó la presencia del isótopo  $^{210}\text{Pb}$  en estas estructuras de rayas. De manera que se podría esperar que, en la segunda fase, elaborando un procedimiento en el cual se disponga de una serie de ejemplares que cubra el máximo de tallas presentes en la población, sería factible cuantificar este isótopo, a fin de realizar estimaciones de edad confiables y posibles de comparar con las efectuadas mediante recuento de anillos de crecimiento macroestructurales en las vértebras.

#### Fase II. Estudio de determinación de edad radiométrica en rayas

De la realización de la Fase II, que tenía como Objetivo determinar la edad de raya utilizando el  $^{210}\text{Pb}$  presente en las vértebras de estos peces, se pudo establecer que este radioisótopo se comportó de manera similar a lo observado en otras especies de elasmobranquios, vale decir que la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  disminuye en la medida que incrementa la masa corporal de los organismos, manifestándose ésto en una mayor actividad del radioisótopo en peces jóvenes.



En la experiencia realizada se constató que las edades radiométricas estimadas no siguieron un patrón claro y en general fueron mayores a las estimadas mediante recuento de anillos macroestructurales en láminas de vértebras. Se concluyó que estimaciones de edad, basadas en un sólo isótopo no son posibles, por cuanto es probable que por la metodología empleada, las asunciones básicas no se cumplan. Entre los supuestos que no se cumplirían sería la inexistencia de una tasa constante de incorporación del radioisótopo y el cartílago de la vértebra no sería un sistema cerrado, permitiendo la entrada y salida de material en el tiempo. No se descarta que la causa sea producida por un problema metodológico, lo cual sería medible y con ello, las edades estimadas serían factibles de corregir. Se estableció, por lo tanto, que para estimar las edades radiométricas sería necesario utilizar modelos de decaimiento radioactivo que impliquen al menos a dos isótopos y los principios de desequilibrio radioactivo entre pares de isótopos de una serie de decaimiento como el del par  $^{210}\text{Pb} / ^{226}\text{Ra}$ . Los resultados de este estudio *in extenso* se entregan en el Anexo 4.

#### 5.3.4 Lectura de las láminas

La lectura de los anillos presentes en las láminas de vértebras, se realizó bajo microscopio estereoscópico con aumento de 20X e iluminación transmitida, donde los anillos más calcificados se observan oscuros y los de menor calcificación traslúcidos. Los anillos se contaron desde el centro hasta la periferia en cada una de las cuatro secciones de la lámina en forma de X o “cruz de Malta”, adoptando como criterio de determinación el número de anillos que más se repite. Dos lectores independientes realizaron las lecturas de las láminas, sin considerar la talla y el sexo de los ejemplares. El número menor de anillos determinado fue 1, en tanto que el mayor alcanzó a 21.



- **Patrón de formación de anillos en las láminas**

Del análisis de las láminas de vértebras realizado, se pudo establecer la existencia de dos formas en las estructuras. Una de éstas, presenta las cuatro secciones cortas y anchas con un patrón de anillos próximos entre sí, esta forma es la más frecuente en las muestras y sería la forma típica para *Raja chilensis* (Fig 2a). La otra forma de lámina, presenta las secciones más largas y delgadas con un patrón de anillos con mayor separación entre sí, vale decir que a la misma talla, presentan menor número de anillos (o edad), esta forma era poco frecuente y se le denominó como “atípica” (Fig. 2b). Se estableció que esta forma provenía de ejemplares señalados como de dudosa identificación, generalmente de mayor tamaño y que en general fue muy frecuente que correspondieran a capturas realizadas en la zona de Aysén (XI Región). Esta observación permitió que, al revisar posteriormente la relación edad asignada versus la longitud, las lecturas dudosas y que se ajustaban a la forma de lámina atípica, pudieran ser descartadas por no corresponder, en un alto grado de confianza, a la especie en estudio.

### **5.3.5 Comparación de las determinaciones de edad**

Para el estudio de edad en vértebras de rayas se contó con la participación de un lector con experiencia y otro sin ella, aunque contaba con experiencia en determinación de edad en otolitos en especies de relativa corta edad, vale decir sin experiencia en análisis de anillos en vértebras.

En la interacción que existe entre quienes leen las muestras, se pueden reconocer los siguientes pasos:



1. **Lecturas conjuntas de muestras:** en la que se comparte la forma de medición, observación de detalles, de anillos secundarios y anillos principales, estableciendo los criterios básicos para la discriminación de las marcas en las estructuras.
2. **Lecturas independientes de muestras pequeñas:** donde cada lector realiza y registra sus observaciones y mediciones. Luego se contrastan ambos registros, se destacan coincidencias y divergencias, se analizan estas últimas y se llega a la lectura de consenso. Las muestras en que no se logra consenso se descartan.
3. **Análisis general de las muestras:** corresponde a un análisis independiente de volúmenes mayores de muestras y en las cuales se verifica la aplicación de los criterios de análisis para la asignación de la edad. Esto se puede medir empleando los test estadísticos para conocer cuán cercanas fueron las observaciones.

El análisis de la concordancia entre lectores es una fase relevante ya que, en cada investigación, se requiere ampliar el conocimiento para que otros participantes queden con experiencia en la determinación de edad de la especie y puedan en futuros estudios llevar a cabo fases de entrenamiento y ajuste de criterios de determinación de edad más reducidos.

El crecimiento de los individuos queda registrado en sus estructuras duras en forma de anillos secuenciales que no siempre se presentan en forma nítida que permita una gran facilidad de análisis, por lo que el lector debe habituarse a la tonalidad y nitidez propia de la estructura de una determinada especie.



La muestra analizada empleada en la comparación de lecturas de edad, se leyó en forma repetitiva por el lector experimentado y el lector en entrenamiento con total independencia. La muestra constó de 824 individuos con un rango de tallas entre 27 y 140 cm y el rango de edades observado fue desde 1 a 20 años.

En el transcurso del tiempo se apreció un aumento de la concordancia, y para efecto de la aplicación de los test se emplearon todas las lecturas dobles realizadas.

- **Porcentaje de concordancia, APE, V y D.**

Una de las técnicas más comunes y de fácil aplicación en la comparación de lecturas pares, es revisar el porcentaje de determinaciones de edad que concuerdan, ya sea totalmente o aceptando una variabilidad dada.

En la especie en estudio se apreció diferente participación de los ítems “delta 0” hasta “delta  $\pm 5$ ” años; presentándose un 31% de coincidencias totales (Cuadro 1).

Cuadro 1 .Concordancia en las determinaciones de edad en láminas de vértebras de raya entre el Lector 1 y el Lector 2.

Diferencias absolutas			Indice		
Delta	n	%		n	%
0	257	31,2	APE	824	5,87
$\pm 1$	354	42,9	V	824	8,30
$\pm 2$	158	19,2	D	824	5,87
$\pm 3$	44	5,3			
$\pm 4$	8	1,0			
$\pm 5$	3	0,4			
Total	824	100,0			



En especies de longevidad mediana, en que se aprecia con frecuencia edades entre 5 a 13 años, una diferencia de  $\pm 1$  año en las lecturas se presenta como un delta de apreciación cercano. No es el mismo caso si se trata de especies de vida corta, en que el grueso de las observaciones se centra en edades 1 a 5 años y en donde el asignar  $\pm 1$  año es de mayor significancia.

El párrafo anterior apunta a señalar que la técnica de porcentaje de concordancia no evalúa el grado de precisión de igual manera para todas las especies. Beamish y Fournier (1981), con respecto al tema indican: “Si el 95% de las determinaciones de edad entre dos lectores coinciden en  $\pm 1$  anillo para el Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) puede ser una precisión muy pobre, debido a que la mayoría de las muestras comerciales contienen sólo unas pocas clases anuales (Kennedy, 1970). Similarmente, si el 95% de las determinaciones de edad en el spiny dogfish (“tollo de cachos”) (*Squalus acanthias*) coinciden en  $\pm 5$  años pudiese representar una muy buena precisión, debido a que este pez puede alcanzar edades de hasta 60 años con 30 grupos de edad aproximadamente en la pesquería”.

En el presente estudio, aceptando una diferencia absoluta de un anillo, la concordancia es un 74%, lo cual se considera un porcentaje alto teniendo en cuenta que un lector está en entrenamiento. A esto se suma la dificultad propia de la determinación de edad en las vértebras de raya en que los anillos (observados tanto con luz reflejada como transmitida) no se presentan de una nitidez marcada, sino que se caracterizan por presentar anillos con bordes difusos.

Sobre la misma base de lecturas dobles se aplicaron los índices APE, V y D. El porcentaje de error promedio, que es el que emplea en su construcción, las diferencias absolutas entre las edades asignadas y la media y el índice de precisión,



que incluye la varianza, se igualan por su formulación en el caso de lecturas pares como este ejercicio y son los que calculan valores un tanto más bajos (5,87%). No obstante, el valor del coeficiente de variación de 8,3% para las muestras analizadas indica un error moderado (Cuadro1).

- **Métodos gráficos y regresión**

La dispersión con que se presentan las lecturas pares se presenta en la Fig. 3, allí se ha trazado la línea de ajuste entre ambas variables y se señala la función lineal que las relaciona. El coeficiente de correlación toma un valor de 0,87, el cual es una medida del grado de ajuste de ambas lecturas.

- **Test de simetría**

Si bien los test anteriores mostraron un error moderado entre lecturas, el test de simetría se aplica para analizar dentro de una muestra, si en las determinaciones de edad realizadas por los diferentes lectores, se observan tendencias, ya sea en edades jóvenes o viejas y así determinar si se presentan diferencias significativas.

La matriz conformada con las lecturas de ambos lectores se presenta en la Tabla 1. La diagonal principal se presenta con recuadros en las celdas y corresponde al punto donde las dos asignaciones de edad coinciden; las celdas con diferenciales de 1 anillo se presenta achurada y las celdas sin información se dejaron en blanco. Para ilustrar la paridad de datos se colocó explícitamente ceros en aquellas celdas que se emplean en el cálculo del test estadístico. En esta Tabla el número en cada celda corresponde al número de veces que un pez fue asignado a la edad  $j$  por un lector, mientras el mismo fue asignado a la edad  $i$  por el otro lector.



Si hay una diferencia sistemática entre las asignaciones de edad, entonces el test estadístico tiende a ser grande. Si las diferencias son debidas a error de azar simple, entonces el valor  $n_{ji}$  será similar al de  $n_{ij}$  lo que indicaría que ambas lecturas se relacionan estrechamente y valor del test estadístico no sería grande.

Si bien las edades observadas están en el rango de 1 a 20 años, el intervalo 5 a 15 años corresponde a las edades más frecuentes (Tabla 1) y las menores a cuatro años son muy escasas, ello redundaría en no poder analizar una secuencia de edad de peces jóvenes, los cuales son sumamente necesarios para definir más exhaustivamente cómo se presentan los primeros anillos y entre que dimensiones. A pesar que en peces grandes también se observa desde el primer anillo en adelante, existe una especial dificultad en distinguir el primero de ellos, que se presenta un tanto difuso. En el presente estudio sólo se pudo contar con una observación directa de un pez con edad 1 que corresponde a un individuo de 27 cm de longitud total.

Como resumen del cruce de lecturas, el valor del estadístico es de 69,5; con 49 grados de libertad, el  $\chi^2_{(49,0.05)}$  toma un valor aproximado de 66, por lo que el estadístico calculado (69,5) es levemente mayor al valor de tabla.

Si bien el  $\chi^2$  calculado cae en la región de rechazo, está muy cercano al valor crítico, en donde se encuentra el límite de aceptación de la  $H_0$ .

No obstante que en esta especie se debe continuar el trabajo de igualamiento de criterios de asignación de edad, estas pruebas realizadas son una medida de la cercanía de asignación que se ha logrado hasta el presente.

La base de datos para el estudio de crecimiento, sólo incluyó las lecturas del lector experimentado.



### 5.3.6 Relación talla-edad de raya volantín

- **Distribución de frecuencias de longitudes**

En las muestras disponibles para los estudios de edad y la determinación de la época de desove, la distribución de frecuencias de longitudes para el caso de los machos, osciló entre los 47 y 108 cm, sin embargo, las mayores frecuencias se concentraron entre los 70 y 79 cm con el 38 % del total. En las hembras, las tallas se distribuyeron entre los 27 y 119 cm, que al igual que en machos, las mayores frecuencias se observaron entre 70-79 cm con el 30 % del número total. Cabe señalar que la relación de proporcionalidad entre los sexos fue prácticamente de 1 : 2 en favor de las hembras, lo que sugiere una agregación de los individuos por sexo y una mayor vulnerabilidad de las hembras durante el período de muestreo (Fig. 4).

- **Relación longitud-peso**

Se calculó la relación longitud-peso para machos y hembras en forma separada, cuyas ecuaciones fueron las siguientes:

$$\text{MACHOS} \quad : \quad y = 0,002339 * x^{3,234774} ; \quad (n = 131 ; r^2 = 0,903)$$

$$\text{HEMBRAS} \quad : \quad y = 0,003898 * x^{3,125868} ; \quad (n = 279 ; r^2 = 0,937)$$

$$\text{AMBOS} \quad : \quad y = 0,003295 * x^{3,161545} ; \quad (n = 410 ; r^2 = 0,929)$$

Ambas variables presentaron un buen ajuste al entregar un coeficiente de determinación superior al 0,90.



- **Estructura de edad en la muestra analizada**

Como ya se ha señalado, en este trabajo se ha asumido que cada anillo observado en las láminas de vértebras, corresponde a un año de vida del pez, de manera que en adelante, la edad de los peces se indicará en años.

La distribución de edades estimadas para los machos fluctuó entre los 4 y 19 años, predominando los ejemplares de 6 y 7 años con el 39 % en conjunto, también fueron importantes los ejemplares con 8 y 9 años con el 25 % (Fig. 5).

En hembras, los ejemplares oscilaron entre los 4 y los 21 años, observándose un ejemplar de 27 cm al que se le determinó un año de vida. En este sexo predominaron los ejemplares de 7 y 8 años, los que representaron el 35 % del total analizado de este sexo, luego se presentaron los ejemplares con 9 y 6 años con el 19 % en conjunto (Fig. 5).

Considerando sólo las clases de tallas modales en ambos sexos, que corresponden a los ejemplares ubicados entre los 70 y 79 cm de longitud total, se observó que tanto en machos como en hembras, las edades presentes en este rango oscilaron entre 6 y 11 años, sin embargo, en ambos casos solamente dos edades fueron las principales, en machos predominaron los ejemplares de 6 y 7 años (69 % de la clase de tallas), en tanto que en las hembras predominaron los de 7 y 8 años (82 %). Esto indica que existiría una diferencia en el crecimiento entre los sexos.

En cada edad determinada, se estableció que las distribuciones de tamaño de los ejemplares se comportan generalmente en forma unimodal, con valores modales que se van desplazando en la medida que incrementa la edad (Fig. 6). Lo que



valida, en cierto modo, la técnica de determinación de edad mediante el análisis de las marcas en las láminas de vértebras de raya. En la Tabla 2 se presentan las longitudes observadas promedio por edad de los ejemplares para machos y hembras con los valores de la amplitud de tallas, donde se observa que los ejemplares machos de 6 años miden 68 cm y las hembras es algo menos (67,4 cm), mientras que en ejemplares de 10 años, la longitud promedio de los machos es de 84,5 cm y de las hembras es más alta (86,1 cm), haciéndose progresivamente mayor la diferencia de tamaño entre los sexos en favor de las hembras.

Los pesos promedio por grupo de edad calculados mediante las ecuaciones de la relación longitud-peso correspondientes, se entregan para machos y hembras en la Tabla 3. Se presentan, además, los pesos máximos y mínimos para los dos sexos.

#### **5.4 Estimación de parámetros de crecimiento**

Para la estimación de los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy, se contó con pares de datos de talla-edad actual, estructurándose muestras para machos y hembras, cuya distribución se presenta en la Fig. 6. En esta figura se observa que el comportamiento de los datos corresponde a una relación que se ajusta al modelo de crecimiento asintótico de von Bertalanffy.

El ajuste se realizó utilizando la rutina no lineal del paquete estadístico SYSTAT versión 7.0, que además de entregar los valores de los parámetros, proporciona la matriz de varianza-covarianza para realizar posteriormente las comparaciones de crecimiento entre machos y hembras. para lo cual se ingresan valores de parámetros de trabajo, obtenidos de estudios previos.



Las ecuaciones del modelo de von Bertalanffy ajustadas fueron las siguientes:

$$MACHOS : Lt = 131,9 \text{ cm} * [1 - e^{-0,079(t + 3,175)}]$$

$$HEMBRAS : Lt = 143,8 \text{ cm} * [1 - e^{-0,073(t + 2,545)}]$$

$$AMBOS : Lt = 143,9 \text{ cm} * [1 - e^{-0,070(t + 2,975)}]$$

Los coeficientes de determinación  $r^2$  presentan valores muy altos: 0,988 y 0,997 en machos y hembras respectivamente indicando una estrecha relación entre las variables ajustadas.

En la Tabla 4 se presentan los valores de los parámetros para machos, hembras y ambos sexos con los respectivos valores de errores estándar y sus límites de confianza al 95 %. Las curvas que representan el crecimiento en longitud de “raya volantín” se presentan en la Fig. 7.

Las longitudes estimadas por sexo, mediante las ecuaciones respectivas, se presentan en la Tabla 5.

Con los valores de la longitud asintótica, se estimaron los valores de peso asintótico resolviendo la ecuación que relaciona la longitud con el peso para machos, hembras y ambos, obteniendo los siguientes pesos asintóticos ( $W_{\infty}$ ):

$$MACHOS : W_{\infty} = 16.887 \text{ g}$$

$$HEMBRAS : W_{\infty} = 21.663 \text{ g}$$

$$AMBOS : W_{\infty} = 21.911 \text{ g}$$



Estos valores de pesos máximos promedio que se obtuvieron, están dentro del orden de pesos de rayas capturadas de longitudes similares.

Se intentó realizar el ajuste de crecimiento en peso mediante el procedimiento no lineal que emplea el método iterativo, de manera similar al de longitud, utilizando la ecuación de la relación longitud-peso para las conversiones a peso, sin embargo, las corridas de programa realizadas no entregaron una convergencia a valores lógicos, por lo que se optó por los valores logrados anteriormente, este hecho puede deberse a que para estimar el peso asintótico las muestras disponibles de edades más viejas no sean suficientes.

Los valores de las longitudes asintóticas obtenidas en este estudio, de 131,9 y 143,8 cm para machos y hembras respectivamente, si bien parecen altos de acuerdo a la longitud máxima observada de 119 cm, se considera que podrían estar próximas a la realidad, por cuanto  $L_{\infty}$  se define como la longitud máxima promedio que alcanzarían los ejemplares en la población. Se debe considerar que en este estudio no fue posible contar con muestras de *R. chilensis* de mayor tamaño y edades mayores. Esto se explica, tanto por razones biológicas como pesqueras, en primer lugar los elasmobranchios comúnmente presentan una marcada segregación social agrupándose los ejemplares por sexo o por tamaño (Pratt, 1979 en Hoenig y Gruber, 1990), lo que se ha observado en este estudio. Esto, a su vez, es aprovechado por los patrones de pesca, que ejercen una intencionalidad de pesca en profundidades donde abundan los ejemplares de tallas medianas, ya que este recurso se exporta, principalmente, en forma de congelado entero, con ejemplares oscilando entre los 60 y 100 cm. En los casos en que se captura este recurso como fauna acompañante de merluza común, la situación es definida por la profundidad en que se realizan los lances para este último recurso, que fluctúa normalmente



entre 400 y 600 metros, estrato donde se encuentran estos tamaños medianos, en tanto que los ejemplares grandes se encuentran en hábitat por sobre esas profundidades. Además, subyacente a estas razones está el hecho de lo deprimida que estuvo la pesquería de raya durante durante el año 1998, que impidió contar con grandes volúmenes de desembarque que permitieran obtener muestras de un amplio rango de tallas.

#### **5.4.1 Comparación de los parámetros de crecimiento entre sexos**

Para establecer si se presentan diferencias en el crecimiento entre los sexos, se utilizan algunos test estadísticos como el test  $T^2$  multivariado o test de Hotelling, el que fue modificado por Cerrato (1990) y el análisis de suma de los cuadrados residuales, como lo describe Chen *et al.*, (1992).

