

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“ESTUDIO PRELIMINAR DE EDAD Y CRECIMIENTO DE LA MANTA DE ESPINA, *Mobula japonica* (Müller y Henle, 1841)”

Tesis Profesional

Que para obtener el grado de:

OCEANÓLOGO

presenta:

ELIZABETH CUEVAS ZIMBRÓN

Ensenada, B.C. Marzo, 2007

RESUMEN

Este estudio provee la primera información sobre edad y crecimiento del género *Mobula*, puesto que no existe gran aporte científico, se pretende contribuir en el conocimiento de la historia de vida de *Mobula japonica*. Se analizaron un total de 55 cortes vertebrales de organismos capturados por la cooperativa pesquera establecida en Punta Arenas de la Ventana, B.C.S., durante mayo y junio del 2002, agosto y octubre del 2004, y junio del 2005, y en El Sargento durante mayo del 2002. El intervalo de talla varió desde 1095 a 2400 mm de ancho de disco (AD) y se encontró que la relación entre el ancho de disco y el radio vertebral es de carácter lineal y significativo, lo que sugiere un crecimiento isométrico. La modificación de la técnica de tinción con Cristal Violeta probó ser muy efectiva para resaltar las bandas de crecimiento. La precisión y reproducibilidad de lectura de bandas de crecimiento fue medida mediante el porcentaje de error promedio (APE) para 3 lectores, siendo 13.565, 7.992 y 16.562 respectivamente. El mayor porcentaje de acuerdo se obtuvo entre el lector 2 y 3, con 92.6% para el grupo de edad ± 1 banda, 94.4 % para ± 2 bandas y 100% para ± 3 bandas. La edad máxima observada fue de 14 bandas (hembra de 2300 mm AD) mientras que la mínima fue de 1 (hembra de 1210 mm AD y macho de 1390 mm AD). Se calcularon los parámetros de crecimiento (AD_{∞} , k y t_0) con los modelos de von Bertalanffy, Gompertz y Fabens, resultando muy similares entre ellos. Asumiendo una anualidad en la

depositación de las bandas en las vértebras se determinó que ésta especie llega a vivir al menos 14 años. Por medio de un análisis en base a disecciones y radiografías, se observó que *M. japonica* presenta una modificación en la columna vertebral, donde destaca una gran estructura cartilaginosa y una aparente ausencia de vértebras en la zona anterior de la porción torácica, siendo únicamente el cartílago lo que da el mayor soporte. Con este estudio se determinó que, a diferencia de otros batoideos, las vértebras se hacen presentes cerca de la porción caudal, encontrando las más adecuadas para la determinación de edad debajo del origen anterior de la aleta dorsal. No se ha encontrado ningún registro de otra especie de batoideo con una columna vertebral similar a la que presenta *M. japonica*.

**“ESTUDIO PRELIMINAR DE EDAD Y CRECIMIENTO DE LA MANTA DE
ESPINA, *Mobula japanica* (Müller y Henle, 1841)”**

TESIS

QUE PRESENTA:

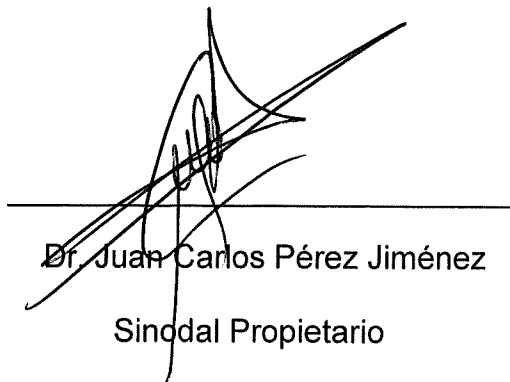
ELIZABETH CUEVAS ZIMBRÓN

APROBADA POR:

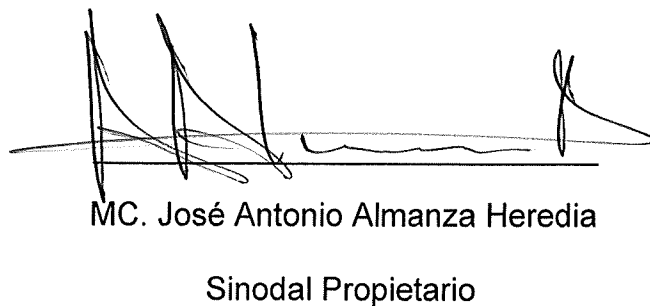


Dr. Oscar Sosa Nishizaki

Presidente del Jurado



Dr. Juan Carlos Pérez Jiménez
Sinodal Propietario



MC. José Antonio Almanza Heredia
Sinodal Propietario

DEDICO ESTA TESIS:

A mi papá Rubén,

A mi mamá Tere,

A mis hermanos Rubén y Sebastián

*por siempre alentarme, por su amor, esfuerzo, enseñanzas y apoyo
incondicional... por ser mi orgullo, lo más grande y valioso que tengo en la
vida....*

Al mar

A Baja California

AGRADECIMIENTOS

A mi papá, por tu entrega y lo logrado, por el amor al mar y a Baja California que nos une. Por ser siempre un soñador.

A mi mamá, por la cercanía y gran amistad. Por dejarme tu fortaleza, pasión y entrega.

A Rubén, por ser un motivo para salir adelante, por haber crecido y aprendido juntos.

A mi quitito, por cuidarme siempre.

Nerón, mi compañero, por lo superado, tanta fortaleza, emoción, alegrar cada día y por estar tan loquito.

Dr. Oscar Sosa Nishizaki, por permitirme ser parte del laboratorio y hacer este estudio, por la amistad y todas las oportunidades que me has brindado.

Dr. Juan Carlos Pérez, por tu gran amistad, apoyo, disposición, enseñanzas y consejos. Por hacer divertidos los días de trabajo.

M.C. José Antonio Almanza por el apoyo y orientación en esta tesis y en la carrera.

M.C. Carmen Rodríguez por la amistad, confianza, las pláticas y disposición en todo lo que necesité.

Amigos y compañeros del laboratorio de Ecología Pesquera (CICESE): Leonardo Castillo, Julio Palleiro, Jonathan Jiménez, Erick Oñate, Karina de la Rosa, Santa Rodríguez, Jenny Chongs, Miguel Escobedo, Omar Santana.

Sara y familia Rombolá, por el apoyo y cariño, por hacerme parte de ustedes.

Catis y Rodrigo Cuevas, Ramón Guillot por el cariño y estar al tanto de mí.

Rafa Sánchez, por dejar tanto en mí. Por el amor y todo lo que vivimos juntos. Por crecer contigo.

Isamara Navarrete, Gracias, Primeramente, a la mejor amiga, vecina, compañera de fiestas y de los mejores recuerdos. Por ser incondicional, por tanta risa compartida y el folclor.

Paula Pijoan, por hacer que todo fuera mejor, desde trabajos hasta viajes. Pauliña, por la amistad, confianza y fortuna de coincidir en lo natural, loqueras, trips, simpleza e ideas.

Carlos Gómez, por ser mi hermano más querido y además despeinado! Por tanto cariño, cuidarme, por todos los pequeños y grandes momentos que vivimos.

Renata Arouca, la hermana mayor, por cada día, las buenas fiestas, el cariño y por la familia que formamos.

Iván Méndez, por encontrarme, llenarme de alegría, tranquilidad y amor, por tus enseñanzas, comprensión y entrega; por alentarme a ser mejor, por el apoyo y ayuda en esta tesis y más.

Poncho Medellín, por nuestra amistad, el apoyo, tanta confianza y tu gran ayuda para que ésta tesis saliera adelante.

Diana Kusters, por compartir cada día contigo roomy. Por la amistad, confianza, los buenos y difíciles momentos que nos acercaron.

Eduardo Sierra, por ser parte especial en las Melimorias y hacer del verde mi color favorito. Por el cariño, detalles, confianza y lo que me has dejado, por estar.

A todos quienes han sido parte esencial, por ser mi familia y compartir, por las fiestas, viajes, salidas de campo, trabajo y más. Por la fortuna de conocernos....Gracias Felipe Rodríguez (Chavala), Kena Romo (ponchita), Kati Martínez, Javier Preciado (rocky), Fátima Ortiz, Alejandro Sánchez, Javier Escalante (kuko), Los Plebes, Polo Gutiérrez, Javier Flores, Fernando Andrade, Héctor García, Cesar Coronado, Cris Villanueva (crazy), Mariana Negrete, Daniel Parlange, Juan Pablo de Olivo, Luis Malpica, Silvia Medina, Fernanda Samaniego, Juan José Dorantes, Sabina Álvarez, Yann Ramírez, Nadia Olivares (cachita), Erick Bravo (goya), Diana Álvarez, Lalo Prieto.

A la Facultad de Ciencias Marinas y a todos los profesores, en especial a Ana María Iñiguez, Dora Waumann, Reginaldo Durazo, Eugenio Carpizo, Antonio Silva y Manuel Moreno, por su tiempo, dedicación y enseñanzas durante la carrera.

John O'Sullivan por el apoyo por parte del proyecto "Historia natural, movimientos, pesquería, criaderos y administración de mobulidos en el Golfo de California" (Acuario de Monterey Bay, California, USA).

Dr. Felipe Galván y estudiantes por proporcionar muestras y su apoyo en el muestreo.

Erick Bravo por el tiempo y ayuda tomando fotografías de la columna vertebral.

José María Domínguez, por el esmero y ayuda en la realización del dibujo de la columna vertebral.

Dr. José Manuel Alfaro Rodríguez del centro radiológico AB Imagen, por permitir el uso del equipo para las radiografías de los organismos.

Dr. Eugenio Díaz por el préstamo de su equipo para fotografiar los cortes vertebrales.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 DETERMINACIÓN DE EDAD EN BATOIDEOS	4
1.2 BIOLOGÍA DE LA ESPECIE	9
2 HIPÓTESIS.....	16
3 OBJETIVO GENERAL	18
3.1 OBJETIVOS PARTICULARES	18
4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
5 MATERIALES Y MÉTODOS	22
5.1 TRABAJO DE CAMPO	22
5.2 TRABAJO DE LABORATORIO	25
5.2.1 Descripción anatómica de la columna vertebral.....	25
5.2.2 Determinación de Edad y Crecimiento.....	26
5.3 ANÁLISIS DE DATOS	28
5.3.1 Estructura de tallas.	28
5.3.2 Relación ancho de disco y radio de la vértebra.....	29
5.3.3 Precisión de las lecturas.	29
5.3.4 Modelos de crecimiento.	31

6 RESULTADOS	34
6.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL.....	34
6.2 DETERMINACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO	39
6.2.1 Estructura de tallas	39
6.2.2 Relación ancho de disco y radio de la vértebra.....	40
6.2.3 Estructura por edades.....	41
6.2.4 Precisión de las lecturas.	43
6.2.5 Modelos de crecimiento.	46
7 DISCUSIÓN.....	49
7.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL.....	49
7.2 DETERMINACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO	53
7.2.1 Generalidades de la estructura vertebral.	54
7.2.2 Estructura de tallas.	56
7.2.3 Relación ancho de disco y radio de la vértebra.....	57
7.2.4 Estructura por edades.....	57
7.2.5 Precisión de las lecturas.	59
7.2.6 Modelos de crecimiento.	59
8 CONCLUSIONES	66
8.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL.....	66
8.2 DETERMINACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO	67

9 LITERATURA CITADA	69
APÉNDICES.....	78
APÉNDICE I.....	78
APÉNDICE II.....	79
APÉNDICE III.....	80
APÉNDICE IV	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características diagnósticas de la especie <i>Mobula japanica</i>	11
Figura 2. Área de estudio.	21
Figura 3. Medida corporal utilizada (AD). Hembra de 1280 mm.....	23
Figura 4. Sección longitudinal de una vértebra de <i>M. japanica</i> , hembra de 2110 mm (AD).....	28
Figura 5. Radiografía de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD).	37
Figura 6. Vista lateral de la porción torácica y caudal de la columna vertebral de una hembra de 2407 mm (AD).....	38
Figura 7. Frecuencia de tallas de <i>M. japanica</i>	39
Figura 8. Relación entre el ancho de disco AD (mm) y el radio vertebral RV (mm).....	40
Figura 9. Estructura por edades de <i>M. japanica</i>	41
Figura 10. a) Corte vertebral de una hembra de <i>M. japanica</i> de 2300 mm AD, b) Acercamiento de bandas cercanas al borde de la vértebra.	42
Figura 11. Relación de los conteos entre lectores.....	45
Figura 12. Curva de crecimiento de von Bertalanffy para <i>M. japanica</i>	47
Figura 13. Curva de crecimiento de Fabens para <i>M. japanica</i>	47
Figura 14. Curva de crecimiento de Gompertz para <i>M. japanica</i>	48

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Resultados de las pruebas de precisión y reproducibilidad de conteos vertebrales de <i>M. japonica</i> , por lector.	43
Tabla II. Porcentaje de acuerdo (PA) entre lectores por grupo de edad en número de bandas.	44
Tabla III. Valores de los parámetros obtenidos por los tres modelos de crecimiento para <i>M. japonica</i>	46
Tabla IV. Comparación de algunas características de la historia de vida y parámetros de von Bertalanffy, de tres especies de Myliobatiformes con los estimados para <i>M. japonica</i> . Talla máxima registrada en la literatura.	63

1 INTRODUCCIÓN

La determinación de edad en peces de importancia comercial es un componente primordial para su manejo como recursos pesqueros (Younger, 1975; Casselman, 1983 en Gallenger y Nolan, 1999). Conociendo la edad, las tasas de crecimiento, longevidad, estructura de la cohorte y edades de otros periodos significativos del ciclo de vida (maduración, migración, etc.) pueden ser utilizados para la evaluación de stocks y en modelos poblacionales (Gallenger y Nolan, 1999).

No obstante, se conoce muy poco acerca de la biología básica de muchos elasmobranquios, incluyendo parámetros importantes como la edad, el crecimiento, la edad de primera madurez, ciclos de reproducción y fecundidad anual (Frisk *et al.*, 2001 en Sulikowski *et al.*, 2003). Algunos de los problemas que hacen a estos estudios complicados, y en ciertos aspectos imprácticos, son la dificultad en la obtención de muestras, las tallas grandes de los especímenes y su bajo valor comercial (Cailliet *et al.*, 1983; 1986).

En los peces cartilaginosos no es posible determinar la edad utilizando los métodos tradicionales para peces óseos, ya que carecen de partes duras como otolitos, escamas y otros huesos (Martin y Cailliet, 1988). Por esto, la

determinación de edad en los elasmobranquios se enfoca principalmente en el análisis de las bandas traslúcidas y opacas depositadas en las vértebras; estas bandas son usualmente grupos de anillos y son observados por medio de luz transmitida (Cailliet *et al.*, 1986; Cailliet y Radtke, 1987 en Martin y Cailliet, 1988). Comúnmente la zona opaca (calcificada) representa los meses de verano y la traslúcida (menos calcificada) los meses de invierno (Cailliet y Goldman, 2004).

Varios autores han desarrollado numerosas técnicas para hacer más visibles las bandas de las vértebras en algunas especies de elasmobranquios, siendo las más utilizadas: inmersión en alcohol (Richards *et al.*, 1963), impregnación de xileno (Daiber, 1960), histología (Ishiyama, 1951; Casey *et al.*, 1985; Natanson y Cailliet, 1990), espectrometría de rayos X (Jones y Green, 1977), aceite de cedro (Cailliet *et al.*, 1983a; Neer y Cailliet, 2001), tinción con rojo de alizarín (LaMarca, 1966; Gruber y Scout, 1983; Cailliet *et al.*, 1983a; Goosen y Smale, 1997), nitrato de plata (Stevens, 1975; Schwartz, 1983; Cailliet *et al.*, 1983a,b), cristal violeta (Jonson, 1979; Schwartz, 1983; Anislado-Tolentino y Robinson-Mendoza, 2001; Carlson *et al.*, 2003), microtopografía de grafito (Parsons, 1983, 1985; Neer y Cailliet, 2001), combinación de nitrato de cobalto y sílfide de amonio (Hoenig y Brown, 1988), y radiografías de los centros vertebrales (Urist, 1961; Aasen, 1963; Applegate, 1967; Cailliet *et al.*, 1983a,b; Martin y Cailliet, 1988; Natanson y Cailliet, 1990), uso de cobre-plomo

y sales de hierro (Gelsleichter *et al.*, 1988a). Estos estudios demuestran que el éxito de cada técnica es específico para cada especie y que alguna modificación puede proporcionar mejores resultados.

La evaluación del proceso de la depositación de marcas de crecimiento en peces se puede categorizar en términos de verificación y validación, donde verificación se define como la confirmación de una edad estimada comparando con otro método indeterminado. Mientras que la validación provee exactitud a la edad estimada comparando con métodos determinados, ésta se puede llevar a cabo por medio de varios métodos como marcaje químico en organismos que están en su medio, marcaje y recaptura, y datación con bomba de Carbono. Como existe una gran dificultad para validar las edad en algunas especies, frecuentemente se emplean métodos de verificación, como son el análisis del borde vertebral, incremento marginal y análisis de frecuencia de tallas (Goldman, 2004).

Para el género *Mobula* no se ha realizado ningún estudio de edad y crecimiento, aunado a esto, no ha existido un gran aporte científico para estas especies; la falta de información de varios aspectos sobre su biología, dinámica poblacional y ecología, hacen que estos organismos estén considerados como uno de los géneros menos conocidos del grupo de los batoideos (Notarbartolodi-Sciara, 1987b). Por lo anterior, este estudio pretende auxiliar en la

determinación de edad y crecimiento, así como en la descripción esquelética de la columna vertebral de *Mobula japanica*, para contribuir en el conocimiento de su historia de vida.

1.1 Determinación de edad en batoideos

El grupo de los batoideos es el más grande de los elasmobranquios. Se estima que su diversidad en el mundo es de 450 especies, agrupadas en 17 familias y 56 géneros (Compagno, 1995). Mientras que en México se ha registrado un total de 87 especies, incluidas en 27 géneros, 14 familias y 5 órdenes (Castro-Aguirre y Espinosa, 1996 en Villavicencio, 2000). Al igual que los tiburones, los batoideos se caracterizan por tener tasas de crecimiento lentas, bajo potencial reproductivo, madurez sexual tardía y vida larga, lo cual hace muy vulnerables a las poblaciones que son explotadas intensamente (Camhi *et al.*, 1998).

La determinación de edad en estos organismos, como en la mayoría de los elasmobranquios, ha sido lograda a través del análisis en la formación de bandas concéntricas en las vértebras. (Ishiyama, 1951, 1958; Daiber, 1960; Taylor y Holden, 1964; Du Buit, 1972; Cailliet *et al.*, 1983a; Waring, 1984; Abdel-Aziz, 1992; Zeiner y Wolf, 1993 en Gallagher y Nolan, 1999).

Martin y Cailliet (1988) realizaron un estudio de edad y crecimiento de la raya murciélago *Myliobatis californica* en California. Los autores removieron la sección de la columna vertebral que incluye los primeros 25 elementos, siendo de la vértebra diez a la diecisiete las que resultaron más adecuadas para la lectura de bandas. Probaron la técnica de radiografía y realce con aceite, notando que con los resultados del análisis radiológico se produjo una curva de crecimiento más realista para los machos ($L_{\infty} = 1004$ mm, $k = 0.229$), mientras que para las hembras el realce con aceite fue el mejor; además encontraron que las hembras alcanzan un mayor tamaño que los machos, pero con una menor tasa de crecimiento ($L_{\infty} = 1587$ mm, $k = 0.0995$). Concluyeron que la formación de las bandas en las vértebras de esta especie provee un registro continuo de crecimiento y sirven para la determinación de edad.

La edad y el crecimiento de *Dasyatis chrysonota chrysonota* ("blue stingray") de la costa sureste de Sudáfrica fue determinada por Cowley (1997) observando el patrón de bandas en las vértebras de 200 organismos. Al mismo tiempo, mantuvo 3 especímenes en cautiverio para medir y pesar mensualmente, y así tener un monitoreo de su crecimiento. Los parámetros de crecimiento derivados de la ecuación de von Bertalanffy que obtuvo fueron $L_{\infty} = 532$ mm (AD), $k = 0.175$ y $t_0 = -3.65$ para machos y $L_{\infty} = 913$ mm (AD), $k = 0.070$ y $t_0 = -4.48$ para hembras. Determinó que la formación de los anillos es anual, tanto en organismos cautivos como en los capturados del medio natural,

además los resultados indican que las bandas translucidas se forman en verano, y las opacas asociadas a un lento crecimiento, se forman en invierno (mayo-septiembre).

Mollet *et al.*, (2002) realizaron experimentos de crecimiento y alimentación con organismos en cautiverio de la raya pelágica *Dasyatis violacea*, desde marzo de 1995 a agosto del 2000. El macho de mayor talla fue de 68 cm y 12 kg con una edad estimada de 7 años, mientras que la hembra de mayor talla fue de 96 cm y 49 kg con una edad de 9 años. Los datos de crecimiento se ajustaron con la ecuación de crecimiento de Gompertz y de von Bertalanffy, siendo la primera la que produjo parámetros más reales.

Como parte de un estudio sobre la historia de vida de la raya gavián *Rhinoptera bonasus* en la zona norte de Golfo de México, Neer y Thompson (2005) determinaron la edad utilizando las vértebras de la 15 a la 25. Las lecturas de bandas se llevaron a cabo sobre cortes sagitales previamente teñidos con Cristal Violeta al 0.01%. Compararon cuatro modelos de crecimiento y así determinaron que el modelo que proporcionó estimaciones biológicamente más realistas de los parámetros de crecimiento fue el de Gompertz, el cual predijo para ambos sexos un AD_{∞} de 1100.2 mm, una k de 0.1332 mm por año, t_0 de - 0.2573 años y una longevidad teórica de 26.1 años.

Gallagher, *et al.* (2004) determinaron la edad, crecimiento y madurez de 1,554 individuos de 4 especies de rayas comerciales del Mar de Irlanda (268 *Raja brachyura*, 258 *R. clavata*, 468 *R. montagui* y 560 *Leucoraja naevus*). Mencionan que las vértebras se extrajeron de la parte posterior del origen escapular de la columna vertebral y que las bandas de las vértebras fueron resaltadas exitosamente por medio de una modificación de la técnica de Cristal Violeta descrita por Schwartz (1983). Las estimaciones de crecimiento y madurez revelan que las rayas de mayor tamaño (*Raja brachyura*, *R. clavata*) alcanzan la madurez a grandes tallas y mayores edades, por lo que demuestran un crecimiento más lento que las especies de rayas pequeñas (*R. montagui*, *Lucoraja naevus*). Las estimaciones de edad fueron relativamente bajas para cada especie, con una edad máxima de 7 años para *R. montagui* y 8 años para cada una de las otras especies.

Por medio de un estudio de edad, crecimiento, reproducción y demografía de la raya *Torpedo californica*, en el centro y sur de California, Neer y Cailliet (2001), utilizando la técnica de microtopografía de grafito sobre las primeras vértebras de la columna vertebral, estimaron para esta especie una longevidad de 24 años a la talla de 1373 mm. No obstante, calculando los parámetros del modelo de von Bertalanffy, obtuvieron una L_{∞} de 1372 mm para hembras y de 921 mm para machos, con una tasa de crecimiento estimada de 0.073 y 0.137 respectivamente.

Sulikowski, *et al.* (2005) describieron la edad y las tasas de crecimiento de la raya *Amblyraja radiata* al oeste del Golfo de Maine, tomando las vértebras de la porción de la columna vertebral localizada sobre la cavidad torácica. Las tasas de crecimiento que obtuvieron fueron similares para ambos sexos ($k = 0.13$ para hembras y $k = 0.11$ para machos); y estimaron una edad máxima de 16 años para machos y hembras, lo que corresponde a longitudes totales de 103 cm y 105 cm, respectivamente. Finalmente concluyeron que la relación entre la longitud total y el diámetro de la vértebra, así como el análisis del incremento marginal apoya el uso de vértebras para el análisis de edad en esta especie de raya.

Para estimar la edad y el crecimiento de la raya *Leucoraja ocellata*, en el oeste del Golfo de Maine, Sulikowski, *et al.* (2003), tomaron la sección de vértebras localizadas debajo de la cavidad torácica de cada organismo. Encontraron que la relación entre la talla y el diámetro vertebral fue lineal y significativa, por lo que el crecimiento de la vértebra es proporcional a la longitud del organismo para todas las clases de tallas. Por medio del análisis de incremento marginal determinaron que la formación de una banda es anual y con los parámetros obtenidos de la ecuación de von Bertalanffy sugieren que las hembras presentan una longitud asintótica mayor ($L_{\infty} = 1374$ mm) que los machos ($L_{\infty} = 1218$ mm) y crecen con mayor lentitud ($k = 0.059$ y 0.074 mm, respectivamente).