De acuerdo al test  $T^2$  de Hotelling, existen diferencias significativas en el crecimiento entre los sexos, por cuanto el valor  $T^2$  calculado de 69,9 es mayor que el valor crítico de 7,8, de manera que machos y hembras deben ser tratados en forma separada (Tabla 6).

Para corroborar este resultado se recurrió al análisis de la suma de cuadrados residuales, comprobando que el valor de F calculado de 10,5 es mayor que el valor F de tabla ( $\alpha = 5\%$ ) de 2,6, indicando la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de machos y hembras al igual que el test multivariado (Tabla 7).



## 5.4.2 Comparación entre especies del Género *Raja*

- **Comparación con estudios realizados en Chile**

Como característica común de las investigaciones realizadas en raya, todas las estimaciones de edad se han realizado basados en láminas de vértebras y registrando de ellas su “edad actual”. Los ajustes de parámetros realizados mediante la “edad actual” son muy sensibles al rango de tallas que cubre la muestra y es así como en general presentan un valor de  $t_0$  un tanto negativos, debido al déficit de muestras de ejemplares de pequeño tamaño.

En la Tabla 8 se presentan los parámetros de crecimiento obtenidos en distintas investigaciones realizadas en raya en Chile y tal como se señalara, las longitudes que componen las muestras y el tamaño de la misma, son determinantes en las estimaciones de los parámetros que se van a obtener. En estos trabajos progresivamente se ha ido incrementando el tamaño de las muestras.

Si bien en el presente estudio se contó con un número de muestras analizadas bastante mayor que el utilizado en estudios anteriores, se revisó la posibilidad de complementar estas muestras con ejemplares de algunas tallas de muestras procesadas de estudios anteriores (Gili, en Bahamonde, 1994) y (Gili, en Bahamonde, 1996). Sin embargo, ésto no fue posible por cuanto en los trabajos anteriores cabía la posibilidad de que hubiese algún grado de mezcla de *R. chilensis* con otra especie que probablemente sería *R. trachyderma*.

En este estudio, se puso especial atención en la separación inicial de las especies y es así como basados en una muestra de 1.085 individuos, se pudo determinar la edad y formar la base de datos para el estudio de crecimiento. Además de esta



muestra se presentó un grupo pequeño de muestras que se clasificó como de dudosa identificación, de manera que no fueron incluidas en los análisis. Estos ejemplares presentaron, además, láminas de vértebras de aspecto diferente y su patrón de anillos era distinto.

- **Comparación con estudios realizados en el extranjero**

La comparación entre los valores de los parámetros no es un proceso simple, ya que se debe tener en cuenta las condiciones en que se efectuaron dichas estimaciones, vale decir, el tamaño de la muestra, el rango de tallas, estructura dura utilizada, método de ajuste de los parámetros, etc. Sin embargo, es posible caracterizar, en parte, a las especies mediante el análisis de los valores de los parámetros. En la Tabla 9, se presentan las estimaciones de parámetros realizados por varios autores para distintas especies pertenecientes al Género *Raja*, empleando diferentes técnicas para determinar la edad.

Del análisis de la Tabla 9 se constata una gran diversidad de valores estimados, incluso para la misma especie como es el caso de *R. clavata* con longitudes asintóticas ( $L_{\infty}$ ) fluctuando entre 85,6 y 139,2 cm y una tasa de crecimiento que oscila entre las más bajas y las más altas (0,09 a 0,215), indicando que aún queda trabajo por realizar para determinar valores más ajustados, sin embargo, se puede deducir que los valores que estarían más alejados de la realidad serían los estimados por Ryland y Ajayi (1985), ya que el valor de  $L_{\infty}$  está muy por sobre el valor máximo observado de 107 cm en hembras (Holden, 1972) y por supuesto entrega un coeficiente de crecimiento K muy bajo (0,09), lo que hace estimar que la longitud asintótica (95%) se lograría a los 31 años, vale decir el doble de lo estimado por los otros dos autores.



Comparando con los valores obtenidos para *R. chilensis*, se observa que esta especie estaría dentro de las que presentan una mayor longevidad y tasas de crecimiento muy bajas (0,079 y 0,073 en machos y hembras respectivamente), además, la longitud asintótica (95%) la lograrían entre 35 y 38 años (Tabla 9). La especie que más se asemeja a *R. chilensis*, sería *R. brachyura* aunque con una tasa de crecimiento más alta ( $K = 0,19$ ;  $\phi = 3,4$ ).

El caso de *R. batis* es interesante puesto que se podría asimilar a *R. trachyderma* por los mayores tamaños observados en las capturas de esta especie en Chile (hembras de 250 cm). En tanto que *R. montagui* y *R. naevus*, son especies que alcanzan tallas bastante menores a *R. chilensis*.

De acuerdo a lo observado en este estudio y a los datos recabados en la literatura, se comprobó que, como norma general, las hembras alcanzan mayores tallas y edades que los machos.

### 5.5 Ciclo de madurez reproductiva y época de desove

Para determinar los estados de madurez en hembras, se revisó la clave realizada por Donoso en Bahamonde *et al.*, (1996), compuesta originalmente por seis estados de madurez y se construyó una nueva escala de madurez tomando en consideración el desarrollo de la glándula de la cápsula, la cual es fácil de observar macroscópicamente. En esta nueva escala de madurez se definieron 5 estados que son:



---

ESTADO	CARACTERÍSTICAS
1	Gónada pequeña, sin óvulos presentes, glándula de la cápsula sin diferenciarse del útero
2	Gónada pequeña de color crema, óvulos pequeños y medianos, menores a 30 mm, glándula de la cápsula de color blanco, levemente diferenciada del útero.
3	Gónada mediana, óvulos mayores a 30 mm, glándula de la cápsula rojiza y de un tamaño entre 40 y 70 mm.
4	Gónada grande con huevos hialinos, glándula de la cápsula compacta con sus prolongaciones definidas y de un tamaño superior a 70 mm.
5	Cápsulas formadas y listas para eclosionar.

---

- **Talla de primera madurez e índice gonádico**

La talla de primera madurez sexual, definida como aquella talla en que el 50% de los ejemplares hembras tienen huevos, mediante el método gráfico dio como resultado una talla de 96 cm (Fig. 9). El número de ejemplares utilizados fue de 595 con tallas que fluctuaron entre los 63 y 119 cm.

La talla de primera madurez sexual obtenida (96 cm), fue algo menor a la informada por Fuentealba y Leible (1990), quienes la ubicaron en 100 cm y fue significativamente mayor a la reportada por Donoso en Bahamonde *et al.*, (1996), de 83 cm. Al respecto, se debe señalar que estos valores se deben tomar con precaución ya que en el trabajo anterior podría existir una cierta mezcla de especies de raya, y por su parte, en el presente estudio no se contó con ejemplares hembras de tamaños próximos a la madurez que permitieran hacer un seguimiento continuado.



Del análisis de las muestras de gónadas de hembras mayores a 96 cm, se obtuvo el número de ejemplares por estado de madurez por mes, que se presenta en la Tabla 10.

En la Figura 10 se muestran los índices gonádicos obtenidos por mes para el total de los ejemplares, en los cuales se aprecia que los mayores índices se presentan en diciembre.

Richards *et al.*, (1963), Fitz y Daiber (1963) y Berestovskii (1994) en estudios realizados en especies del género *Raja*, encontraron que la maduración de estas especies está directamente relacionada a la formación y desarrollo de la glándula de la cápsula, la cual incrementa en tamaño sincrónicamente con el desarrollo de los huevos. Por esta razón y dado que esta glándula es de fácil ubicación en los oviductos del útero, se optó por incluirla en la elaboración de una nueva escala de madurez, la cual es de lectura más rápida, de mayor confiabilidad y más práctica. Por otra parte, el desarrollo de la glándula de la cápsula es utilizada también en otros elasmobranquios, como son los Rhinobatidos (Timmons y Bray, 1997).

La escala de madurez y el índice gonádico indican que en el período de verano se producen desoves, como lo mencionan también Fuentealba y Leible (1990) y Donoso en Bahamonde *et al.*, (1996). Sin embargo, el período de desove de invierno detectado por estos últimos autores no fue observado en el presente estudio, lo cual tiene relación con el tamaño de los ejemplares capturados, ya que la mayoría estuvo cercana al límite de la talla de primera madurez sexual (Fig 4).





## 6. CONCLUSIONES

De la realización de este estudio, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- 6.1 Los parámetros biológicos que se presentan en este Documento, corresponden a la especie *Raja chilensis* (antes *Raja flavirostris*), ya que se tomaron las medidas necesarias a fin de instruir al personal de muestreadores para separar a la especie objetivo del resto de posibles especies que aparecen en las capturas. En el mismo sentido, en los análisis, sólo se incluyeron aquellos ejemplares que fueron capturados en la Zona de estudio (VIII - X Región).
- 6.2 La técnica de corte de vértebras utilizada para obtener las láminas, permitió discriminar satisfactoriamente los anillos de crecimiento, pudiendo además, reconocer una forma típica de lámina para "raya volantín" y verificar la presencia esporádica de una forma atípica, que correspondió a ejemplares con identificación dudosa, los que fueron descartados de los análisis.
- 6.3 De la experiencia de estimación de edades radiométricas utilizando las vértebras de raya se estableció, en primer lugar, un método de limpieza del material calcáreo, dejándolo libre de materia orgánica. Con ello se determinó la presencia del radioisótopo  $^{210}\text{Pb}$ , factible de cuantificar para la determinación de edad. No obstante, de la segunda fase del estudio se pudo constatar la necesidad de utilizar para la datación un modelo de decaimiento radioactivo que involucre el uso de dos isótopos a lo menos y los principios de desequilibrio radioactivo entre pares de isótopos de una serie de decaimiento como el par  $^{210}\text{Pb} / ^{226}\text{Ra}$ .



- 6.4** La comparación de lecturas entre Lectores fue aceptable, considerando por una parte, que uno de ellos era menos experimentado en el análisis de vértebras y por otra la mayor longevidad de la especie en estudio.
- 6.5** Se estableció la relación talla-edad observada para raya, entre las edades 4 y 20 para machos y 1 a 21 para hembras. Sin embargo, las mayores observaciones se efectuaron sobre ejemplares de 5 a 13 años en el caso de los machos y entre 5 y 17 en las hembras.
- 6.6** En la muestra analizada, se constató que las tallas de mayor frecuencia estuvieron entre los 70 y 79 cm de longitud total, los que corresponden principalmente a ejemplares de 6 y 7 años en machos y a 7 y 8 años en hembras.
- 6.7** Se estimaron los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy para machos, hembras y ambos sexos. De su análisis se constató que existen diferencias significativas entre los sexos. Por otra parte, presentan una tasa de crecimiento lenta y una longevidad media-alta, si se la compara con otros representantes del Género *Raja*.
- 6.8** Se revisó y formuló una nueva escala de madurez sexual de 5 estados, la que incorpora el desarrollo de la glándula de la cápsula, lo que la hace más práctica y confiable.
- 6.9** Mediante el método gráfico (50%) se estimó una talla de madurez sexual ubicada en 96 cm de longitud total.



- 6.10** Se confirma que esta especie presenta un desove en el período de verano. El posible desove de invierno no pudo ser establecido, probablemente a causa de que el tamaño de los ejemplares estuvo por debajo de la talla de madurez sexual.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---



## **7. OBSERVACIONES**

Como ya se señalara, queda pendiente la determinación exhaustiva de la especie con la cual se está trabajando, lo que se podría realizar con un programa de trabajo en el cual se considere la incorporación de técnicas como la Electroforesis y la determinación del RNA mitocondrial para la identificación de las principales especies que constituyen recursos económicos para el país.

## **8. AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente Informe agradecen los valiosos aportes entregados por el anónimo Evaluador del Proyecto, puesto que permitió enriquecer la discusión en un área de la Ictiología en que la información disponible aún es muy limitada.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---



## 9. 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:           **LECTEDAD.XLS.**       **Determinación de edad de raya**

Hoja 1            Machos  
Hoja 2            Hembras

Columna A       Mes  
Columna B       Nº de muestra  
Columna C       Nº de orden  
Columna D       LT : longitud total (cm)  
Columna E       Edad (M= machos ; H hembras)  
Columna F       Sexo

Archivo:           **LONGPESO.XLS.**       **Relación longitud-peso de raya**

Hoja 1            Machos  
Hoja 2            Hembras

Columna A       LT(cm)  
Columna B       Peso (g)



Archivo:           **REPRORAY.XLS.**           **Determinación de estados de madurez y época de desove de Raya Volantín**

Hoja 1            Data base

Columna A        Puerto de arribo  
Columna B        Mes de captura  
Columna C        Día de muestreo  
Columna D        Número correlativo  
Columna E        Longitud total en cm.  
Columna F        Peso total en kg.  
Columna G        Peso gónada en gramos  
Columna H        Sexo  
Columna I        Madurez  
Columna J        Madurez  
Columna J        Ancho de la glándula  
Columna J        Observaciones

Hoja 2            Madurez

Columna A        Mes  
Columna B        Longitud total en cm.  
Columna C        Peso total en kg  
Columna D        Peso gónada en gramos  
Columna E        Estado de madurez

Archivo:           **DATABASRI.XLS.**           **Determinación de edades radiométricas y tasa de crecimiento de Raya Volantín**

Hoja 1            Edad

Columna A        Edad  
Columna B        Longitud



Columna C      Peso

Columna D      Sexo

Hoja 2            Sexo

Columna A      Edad

Columna B      Longitud

Columna C      Peso

Columna D      Coeficiente

Columna E      Sexo 1

Columna F      Edad

Columna G      Longitud

Columna H      Peso

Columna I      Coeficiente

Columna J      Sexo 2

Hoja 3            Longitud

Columna A      Edad

Columna B      Longitud

Columna C      Peso

Columna D      Sexo

Hoja 4            Peso

Columna A      Edad

Columna B      Longitud

Columna C      Peso

Columna D      Sexo



## FIGURAS

Archivo: **F1LAMVER.WMF**

Figura 1. Lámina de vértebra de 0,3 mm de espesor de *Raja chilensis*, individuo de 71 cm LT.

Archivo: **F2LAMVER.WMF**

Figura 2. Láminas de vértebras de raya. (a) Forma "típica", lóbulos anchos, individuo de 71 cm LT. b) forma "atípica," lóbulos delgados, individuo de 137 cm LT.

Archivo: **FIG03A10.XLS**

Figura 3. Dispersión de las lecturas de edad del Lector 1 v/s el Lector 2, con repetición, en láminas de vértebras de raya y curva ajustada a ambas variables.

Figura 4. Distribución de frecuencias de tallas de rayas por sexos en la muestra para el estudio de edad y crecimiento. Octubre 1997 – septiembre 1998.

Figura 5. Distribución de edades observadas en láminas de vértebras de raya en la muestra analizada. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.

Figura 6. Distribución de tamaños de los ejemplares de rayas entre las edades 5 y 15. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.

Figura 7. Relación talla-edad observada de machos y hembras de raya (*Raja chilensis*) Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.

Figura 8. Curvas de crecimiento del modelo de von Bertalanffy para machos, hembras y ambos. Xª Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.

Figura 9. Talla de primera madurez de hembras de raya volantín.

Figura 10. Índice gonádico de raya volantín por mes.



## TABLAS

Archivo: **TB01A10.XLS**

- Tabla 1. Edades de raya asignadas en forma independiente por Lector1 y Lector 2.
- Tabla 2. Longitudes promedio y longitudes mínimas y máximas observadas por edad de raya. X<sup>a</sup> Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Tabla 3. Pesos promedio (gramos) y pesos mínimos y máximos observados (relación longitud-peso) por edad de raya. X<sup>a</sup> Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Tabla 4. Parámetros de crecimiento en longitud del modelo de von Bertalanffy para raya por sexo. X<sup>a</sup> Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Tabla 5. Longitudes promedio por edad estimadas para raya mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos. X<sup>a</sup> Región. Octubre 1997 – septiembre 1998.
- Tabla 6. Comparación de los parámetros de crecimiento de *R. chilensis* mediante el test de Hotelling ( $T^2$ ).
- Tabla 7. Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de raya volantín mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.
- Tabla 8. Comparación de los parámetros de crecimiento estimados para raya en Chile.
- Tabla 9. Comparación de los parámetros de crecimiento estimados para distintas especies del Género *Raja*.
- Tabla 10. Número de individuos por estado de madurez por mes.



## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

- ANEXO1A.DOC** Morfología externa de raya
- ANEXO1B.XLS** Clave para la identificación de géneros de raya presentes en las capturas
- ANEXO1C.XLS** Aspectos distintivos de dos especies del género raya

### **ANEXO 2**

- ANEXO2.DOC** Instructivo para el muestreo de vértebras y gónadas de raya

### **ANEXO 3**

- FOTO1.DOC** Microfotografía de vértebra de raya tomada con microscopio electrónico de barrido que muestra la estructura porosa que la compone.
- FOTO2.DOC** Microfotografía de vértebra de raya. Las flechas indican los anillos de crecimiento.
- FOTO3.DOC** Microfotografía de vértebra de raya. Las flechas indican el crecimiento aposicional de las capas.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bahamonde F., R., V. Correa, B. Leiva, M. Donoso y R. Gili. 1994. Pesca exploratoria de la raya volantín. IFOP. Informe final a Subsecretaría de Pesca: 107 p.
- Bahamonde F., R., G. Ojeda M., B. Leiva P., L. Muñoz R., M. Rojas G., M. Donoso P., R. Céspedes M. y R. Gili V. 1996. Pesca exploratoria de Raya Volantín en la zona sur-austral. IFOP. Informe final a Subsecretaría de Pesca: 120 p.
- 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. 1983. The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 112 (6) : 735-743.
- Bennett, J.; G. Boehlert and K. Turekian. 1982. Confirmation of longevity in *Sebastes diploproa* (Pisces: Scorpaenidae) from  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  measurement in otoliths. *Mar. Biol. (Berl.)* 71:209-215.
- Berestovskii, E. G. 1994. Reproductive biology of skates of the Family *Rajidae* in the seas of the Far North. *Journal of Ichthyology.* 34 (6): 24-37.
- Bernard, D.R. 1981. Multivariate analysis as a mean of comparing growth in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 233-236.



- Brander, K. y D. Palmer. 1985. Growth rate of *Raia clavata* in the Northeast Irish Sea. J. Cons. int. Explor. Mer, 42: 125-128.
- Cailliet, G. M., L. K. Martin, D. Kusher, P. Wolf y B. A. Welden. 1983a. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. Proceeding of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes. Tunas, Billfishes and Sharks. NOAA Tech. Rep. NMFS 8 : 157:165.
- Cailliet, G. M., L. K. Martin, J. T. Harvey, K. Kusher and B. A. Welden. 1983b. Preliminary studies on the age and growth of blue, *Prionace glauca*, common thresher, *Alopias vulpinus* and shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, sharks from California waters. NOAA Tech. Rep. NMFS 8 : 179-188.
- Cailliet, G. M. 1990. Elasmobranch age determination and verification: an updated review. Elasmobranchs as living resources. Advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. NOAA Technical report NMFS 90. 157-165.
- Cailliet, G. M., K. G. Yudin, S. Tanaka y T. Taniuchi. 1990. Growth characteristics of two populations of *Mustelus manazo* from Japan based upon cross-readings of vertebral bands. Elasmobranchs as living resources. Advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. NOAA Technical report NMFS 90 : 167-176.
- Campana, S., K. Zwanenbrug and N. Smith. 1990.  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  Determination of longevity in redfish. Can J. Fish. Aquat. Sci. 47:163-165.



- Campana, S, M. Annad y J. Mc.Millan. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. Trans. of Am. Fish. Soc. Vol 124: 131-138.
- 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 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.
- Christensen, J. 1964. Burning of otoliths, a technique for age determination of soles and other fish. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 29 (1): 73-81.
- Correa, V., R., Bahamonde, M. Donoso y B. Leiva. 1994. Pesca exploratoria de la raya volantín. Segunda etapa. IFOP. Informe final a Subsecretaría de Pesca: 108 p.
- Du Buit, M.H. 1977. Age et croissance de *Raja batis* et de *Raja naevus* en Mer Celtique. J. Cons. int. Explor. Mar. 37 (3) : 261-265.
- Fenton, G., D. Ritz and A. Short 1990.  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ . Disequilibria in otoliths of blue grenadier, *Macruronus novaezelandiae*, problems associated with radiometric ageing. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 41:467-73.



- 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.
- Fenton, G. and S. Short. 1994. Radiometric analysis of blue granadier, *Macruronus novaezelandiae*, otolith cores. Fish. Bull. 93:391-396.
- Ferreira, B.P. and C.M. Vooren. 1991. Age, growth, and structure of vertebra in the school shark *Galeorhinus galeus* (Linnaeus, 1758) from southern Brazil. Fishery Bulletin. V 89 (1) : 19-31
- Fitz E. and F. Daiber. 1963. An introduction to the biology of *Raja eglanteria* and *Raja erinacea* as they occur in Delaware Bay. Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection Vol. 18 (3): 69-97.
- Fuentealba, C., M. 1989. Aspectos biológicos de *Raja (Dipturus) flavirostris*, Phillippi, 1892 en el litoral de la zona central chilena (Elasmobranchii, Rajiformes, Rajidae). Tesis Dpto. Biol. y Téc. del Mar. Pont. U. Católica de Chile.
- Fuentealba M. y M. Leible. 1990. Perspectivas de la pesquería de raya volantín *Raja (Dipturus) flavirostris* : Estudio de edad, crecimiento y algunos aspectos reproductivos. In: M.A. Barbieri (Ed). Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile. Escuela de Ciencias del Mar, U.C.V. : 227-236.
- Gelsleichter, J., A. Piercy and J.A. Musick. 1998. Evaluation of copper, iron and lead substitution techniques in elasmobranch age determination. J. Fish Biol. 53 (3) : 465-470.



- Gili V., R. y L. Cid. 1993. Técnica de preparación de cortes de otolitos sagittae de peces. Informe interno. IFOP. Manuscrito.
- Hoening, J. M. y S. H. Gruber. 1990. Life-History patterns in the Elasmobranchs : implications for fisheries management. Elasmobranchs as livings resources. Advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90 : 1-16.
- Hoening, J. M., M.J. Morgan, and C.A. Brown. 1995. Analysing differences between two age determination methods by tests of symmetry. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 364-368.
- Holden, M. J. 1972. The growth of *Raja brachyura*, *R. clavata* and *R. montagui* as determined from tagging data. J. Cons. int. Explor. Mer, 34 : 161-168.
- Holden, M. J. 1977. Elasmobranchs. In: "Fish Population Dynamics", Gulland, J. A. (Ed.), John Wiley & Sons, N. Y., 187-215.
- Holden, M. J. y D.F.S. Raitt. 1975. Manual de Ciencia Pesquera. Parte II. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO, Doc. Téc. 115, Rev. 1: 211p
- Kennedy, W. A.. 1970. Reading scales to age Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) from Hecate Strait. J. Fish. Res. Board Can .27: 915 – 922.
- Kimura, D. K. and D. Lyons. 1991. Between-reader bias and variability in the age-determination process. Fishery Bulletin, U.S. 89 : 53-60



- Kume, S. and J. Joseph. 1969. Size composition and sexual maturity of billfishes caught by the Japanese longline fishery in the Eastern Pacific Ocean east of 130° W. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab (Shimizu), 2 : 115-162.
- Leible, M. 1984. Taxonomía de las rayas (Chondrichthyes, Rajiformes, Rajidae), del Pacífico suroriental, que habitan aguas entre los paralelos 33 y 41° de Latitud sur. Tesis doctoral (Resumen). Universidad de Barcelona. 50 p.
- Leible, M. 1987a. La pesquería de rayas en Chile. Problemática y potencialidad. En: Manejo y Desarrollo Pesquero. P. Arana (ed.) Esc. Cs. del Mar. Univ. Católica de Valparaíso. 69-80.
- Leible, M. 1987b. Descripción taxonómica de juveniles y adultos de *Raja (Dipturus) flavirostris* Philippi, 1892 (Rajiformes, Rajidae), capturados frente a la costa de Chile central. Gayana, Zool. 51 (1-4): 131-176.
- Lloris, D. y J. Rucabado. 1991. Ictiofauna del canal Beagle (Tierra del Fuego); aspectos ecológicos y análisis biogeográfico. Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr. n° 8 .182 p.
- Milton, D.; S. Short ; M. O'Neill and S. Blaber. 1995 Ageing of three species of tropical snapper (Lutjanidae) from the Gulf of Carpentaria, Australia, using radiometry and otolith ring counts. Fish. Bull. 93:103-115.
- Munro, J. L. and D. Pauly. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. Fishbytes 1 (1) : 5-6.



- Norman, J. R. 1937. Coast Fishes, Part II. The Patagonian Region. Discovery Reports, 16 : 1-150.
- Nottage A. and E. Perkins. 1983. Growth and maturation of roker *Raja clavata* L. In the Solway Firth. J. Fish Biol. 23, 43-48.
- Pequeño R., G. 1989. Peces de Chile. Lista sistemática revisada y comentada. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 24 (2) : 1-132.
- Pequeño R., G. y J. Lamilla G. 1985. Estudio sobre una colección de rayas del sur de Chile (Chondrichthyes, Rajidae). Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 21 (2) : 225-271.
- Pequeño R., G. y J. Lamilla G. 1997. Las pesquerías de condriictios en Chile : Primer análisis. Biol. Pesq.(Chile). 26 : 13-24.
- Richards, S., D. Merriman and L. Calhoun. 1963. Studies on the marine resources of southern New England. IX. The biology of the little skate, *Raja erinacea*. Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection. Vol. 18 (3): 5-67.
- Ryland, J.S. and T.O. Ajayi. 1984. Growth and population dynamics of three *Raja* species (Batoidei) in Carmarthen Bay, British Isles. J. Cons. int. Explor. Mer. 41 : 111-120.
- Schwartz, F. 1983. Shark ageing methods and age estimation of scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, and dusky, *Carcharhinus obscurus*, sharks based on vertebral ring counts. Proceedings of the international workshop on



age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, billfishes, and sharks. NOAA Tech. Rep. NMFS 8 : 167-174.

SERVICIO NACIONAL DE PESCA (SERNAPESCA). 1998. Anuario estadístico de pesca 1997. Min. Econ. Fom. y Reconst. (Chile). 307p.

Sielfeld, W. y M. Vargas. 1992. Tiburones y rayas del Pacífico Sur Oriental. Dept. Ciencias del Mar. U. Arturo Prat. TUB : 1, 135p.

Timmons, M. and R. Bray. 1997. Age, growth, and sexual maturity of shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus* (Ayres). Fishery Bulletin 95: 349-359.

Tortora, R. D. 1978. A note on simple size estimation for multinomial populations. The Amer. Statistian. 32 (3).

Waring, G. 1984. Age, Growth, and Mortality of the Little Skate off the Northeast Coast of the United States. Trans. of Amer Fish. Soc. 113: 314-321.

Welden, B. A., G. M. Cailliet y A. R. Flegal. 1987. Comparison of radiometric with vertebral band age estimates in four California elasmobranchs. *In*: The Age and Growth of Fish. Summerfeld and Hall (Eds.). The Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010, pp. 301-315

Wilson, C.A., R.J. Beamish, E.B. Brothers, K.D. Carlander, J.M. Casselman, J.M. Dean, A. Jearld, Jr, E.D. Prince y A. Wild. 1987. Glosary, p. 527-530. *In* : R.C. Sumerfelt y G.E. Hall (eds.). The age and growth of fish. Iowa State University Press, Ames, Iowa.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---

# FIGURAS

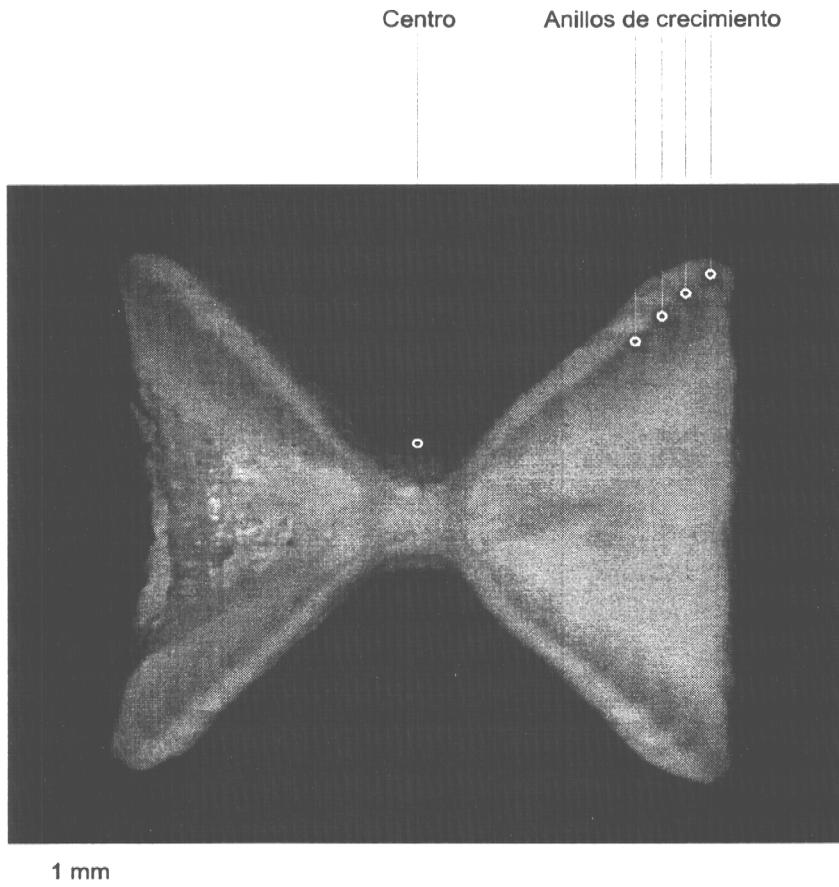


Fig 1. Lámina de vértebra de 0,3 mm de espesor de *Raja chilensis*, individuo de 71 cm LT.

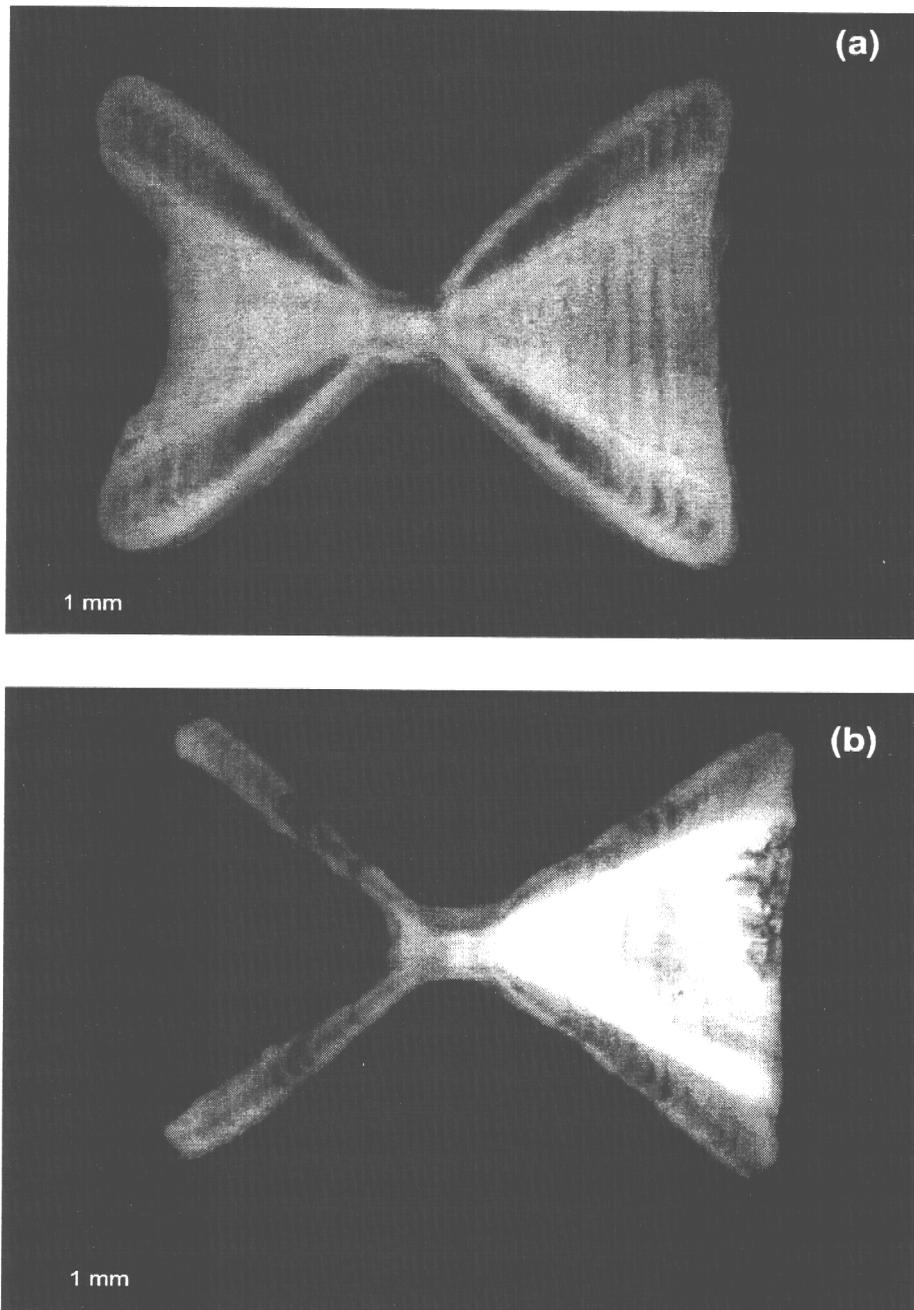


Fig 2. Láminas de vértebras de raya  
(a) Forma "típica", lóbulos anchos, individuo de 71 cm LT.  
(b) Forma "atípica", lóbulos delgados, individuo de 137 cm LT.

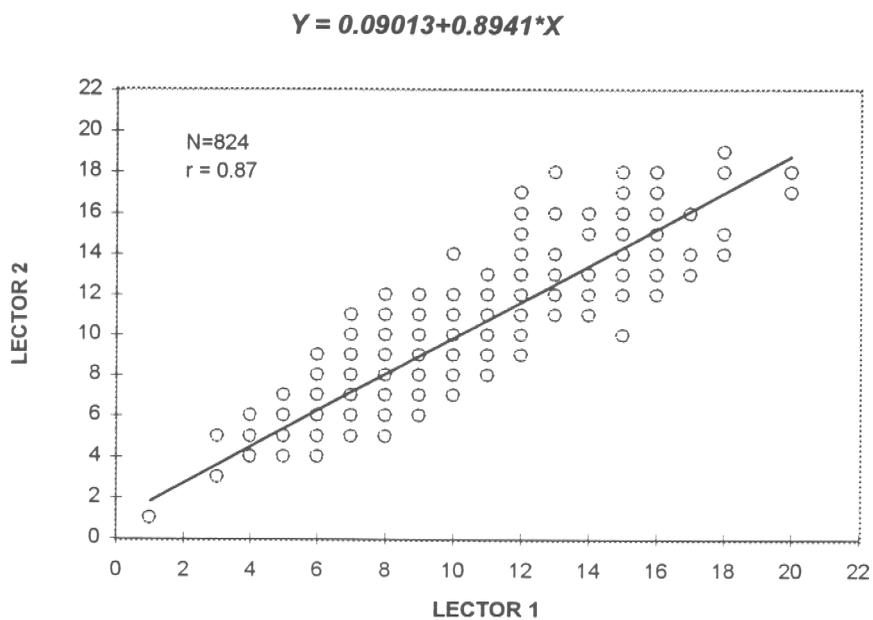


Fig. 3. Dispersión de las lecturas de edad del Lector 1 v/s el Lector 2, con repetición, en láminas de vértebras de raya y curva ajustada a ambas variables.

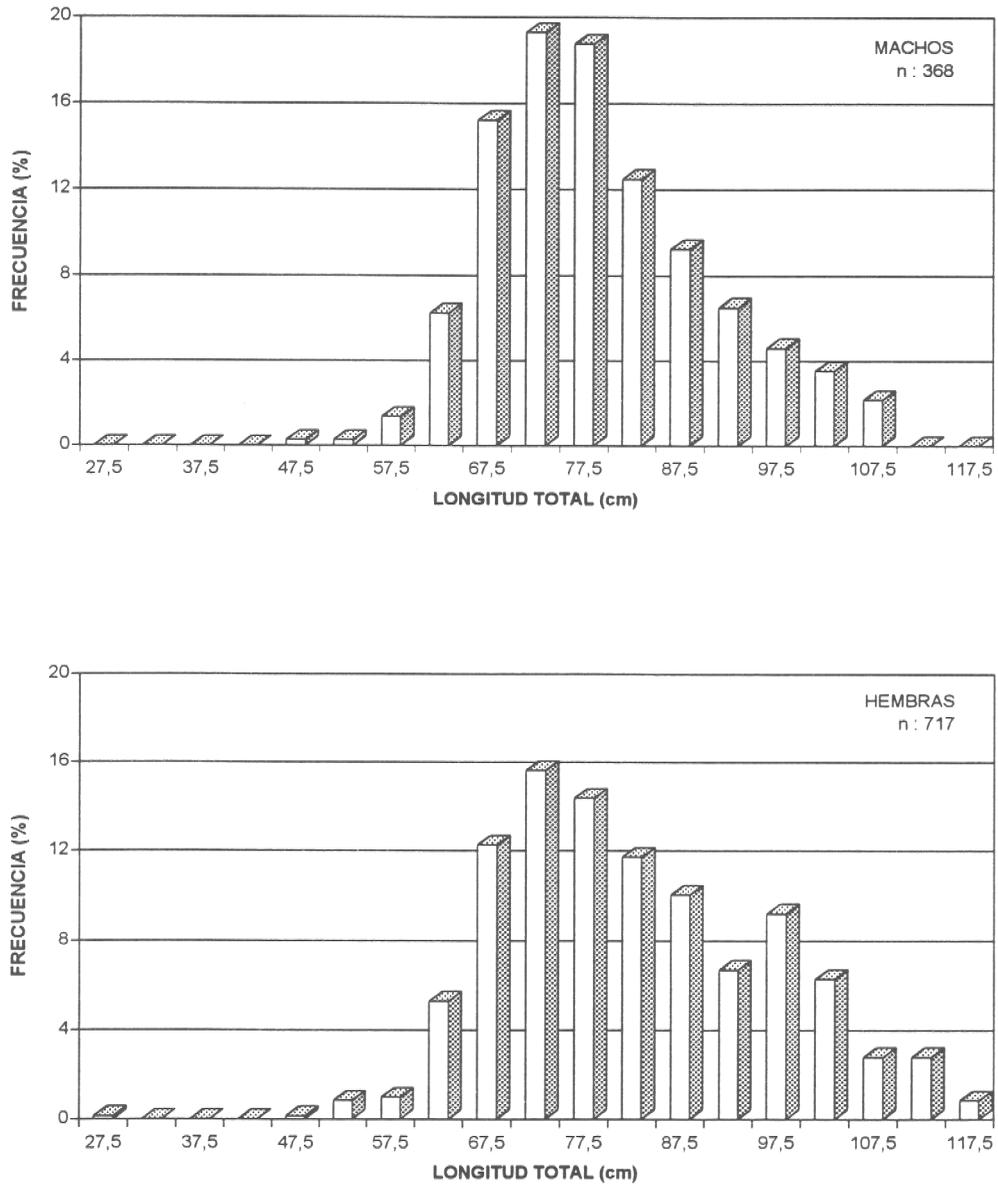


Fig. 4. Distribución de frecuencias de tallas de rayas por sexos en la muestra para el estudio de edad y crecimiento. Octubre 1997 - septiembre 1998.