En base a los estudios mencionados anteriormente, se puede concluir que en algunas especies de batoideos sí es posible estimar la edad y el crecimiento mediante la lectura de bandas concéntricas en las vértebras, utilizando las que se localizan en la porción torácica de la columna vertebral. En general, se ha encontrado que proveen un registro continuo del crecimiento, y que son especies relativamente longevas, con tasas de crecimiento lentas.

1.2 Biología de la especie

Los miembros de la familia Mobulidae (Orden: Myliobatiformes), comúnmente conocidos como mantarayas o mantas diablo, son peces batoideos con un disco romboidal que puede alcanzar grandes tallas. La cola está netamente demarcada del tronco, es muy larga y en forma de látigo, con una pequeña aleta dorsal en la base. Presentan una cabeza ancha que sobresale de la superficie del disco; los bordes anteriores de las aletas pectorales forman dos aletas cefálicas verticales separadas que se proyectan por delante de la cabeza. Los dientes son diminutos y dispuestos en una banda, ya sea en una o ambas mandíbulas; boca sin papilas. Piel desnuda o más o menos rugosa, con denticulos y pequeños tubérculos (Compagno *et al.*, 1995).

Actualmente hay dos géneros reconocidos, *Mobula* es el género más grande de la familia, está representado por 9 especies y se distingue del género

Manta (una especie) por tener la boca en la parte ventral, con dientes en ambas mandíbulas y la anchura de la cabeza no es más del 17% de la anchura del disco (Compagno, *et al.*, 1995). Además, cuando enrollan las aletas cefálicas, el margen ventral nunca se traslapa con el margen dorsal (Notarbartolo-di-Sciara, 1987a).

En el Golfo de California existen 5 especies pertenecientes a los dos géneros (*Mobula munkiana*, *M. japonica*, *M. tarapacana*, *M. thurstoni*, y *Manta birostris*), cuatro de las cuales son objeto de pesquería (Compagno, *et al.*, 1995).

M. japonica (Müller y Henle, 1841), localmente llamada “cubana de lomo blanco”, se caracteriza y se diferencia dentro del género principalmente por presentar una espina aserrada en la base de la cola. La cola es muy larga, aproximadamente igual al ancho de disco, con una hilera de tubérculos blancos en ambos lados (Notarbartolo-di-Sciara, 1987b). Los espiráculos están arqueados transversalmente por encima del nivel de las aletas pectorales y las aletas cefálicas son cortas (Notarbartolo-di-Sciara, 1987a) (Fig. 1). Presenta dientes alargados y muy espaciados, por lo menos dos veces más altos que la anchura de sus coronas, estas últimas son anchas y subtriangulares en vista apical, con la cúspide mediana dirigida hacia la boca. La banda superior de dientes representa el 75% y la banda inferior el 76% de la anchura de la boca.

Placas del filtro branquial con lóbulos terminales lanceolados, recorridos por una cresta mediana que da origen a una rama a cada lado; los lóbulos laterales con crestas perpendiculares con respecto al borde (Compagno, *et al.*, 1995).

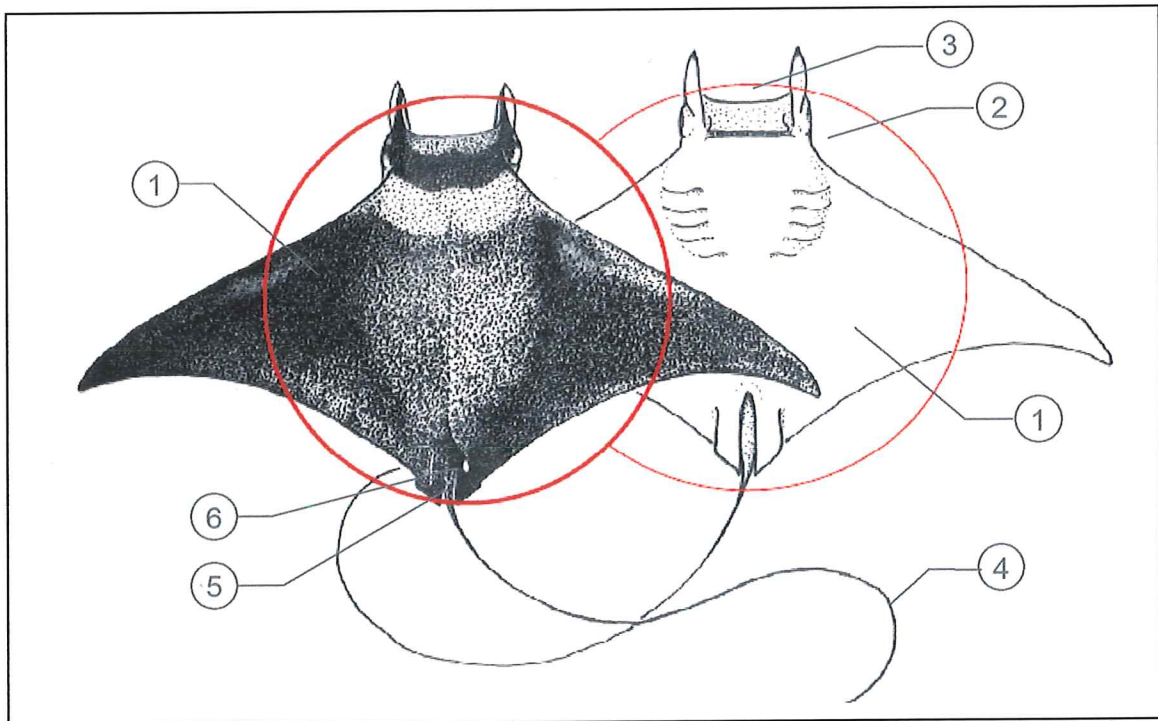


Figura 1. Características diagnósticas de la especie *Mobula japonica*. 1) coloración azul oscura a negra en la parte dorsal y blanca en la parte ventral; 2) espiráculos arqueados transversalmente por encima del nivel de las aletas pectorales; 3) aletas cefálicas cortas; 4) cola aproximadamente igual al Ancho de Disco; 5) espina aserrada; 6) ápice de la aleta dorsal con una mancha blanca. Modificada de www.bigfish.net.nz.

Presenta una coloración azul oscura a negra en la parte dorsal, ocasionalmente con marcas semilunares más claras en la región escapular; mientras que la parte ventral es blanca y desprovista de marcas (Compagno, *et*

al., 1995). El ápice de la aleta dorsal se distingue por presentar una mancha blanca (Notarbartolo-di-Sciara, 1987a) (Fig. 1).

La talla máxima reportada para esta especie es de 3100 mm de ancho de disco (AD) (Paulin *et al.*, 1982 en Notarbartolo-di-Sciara, 1987a), aunque la talla más común es de 2000 a 2500 mm. (Notarbartolo di Sciara, 1987; Fisher *et al.*, 1995). No se ha reportado en bibliografía que haya diferencia significativa en la talla entre machos y hembras. Notarbartolo-di-Sciara (1988) menciona que la talla de nacimiento de *M. japonica* es aproximadamente de 700 mm.

Se cree que el apareamiento ocurre durante los meses de verano (Guerrero-Maldonado, 2002), y los machos comienzan a madurar sexualmente a los 2100 mm (AD). No obstante, la falta de información de individuos más pequeños hace que esta estimación no sea concluyente y además evitan un claro entendimiento del inicio de la maduración sexual en las hembras. Sin embargo, se han encontrado huevos grandes en pequeños especímenes de hasta 2070 mm (AD), posiblemente esto indica que las hembras comienzan a madurar a esa talla (Notarbartolo-di-Sciara, 1988).

Al igual que las demás especies de la familia, su modo de reproducción es vivíparo aplacentado (Notarbartolo-di-Sciara, 1987b), y su tasa reproductiva está considerada entre las más bajas de los elasmobranquios, debido a que

estos organismos probablemente producen un solo embrión cada dos o tres años, haciéndolos extremadamente vulnerables a la explotación pesquera (Notarbartolo-di-Sciara, 1995).

Mobula japanica tiene una distribución circumtropical, pero es también encontrada en zonas templado cálidas, común en aguas costeras y oceánicas, es pelágica y altamente migratoria; ha sido observada en California, el Golfo de California, el Pacífico Tropical del este, la parte norte de Nueva Zelanda, Hawaii, Japón, Corea, China, el Golfo de Siam, Sri Lanka, el Mar Árabe, Costa de Marfil, y posiblemente el Atlántico norte (Notarbartolo-di-Sciara 1987).

Generalmente es una especie solitaria, sin embargo, se ha observado nadando en pequeños grupos, pero nunca en grandes cardúmenes (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Fisher *et al.*, 1995). La segregación sexual, ya sea geográfica o por comportamiento, nunca ha sido reportada en esta especie, en contraste, la segregación geográfica por tamaño es un rasgo evidente de los organismos sexualmente maduros en el Golfo de California (Notarbartolo-di-Sciara, 1988).

Esta manta es un organismo filtrador muy especializado, se alimenta principalmente del euphausiido *Nyctiphanes simplex*, tomando en cuenta que es el 99.62% de su dieta durante el verano en Baja California Sur (Notarbartolo-di-

Sciara, 1988). Se cree que la abundancia estacional de esta especie en la zona parece estar muy relacionada a la abundancia estacional de su presa principal, la cual declina a finales del verano debido al aumento de la temperatura del agua (Notarbartolo-di-Sciara, 1988).

En el suroeste del Golfo de California los mobulidos son capturados frecuentemente con fines comerciales, la mayoría de la captura en julio está compuesta por *M. japonica*, cuando la abundancia de *M. thurstoni* ha disminuido. Los pescadores de Punta Arenas de la Ventana han dirigido su pesca de manera estacional a los mobulidos desde al menos 1981, aunque probablemente esta pesquería inició mucho tiempo atrás. Otros campos pesqueros como El Pardito y Ensenada de los Muertos se han hecho notar por tener también una histórica pesquería de estos organismos (Notarbartolo-di-Sciara, 1988). Sin embargo, no existe otra información sobre el estatus actual de la pesquería de mobulidos en la región (O'Sullivan, 2005).

Las mantas se capturan en pangas, principalmente con redes de multifilamento de 3 a 4 brazas de ancho por 300 a 400 brazas de largo y luz de malla de 6 a 12", las cuales se dejan unidas a una serie de boyas en el canal de Isla Cerralvo y dentro de la Bahía la Ventana (Cerutti, 2005). Anteriormente el arpón se utilizaba para la captura. Solo aproximadamente el 25% de todo el peso del cuerpo de cada organismo es utilizado. La carne se filetea de las

aletas pectorales para el consumo humano y como carnada para tiburón. Los filetes se salan y secan para vender y para el consumo local (Notarbartolo-di-Sciara, 1987b).

2 HIPÓTESIS

Debido a que en algunas especies de batoideos se ha estimado la edad y construido curvas de crecimiento por medio de la lectura de bandas en las vértebras, siendo la porción de la columna vertebral sobre la cavidad torácica la más adecuada y utilizada, se plantea que:

- a) Es posible estimar la edad y describir el crecimiento de la manta de espina *M. japonica*, por medio de la lectura de bandas en las vértebras.
- b) Las vértebras localizadas en la porción de la cavidad torácica son las más adecuadas para la determinación de la edad.

Predicción para las hipótesis:

- a) **sí** el radio vertebral está altamente correlacionado con el ancho de disco, y **sí** se observa un aumento del número de bandas conforme incrementa la talla de los organismos, entonces, mediante la lectura de bandas en vértebras se puede estimar la edad y crecimiento de *M. japonica*, por lo que no se rechazará esta hipótesis.

b) **sí** las vértebras que se localizan en la cavidad torácica son las más grandes y redondeadas que las del resto de la columna vertebral, entonces, son las más adecuadas para la determinación de edad y no se rechazará esta hipótesis.

3 OBJETIVO GENERAL

Determinar la edad y describir el crecimiento de la manta de espina *Mobula japonica*, mediante la lectura de bandas en las vértebras.

3.1 OBJETIVOS PARTICULARES

Describir la columna vertebral y establecer si las vértebras localizadas en la porción de la cavidad torácica son las más adecuadas para determinación de edad.

Establecer la técnica para resaltar las bandas de crecimiento en las vértebras para la determinación de edad.

Estimar la edad y construir una curva preliminar de crecimiento.

4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California es un mar marginal que se localiza en el Pacífico oriental, entre la península de Baja California y la costa de los estados de Sonora y Sinaloa, México. Su longitud es de aproximadamente 1,100 km y su anchura promedio de 135 km. (Hernández-Becerril, 1985). Lavín y Marinone (2003) dividen al Golfo de California en 5 provincias: (a) Zona de entrada, en comunicación abierta con el Océano Pacífico; (b) Sur del Golfo de California, desde Cabo San Lucas hasta el sur de las grandes Islas; (c) El archipiélago, las zona de grandes islas caracterizada por canales de gran profundidad; (d) El Norte del Golfo de California; (e) El alto Golfo de California.

En la región Sur del Golfo de California se presenta una estructura oceanográfica muy compleja y dinámica, ya que en ésta convergen tres masas de agua superficial (Álvarez-Borrego, 1983), con características diferentes: (1) Agua fría de baja salinidad (<34.60 ups) de la Corriente de California, con fluctuaciones que provienen del Sur a lo largo de la costa Oeste de Baja California; (2) Agua caliente del Pacífico Tropical Oriental con salinidades intermedias ($34.65 - 34.85$ ups), con fluctuaciones dentro del área provenientes del sureste; (3) Agua caliente con alta salinidad (>34.90 ups) del Golfo de California (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

Bajo estas tres masas de agua, conforme aumenta la profundidad, están presentes: agua Subtropical Subsuperficial, con un máximo de salinidad cerca de 34.80 ups; agua intermedia del Antártico, caracterizada por un mínimo de salinidad de 34.50 ups (Griffiths, 1968 en Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979); y agua profunda del Fondo del Pacífico caracterizada con un incremento en salinidad hasta 34.68 ups (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

Durante el invierno y principios de primavera el agua tropical del Pacífico Este y la Subtropical Subsuperficial están presentes solamente en la boca del Golfo, mientras que a finales de primavera y durante el verano estas masas de agua invaden toda la zona Sur del Golfo (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

Estas masas de agua, aunadas a los sistemas de frentes oceánicos tienen una alta productividad con un impacto biológico significativo en las poblaciones, particularmente en los florecimientos de fitoplancton y en algunas pesquerías (Griffiths, 1965; Traganza *et al.*, 1987).

El área de estudio comprende la Bahía de la Ventana (24°3'40" N, 109°49'55" W), localizada en la parte suroeste del Golfo de California frente a Isla Cerralvo (24°12' N, 109°48' W). Esta isla se separa 11 km del lado este de Baja California Sur por el canal de Cerralvo, teniendo éste una profundidad de

hasta 500 mts. La región está considerada como una zona de transición con una complicada estructura oceanográfica (De la Lanza, 1991 en Cerutti, 2005).

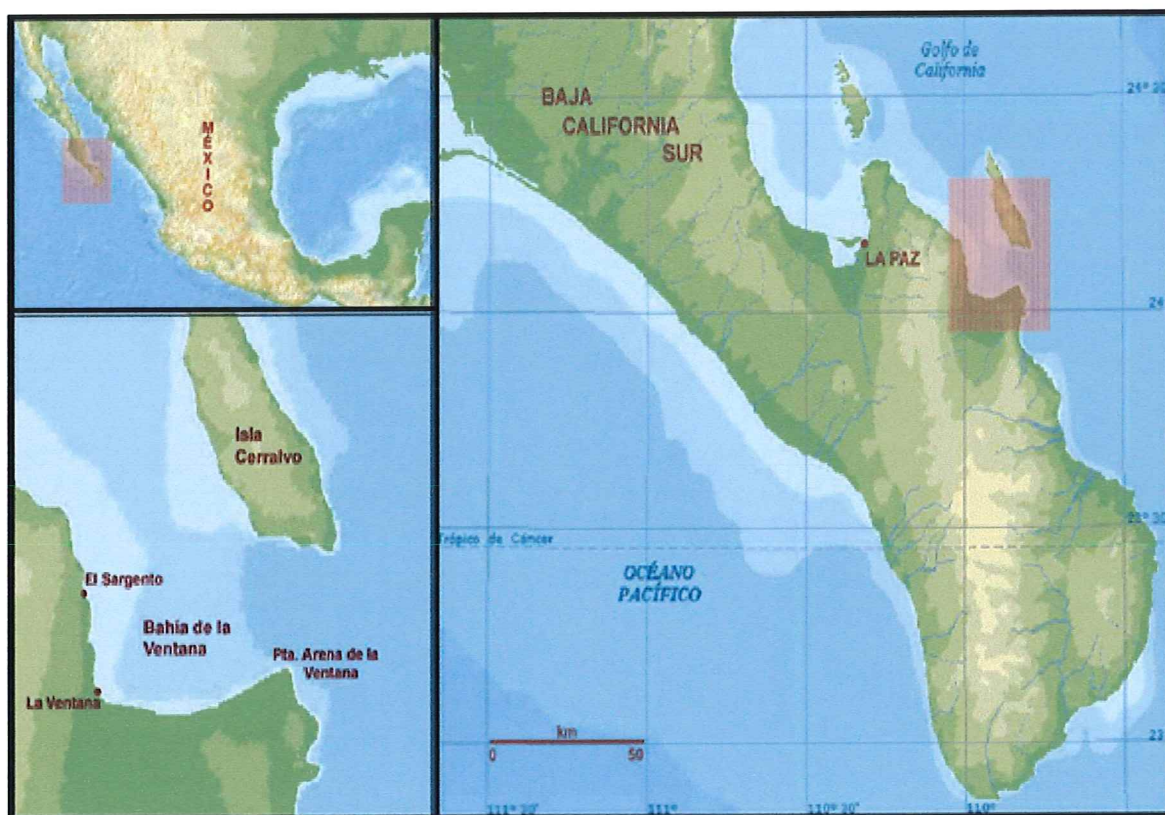


Figura 2. Área de estudio.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 TRABAJO DE CAMPO

Las muestras se colectaron mediante una salida de campo realizada durante el mes de junio del 2005, de la captura obtenida por la cooperativa pesquera establecida en Punta Arenas de la Ventana, BCS. Estas muestras fueron completadas a través de una serie de muestreos que se llevaron a cabo durante los meses de mayo y junio del 2002, y agosto y octubre del 2004 en la misma localidad, con la colaboración del Dr. Felipe Galván (CICIMAR) quien está a cargo del proyecto "Ecología trófica de tiburones y rayas del Golfo de California". Los muestreos se realizaron como parte del proyecto "Historia natural, movimientos, pesquería, criaderos y administración de mobulidos en el Golfo de California" dirigido por John O'Sullivan (Acuario de Monterey Bay, California, USA).

El campo pesquero de Punta Arenas de la Ventana fue seleccionado como el principal sitio de colecta, debido a que la captura artesanal de mobulidos es más consistente que en otras localidades (Notarbartolo-di-Sciara, 1988). Sin embargo, un cierto número de muestras fueron colectadas en la

cooperativa pesquera de El Sargento en mayo del 2002, con el objetivo de completar un mayor número de muestras.

Después de haber identificado la especie con base en Compagno *et al.*, (1995), a cada organismo se midió el Ancho de Disco (AD), que es la medida entre los extremos más lejanos de las aletas pectorales (Fig. 3), con una precisión de un centímetro; y se determinó el sexo por medio de características externas (presencia de gonopterigios en machos y ausencia en las hembras).

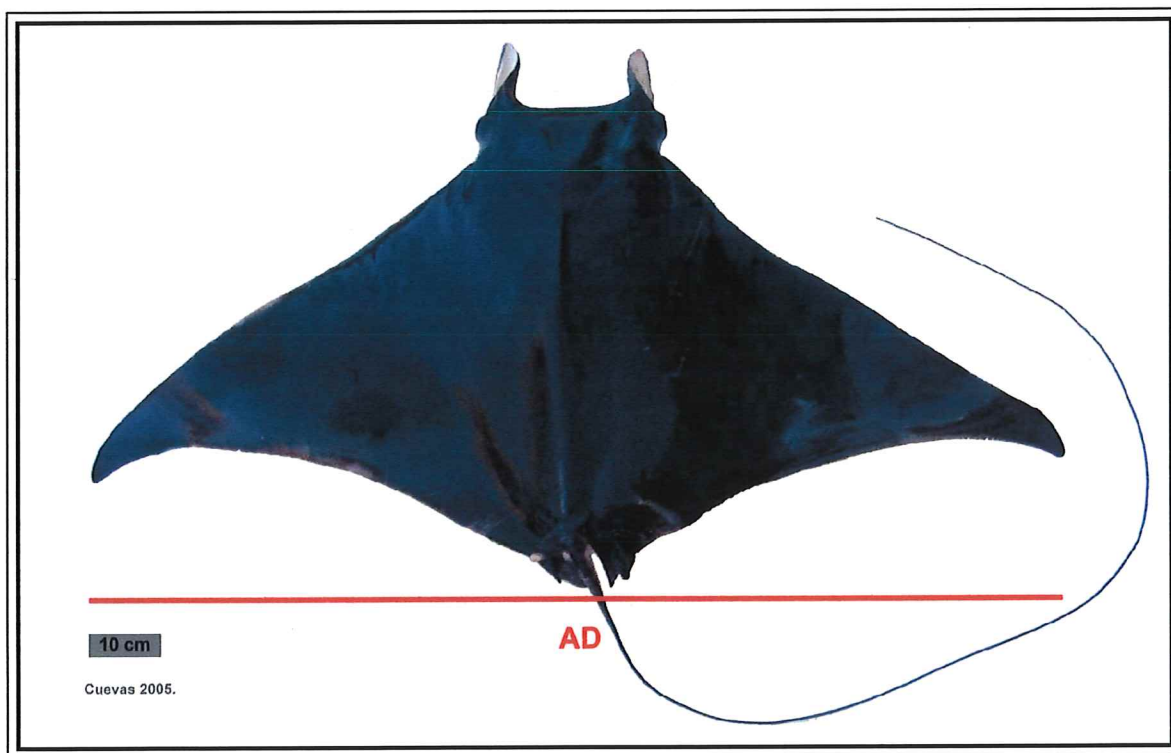


Figura 3. Medida corporal utilizada (AD). Hembra de 1280 mm.

A cada espécimen se realizó un corte extrayendo la porción de la columna vertebral localizada justo antes de comenzar la aleta dorsal incluyendo la cola. Sosa y Méndez (comunicación personal, Laboratorio de Ecología Pesquera, CICESE) recomendaron extraer esta sección puesto que en un muestreo piloto, observaron que a diferencia de otras especies de batoides, algunas de las especies del género *Mobula* presentan una modificación en la columna vertebral, donde la zona anterior y media de la columna se compone o sostiene únicamente por cartílago, y las vértebras mayores y las más calcificadas se van presentando más claramente conforme se acerca a la porción caudal. Para corroborar lo anterior, cuando fue posible se obtuvieron algunas columnas vertebrales completas u organismos enteros para su posterior disección en el laboratorio.

Las muestras colectadas fueron etiquetadas y dentro de bolsas se trasladaron y mantuvieron congeladas hasta su análisis en laboratorio. Todos los datos, sobre la fecha de colecta, la zona y el arte de pesca, así como las observaciones biológicas (sexo, AD, madurez sexual) de los organismos analizados fueron capturados en hojas de cálculo formateadas y editadas.

5.2 TRABAJO DE LABORATORIO

5.2.1 Descripción anatómica de la columna vertebral.

En el laboratorio se realizaron disecciones de los organismos completos, y se anotaron todas las características biológicas (AD, sexo, peso, estado reproductivo). Uno de ellos se dejó libre de tejido conectivo desde el cráneo y a lo largo de toda la columna vertebral para ser radiografiado. Se llevó a cabo con un equipo de rayos X Picker y se procesó con un digitalizador Fuji FCR.XG-1 como imágenes Dicom. El esqueleto se colocó en posición ventral y se colocaron dos agujas, demarcando donde termina la zona escapular y el origen anterior de la aleta dorsal; de esta manera cuando la columna vertebral es radiografiada la posición de rasgos anatómicos externos pueden ser relacionados con la región de la columna vertebral que le corresponde, además de denotar la separación de las tres secciones con las que se analizó la columna vertebral. La columna de otro organismo se puso a cocción para facilitar la eliminación de todo el tejido conectivo adyacente para poder observar su estructura completa y efectuar esquemas con mayor detalle. Posteriormente se realizaron cortes transversales de diferentes secciones de la columna para tomar fotografías y tener una secuencia del cambio de la estructura a lo largo de la columna.

5.2.2 Determinación de Edad y Crecimiento.

Una vez descongeladas las muestras se limpiaron dejando la porción de la columna vertebral libre de tejido conectivo, por medio de bisturí se removió el arco neural. Se realizaron secciones de ésta porción para elegir las vértebras de mayor tamaño y las que son más adecuadas para la determinación de edad.