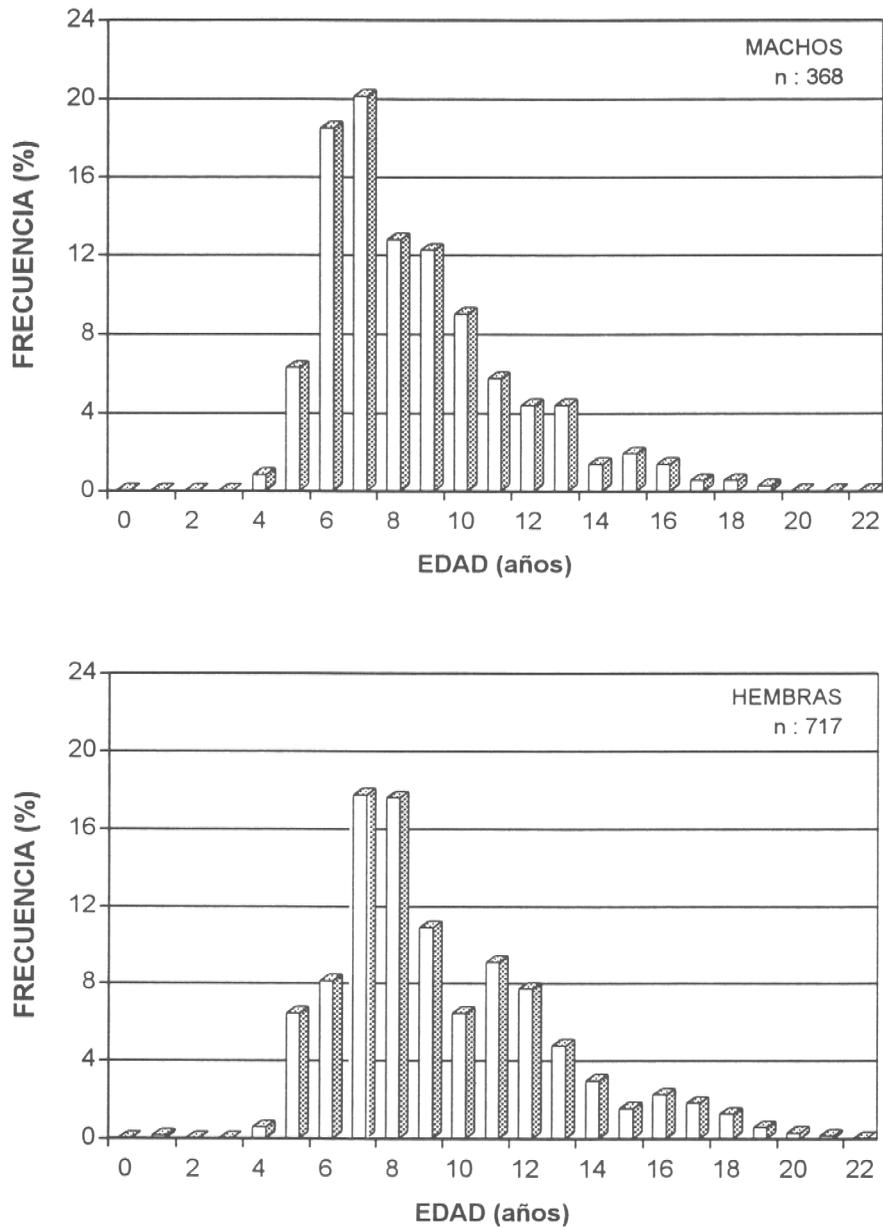


Fig. 5. Distribución de edades observadas en láminas de vértebras de raya en la muestra analizada. Xª Región. Octubre de 1997 - septiembre de 1998.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

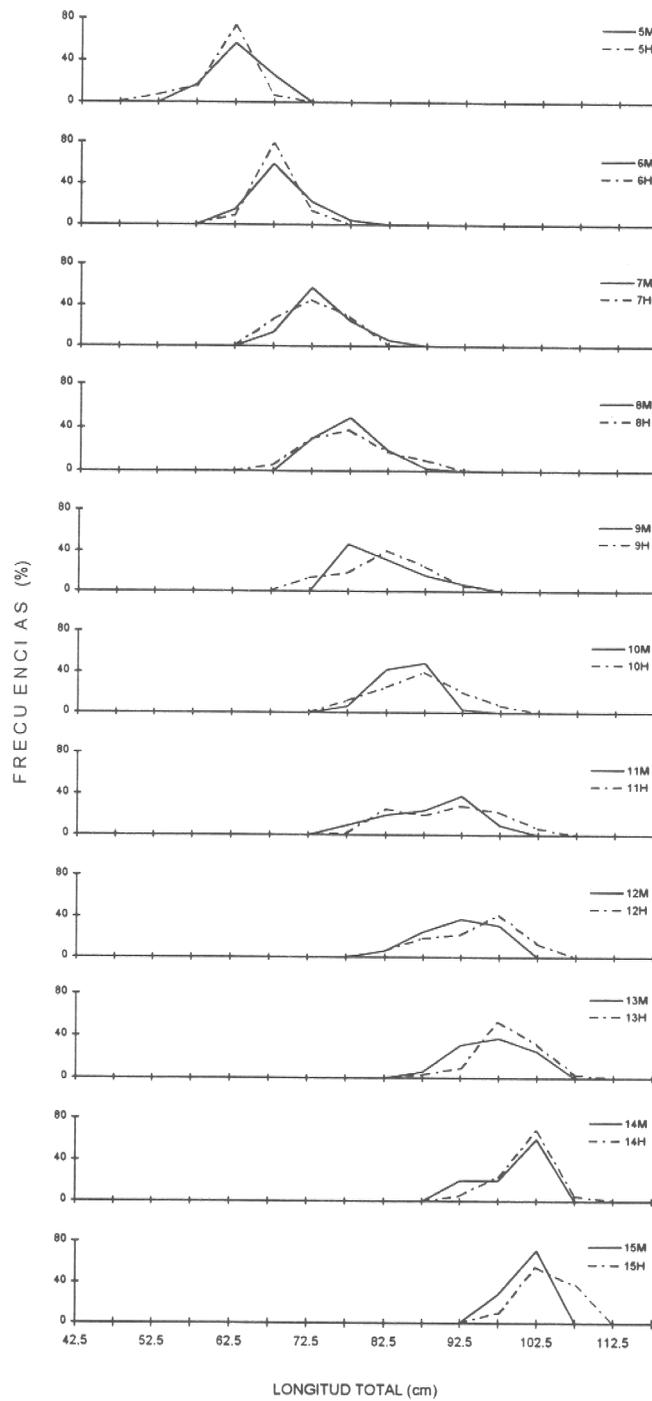


Fig. 6. Distribución de tamaños de los ejemplares de rayas entre las edades 5 y 15. X Región. Octubre de 1997 - septiembre de 1998

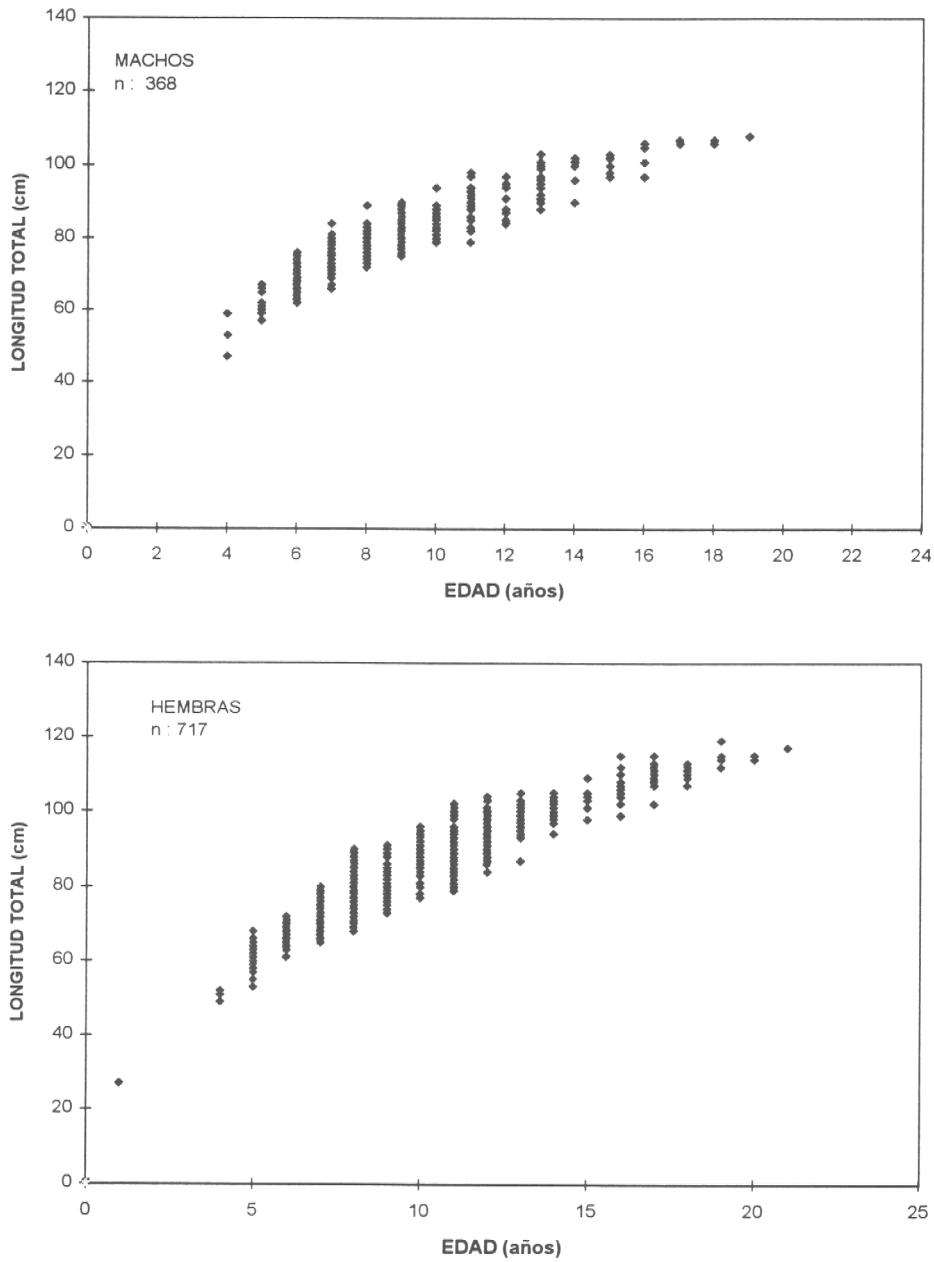


Fig. 7. Relación talla-edad observada de machos y hembras de raya (*Raja chilensis*).  
X Región. Octubre de 1997 - septiembre de 1998.

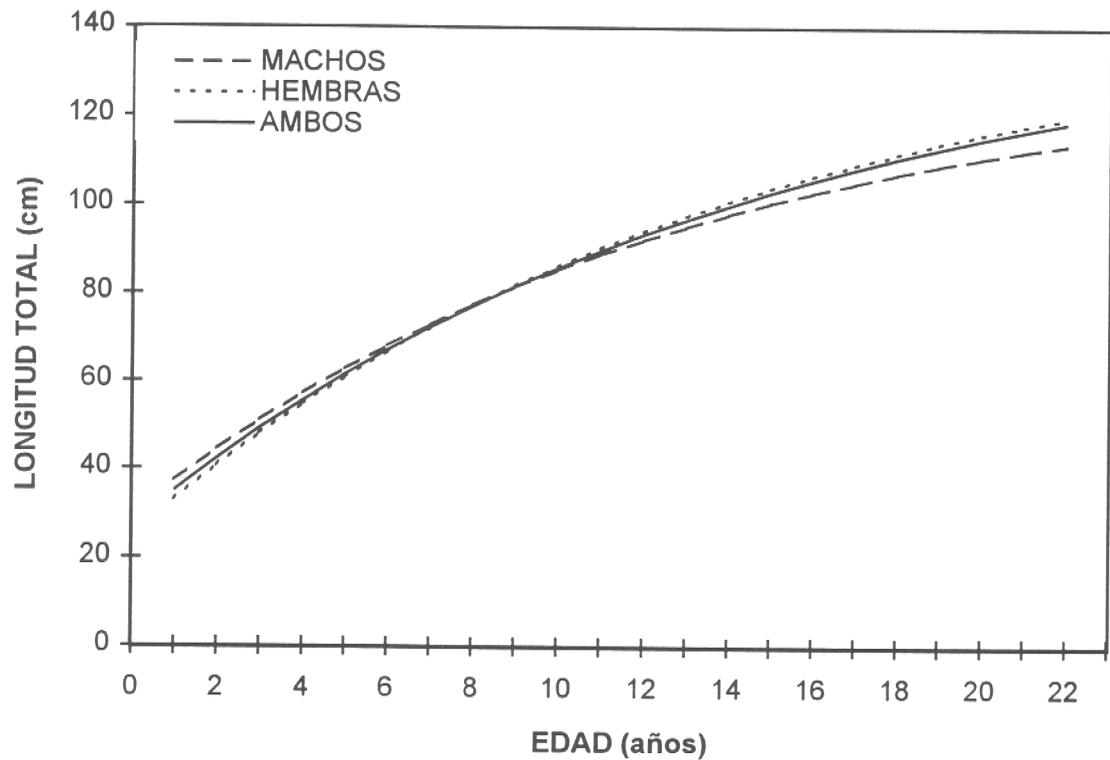


Fig. 8. Curvas de crecimiento del modelo de von Bertalanffy para machos, hembras y ambos, ajustadas para raya. Xª Región. Octubre de 1997-septiembre de 1998.

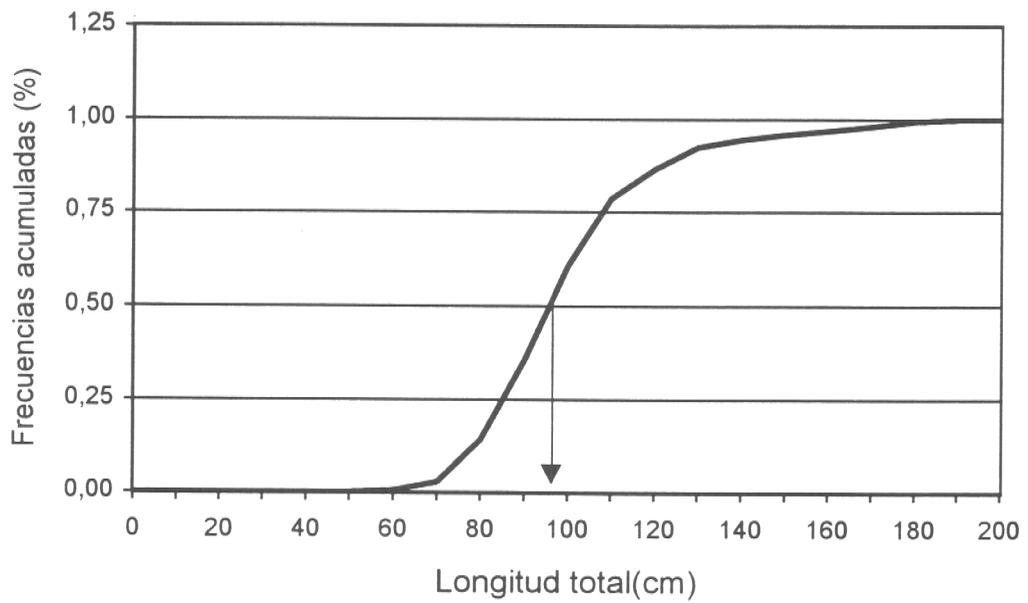


Fig. 9. Talla de primera madurez de raya volantín

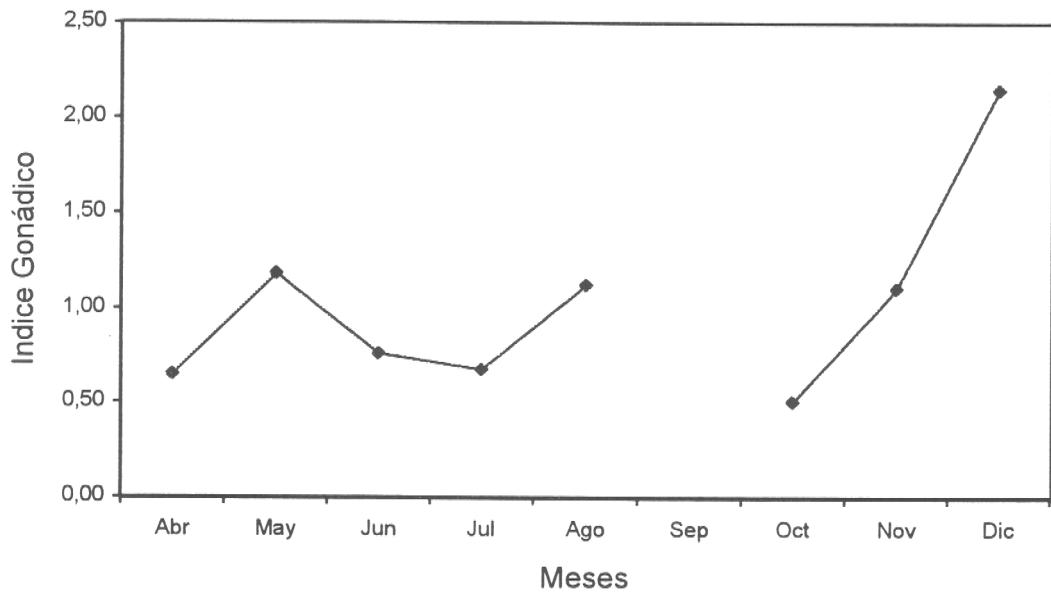


Fig. 10. Indice gonádico de raya volantín por mes.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---

# T A B L A S



Tabla 1. Edades de raya asignadas en forma independiente por Lector 1 y Lector 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total	
LECTOR 1	1																					1
LECTOR 2		1																				1
			1																			3
				1																		10
					1																	41
						1																83
							1															128
								1														138
									1													119
										1												115
											1											51
												1										60
													1									24
														1								16
															1							15
																1						10
																	1					5
																		1				6
																			1			0
																				1		2
																					1	0
																					1	2
Total	1	0	1	10	45	102	134	125	110	83	70	58	34	18	10	9	6	7	1	0	824	



Tabla 2. Longitudes promedio y longitudes mínimas y máximas observadas por edad de raya. Xª Región. Octubre de 1997-

		E D A D (años)																					TOTAL	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
<b>MACHOS</b>																								
	<b>N°</b>	3	23	68	74	47	47	45	33	21	16	16	5	7	5	2	2	1						368
	<b>PROMEDIO</b>	53,0	62,0	68,0	73,1	77,1	80,7	84,5	88,0	91,6	95,6	97,8	100,7	102,8	106,5	106,5	108,0							
	<b>MIN</b>	47	57	62	66	72	75	79	79	84	88	90	97	97	106	106	108							
	<b>MAX</b>	59	67	76	84	89	90	94	98	103	103	102	103	106	107	107	108							
<b>HEMBRAS</b>																								
	<b>N°</b>	1	4	46	58	127	126	78	46	65	55	34	21	11	16	13	9	4	2	1			717	
	<b>PROMEDIO</b>	27,0	51,0	61,1	67,4	72,2	76,7	81,5	86,1	90,0	94,0	98,0	100,7	104,1	106,5	109,8	110,6	115,0	114,5	117,0				
	<b>MIN</b>	27	49	53	61	65	68	73	77	79	84	87	94	96	99	102	107	112	114	117				
	<b>MAX</b>	27	52	68	58	80	90	91	96	102	104	105	105	109	115	115	113	119	115	117				



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Tabla 3. Pesos promedio (gramos) y pesos mínimos y máximos observados (relación longitud-peso) por edad de raya. Xª Región. Octubre de 1997- septiembre de 1998.