Se extrajeron 5 vértebras por espécimen, las cuales se localizaban justo debajo de la base de la aleta dorsal, ya que son la más grandes y redondeadas; y se almacenaron en alcohol al 70% hasta su posterior análisis. Las vértebras se enjuagaron con agua corriente y se dejaron aproximadamente 20 minutos en el agua para eliminar restos de alcohol. De manera manual, utilizando bisturí, se removió detalladamente los restos de cartílago y tejido procurando no dañar los bordes y superficie de la vértebra, ya limpias se dejaron secar 24 horas a temperatura ambiente.

El diámetro de cada vértebra se midió con un vernier digital al milímetro más cercano; posteriormente, por medio de una cortadora de baja velocidad ISOMET Buehler con una navaja de diamante de 0.5 mm de grosor, se realizaron de 2 a 3 cortes sagitales por organismo, de un grosor de 0.35 mm incluyendo el foco de la vértebra.

A partir de los cortes vertebrales se continuó con la tinción, con la finalidad de tener un mayor realce en las bandas de crecimiento. Para lo anterior, se empleó una modificación de la técnica de Cristal Violeta descrita por Schawartz (1983), ésta consistió en colocar el corte en una solución de Cristal Violeta al 0.01% durante 24 horas, revisándolo cada 12 horas. Para facilitar su manipulación los cortes teñidos se fijaron en portaobjetos de vidrio con resina Cytoseal; en algunos casos se requirió pulir los cortes con una lija de 30 μ .

Finalmente, por medio de un microscopio estereoscópico, se hicieron tres lecturas no consecutivas de las bandas en las vértebras por tres distintos observadores para evitar una mala interpretación; así mismo, se midió el radio de cada vértebra, tomando desde el foco hasta el borde distal del *corpus calcareum*, con la finalidad de establecer la relación entre el ancho de disco y el radio de la vértebra (RV) (Fig. 4).

El protocolo que se siguió para las lecturas consistió en definir una banda como una marca traslucida que aparece relativamente a intervalos regulares a lo largo del *corpus calcareum*, y está separada por una marca opaca. Así mismo, la marca de nacimiento se definió como el primer cambio de ángulo a través del *corpus calcareum*, y se excluyó en el conteo de las bandas.

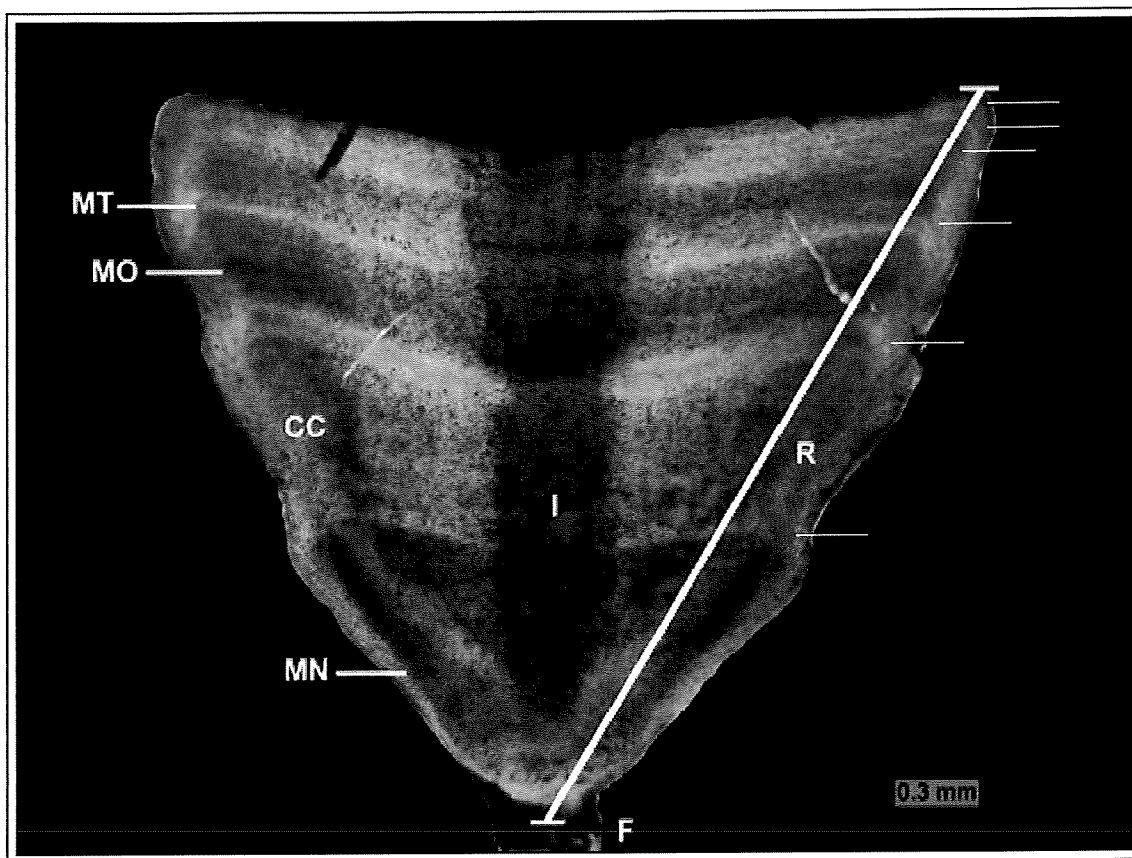


Figura 4. Sección longitudinal de una vértebra de *M. japonica*, hembra de 2110 mm (AD), con una edad calculada de 6 años (líneas amarillas). F: foco; MN: marca de nacimiento; CC: *corpus calcarium*; R: radio; MT: marca translúcida; MO: marca opaca; I: intermedialia.

5.3 ANÁLISIS DE DATOS

5.3.1 Estructura de tallas.

A partir de los datos de Ancho de Disco de los organismos analizados se construyeron histogramas de frecuencia con intervalos de 100 mm con el fin de observar la distribución de tallas que se tiene para el presente estudio.

5.3.2 Relación ancho de disco y radio de la vértebra.

Se realizó un análisis de regresión lineal simple con el fin de establecer la relación entre el radio de la vértebra y el ancho de disco, para determinar que las vértebras de *M. japonica* son estructuras apropiadas para la estimación de edad. Los coeficientes de la regresión lineal se estimaron a través del método de los mínimos cuadrados y la relación entre las variables se evaluó con el coeficiente de determinación (R^2).

5.3.3 Precisión de las lecturas.

La precisión y reproducibilidad de las lecturas de las vértebras entre lectores fue comprobada por el método de **Porcentaje de Acuerdo (PA)** (Cailliet y Goldman, 2004), que se obtiene de la siguiente manera:

$$PA = (LI / TL) * 100$$

Donde:

LI es el número de lecturas iguales,

TL es el total de lecturas realizadas para cada vértebra.

Este porcentaje se calculó entre lectores para cada muestra; además de un análisis de regresión lineal de los conteos entre lectores.

Para verificar la precisión de cada lector, se calculó el **Porcentaje de Error Promedio** (Average Percent Error o **APE**) (Beamish y Fournier, 1981):

$$APE = 1/R \sum_{i=1}^R (|x_{ij} - x_j|) / x_j$$

Donde:

R es el número de veces que se determine la edad a cada muestra,

x_{ij} es la i-ésima determinación de edad del j-ésimo organismo,

x_j es la edad promedio calculada para el j-ésimo organismo.

Así mismo, se calculó el **Coeficiente de Variación (V)**, con el fin de comprobar la reproducibilidad de los datos de edad obtenidos entre los lectores, y el **Índice de Precisión (D)** que es el resultado de **V** dividido entre $\sqrt{R}$ (Chang, 1982).

5.3.4 Modelos de crecimiento.

Se describieron los parámetros de crecimiento de *M. japonica*, utilizando tres distintos modelos de crecimiento, con el fin de poder comprar este estudio con la literatura existente.

Al utilizar modelos teóricos de crecimiento se asume que (1) la marca de nacimiento es la banda asociada a un cambio de ángulo en la intermedialia y (2) las bandas de crecimiento se depositan anualmente (Neer y Thompson, 2005).

Por medio del método de Mínimos cuadrados no lineales (Haddon, 2001), se calcularon los parámetros de la ecuación de **von Bertalanffy** (VBGM) (1938):

$$AD_t = AD_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Donde:

AD_t = ancho de disco pronosticado en el tiempo t ,

AD_{∞} = ancho de disco máximo pronosticado por la ecuación,

t = tiempo,

t_0 = tiempo en el cual teóricamente el organismo tiene una longitud igual a cero,

k = coeficiente de crecimiento (tasa instantánea).

Se ajustó también al modelo de crecimiento de **Gompertz** (1825) como una función doble exponencial en S, utilizando la siguiente ecuación:

$$AD_t = AD_{\infty} e^{-e(k(t-t_0))}$$

Donde:

AD_t = ancho de disco pronosticado en el tiempo t ,

AD_{∞} = ancho de disco máximo pronosticado por la ecuación,

t = tiempo,

t_0 = tiempo en el cual teóricamente el organismo tiene una longitud igual a cero,

k = coeficiente de crecimiento (tasa instantánea).

La ecuación de **Fabens** (1965), como una ecuación alternativa al modelo de von Bertalanffy, provee parámetros más realistas cuando el tamaño de muestra es pequeño (Goosen y Smale, 1997 en Cailliet y Godman, 2004).

Esta ecuación (VBGM con AD_0) es descrita como:

$$AD_t = AD_{\infty} (1 - be^{-kt}) = AD_{\infty} - (AD_{\infty} - AD_0) e^{-kt},$$

$$b = (AD_{\infty} - AD_0) / AD_{\infty} = e^{-kt_0}$$

Donde:

AD_0 = talla de nacimiento.

Para los modelos de von Bertalanffy y Fabens se ajustaron los datos con una regresión no lineal utilizando la función "solver" de Microsoft Excel, mientras que para el modelo de Gompertz se calculó en el programa SigmaPlot. Así mismo, con los datos de edad y Ancho de Disco correspondiente, se construyó una curva preliminar de crecimiento para cada modelo.

6 RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL

La columna vertebral en *M. japonica*, debido a su simplicidad, es especialmente interesante. En la parte anterior la columna es más o menos continua con la región occipital del cráneo y posteriormente forma un ligero arco extendiéndose hasta la cola. En la parte superior de la columna hay una serie de arcos neurales formados para la protección de la médula espinal; debajo, en la región caudal, hay una serie similar de arcos hemales para la protección de la vena y arteria caudal.

Por conveniencia para la descripción la columna se dividió en tres regiones. La primera de éstas, la sección anterior (A) que une a la cabeza, va del cráneo a la cintura escapular; la segunda es la zona torácica (T), que incluye de la cintura escapular al origen de la aleta dorsal; y la tercera se le designó como el segmento caudal de la columna (C), que va del origen de la aleta dorsal a la cola (Fig. 5).

La parte de la región anterior de la columna está fusionada en una placa vertebral sólida o sinarcua cervico-torácica, que se extiende sobre la región branquial, es muy rígida y hay una aparente ausencia de vértebras.

La porción torácica es la parte media de la columna y es donde asume su forma más simple. Aquí consiste esencialmente de un cartílago muy grueso y rígido, que en tamaño se mantiene constante a lo largo de ésta región. Presenta placas ventrales y dorsales normalmente distinguidas y regulares. Cada arco neural (an) está compuesto por una placa dorsal (basidorsal) (bd) y piezas dorsales intercalarias (interdorsal) (id), ambos cartílagos son más o menos de forma triangular. Arriba de las placas dorsales hay piezas segmentadas alargadas formando lo que se conoce como espinas neurales (en), que se extienden hasta los límites posteriores de la región torácica, colindando con la aleta dorsal. Cada placa dorsal está perforada por la raíz dorsal del nervio espinal (fv), y cada placa interdorsal por la raíz ventral del mismo nervio (fd) (Fig. 6).

En la parte anterior de la porción torácica no se observan vértebras calcificadas, no obstante, aparentemente presenta pequeños remanentes del notocordo. Cercano a la parte media de ésta región comienzan a ser más visibles pequeñas vértebras monospóndilas calcificadas, con un ligamento intervertebral muy amplio entre ellas; estas vértebras van incrementando su tamaño conforme se acerca a la zona caudal, y por el contrario, el ligamento intervertebral se vuelve más angosto (Fig. 5). La transición de monospóndilas a diplospóndilas (zt) se marca en la figura 6, y coincide con la división de las

placas basiventrals (bv) y con el incremento en el tamaño de las vértebras ya cercanas a la región caudal.

En la porción caudal las vértebras alcanzan su mayor tamaño y forma más clara, sin embargo el cartílago que las cubre es más delgado y menos rígido, a pesar de que en ésta región se forma el arco hemal, donde también algunas espinas cortas se hacen presentes pero son reducidas. Detrás de la aleta dorsal algunas de las placas dorsales se extienden enteramente hasta el tope del arco, por lo que no están presentes espinas neurales (Fig. 6). En el área que está debajo del origen anterior de la aleta dorsal se encontraron las vértebras más grandes y redondas por lo que se eligieron como las más adecuadas para la determinación de edad de *M. japonica*. Aproximadamente, a partir del origen posterior de la aleta las vértebras comienzan a aplanarse dorsoventralmente y así continúan hacia la cola donde vuelven a disminuir en tamaño (Fig. 5).

Una hembra de 1280 mm de ancho de disco, a lo largo de la columna vertebral presentó al menos 84 vértebras visibles, que van desde la parte media de la región torácica a la cola; las mejores vértebras para la determinación de edad en éste organismo son desde la número 27 a la 37 aproximadamente, localizadas debajo de la zona anterior de aleta dorsal (Fig. 5).



Figura 5. Radiografía de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD). a) columna vertebral entera, b) acercamiento de la porción torácica (T), c) acercamiento de la porción caudal (C). Las líneas denotan la locación del origen de la aleta dorsal y donde termina la cintura escapular en la porción anterior (A) de la columna vertebral. El círculo amarillo denota el área donde se encuentran las vértebras más grandes y redondas.

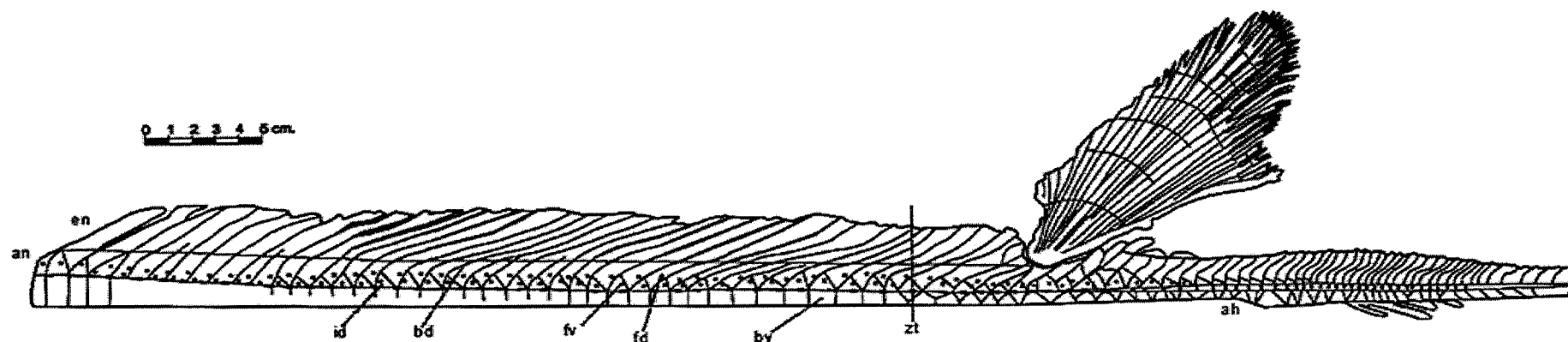


Figura 6. Vista lateral de la porción torácica y caudal de la columna vertebral de una hembra de 2407 mm (AD). **an.**, arco neural; **en.**, espina neural; **bv.**, placa basiventral; **bd.**, placa basidorsal; **id.**, placa interdorsal; **fv.**, foramen de la raíz ventral del nervio; **fd.**, foramen de la raíz dorsal del nervio; **zt.**, zona de transición de vértebras monospondilas a dispondilas; **ah.**, arco hemal.

6.2 DETERMINACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO

6.2.1 Estructura de tallas

Se colectaron un total de 55 organismos de *M. japonica*, de los cuales 48 fueron capturados de la cooperativa pesquera de Punta Arenas de la Ventana, mientras que 7 organismos se obtuvieron de la cooperativa pesquera de El Sargento. Para el histograma de frecuencia se utilizó el intervalo de tallas conocido para esta especie, que va de 700 a 3100 mm de AD, sin embargo, la distribución de tallas de los organismos muestreados varió desde 1095 a 2400 mm (AD) (Fig. 7). Del total de la muestra 31 organismos fueron hembras, con un rango de tallas entre 1095 y 2300 mm (AD); mientras que para los machos, con 24 organismos, el intervalo de tallas estuvo entre 1390 y 2400 mm (AD).

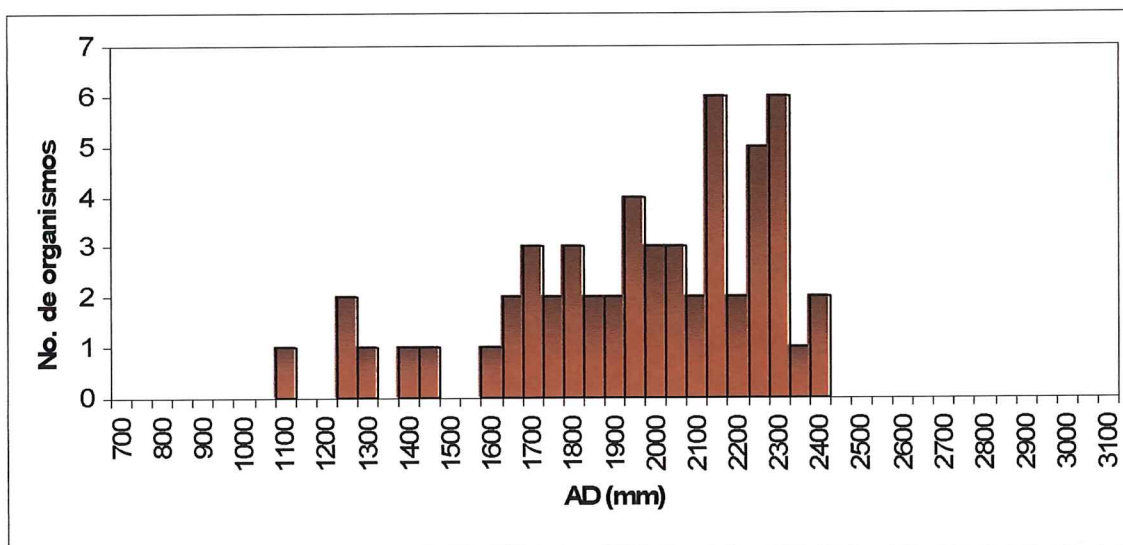


Figura 7. Frecuencia de tallas de *M. japonica* (n = 55).

6.2.2 Relación ancho de disco y radio de la vértebra.

Se encontró que la relación entre el ancho de disco y el radio vertebral es de carácter lineal y significativa ($F(1,53) = 217.71$, $p < 0.000$), está representada por la ecuación $AD = 509.87 RV + 602.7$, donde AD es el ancho de disco y RV el radio vertebral; se determinó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8038 (Fig. 8).

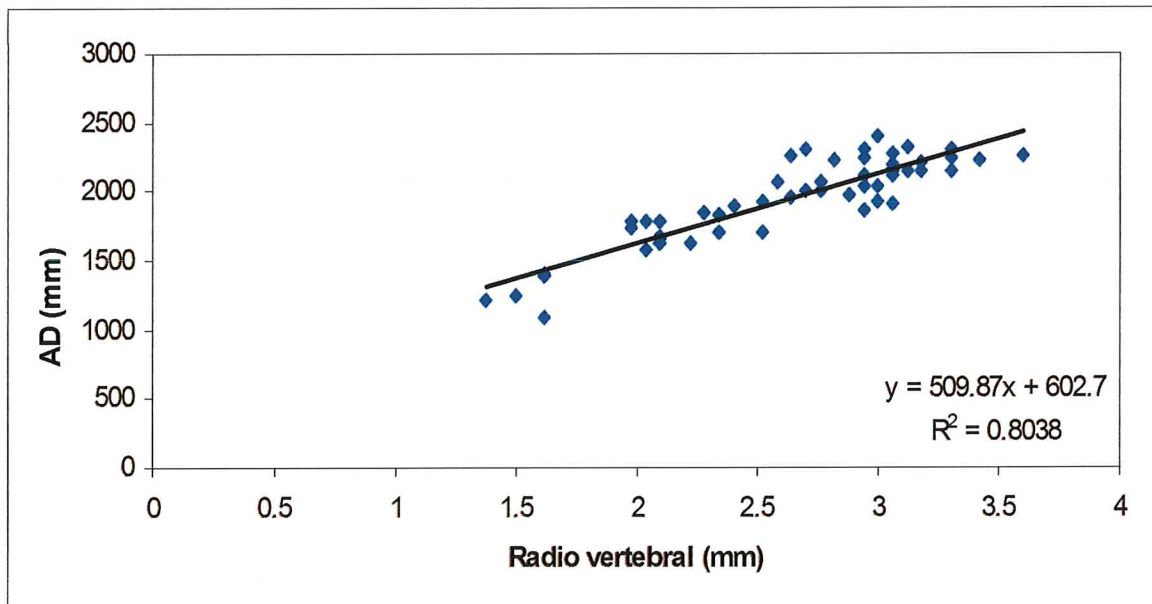


Figura 8. Relación entre el ancho de disco AD (mm) y el radio vertebral RV (mm) (n=54)

6.2.3 Estructura por edades.

La estimación de edad en número de bandas varió desde la edad 1 a la 14 (Fig. 9), donde el 66.66% de la muestra está dominada por organismos que presentaron de 4 a 8 bandas. Con menor frecuencia se observaron organismos que presentaron de 9 a 14 bandas representando el 12.96% de la muestra y de 1 a 3 bandas con un 20.37%.

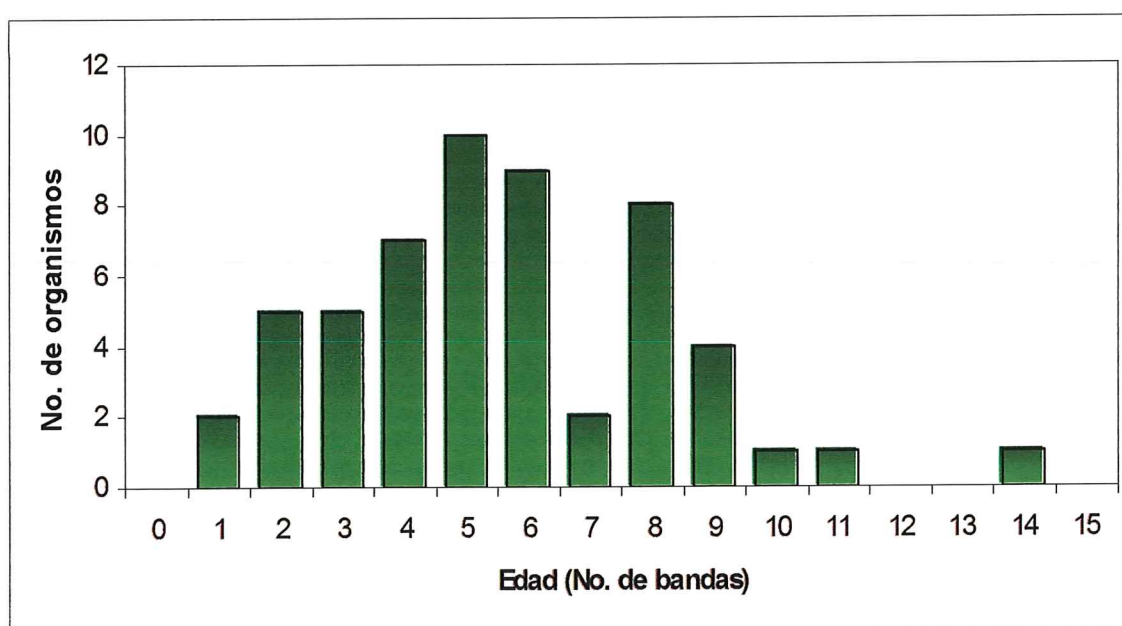


Figura 9. Estructura por edades de *M. japonica* (n=55).

Las vértebras de los especímenes más grandes fueron más variables en apariencia ocasionando algunas veces problemas para una clara interpretación del número de bandas, principalmente en las cercanas al borde de la estructura. El mayor número de bandas que se estimó es de 14, pertenecientes a una hembra de 2300 mm AD (Fig.10).