		E D A D (años)																					TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
<b>MACHOS</b>																							
	N°				3	23	68	74	47	45	33	21	16	16	5	7	5	2	2	1			368
	PROMEDIO (g)	0	0	0	884	1466	1979	2607	2971	3448	3997	4668	6185	6967	6417	7067	7540	8454	8464	8846	0	0	
	MIN	0	0	0	600	1119	1469	1798	2383	2719	3217	3217	3923	4560	4904	6249	6249	8326	8326	8845	0	0	
	MAX	0	0	0	1251	1888	2838	3923	4730	4904	5645	6460	6249	7588	7352	7588	8326	8583	8583	8845	0	0	
<b>HEMBRAS</b>																							
	N°	1			4	46	58	127	126	78	46	65	55	34	21	11	16	13	9	4	2	1	717
	PROMEDIO (g)	116	0	0	848	1494	2026	2612	3031	3670	4357	5009	6736	6640	7106	7889	8474	9314	9624	10772	10627	11369	
	MIN	116	0	0	748	957	1484	1810	2065	2602	3074	3331	4035	4503	5736	6534	6744	7404	8599	9918	10482	11369	
	MAX	116	0	0	901	2065	1268	3465	5007	5183	6126	7404	7867	8106	8106	9111	10772	10772	10198	11987	10772	11369	



Tabla 4. Parámetros de crecimiento en longitud del modelo de von Bertalanffy para raya por sexo.  
Xª Región. Octubre de 1997- septiembre de 1998

SEXO	PARÁMETRO	VALOR	ERR. ST	LÍMITES		N	EDADES	INDICE CRECIMIENTO EFECTIVO (φ)
				INF.	SUP.			
MACHOS	Loo	131,9	7,099	118,0	145,9	368	4 a 19	3,138
	K	0,079	0,011	0,056	0,101			
	to	-3,175	0,648	-4,449	-1,902			
HEMBRAS	Loo	143,8	5,020	134,0	153,7	717	4 a 21	3,179
	K	0,073	0,006	0,060	0,085			
	to	-2,545	0,369	-3,270	-1,820			
AMBOS	Loo	143,9	4,610	134,9	152,9	1085	4 a 21	3,161
	K	0,07	0,006	0,059	0,081			
	to	-2,975	0,337	-3,635	-2,314			



Tabla 5. Longitudes promedio por edad calculadas para raya mediante las ecuaciones de crecimiento ajustadas para machos, hembras y ambos sexos.  
Xª Región. Octubre de 1997 - septiembre de 1998.

<b>EDAD (Años)</b>	<b>MACHOS</b>	<b>HEMBRAS</b>	<b>AMBOS</b>
1	37,1	32,8	35,0
2	44,3	40,6	42,3
3	50,9	47,9	49,2
4	57,1	54,6	55,6
5	62,8	60,9	61,6
6	68,0	66,7	67,1
7	72,9	72,2	72,3
8	77,3	77,2	77,2
9	81,5	81,9	81,7
10	85,3	86,3	85,9
11	88,9	90,3	89,8
12	92,1	94,1	93,5
13	95,1	97,6	96,9
14	97,9	100,8	100,0
15	100,5	103,8	103,0
16	102,9	106,7	105,8
17	105,1	109,3	108,4
18	107,1	111,7	110,8
19	109,0	114,0	113,0
20	110,8	116,1	115,1
21	112,4	118,0	117,0
22	113,8	119,8	118,9



Tabla 6. Comparación de los parámetros de crecimiento de *R. chilensis* mediante el test de Hotelling ( $T^2$ )

COMPARACIÓN	$T^2$		n1/n2	DECISIÓN
	CALCULADO	CRÍTICO		
MACHOS V/S HEMBRAS	69,912	7,845	368  717	DIFERENCIAS SON SIGNIFICATIVAS



Tabla 7. Comparación entre el crecimiento de machos y hembras de raya volantín mediante el Análisis de suma de cuadrados residuales.

<b>ESPECIE :</b>	RAYA VOLANTÍN	<b>VAR1 :</b>	MACHOS
<b>ZONA :</b>	Xª REGIÓN	<b>VAR2 :</b>	HEMBRAS
<b>PERIODO :</b>	OC97-SP98	<b>Nº VAR:</b>	2
<b>MÉTODO</b>			
<b>LECTURA :</b>	LÁMINAS DE VERTEBRAS		
	<b>SS</b>	<b>N</b>	<b>DF</b>
<b>RSSp :</b>	1986,900	1085	1082
<b>RSS1 :</b>	535,486	368	365
<b>RSS2 :</b>	1395,090	717	714
<b>RSSs :</b>	1930,576		1079
<b>DF(p-1+2):</b>	3		
<b>K(nºvar):</b>	2		
<b>F(calc.) =</b>	<b>10,5</b>		
<b>F(Tab.3,1079) =</b>	<b>2,6</b>		
<b>COMENTARIO:</b>	<b>F(calc.) &gt; F(Tab.)</b>		
	<b>RECHAZA HIPOTESIS DE IGUALDAD</b>		

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



Tabla 8. Comparación de los parámetros de crecimiento estimados para raya en Chile.

AUTORES		PARÁMETROS										n total
		MACHOS					HEMBRAS					
		$L_{\infty}$ (cm)	K	$t_0$	n	IND. CREC. EFECTIVO ( $\phi$ )	$L_{\infty}$ (cm)	K	$t_0$	n	IND. CREC. EFECTIVO ( $\phi$ )	
1	uentelba (1989)	118,9	0,123	-1,430		3,240	123,6	0,127	-1,336		3,288	129
2	Gili (1994)	117,9	0,126	-0,514	111	3,243	149,0	0,079	-1,903	162	3,244	273
3	Gili (1996)	171,5	0,050	-3,450	217	3,167	187,2	0,05	-2,820	309	3,244	526
4	Pres. estudio	131,9	0,079	-3,175	368	3,167	143,8	0,073	-2,545	717	3,244	1085

- 1 VIIIª Región Ajuste con valores promedio
- 2 Xª Región Ajuste con valores promedio
- 3 XI y XIIª Región Ajuste con todos los pares de datos talla-edad
- 4 VIIIª - Xª Región Ajuste con todos los pares de datos talla-edad



Tabla 9. Comparación de los parámetros de crecimiento estimados para distintas especies del Género *Raja*.

	ESPECIE y AUTOR	PARÁMETROS											
		MACHOS						HEMBRAS					
		L <sub>∞</sub> (cm)	K	t <sub>0</sub>	EDAD MAX **	IND. CREC. EFECTIVO (φ)	L <sub>∞</sub> (cm)	K	t <sub>0</sub>	EDAD MAX **	IND. CREC. EFECTIVO (φ)		
1	<i>R. brachyura</i> (Holden, 1972)	115,0	0,190	-0,800	15	3,400	118,4	0,190	-0,800	15	3,425		
2	<i>R. clavata</i> (Holden, 1972)	85,6	0,210	-0,600	14	3,187	107,0	0,130	-0,600	22	3,173		
3	<i>R. clavata</i> (Ryland y Ajayi, 1984) *	139,2	0,090	-2,626	31	3,242							
4	<i>R. clavata</i> (Brander y Palmer, 1986) *	105,0	0,215	0,450	14	2,953							
5	<i>R. montagui</i> (Holden, 1972)	68,7	0,190	-0,560	15	2,953	72,8	0,180	-0,370	16	2,980		
6	<i>R. montagui</i> (Ryland y Ajayi, 1984) *	97,8	0,152	-1,719	18	3,163							
7	<i>R. batis</i> (Du Buit, 1977) *	253,7	0,057	-1,629	51	3,565							
8	<i>R. naevus</i> (Du Buit, 1977) *	91,64	0,108	-0,465	27	2,958							
9	<i>R. microcellata</i> (Ryland y Ajayi, 1984) *	137,0	0,086	-3,009	32	3,208							
10	<i>R. chilensis</i> (Pres. estudio)	131,9	0,079	-3,175	35	3,138	143,8	0,073	-2,545	38	3,179		

\* : Ambos sexos

\*\* : Edad a la que se lograría el 95% de L<sub>∞</sub>

**METODO DE DETERMINACIÓN DE EDAD**

- Holden (1972) : Marcaje
- Du Buit (1977) : Anillos en vértebras
- Ryland y Ajayi (1984) : Anillos en vértebras
- Brander y Palmer (1986) : Frecuencias de longitudes
- Presente estudio (1998) : Anillos en vértebras



Tabla 10. Número de individuos por estado de madurez por mes.

Estado	MESES									
	Oct '97	Nov '97	Dic'97	Abr '98	May '98	Jun '98	Jul '98	Ago '98		
1	0	52	4	0	3	2	3	1		
2	76	71	22	5	6	4	3	20		
3	6	23	19	3	5	5	8	49		
4		1	6							
5										



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---

# ANEXOS

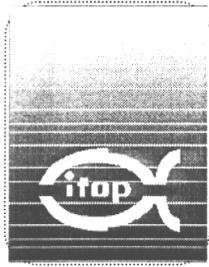


INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

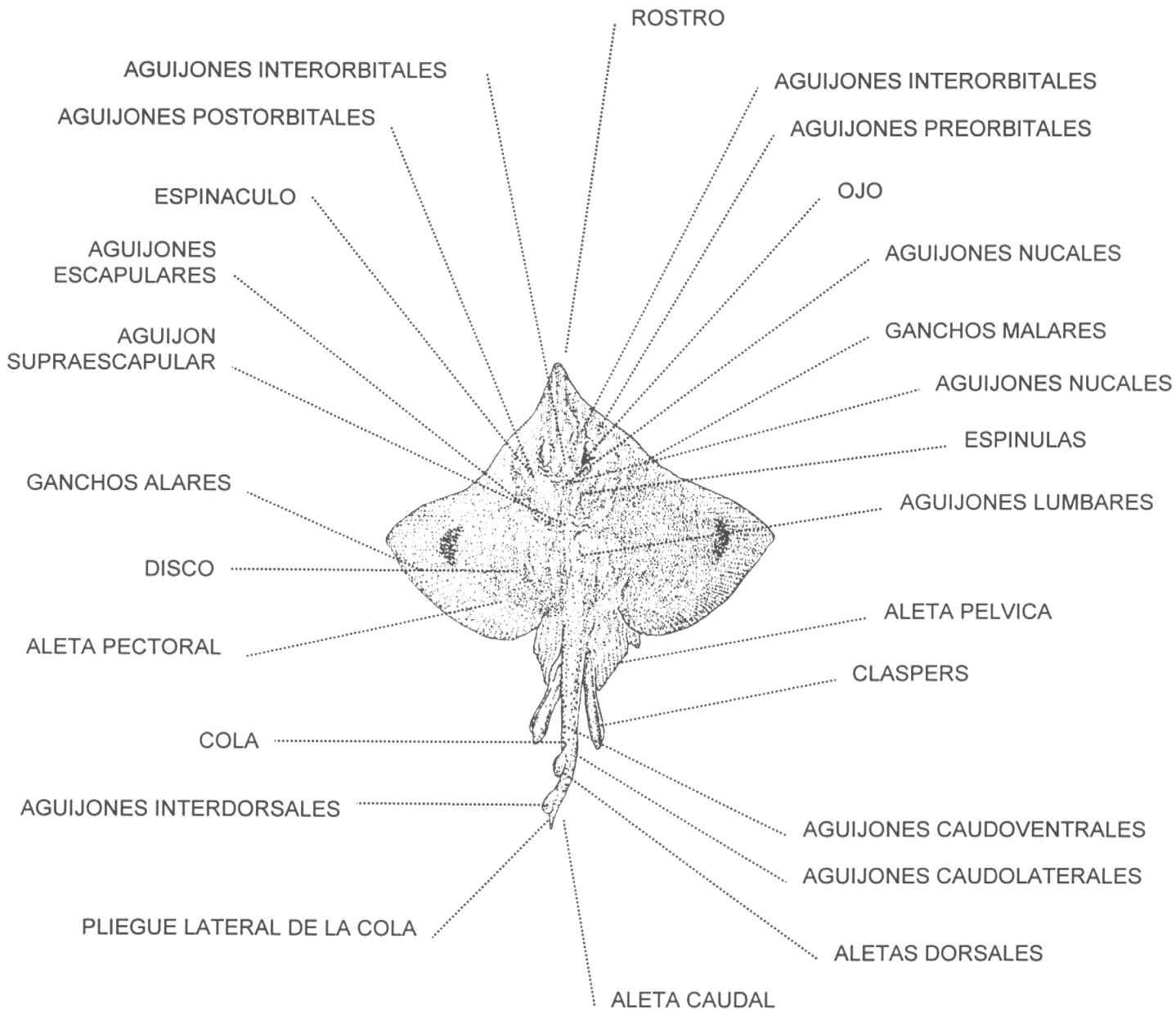
---

# ANEXO 1

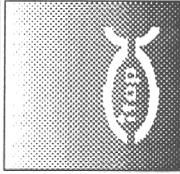
## MORFOLOGIA EXTERNA DE RAYA



## MORFOLOGÍA EXTERNA DE RAYA (VISTA DORSAL)



## ASPECTOS DISTINTIVOS DE DOS ESPECIES DEL GÉNERO RAJA



### *Raja (Dipturus) chilensis* "Raya volantín"

1 o 2 agujones nucales

Los agujones del disco y cola no presentan costillas en su recorrido, siendo más bien lisos y de base oval.

12 a 30 agujones centro-caudales.

Rostro largo y casi transparente.

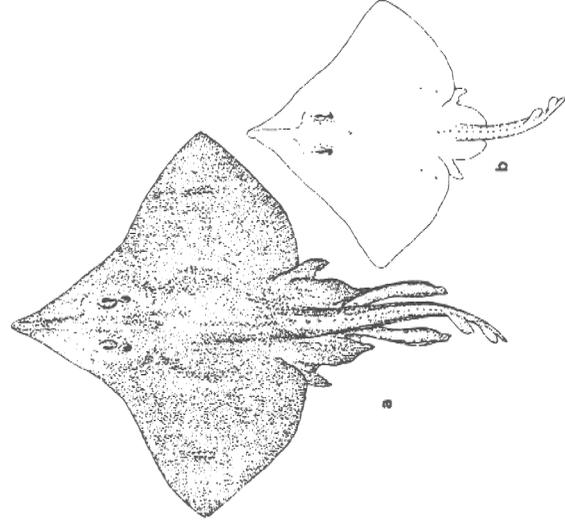
Claspers con protuberancia subterminal.

**Coloración:** dorsal y ventral similar, siendo el rostro amarillo rojizo, mientras que el disco y región caudal pardo o rojo violeta con los bordes del disco más rojos.

Longitud máxima 130 cm

Profundidad : 30 a 300 m

Las hembras alcanzan las mayores tallas.



### *Raja (Dipturus) trachyderma* "Raya volantín espinuda"

Sin agujones nucales.

Superficie ventral cubierta de abundante espinulación.

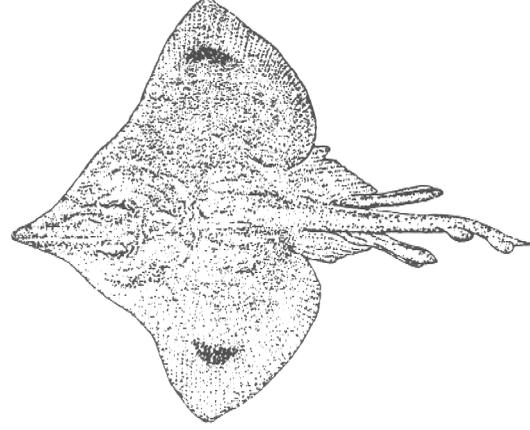
Ausencia de agujones escapulares y supraescapulares..

Puede presentar agujones interdorsales, los que van de 1 a 4.

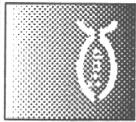
**Coloración:** disco y región caudal parda oscura con tonos rojizos tanto en dorso como en el vientre.

Alcanza las mayores longitudes en Chile: 220 cm.

Profundidad : 150 a 450 m



CLAVE PARA LA IDENTIFICACIÓN DE GENEROS DE RAYAS PRESENTES EN LAS CAPTURAS



Radios pectorales no alcanzan el extremo del hocico.

Cráneo con proceso rostral rígido y fuerte alcanzando el extremo distal del hocico.

Radios pectorales alcanzan el extremo del hocico.

Cráneo con proceso rostral flexible.

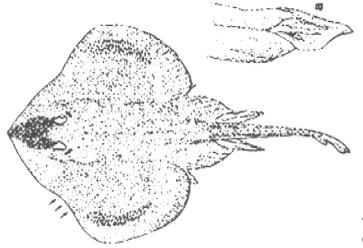
Cartilago rostral no unido al cráneo

Cartilago rostral unido al cráneo

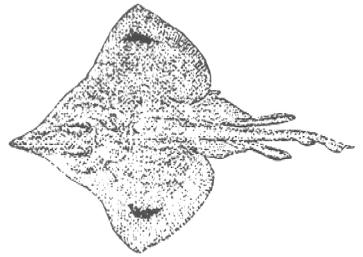
A cada lado de la fontanela anterior del cráneo hay una fontanela nasal.

Sin fontanelas nasales en el cráneo.  
Cartilago rostral delgado.

PSAMMOBATUS  
Gunther, 1870

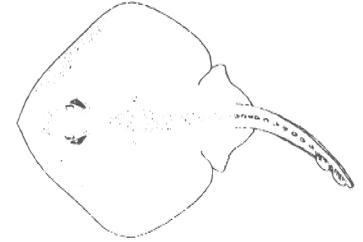


RAJA  
Linnaeus, 1758



Cartilago rostral delgado y recto.  
Aletas pélvicas cuando extendidas, con borde distal suavemente cóncavo.

SYMPTERIGIA  
Muller y Henle, 1841



Cartilago rostral delgado, generalmente ondulado.  
Aletas pélvicas, cuando extendidas con borde distal fuertemente emarginado.

BATHYRAJA  
Ishiyama, 1958

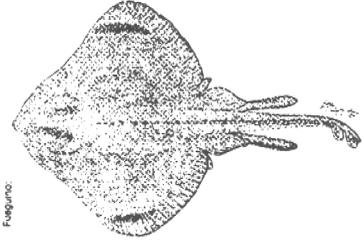


Fig. 1. Pájaro.

Fig. 2. Bathyraja abyssorum. Recibido a EPO de Horner (1987).



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---

# **ANEXO 2**

## **INSTRUCTIVO PARA EL MUESTREO DE VERTEBRAS Y GONADAS DE RAYA**

## INSTRUCTIVO PARA EL MUESTREO DE VÉRTEBRAS Y GÓNADAS DE RAYA.

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE OBJETIVO

La especie objetivo es la raya volantín (*Raja chilensis*). Se adjunta clave para su identificación.

### 2. DATOS A OBTENER

De cada ejemplar se deberá registrar en un formulario los siguientes datos:

- Longitud total (cm). (Tomada desde el rostro hasta el extremo de la cola).  
Ver figura 1.
- Peso total
- Sexo

### 3. MUESTREO DE VÉRTEBRAS

- 3.1 De cada ejemplar se deberá cortar con un cuchillo, un trozo de columna de alrededor de 10 cm de largo, de la zona que se indica en el esquema.

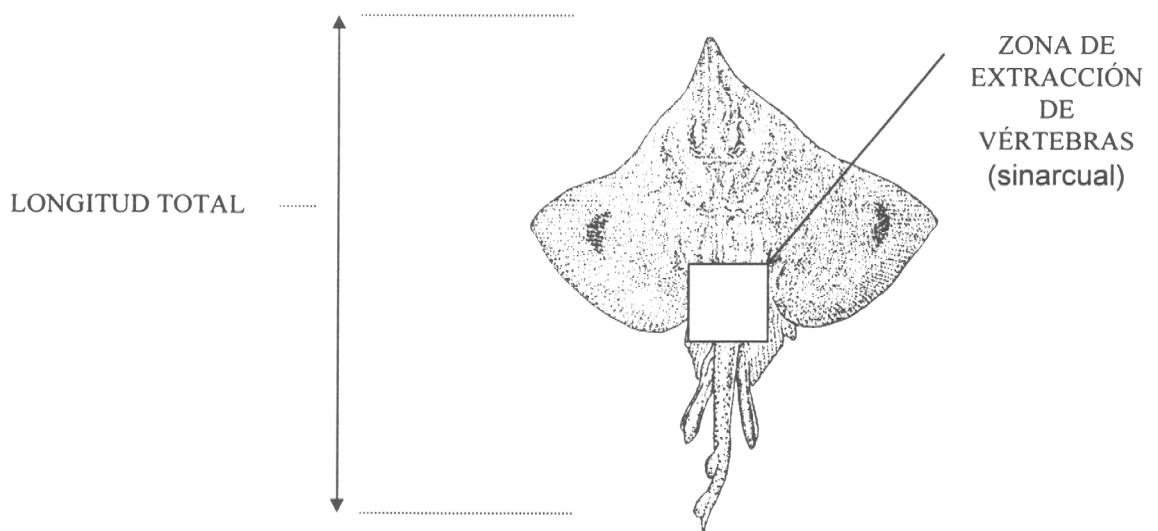


Figura 1.