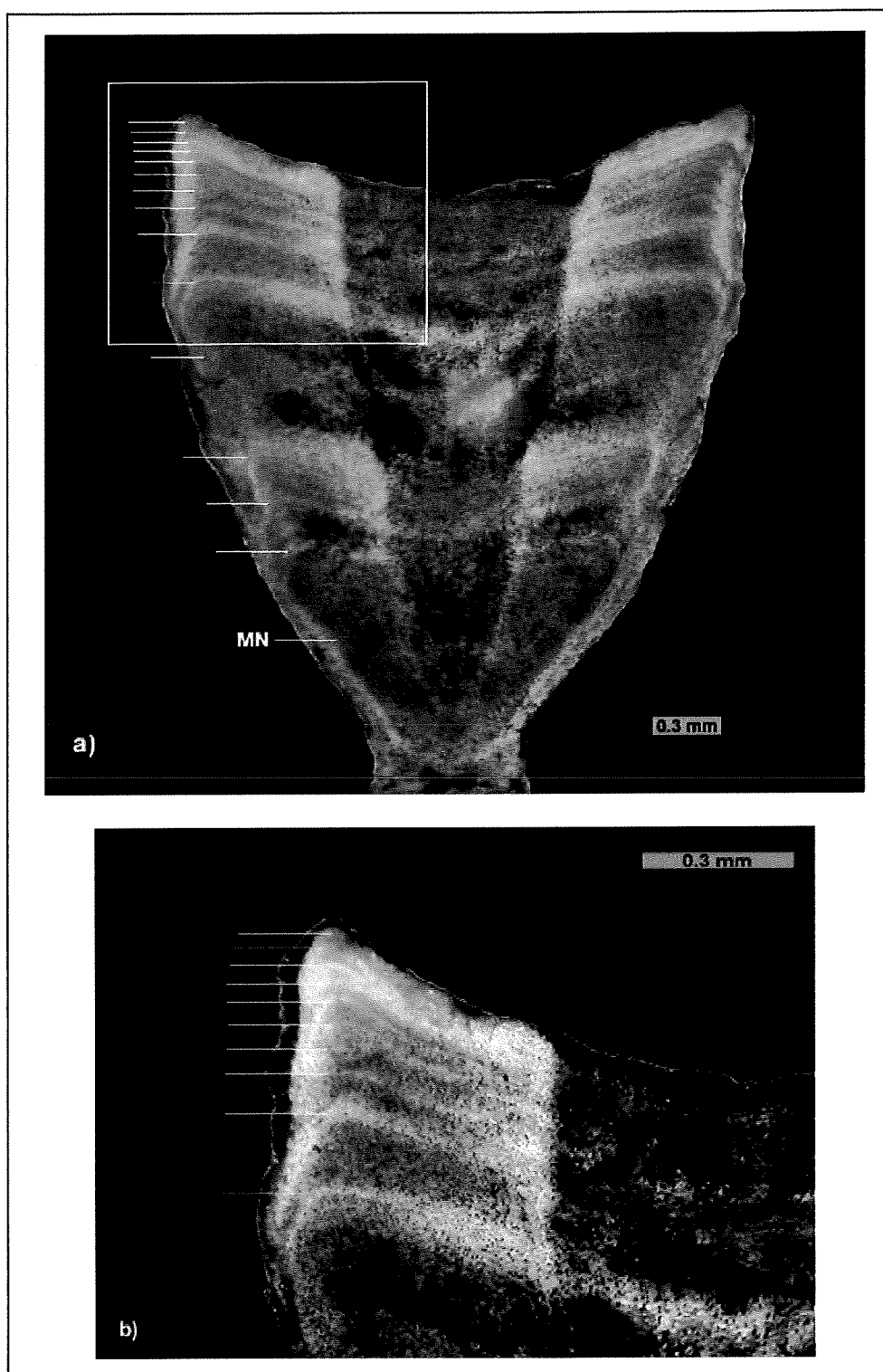


Figura 10. a) Corte vertebral de una hembra de *M. japonica* de 2300 mm AD, con 14 bandas y la marca de nacimiento (MN). Las líneas blancas representan una banda. b) Acercamiento de bandas cercanas al borde de la vértebra.

6.2.4 Precisión de las lecturas.

En la tabla I se muestran los resultados del análisis de precisión para cada lector, calculados con el Porcentaje de Error Promedio (APE), el Coeficiente de Variación (V), y el Índice de Precisión (D). El segundo lector fue el más preciso (0.061) y presentó una menor variación en sus lecturas (0.106), además obtuvo un porcentaje de error promedio (APE) bajo de 7.992.

Tabla I. Resultados de las pruebas de precisión y reproducibilidad de conteos vertebrales de *M. japonica*, por lector.

Lector	# de muestras observadas	# de observaciones por muestra	APE	V	D
1	54	3	13.565	0.183	0.105
2	54	3	7.992	0.106	0.061
3	54	3	16.562	0.223	0.129

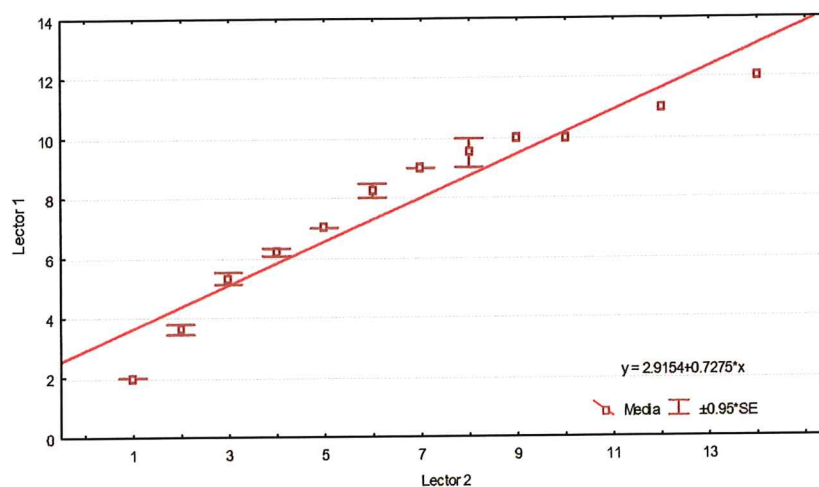
La precisión y reproducibilidad de las lecturas de las vértebras entre lectores, comprobadas por el método de Porcentaje de Acuerdo (PA) se muestra en la tabla II. Este porcentaje se calculó para cada grupo de edad; el mayor porcentaje de acuerdo se obtuvo entre el lector 2 y 3, con 92.6% para ± 1 banda, 94.4 % para ± 2 bandas y 100% para ± 3 bandas. Por su parte, el análisis de regresión lineal de los conteos entre los tres lectores afirma lo

anterior, donde el lector 2 y 3 presentan un coeficiente de correlación alto (0.963) (Figs. 11, 12 y 13).

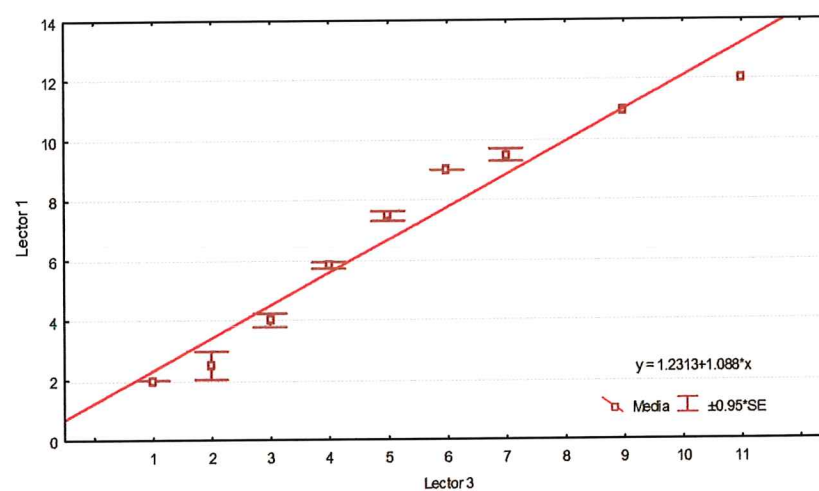
Tabla II. Porcentaje de acuerdo (PA) entre lectores por grupo de edad en número de bandas.

Diferencia por grupo de edad	PA L1 / L2	PA L2 / L3	PA L1 / L3
± 1	22.2	92.6	27.7
± 2	87	94.4	77.7
± 3	100	100	96.3

a)



b)



c)

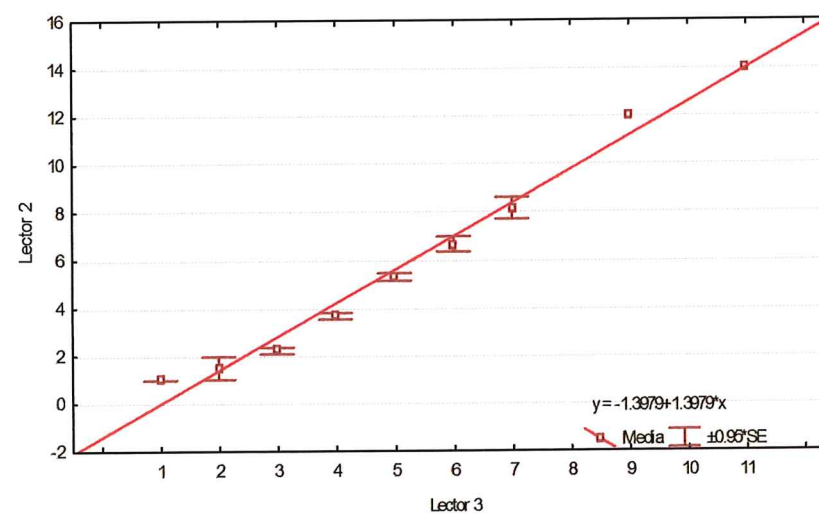


Figura 11. Relación de los conteos entre a) el lector 1 y 2; b) el lector 1 y 3; c) el lector 2 y 3.

6.2.5 Modelos de crecimiento.

Con la finalidad de poder comparar este estudio con la literatura existente, se presentan los parámetros de crecimiento para *M. japonica* calculados por el modelo de von Bertalanffy, Fabens y Gompertz. Con los tres modelos se obtuvieron resultados muy similares (Fig. 14, 15 y 16); el modelo tradicional de von Bertalanffy predijo un AD_{∞} de 2338.07 mm (AD), una k de 0.2771 mm por año y una t_0 de -1.676 años. El modelo de Fabens con un AD_0 de 700 mm (AD) como talla de nacimiento predijo un AD_{∞} de 2301.08 mm (AD), y una k de 0.3285 mm por año. Mientras que mediante el modelo de Gompertz se obtuvo un AD_{∞} de 2275.13 mm (AD), una k de 0.3932 mm por año y una t_0 de -0.0376 años (tabla III).

Tabla III. Valores de los parámetros obtenidos por los tres modelos de crecimiento para *M. japonica*.

	Parámetros			
	AD_{∞}	k	t_0	n
Von Bertalanffy	2338.07	0.2771	-1.676	55
Fabens	2301.08	0.3285		55
Gompertz	2275.13	0.3932	-0.0376	55

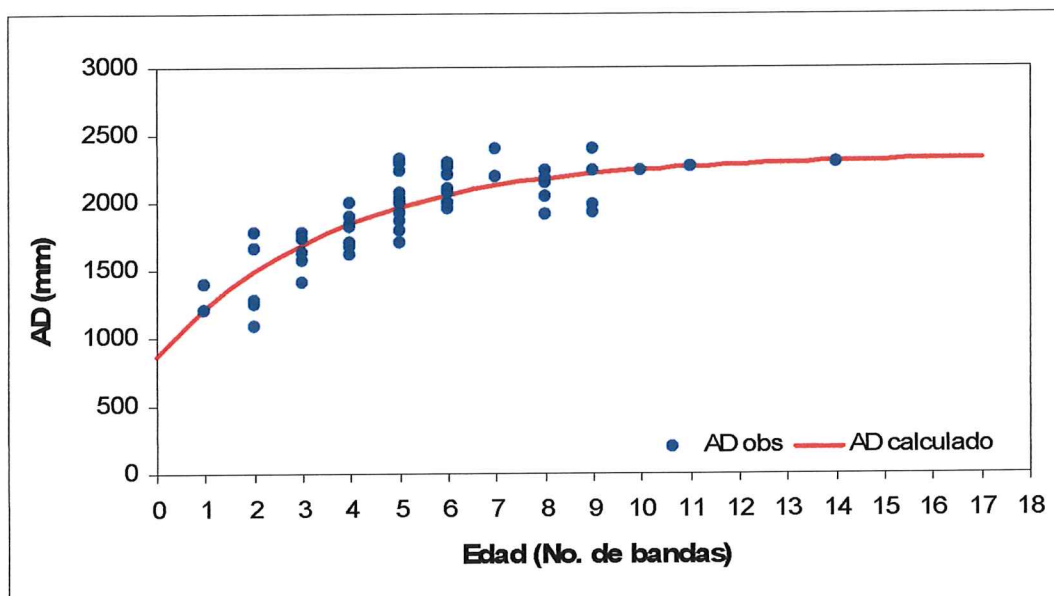


Figura 12. Curva de crecimiento de von Bertalanffy para *M. japonica*.