- 3.2 Cada trozo de columna debe ser colocado dentro de una bolsa de polietileno con una etiqueta de papel diamante escrita con lápiz grafito donde se registrará el nombre de la embarcación, el número de orden, número de lance, longitud total del ejemplar, peso total del ejemplar y sexo.
- 3.3 Las muestras deben ser conservadas congeladas o con hielo .

#### 4.0 MUESTREO DE GÓNADAS

- 4.1 De cada ejemplar **hembra** se deberán extraer las dos gónadas adosadas a ambos lados de la columna. Para ello, con un cuchillo, se debe hacer un corte ventral a partir del ano y retirar las vísceras del interior, en el fondo se encontrarán las gónadas con sus correspondientes oviductos. Se debe tener mucho cuidado al manipularlas a fin de no dañarlas.

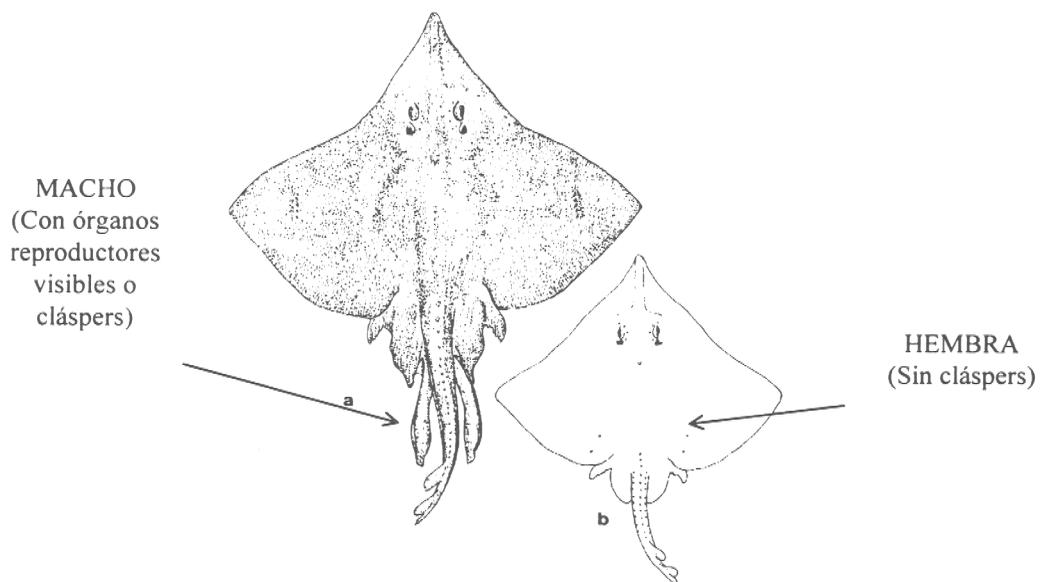


Figura 2. Esquemas de ejemplares macho y hembra de raya

**4.2** Ambas gónadas deberán ser colocadas dentro de una bolsa de polietileno con una etiqueta donde se registrará con lápiz grafito, el nombre de la embarcación, fecha, número de lance, longitud total del ejemplar y peso total del ejemplar.

**4.3** Las muestras deben ser conservadas congeladas o con hielo.

## **5.0 TAMAÑO DE LA MUESTRA**

**5.1** Por cada marea, las longitudes de los ejemplares muestreados, en lo posible deben cubrir el máximo de tamaños presentes en la pesquería, tanto para machos como para hembras, de manera que se trata de un muestreo estratificado con clases de tallas cada 5 cm, considerándose 5 ejemplares por cada clase de tamaño.

**5.2** Para el efecto señalado, por marea y para cada sexo, se llevará un registro de la distribución de frecuencias estratificadas a fin de facilitar la búsqueda de las tallas requeridas

**5.2** El número de ejemplares a muestrear por marea para los primeros meses de 1998 deberá ser de alrededor de 120 ejemplares por sexo. Esta cantidad variará en el curso del estudio.

## **6.0 TRASLADO DE LAS MUESTRAS**

**6.1** Para el traslado, es recomendable darle un golpe de frío a las muestras previo a su inclusión en cajas isotermas. Si ésto no fuese posible, se colocarán bolsas con hielo en las cajas.

**6.2** Las muestras tanto de vértebras como de gónadas deben ser enviadas vía aérea a la sede de IFOP en Valparaíso (Huito 374) a nombre de Raúl Gili o Miguel Donoso.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---

# **ANEXO 3**

## **ESTUDIO “DETECCION DE ISOTOPOS NATURALES EN VERTEBRAS DE RAYA VOLANTIN”**

**ESTUDIO**

**DETECCIÓN DE ISOTOPOS NATURALES  
EN VÉRTEBRAS DE RAYA VOLANTIN**  
*Raja (Dipturus) chilensis*

Autor:

**DR. MARCO SALAMANCA O.**

Preparado para:

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

- Diciembre de 1998 -

## INDICE

	<b>Página</b>
<b>1. CONSIDERACIONES GENERALES</b> -----	1
<b>2. METODOS</b> -----	4
2.1 Tratamiento químico -----	5
2.2 Procedimiento radioquímico -----	6
2.3 Estudio de la estructura calcárea-----	6
2.3.1 Microfotografías-----	6
2.3.2 Radiografías-----	7
<b>3. RESULTADOS</b> -----	7
3.1 Tratamiento químico-----	7
3.2 Análisis radioquímico-----	7
3.3 Cuantificación radioisótopos-----	8
3.4 Microfotografías-----	9
3.5 Radiografías-----	10
<b>4. CONCLUSIONES</b> -----	10
<b>5. COMENTARIO GENERAL</b> -----	11
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> -----	13

**FIGURAS**

**TABLAS**

## 1. - CONSIDERACIONES GENERALES

El presente documento constituye el Informe Final de un estudio realizado para la **“DETECCIÓN DE ISOTOPOS NATURALES EN VERTEBRAS DE RAYA VOLANTIN (*Raja (Dipturus) chilensis*)”** el cual tiene como objetivo fundamental, determinar un procedimiento radioquímico para detectar la presencia de  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{226}\text{Ra}$  para una posible estimación de la edad de la raya volantín

La importancia de conocer la edad y tasa de crecimiento de los organismos es un hecho reconocido en biología, ya que forma parte de la historia de la vida de éstos. Si este organismo es un recurso económico, se hace aún más necesario el disponer estimaciones precisas de su edad.

Los estudios clásicos de la edad de peces se han realizado preferentemente, utilizando la lectura de anillos en estructuras duras como otolitos, huesos, escamas, etc. Sin embargo, existe gran variabilidad e incertidumbre en estas determinaciones, por lo que la validación de estos métodos con una metodología alternativa, es altamente necesaria.

Durante la última década ha surgido como una alternativa de validación de edad en peces, la utilización de sustancias radioactivas naturales, presentes en el medio que habitan estos organismos, particularmente los de la serie del  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , las que producto de su decaimiento radioactivo permiten utilizarlas como

cronómetros naturales. Los primeros estudios sobre la utilidad de estos radioisótopos como cronómetros de organismos marinos fueron los realizados por Turekian *et al.*, (1975) que determinan la edad y tasa de crecimiento de almejas de océano profundo utilizando  $^{238}\text{Ra}$ , demostrando que este bivalvo alcanza en 50 a 60 años a una talla de 4 mm. Posteriormente, Turekian *et al.*, (1979) calculan la edad de una almeja del sector de la Cordillera Mesoceánica de la región de las Galápagos utilizando  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Th}$ , estimando edades cercanas a los 7 años para estos organismos. Por otra parte, Turekian y Cochran (1981) utilizando  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$  y  $^{228}\text{Ra}$  calculan edades para una almeja Vesicomidae de alrededor de 4 años. Turekian *et al.*, (1982) utilizan esta metodología en moluscos costeros de New York Bight, en el borde continental Este de USA, usando  $^{228}\text{Th}$  y  $^{228}\text{Ra}$  que permite demostrar un alto grado de compatibilidad entre anillos de crecimiento y edad.

En aplicaciones de esta metodología en peces, Bennett *et al.*, (1982) confirman la longevidad de *Sebastes diploproa* (Pisces: Scorpaenidae) a partir de mediciones de la razón  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  medidas en otolitos, estimando edades de alrededor de 70 a 80 años para los peces más grandes. Posteriormente Fenton *et al.*, (1991), desarrollan metodologías más precisas que consideran modelos de crecimiento que permiten determinar las edades en forma más exacta a partir de estas aproximaciones radiométricas, trabajos que continúan en la actualidad.

En la aplicación de esta metodología existen varias asunciones que deben ser consideradas al momento de su utilización, que son:

- i) No existe removilización o migración química de los radionúclidos una vez que se ha fijado en la estructura calcárea, es decir, los otolitos, espinas, huesos y escamas constituyen sistemas químicos cerrados.
- ii) La absorción desde el agua o cualquier otra parte de la hija del isótopo que se utiliza es despreciable.
- iii) La incorporación del isótopo ocurre en una proporción constante respecto a la tasa de aumento de masa de la estructura ósea.

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

La segunda se cumple cuando existe una clara señal del isótopo utilizado sobre el fondo natural o sobre el contenido de él en el agua, lo que asegura la viabilidad práctica del método (Smith *et al.*, 1991). La última asunción puede ser la más problemática, ya que presupone que se debe evaluar el aumento de la masa de la estructura por un método independiente que generalmente, comprende el método de los anillos de crecimiento, los cuales usualmente no están validados. Una

forma de obviar ésto es utilizando el centro de la estructura que, en general, representa la condición inicial cuando el isótopo se fijó y determina el tiempo inicial ( $t = 0$ ).

La exactitud de las mediciones de edad de una estructura calcácea de un pez se puede mejorar de dos maneras: midiendo la tasa de aparición de la hija de un isótopo o bien la tasa de disminución de un determinado radioisótopo. En los dos casos, se determinan el desequilibrio radioactivo que es función del tiempo, permitiendo calcular la edad de la estructura y en ambos se requiere la utilización de dos isótopos.

El presente estudio, tiene por objetivo la detección de señales radioactivas en vértebras de un pez cartilaginoso ("raya volantín"), desarrollando para ello un procedimiento radioquímico de limpieza de la vértebra para su posterior cuantificación. Los isótopos seleccionados inicialmente son el  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{226}\text{Ra}$ .

## **2. - METODOS**

La utilización de los métodos radiométricos para estimar las edades requiere la obtención cuantitativa del radioisótopo, por lo tanto, es requisito fundamental para un estudio de este tipo definir un procedimiento radioquímico que garantice esta

condición, i.e., no exista pérdida de material calcáreo que pueda contener el isótopo de interés.

Para el pez utilizado en este estudio, *Raja (Dipturus) chilensis* se emplearon unidades de la columna vertebral de ejemplares de diferentes tamaños.

Los isótopos seleccionados a cuantificar son el  $^{210}\text{Pb}$  el cual es un isótopo natural de la serie del  $^{238}\text{U}$  que es producido por el  $^{236}\text{Ra}$  que se encuentra disuelto en el agua. El  $^{210}\text{Pb}$  decae por emisión alfa a  $^{210}\text{Po}$  alrededor de los 5.31 Kev, lo que es utilizado en la cuantificación del  $^{210}\text{Pb}$ , asumiendo equilibrio secular entre el padre ( $^{210}\text{Pb}$ ) y la hija ( $^{210}\text{Po}$ ). También se consideró inicialmente como isótopo a evaluar el  $^{226}\text{Ra}$  en la solución ácida remanente después de la disolución y depositación del  $^{210}\text{Po}$ .

## 2.1 - Tratamiento químico

El tratamiento químico consideró como estrategia la eliminación del material orgánico que contenía la estructura, modificando la metodología desarrollada en nuestro laboratorio para el caso del “pez espada” *Xiphias gladius*. Logrado esto se procede a la disolución en medio ácido y luego a la depositación para cuantificar el isótopo por espectroscopía alfa.

## **2.2 - Procedimiento Radioquímico**

Una vez seleccionado el procedimiento para dejar limpio químicamente el material, se procede a la depositación en placas de Ag pura (99,99% pureza) de acuerdo a la metodología de Flynn (1986). Posteriormente la placa es contada en un espectrómetro Canberra Alpha Quad Mod 7404 conectado a un MCA Series 35 plus con 4096 canales, por un tiempo lo suficientemente largo como para obtener cuentas sobre la línea base.

## **2.3 - Estudio de la estructura calcárea**

### **2.3.1 - Microfotografías**

Con el objeto de verificar si existen microcapas de depositación de  $\text{Ca CO}_3$ , algunas vértebras fueron fotografiadas con microscopio electrónico en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad de Concepción.

Con este fin las piezas fueron congeladas en Nitrógeno líquido y después quebradas para obtener un corte longitudinal que permite apreciar el modo de depositación del material calcáreo

### **2.3.2 - Radiografías**

Con el mismo fin, láminas de vértebras enviadas por IFOP, fueron utilizadas para tomar radiografías para evaluar la estructura interna, en la Sección de Rayos X del Hospital del Trabajador de la ciudad de Concepción.

## **3. - RESULTADOS**

### **3.1 - Tratamiento químico**

La modificación del método de limpieza del hueso de “pez espada” utilizado en este estudio requirieron un estricto control de los tiempos de uso del oxidante inicial (TRIONE) y del ataque con  $H_2O_2$ , ya que debido a su baja calcificación, las vértebras pequeñas tienden a perder material calcáreo rápidamente.

### **3.2 - Análisis radioquímico.**

Las vértebras limpiadas con el procedimiento descrito, fueron disueltas con HCl agregando 0.111 dpm de  $^{209}Po$  como trazador interno para la depositación de estos isótopos en discos de Ag pura.

La pérdida de masa después del tratamiento se presenta en la Tabla 1. En general, el material orgánico adherido representó alrededor del 50% del peso del hueso.

La actividad del Po se midió en un Espectrómetro Alpha Quad calibrando cada ventana con el objeto de acumular las cuentas en las regiones de interés (ROI) en 4.88 y 5.31 Kev ( $^{209}\text{Po}$  y  $^{210}\text{Pb}$  respectivamente). El valor del fondo en esta zona del espectro es inferior a  $0.5 \text{ dpm día}^{-1}$ .

Un resultado del análisis de radiografías y microfotografías indica que la estructura que corresponde la depositación al tiempo cero, está recubierta por la última capa que representa la edad actual. Esto limita severamente la aplicación de modelos de edad basados en el desequilibrio radioactivo entre el padre  $^{226}\text{Ra}$  y la hija.

Con el objeto de tener una mejor estadística y disminuir el error del conteo, es necesario contar por aproximadamente 20 días para mejorar la estadística del conteo. Sin embargo, para el objetivo del estudio se acortó el período de conteo a 3 días, lo que aumenta la incertidumbre de la determinación.

### **3.3 - Cuantificación de radioisótopos**

En la Tabla 2 se presentan las actividades obtenidas en las vértebras analizadas.

Se debe señalar que estos resultados preliminares son alentadores, ya que detectan la presencia de una señal clara sobre el fondo radioactivo en los ROI, lo que implica que existe un potencial para estimar la edad aparente de estos peces con métodos radiométricos, confirmado por la presencia del isótopo.

Con estos resultados la recomendación que surge es que los modelos radioquímicos para realizar la determinación de la edad, deben estar basados en ecuaciones que consideren el principio de decaimiento radioactivo basados en el uso de un sólo isótopo, ya que, debido a la compleja modalidad de depositación del material calcáreo, el determinar dónde se encuentra el punto donde  $t=0$ , es muy difícil. En este caso se debería tener todo el espectro de tallas de la población, incluyendo peces muy pequeños (con poca edad) hasta los adultos.

### **3.4 – Microfotografías**

Las microfotografías muestran una estructura calcárea de la vértebra totalmente llena de poros, apreciándose claramente una estructura de depositación que va cubriendo a la capa anterior, por la parte de afuera de ésta. Es decir, que el material más antiguo corresponde al más interior y el más joven es el externo, como lo señalan también Ferreira y Vooren (1991). Se aprecian además, capas de depositación mayores compuestas por capas más finas. En las figuras 1 a 3 se presentan las microfotografías tomadas en un microscopio electrónico de barrido,

donde se muestra la estructura porosa de las vértebras, anillos de crecimiento y la aposición de las capas.

### **3.5 - Radiografías**

La radiografía de cinco secciones de vértebras enviadas por IFOP y dos vértebras enteras (Nos. 75 y 79) no muestran estructuras visibles, debido a la escasa resolución lograda por la gran energía empleada, la que corresponde el mínimo posible de altura con el equipo utilizado.

Se recomienda intentar un análisis de mamografía que tendría la sensibilidad requerida para estas estructuras poco calcificadas.

## **4. - CONCLUSIONES**

De este estudio preliminar se puede concluir lo siguiente:

1. Se ha detectado la presencia de  $^{210}\text{Pb}$  en vértebras de la columna vertebral de la "raya volantín".
2. El procedimiento químico con agentes oxidantes permite eliminar el material orgánico de la vértebra, facilitando su determinación radioquímica, lo que le da un gran potencial para estimar, mediante técnicas radiométricas, la edad de estos organismos.

3. Se descarta el uso de dos isótopos para los cálculos de la edad por la falta de una estructura ósea que permita definir el tiempo cero.

## 5. - COMENTARIO GENERAL

En este estudio ha quedado demostrado la presencia de  $^{210}\text{Pb}$  en la estructura de la columna vertebral de la raya, lo que determina su potencialidad para estimar radiométricamente la edad de este pez y contribuir a la validación de los métodos basados en el conteo de anillos.

Desde un punto de vista radioquímico, se recomienda la utilización de los principios de decaimiento radioactivo, utilizando un sólo isótopo y el espectro total de tamaño de la población.

Dada la baja cantidad del isótopo presente en las estructuras de los peces, el procedimiento de cuantificación de  $^{210}\text{Pb}$ , cae invariablemente en la espectroscopía alfa (ya que este isótopo decae sólo un 4% a través de emisiones gama y la determinación por emisión beta, a través del  $^{210}\text{Bi}$ , es larga y engorrosa, necesitando una alta cantidad de material). La espectroscopía alfa posee la sensibilidad adecuada (mide cantidad de radiación equivalente a picroCurie) y el

procedimiento radioquímico aquí desarrollado debería simplificar aún más su cuantificación.

Quizás alguna de las desventajas de esta metodología, radicaría en el largo tiempo de conteo (aproximadamente 10 días), y que requiere conocer todo el espectro de longitud de tamaños de la población (para el caso del uso de un isótopo), si se utiliza el modelo de decaimiento simple.

Todo esto determina que se puede analizar un bajo número de ejemplares, lo cual se compensa con la exactitud que proporciona la utilización de estos isótopos como relojes biológicos.

## 6. - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bennett, J.T.; G.W. Boehlert and K.K. Turekian. 1982. "Confirmation of Longevity in *Sebastes diploproa* (Pisces: Scorpaenidae) from  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  measurements in otoliths". Marine Biology. 71: 209 - 215.
- Campana, S. E. & J.D. Neilson. 1985. "Microstructure of otoliths". Can. J.Fish Aquat. Sci. 42: 1014 - 1032.
- Fenton, G. E.; S. A. Short and D. A. Ritz. 1991. "Age determination of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Pisces: *Trachichthyidae*) using  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  disequilibria". Marine Biology. 109: 197 - 202.
- Ferreira, B.P. y C.M. Vooren. 1991. Age, growth, and structure of vertebra in the school shark *Galeorhinus galeus* (Linnaeus, 1758) from southern Brazil. Fishery Bulletin. V 89 (1) : 19-31
- Flyn, W. 1986. The determination of low levels of Polonium - 210 in environmental materials. Aval. Chem. Acta 43, 221 - 227.
- Smith, J. N.; S.E. Campana; R. Nelson. 1991. "Use of  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$  disequilibria in the ageing of otoliths of marine fish". Els. Appl. Sci. Stol. London, U.K. 393 pág.
- Turekian, K. K.; J. K. Cochran; D. P. Kharkan; R. M. Cerrato; J. Rimas; H. L. Sanders; J. F. Grassle and J. A. Allen. 1975. "Slow growth of a deep-sea clam determined by  $^{228}\text{Ra}$  chronology". Pros. Nat. Acad. Sci. USA. 72 (7): 2829-2832.

- Turekian, K. K.; J. K. Cochran and Y. Nozaki. 1979. "Growth rate of a clam from the Galápagos Rise hot spring field using natural radionuclide ratios". *Nature*. 280 (5721): 385 - 387.
- Turekian, K. K.; J. K. Cochran. 1981. "Growth rate of a *Vesicomyd* clam from the Galápagos Spreading Center". *Science*. 214: 909 - 911.
- Turekian, K. K.; J. K. Cochran and Y. Nozaki. 1982. "Determination of shell deposition rates of *Arctica islandica* from the New York Bight. Using natural  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Th}$  and bomb-produced  $^{14}\text{C}$ ". *Limnol. Oceanogr.* 27 (40): 737 - 741.

Tabla 1 - Variación de peso de vértebras después del tratamiento de eliminación del material orgánico.

Nº Muestra	Peso (g)		% Pérdida
	Inicial	Final	
46	0.2721	0.0871	32.0
63	0.5592	0.2788	49.9
79	0.4690	0.2664	56.8
80	0.5474	0.2915	53.2
71	0.8520	0.5764	67.6
72	1.2115	0.7631	63.0
75	0.6501	0.3564	54.8
78	0.8545	0.5233	61.2

Tabla 2 - Actividad de  $^{210}\text{Pb}$  (dpm/g) en las muestras analizadas de raya.

Nº Muestra	Cuentas		$^{210}\text{Pb}$ (dpm/g)
	$^{209}\text{Po}$	$^{210}\text{Po}$	
46	9930	186	$0.189 \pm 0.005^*$
63	4347	53	$0.038 \pm 0.019$
79	6504	74	$0.038 \pm 0.014$
80	7869	101	$0.039 \pm 0.010$
71	80	14	$0.034 \pm 0.073$
72	71	141	$0.286 \pm 0.016$
75	151	53	$0.109 \pm 0.020$
78	75	49	$0.138 \pm 0.024$

(\*) Error expresado como 16 del conteo.

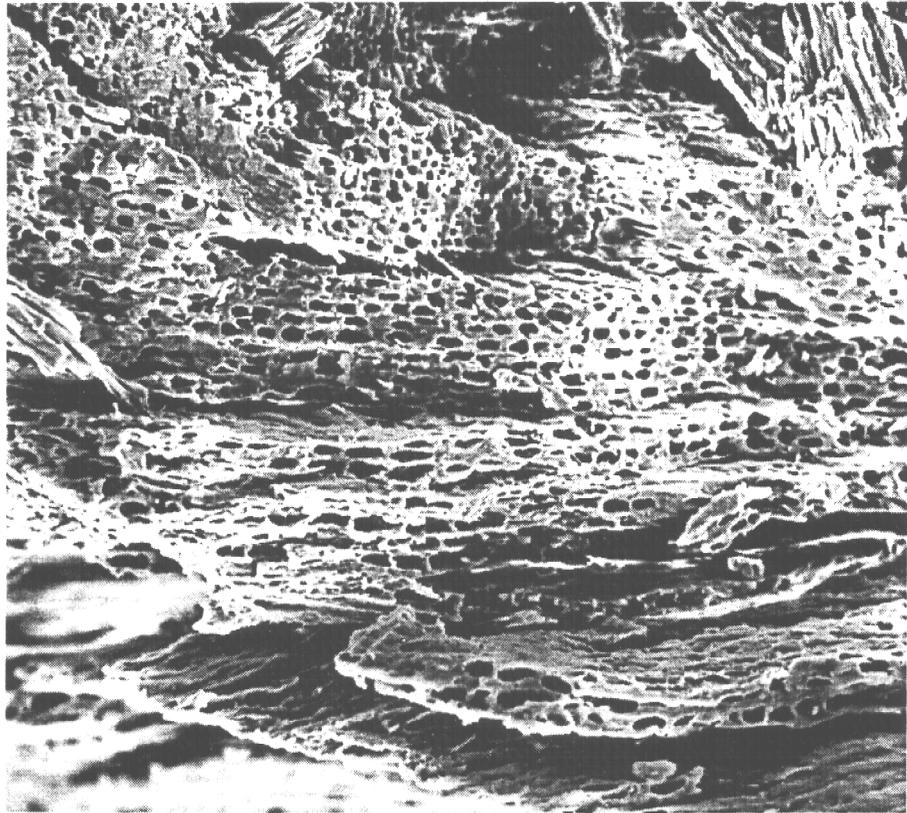


Fig. 1. Microfotografía de vértebra de raya tomada con microscopio electrónico de barrido que muestra la estructura porosa que la compone.

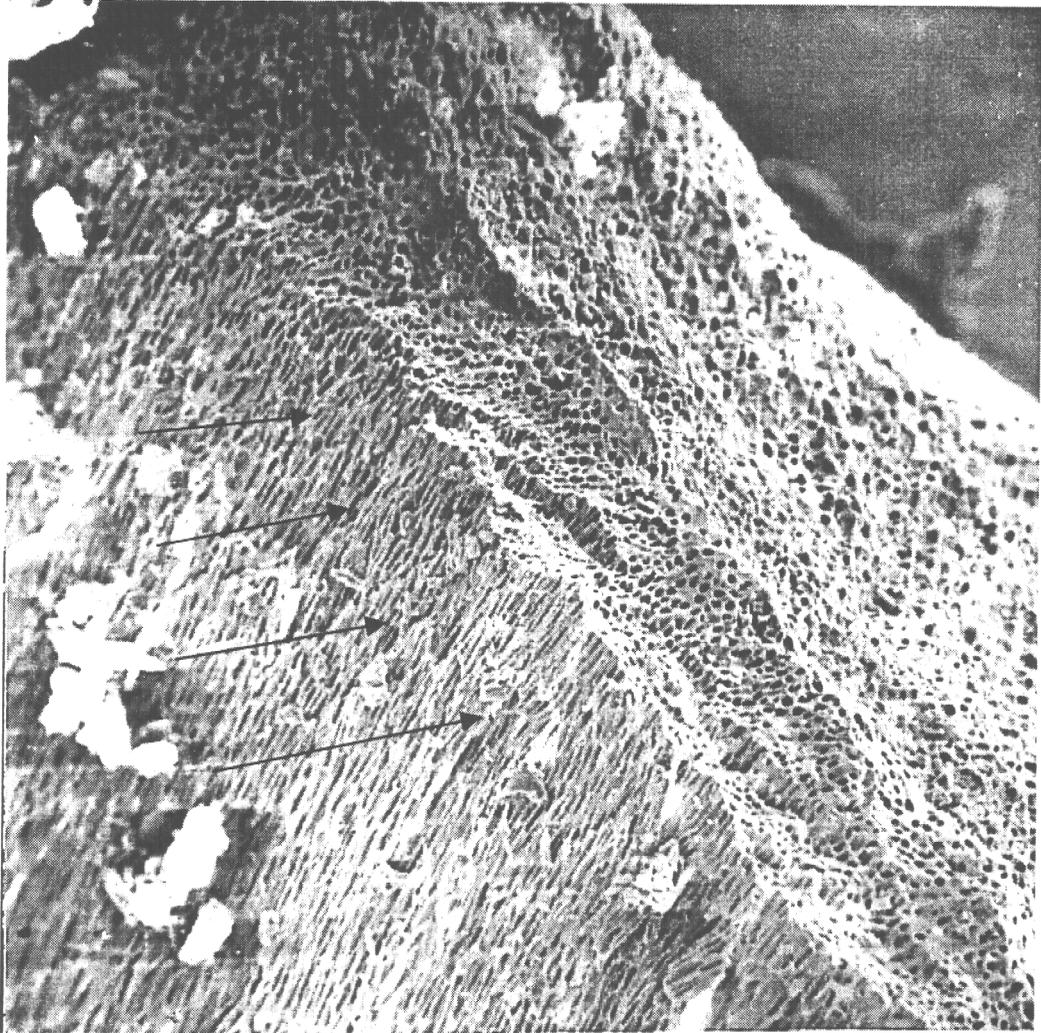


Fig. 2. Microfotografía de vértebra de raya. Las flechas indican anillos de crecimiento.

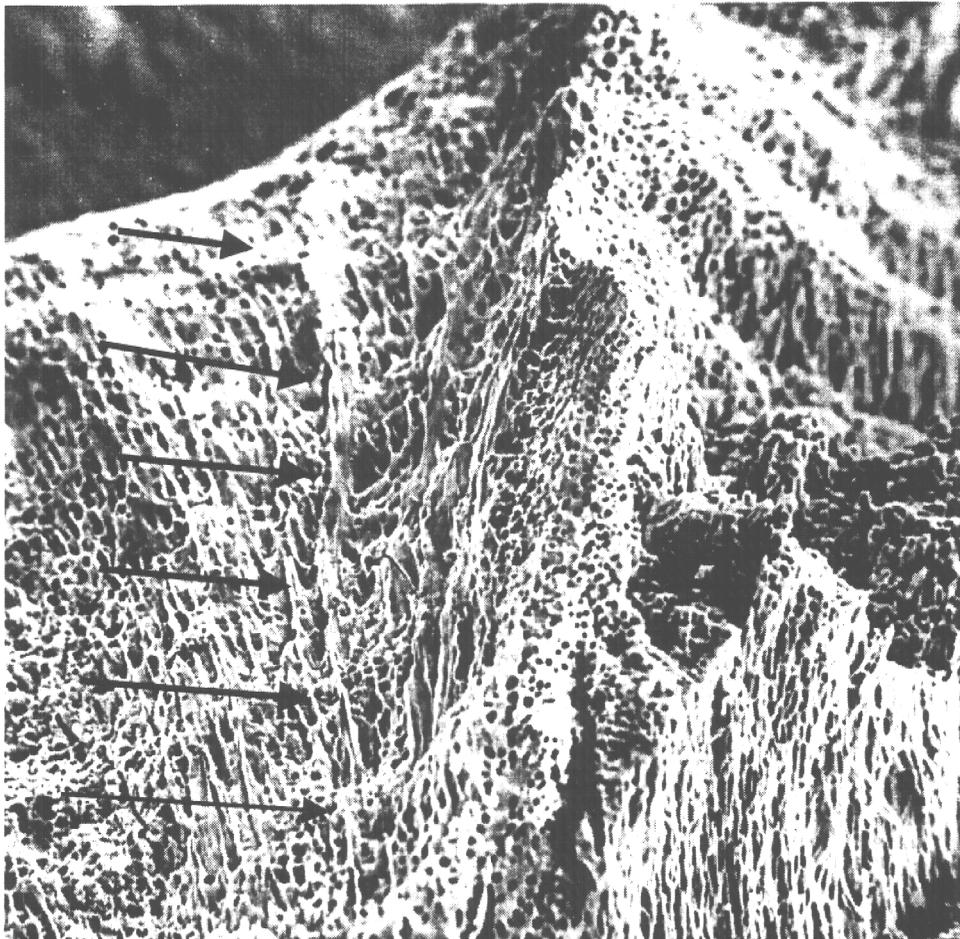


Fig. 3. Microfotografía de vértebra de raya. Las flechas indican el crecimiento aposicional de las capas.





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

---

# ANEXO 4

DETERMINACION DE EDADES RADIOMETRICAS  
Y TASA DE CRECIMIENTO DE RAYA VOLANTIN  
*Raja (Dipturus) chilensis*

**FASE II**

**ESTUDIO**

**DETERMINACIÓN DE EDADES RADIOMÉTRICAS  
Y TASA DE CRECIMIENTO DE RAYA VOLANTIN**  
*Raja (Dipturus) chilensis*

Autor:

**DR. MARCO SALAMANCA O.**

Preparado para

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

-Abril de 1999 -

## INDICE

	Página
1. CONSIDERACIONES GENERALES -----	1
2. METODOS -----	3
3. RESULTADOS -----	4
3.1 Radiografías -----	4
3.2 Cuantificación de $^{210}\text{Pb}$ -----	4
4. DISCUSIÓN -----	5
5. COMENTARIO GENERAL -----	11
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	12

FIGURAS

TABLAS

## 1.-CONSIDERACIONES GENERALES

El presente documento constituye el Informe Final de la Fase II de un estudio realizado para la “DETERMINACION DE EDADES RADIOMETRICAS Y TASAS DE CRECIMIENTO EN LA RAYA VOLANTIN”, el cual tiene como objetivo fundamental, determinar la edad de la “raya volantín”, mediante la utilización del  $^{210}\text{Pb}$  presente en las vértebras de este pez (de acuerdo a lo establecido en la Fase I de este estudio).

La importancia de conocer la edad y tasa de crecimiento de los organismos quedó establecida en el Informe Final de la primera fase de este estudio, por lo cual en el presente informe no se discutirá nuevamente.

El uso de radioisótopos en la determinación de edades radiométricas en organismos marinos se inician con los estudios en corales (Moore and Krishnaswami, 1972; Moore *et al.*, 1973 y Dogde and Thomson, 1974). Posteriormente, Turekian *et al.*, 1975; 1979 y 1981 aplican esta metodología en bivalvos de las cordillera meso-oceánicas de la Galápagos.

La aplicación de esta metodología en peces, fue utilizada para confirmar la longevidad de **Sebastes** (Pisces: Scorpaenidae) a partir de mediciones de la razón  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  medidas en otolitos, estimando edades de alrededor de 70 a 80

años para los peces más grandes (Bennett *et al.*, 1982). Posteriormente, Fenton *et al.* (1991), desarrollan metodologías más precisas que consideran modelos de crecimiento, que permiten determinar las edades en forma más exacta a partir de la utilización de principios de desequilibrio radioactivo entre dos isótopos de una serie de decaimiento.

Las asunciones en el uso de radioisótopos para la determinación de edades en organismos marinos ya fue discutida en el Informe Final de la Fase I, pero se debe destacar el hecho de que la estructura elegida para determinar la edad debe representar un “sistema cerrado”, es decir, después que el isótopo se ha fijado, su actividad debe variar sólo por decaimiento radioactivo. Este requisito cobra mayor importancia si se utiliza un sólo isótopo, como es el caso de este estudio.

El  $^{210}\text{Pb}$  es un isótopo de una vida media de 22,3 años, el cual es producido en la columna de agua por decaimiento de su padre  $^{226}\text{Ra}$ , altamente soluble en agua. Por su parte el  $^{210}\text{Pb}$  es partícula-reactivo, altamente insoluble, por lo que su tiempo de residencia en la columna de agua es muy corto, siendo de unos pocos días en aguas costeras (Robbins, 1978) , lo que lo hace aplicable a este tipo de ensayos.

El presente estudio, tiene por objetivo determinar las edades radiométricas y estimar la tasa de crecimiento, utilizando la actividad del  $^{210}\text{Pb}$  en vértebras de la zona central de la columna vertebral de la “raya volantín”.

## 2.- METODOS

En esta investigación se utilizó vértebras de *Raja (Dipturus) chilensis* (“raya volantín”) de longitudes que variaron entre 47 y 110 cm, con edades estimadas según conteo de anillos de crecimiento de 4 a 17 años, respectivamente. Estas estructuras fueron proporcionadas por el Instituto de Fomento Pesquero de Valparaíso.

El procedimiento radioquímico para cuantificar al  $^{210}\text{Pb}$  se encuentra descrito en detalle en el Informe Final de la primera fase, y en este estudio se siguió esa metodología estrictamente, sin ninguna variante. En esta ocasión los períodos de conteo aumentaron respecto al estudio anterior, siendo de alrededor de 5 días por ejemplar analizado.

Paralelamente, en este proyecto se intentó mejorar el estudio de la estructura interna de las vértebras. Para ello, láminas de vértebras preparadas para la lectura de otolitos fueron analizadas en la Sección de Mamografía del Hospital del Trabajador de Concepción. Este tipo de radiografías es recomendado para estructuras calcáreas muy débiles, como el caso de los de la “raya volantín”.

### 3.- RESULTADOS

#### 3.1.- Radiografías

El exámen de la estructura ósea de los huesos de la “raya volantín” utilizando equipos de mamografías no logró la resolución adecuada, no permitiendo ver la estructura interna de los huesos, lo que impide mejorar las radiografías obtenidas con equipos convencionales.

#### 3.2.- Cuantificación de $^{210}\text{Pb}$

La actividad del Po se midió en un espectrómetro Alpha Quad calibrando cada ventana con el objeto de acumular las cuentas en las regiones de interés (ROI), en 4,88 y 5,31 Kev ( $^{209}\text{Po}$  y  $^{210}\text{Pb}$  respectivamente). El valor del fondo en esta zona del espectro es inferior a  $0,5 \text{ dpm día}^{-1}$ .

En total se analizaron 20 ejemplares de la “raya volantín” suministrados por IFOP Valparaíso, de los cuales 7 eran individuos machos con longitudes que variaron entre 53 y 85 cm, con edades asignadas de 4 y 10 años, respectivamente, Los restantes 13 ejemplares eran hembras con longitudes de 51 a 110 cm, con edades asignadas de 4 a 17 años, respectivamente, ambos determinados mediante conteo de anillos (bandas) de crecimiento en vértebras.

En la Tabla 1, se entregan las actividades del  $^{210}\text{Pb}$  expresados en desintegraciones por minuto, por gramo de material (dpm/g), representando

entonces la actividad específica de este radioisótopo en la muestra analizada. En general, se observa que la actividad varió entre las muestras, con un rango que va de  $3,32 \pm 0,09$  dpm/g a  $0,09 \pm 0,023$  dpm/g. El error del conteo varió entre 0,17 y 0,06 dpm/g, lo que representó un error estimado entre un 19,5 y 3,0% de las actividades medidas. La mayor actividad específica se presentó en las edades menores, independientemente del sexo. La actividad específica después tiende a disminuir con el aumento de la masa de material calcáreo.

#### 4.- DISCUSIÓN

Las técnicas de datación radiométrica en organismos marinos se basan en el hecho que las sustancias radioactivas disminuyen su actividad en el tiempo a una tasa de decaimiento constante y conocida. El estado actual del sistema es determinado experimentalmente y el estado inicial del sistema es estimado. La diferencia entre estos dos estados puede ser usado para calcular las edades (Welden *et al.*, 1983).

Para la datación radiométrica se consideran varias asunciones, pero dos de ellas son fundamentales para producir estimaciones válidas de la edad de organismos. La primera es que la incorporación del radionúclido sea constante o al menos conocida a lo largo del período de vida del organismo en estudio, de tal forma que la actividad inicial, que representa el estado inicial del sistema, pueda ser estimada. La segunda asunción considera que la estructura que incorpora el

radionúclido (en este caso el material calcificado de la vértebra central) debe actuar como un “sistema cerrado”, respecto a este radionúclido, esto quiere decir que no debe haber pérdidas o ganancias, excepto por decaimiento radioactivo .

En este estudio se seleccionó  $^{210}\text{Pb}$  como el radioisótopo más adecuado a ser analizado en las vértebras de la columna de la “raya volantín”. La razones para ello son variadas: i) vida media corta (22.3 años), ii) es bioquímicamente análogo al calcio y por lo tanto es incorporado a las estructuras calcificadas (Burnett and Patterson, 1980), iii) forma complejos estables con la apatita mineral, iv) está presente en el ambiente marino y proviene del decaimiento de  $^{226}\text{Ra}$ , presente en forma soluble en la columna de agua y v) es relativamente fácil de medir por decaimiento alfa de su nieta  $^{210}\text{Po}$ .

Esta aproximación ha sido utilizada por Welden *et al.*, (1983) para estimar las edades radiométricas de 4 especies de tiburón, midiendo la actividad de  $^{210}\text{Pb}$  en las bandas de crecimiento internas y periféricas de vértebras, lo que permitió estimar edades radiométricas de organismos individuales. Estas luego fueron comparadas con las edades estimadas a partir de las bandas de crecimiento, contadas en radiografías y secciones cortadas de estas vértebras.

En esta aproximación, la diferencia de actividad específica (expresada en dpm/g) entre las bandas internas y periféricas permitió estimar la cantidad de tiempo

(edad) transcurrido entre la depositación de ambas bandas, utilizando fundamentalmente la ecuación de decaimiento:

$$A_{(t)} = A_{(0)} * e^{-\lambda t} \quad (1)$$

donde:

$A_{(t)}$  : actividad de  $^{210}\text{Pb}$  en la banda interna

$A_{(0)}$  : actividad de  $^{210}\text{Pb}$  en la banda periférica

$\lambda$  : constante de decaimiento de  $^{210}\text{Pb}$

t : tiempo transcurrido entre la formación de la banda interna y periférica

Los resultados del presente estudio muestran que la masa de material calcáreo aumenta con la longitud (Fig. 1), la cual a su vez aumenta con la edad. Esto significa entonces que el aumento de la masa calcárea, tiene relación con la edad. La información obtenida en el presente estudio muestra que la actividad específica del  $^{210}\text{Pb}$ , disminuye con el aumento de la masa calcárea en la vértebra (Figs. 2 a 3), y por lo tanto existe variación de la actividad de  $^{210}\text{Pb}$  con respecto al tiempo. Este resultado es comparable con otros estudios que muestran que la actividad  $^{210}\text{Po}$  (hija de  $^{210}\text{Pb}$ ) disminuye cuando las relaciones alométricas de organismos marinos aumentan (Cherry and Heyraiid, 1981). Esto puede explicar que la actividad específica de este radioisótopo en la "raya volantín" sea mayor en los peces jóvenes y menor en los peces adultos.

En esta investigación se ha utilizado  $^{210}\text{Pb}$  para estimar la edad de la “raya volantín”, midiendo la actividad en vértebras de la zona central de la columna vertebral, de peces con diferentes longitudes, representativas del espectro de tamaños de toda la población. De esta forma, el aumento de la masa calcárea debe reflejar el cambio en la actividad del isótopo considerado. A estos organismos se le asignó una edad, basado en la lectura de anillos de crecimiento, lo que permite hacer la comparación con las edades radiométricas que se pueden inferir de la actividad de este radioisótopo.

Considerando que se utilizó un sólo radioisótopo, las actividades medidas en las diferentes muestras, permiten medir las diferencias de actividad entre dos longitudes consecutivas que a su vez, representan un cambio en la cantidad de material calcáreo que el pez fijó, haciendo variar la actividad de este elemento.

Así, la actividad final ( $A_f$ ), medida en un instante de tiempo  $t$  después de transcurrido un cierto tiempo  $dt$  es igual a la actividad inicial ( $A_0$ ) por la tasa de cambio de la masa respecto al tiempo ( $dm/dt$ , representada por  $m^0$ ) la que se asume constante ( $\sim -0,22 \pm 0,05$ , Cherry and Heyraiud, 1981), más el decaimiento radioactivo que es función de la constante de decaimiento  $\lambda$  y el tiempo transcurrido  $t$ . Esto se expresa en la siguiente relación:

$$A_f = A_0 \int_{t_i=0}^{t_f} dm/dt e^{-\lambda t} dt \quad (2)$$

que permite estimar el tiempo transcurrido entre dos depositaciones consecutivas, el cual está dado por la siguiente relación:

$$t_f = - 1/\lambda \ln [ 1 - \lambda/m^0 * A_f/A_0 ] \quad (3)$$

donde:

- $t_f$  : tiempo transcurrido entre condición final e inicial
- $\lambda$  : constante de decaimiento de  $^{210}\text{Pb}$
- $m^0$  : tasa de cambio de la masa calcárea por unidad de tiempo ( $dm/dt$ )
- $A_f$  : actividad al tiempo  $t_f$
- $A_0$  : actividad al tiempo inicial

En la Tabla 2 se presentan las edades radiométricas estimadas a partir de la actividad de  $^{210}\text{Pb}$  en las vértebras de la zona central de la columna de la “raya volantín” utilizando la ecuación 3. Se aprecia que las edades calculadas no siguen un patrón claro y en general son mayores a las estimadas con el método de conteo de anillos de crecimiento. Las edades radiométricas así estimadas varían para ejemplares machos entre 9 y 50 años, para edades entre 5 y 10 años derivadas a partir del método de los anillos (ver Tabla 2). Por otra parte, las hembras presentan edades radiométricas entre 7 y 31 años para edades estimadas por el método de los anillos de 4 y 12 años, respectivamente. La tasa de crecimiento promedio que se puede calcular de estas mediciones alcanza a

49,6 mm año<sup>-1</sup> (rango entre 38 y 70 mm año<sup>-1</sup>) para machos y 52,6 mm año<sup>-1</sup> (rango 30 a 95 mm año<sup>-1</sup>) para hembras.

Estos resultados permiten establecer que la determinación de edades radiométricas en vértebras de la zona central de la columna vertebral de la “raya volantín” utilizando <sup>210</sup>Pb, no es posible porque las asunciones fundamentales de esta metodología no se cumplen para este organismo, cual es, que el crecimiento de la masa de la vértebra no es constante en el tiempo, de tal forma que a lo largo de la vida del pez, ésta puede incorporar material calcáreo a una tasa variable, lo que se traduce en que la actividad específica de <sup>210</sup>Pb (i.e., por gramo de material calcáreo) varía en función de los aportes variables de este material. Por esta razón la asunción de que el cartílago de la vértebra representa un “sistema cerrado” para el <sup>210</sup>Pb, no se estaría cumpliendo. Finalmente, otra causa para explicar la variabilidad en las edades calculadas, y que no se puede descartar “a priori”, sería un error metodológico en el ataque radioquímico de las vértebras, específicamente en el proceso de lavado, dada la alta variabilidad en el grado de calcificación entre el cartílago de las vértebras de ejemplares jóvenes y los de mayor edad, lo que implicaría que parte del material calcáreo se pudo haber perdido y, de esta forma, aumentar la actividad específica por gramo. Esto, sin embargo, se puede estimar midiendo en forma paralela el contenido de Ca en las diferentes fracciones resultantes del tratamiento radioquímico.

## 5.- COMENTARIO GENERAL

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el uso de un sólo radioisótopo en la determinación de edades radiométricas de la *Raja (Dipturus) chilensis* (“raya volantín”), no es posible, por la alta variabilidad en la actividad específica de  $^{210}\text{Pb}$  encontrada en las vértebras de este organismo. Esto se podría deber, por una parte, a que alguna de las asunciones de esta metodología no se cumplen para estos organismos y por otra, a causa de un probable error metodológico, pero que se podría evaluar y así corregir las edades radiométricas.

Estos resultados no deben ser interpretados como que la utilización de radioisótopos para validar la determinación de edades por otros métodos, como por ejemplo el conteo de anillos de crecimiento en estructuras duras (calcáreas), no sea aplicable a elasmobranquios. Por el contrario, estos resultados refuerzan el hecho que el proceso de crecimiento de los organismos es un proceso complejo y por lo tanto, se deben utilizar modelos de decaimiento radioactivo que involucren el uso de, al menos, dos isótopos y los principios de desequilibrio radioactivo entre pares de isótopos de una serie de decaimiento, en este caso el par  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ .

## 6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bennett, J.T.; G.W. Boehlert and K.K. Turekian. 1982. "Confirmation of Longevity in *Sebastes diploproa* (Pisces: Scorpaenidae) from  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  measurements in otoliths". *Marine Biology*. 71: 209- 215.
- Burnett, M. W. and C. C. Patterson. 1980. "Perturbation of natural lead transport in nutrient calcium pathways of marine ecosystems by industrial lead" in "*Isotope marine chemistry*". Ed. Goldberg , E.; Y. Horibe and K. Saruhashi. University of Rokakuho Publications. 413- 438.
- Cherry, R. D. and M. Heyraiid. 1981. "Polonium- 210 content of marine shrimp: variations with biological and environmental factors". *Mar. Biol.* 65: 165- 175.
- Dodge, R. and J. Thomson. 1974. "The natural radiochemical and growth rate records in contemporary hermatypic corals from the Atlantic and Caribbean. EPSL 23: 313- 322.
- Fenton, G. E.; S. A. Short and D. A. Ritz. 1991. "Age determination of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Pisces: Trachichthyidae) using  $^{210}\text{Pb}$ :  $^{226}\text{Ra}$  disequilibria". *Mar. Biol.* 109: 197 - 202.
- Moore, W. S. and S. Krishnaswami. 1972. "Coral growth rates using Ra- 228 and Pb- 210. EPSL 15: 187- 190.
- Moore, W. S.; S. Krishnaswami and S. G. Bhat. 1973. "Radiometric determinations of coral growth rates. *Bull. Mar. Sci.* 23: 157- 176
- Robbins, J. A. 1978. "Geochemical and geophysical applications of radioactive lead" in "*The biogeochemistry of lead in the environment*". Ed. Nriagu. Elsevier/ North- Holland Biomedical Press. 285- 393.
- Turekian, K. K.; J. K. Cochran; D. P. Kharkan; R. M. Cerrato; J. Rimas; H. L. Sanders; J. F. Grassle and J. A. Allen. 1975. "Slow growth of a deep-sea clam determined by  $^{228}\text{Ra}$  chronology". *Pros. Nat. Acad. Sci. USA.* 72 (7): 2829- 2832.
- Turekian, K. K.; J. K. Cochran and Y. Nozaki. 1979. "Growth rate of a clam from the Galápagos Rise hot spring field using natural radionuclide ratios". *Nature.* 280 (5721): 385- 387.

- Turekian, K. K.; J. K. Cochran. 1981. "Growth rate of a Vesicomys clam from the Galápagos Spreading Center". *Science*. 214: 909 - 911.
- Welden, B.; G. Cailliet and R. Flegal. 1983. "Comparison of radiometric with vertebral band age estimates in four California elasmobranchs" in *Proceeding of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Skarks*. Ed. Pulos, L and E. Prince. NOAA Technical Report NMFS 8: 301-315.

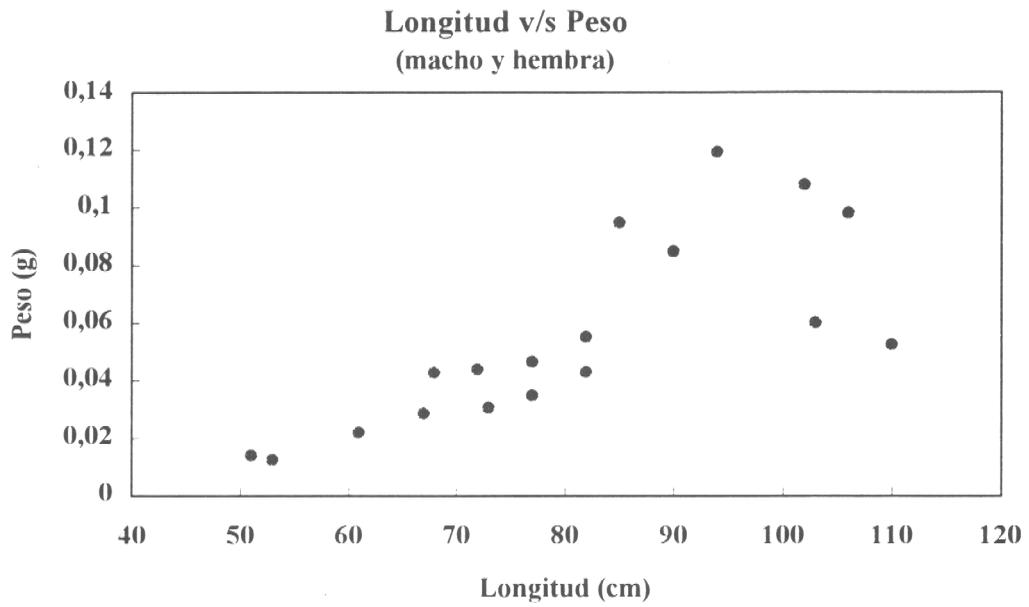


Figura 1. Relación longitud-peso de material calcáreo en vértebras de "raya volantín".

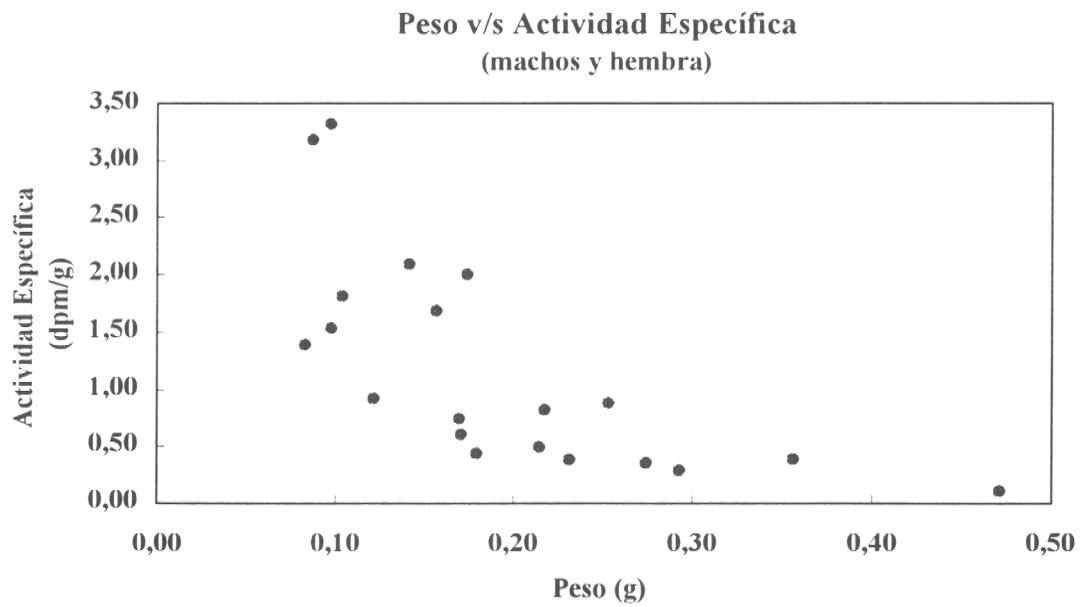


Figura 2. Actividad de  $^{210}\text{Pb}$  v/s peso de material calcáreo en vértebras de "raya volantín".

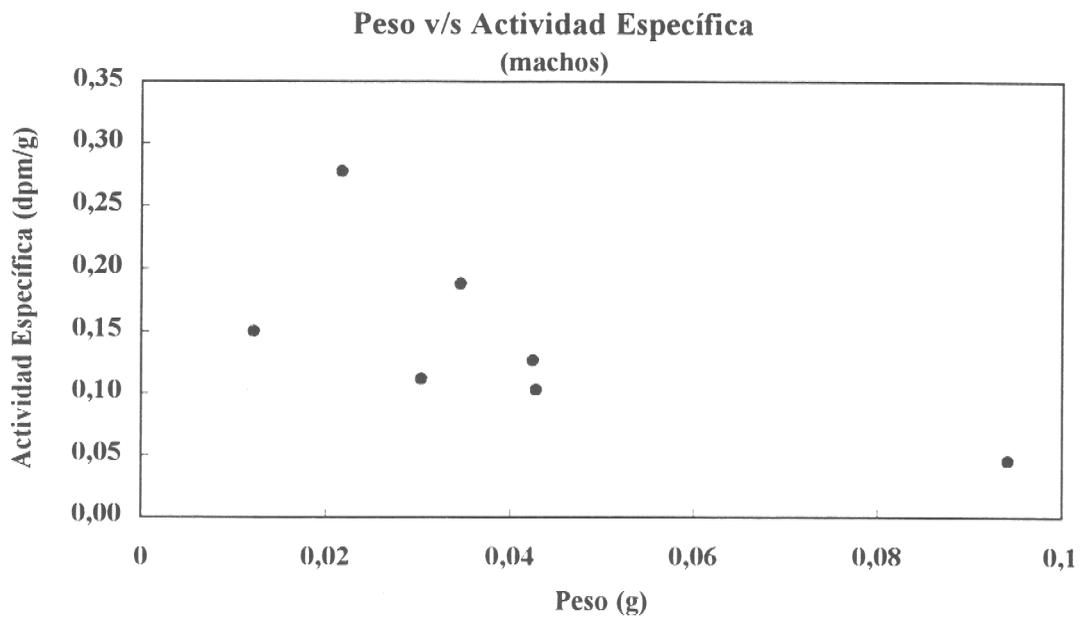


Figura 3. Actividad de  $^{210}\text{Pb}$  v/s peso de material calcáreo en vértebras de machos de "raya volantín".

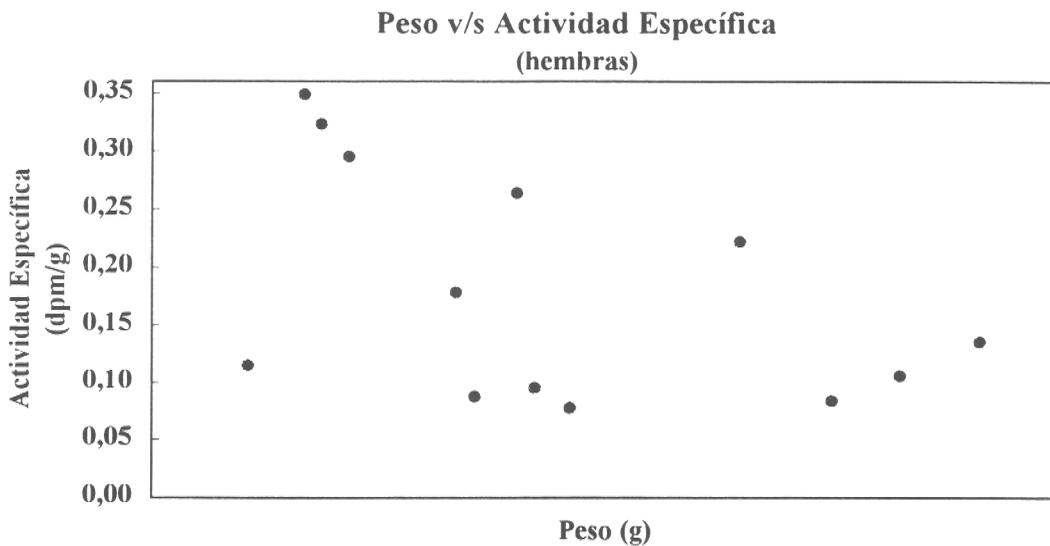


Figura 4. Actividad de  $^{210}\text{Pb}$  v/s peso de material calcáreo en vértebras de hembras de "raya volantín".

Tabla 1. Datos radiométricos y variables alométricas de la población de *Raja (Dipturus) chilensis*.

Edad (años)	Sexo	Longitud (cm)	Peso Total (g)	Actividad Específica (dpm g <sup>-1</sup> )
4	M	53	0,10	1.53± 0.11
5	M	61	0,09	3.18 ± 0.13
6	M	68	0,17	0.74 ± 0.12
7	M	73	0,12	0.91 ± 0.15
8	M	77	0,10	1.80 ± 0.14
9	M	82	0,17	0.60 ± 0.17
10	M	85	0,47	0.09 ± 0.02
4	H	51	0,08	1.38 ± 0.14
5	H	61	0,17	2.00 ± 0.06
6	H	67	0,14	2.08 ± 0.09
7	H	72	0,22	0.81 ± 0.17
8	H	77	0,23	0.37 ± 0.11
9	H	82	0,27	0.34 ± 0.10
10	H	86	0,10	3.32 ± 0.09
11	H	90	0,25	0.87 ± 0.18
12	H	94	0,36	0.38 ± 0.16
14	H	102	0,21	0.49 ± 0.11
15	H	103	0,18	0.43 ± 0.17
16	H	106	0,29	0.28 ± 0.11
17	H	110	0,16	1.68 ± 0.09

**M: Macho**

**H: Hembra**

Tabla 2. Edades radiométricas estimadas utilizando vértebras de *Raja (Dipturus) chilensis*.

Edad (años)	Sexo	Longitud (cm)	Peso Total (g)	Edad Estimada (años)
4	M	53	0,10	10
5	M	61	0,09	9
6	M	68	0,17	18
7	M	73	0,12	13
8	M	77	0,10	11
9	M	82	0,17	18
10	M	85	0,47	50
4	H	51	0,08	7
5	H	61	0,17	15
6	H	67	0,14	12
7	H	72	0,22	19
8	H	77	0,23	20
9	H	82	0,27	24
10	H	86	0,10	9
11	H	90	0,25	22
12	H	94	0,36	31
14	H	102	0,21	19
15	H	103	0,18	16
16	H	106	0,29	26
17	H	110	0,16	14

**M: Macho**

**H: Hembra**