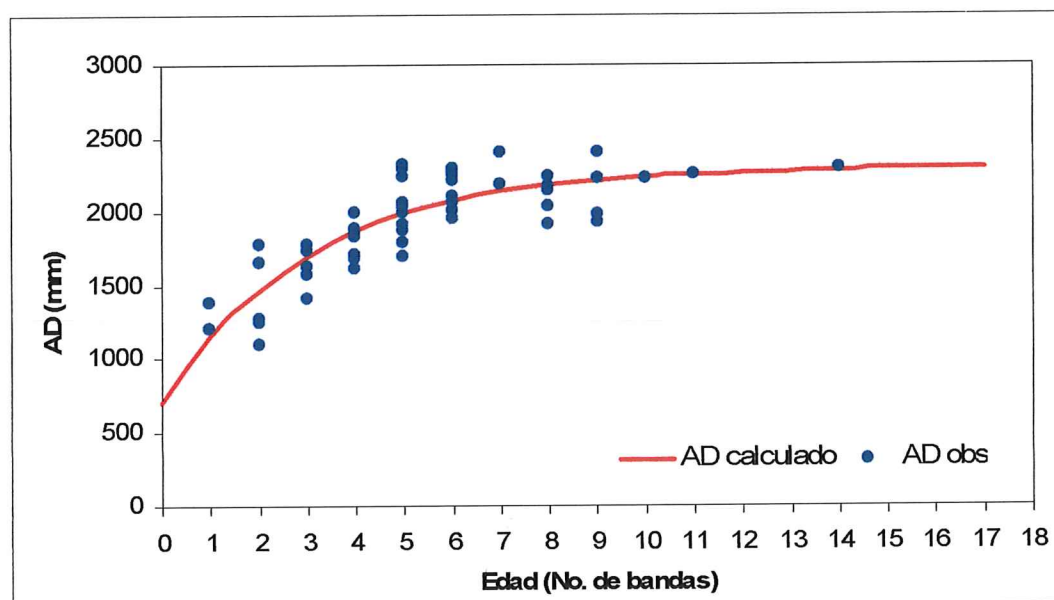


Figura 13. Curva de crecimiento de Fabens para *M. japonica*.

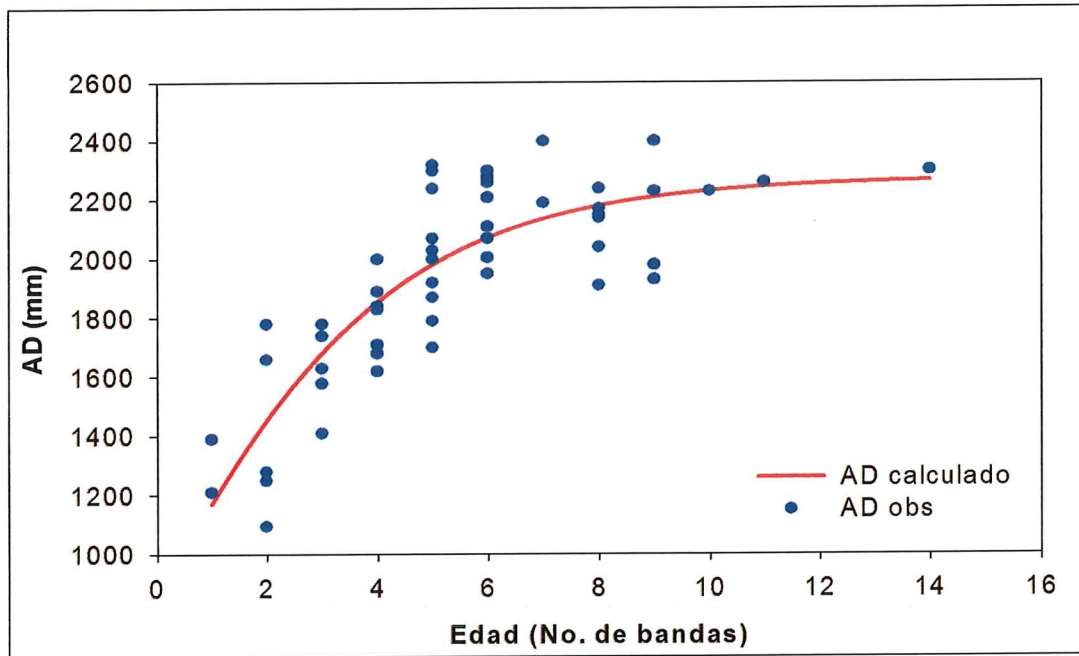


Figura 14. Curva de crecimiento de Gompertz para *M. japonica*.

7 DISCUSIÓN

7.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL

La columna vertebral en los elasmobranquios muestra grandes variaciones, desde un simple tubo cartilaginoso alrededor del notocordo, hasta una columna altamente segmentada y calcificada. En general, consiste de un centro axial conformado por una serie de arcos neurales que se extienden a través del cuerpo, mientras que en la región de la cola los arcos hemales, debajo de las vértebras, proveen protección a los vasos sanguíneos (Daniel, 1928). La columna vertebral de *M. japonica* se caracteriza por tener una estructura muy gruesa y rígida, es muy especial debido a que hasta ahora no se ha encontrado ningún registro de otra especie con una estructura similar, sin embargo, por observaciones en el campo aparentemente es una característica anatómica que comparte con todo el género *Mobula*. La característica más evidente que la diferencia de otras especies de elasmobranquios, es la aparente presencia-ausencia de vértebras a lo largo de la columna. En la parte anterior de la porción torácica no se observan vértebras calcificadas, conforme se acerca a la porción caudal las vértebras van tomando forma y van incrementando su tamaño, continuando hacia la cola comprimiéndose dorso-ventralmente (apéndice II y III). Por el contrario, se conoce que las vértebras en

otras especies de batoideos están distribuidas a lo largo de toda la columna, desde la porción anterior hasta la cola.

Compagno (1999) menciona que en los batoideos la columna vertebral es muy variable comparada con los tiburones y se caracteriza por ser la parte anterior de la columna menos flexible y bastante rígido para dar soporte a las aletas pectorales, principalmente en organismos como *M. japonica* donde están expandidas enormemente. El tamaño y grosor, así como la calcificación del cartílago que cubre las vértebras en *M. japonica*, es inversamente proporcional a la presencia y al tamaño de las vértebras. En la parte anterior de la columna el cartílago es muy grueso y fuerte, pero no se observan vértebras, no obstante, cercano a la zona caudal el cartílago se adelgaza y las vértebras comienzan a ser más visibles y grandes (apéndice II y III). Esto nos sugiere que el soporte más fuerte en la porción torácica del organismo está dado principalmente por la estructura cartilaginosa, mientras que en la porción caudal está dada por las vértebras calcificadas, para al mismo tiempo proporcionar una mayor movilidad, ya sea para locomoción o para función reproductiva. No obstante, considerando que la porción que presenta vértebras calcificadas de tamaño considerable con respecto al tamaño del organismo es pequeña, sugiere que posiblemente estas estructuras solo sean reminiscencias y no tengan una mayor función.

El número de vértebras a lo largo de la columna varía enormemente entre las distintas especies, en el caso de *M. japonica*, en un organismo de 1280 mm de AD presenta alrededor de 84 vértebras distinguibles, contando desde aproximadamente la parte media de la porción torácica hasta la cola, mientras que *Rhinoptera steindachneri* (apéndice I) puede presentar un número similar de vértebras pero distribuido a lo largo de toda la columna vertebral. Como en otras especies de elasmobranquios, en *M. japonica* las vértebras están generalmente modificadas de acuerdo a la región del cuerpo donde se encuentren (Lagler *et al.*, 1990). En la porción torácica las placas ventrales y dorsales son distinguidas y regulares; sin embargo en la parte posterior de esta región, comenzando la porción caudal, los segmentos ofrecen gran variación en los diferentes elementos que componen la columna, siendo aquí donde la diplospondidad se hace presente en ésta especie. Daniel (1928) interpreta la diplospondidad como el significado a la necesidad de mayor libertad de movimiento en el área activa precedente a la aleta dorsal. Esta área es importante ya que es donde se impone la más severa tensión sobre la columna; como menciona Ridewood (1899), es donde se obtiene la mayor fuerza y al mismo tiempo la mayor libertad de movimiento. La fuerza está dada por el incremento de la calcificación, y la libertad de movimiento está dada por el incremento del número o el decremento del tamaño de los segmentos.

La porción de la columna vertebral de donde se obtienen las muestras para determinar la edad puede tener un efecto estadístico significativo en los conteos de las bandas (Officer *et al.*, 1996). Por lo que es importante utilizar las vértebras más grandes y anteriores, además Cailliet (1983b) menciona que en las vértebras más pequeñas de la región caudal se pueden ausentar algunas bandas. Por tanto se enfatiza la importancia de estandarizar la porción de la columna para todos los estudios de edad, tomando en cuenta la precisión y exactitud, y así poder realizar comparaciones válidas entre individuos de una población y hacer comparaciones más precisas entre poblaciones (Cailliet y Goldman, 2004). En *M. japonica* es posible, sin embargo, a diferencia de otros batoides incluyendo los de su mismo orden, las vértebras que se localizan cercanas la porción torácica no son útiles por su tamaño reducido y poca calcificación; por el contrario, las más adecuadas para la determinación de edad se encuentran en la porción caudal, debajo del origen anterior de la aleta dorsal (apéndice III).

Para aseverar lo anterior y la presencia-ausencia de una estructura vertebral calcificada en la porción anterior y torácica de la columna vertebral de *M. japonica*, se recomienda hacer un análisis específico de la composición de la estructura, análisis que estuvo fuera del alcance de éste estudio.

7.2 DETERMINACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO

Por medio de las observaciones de Notarbartolo-di-Sciara (1987a; 1987b; 1988) se conoce un poco de parte de la biología básica de la manta de espina *M. japonica*, sin embargo, no hay información acerca de su composición de edad, tasas de crecimiento, longevidad, edad de madurez, o periodo de gestación. Este estudio provee la primera información sobre edad y crecimiento del género *Mobula*.

Como menciona Ricker (1975), es importante conocer la edad, características de crecimiento, proceso de maduración y longevidad de los peces para analizar el estatus de sus poblaciones y poder discernir como han cambiado en el tiempo (Cailliet *et al.*, 1986b); por lo que biólogos pesqueros han utilizado los datos de edad, talla y peso como herramientas importantes para modelos poblacionales (Ricker, 1975 en Cortés, 1997). Se conoce que en general los elasmobranquios tienen historias de vida que los hacen vulnerables a la sobreexplotación pesquera, ya que se caracterizan por presentar un lento crecimiento, edad de madurez tardía, pocas crías, además de periodos de gestación largos (Holden, 1974). No obstante, gracias a la actividad pesquera dirigida a los Mobulidos en el área de Punta Arenas, B.C.S. se ha podido estudiar algunos aspectos de su historia de vida.

7.2.1 Generalidades de la estructura vertebral.

La modificación de la técnica de tinción con Cristal Violeta descrita inicialmente por Schwartz (1983) probó ser muy efectiva para resaltar las bandas de crecimiento en las vértebras para la determinación de edad en *M. japonica*. La propia simpleza y versatilidad del proceso permite conocer fácilmente la intensidad de la tinción en la estructura y los cortes sobre teñidos se pueden desteñir con eficacia utilizando alcohol. Esta técnica es una de las más sencillas, menos cara, y más eficiente en cuanto al tiempo. Estudios preliminares han mostrado potencial utilizando esta técnica para una variedad de otras especies de elasmobranquios (*Raja batis*, *R. fullonica*, *R. hyperborea*, *R. microocellata*, *R. oxyrhincus*, *R. nidarosiensis*, *Bathyraja richardsoni*, *Prionace glauca*, *Scyliorhinus canícula*, *S. stellaris*, *Galeus melastomus*) (Gallagher *et al.*, 2004); además ha sido una técnica efectiva para determinar la edad en *Rhinoptera bonasus* (Neer y Thompson, 2005), *Raja brachyura*, *R. clavata*, *R. montagui* y *Leucoraja naevus* (Gallagher *et al.*, 2004), *Carcharhinus isodon* (Carlson *et al.*, 2003) y *Carcharhinus leucas* (Neer *et al.*, 2005).

Las bandas de crecimiento en las vértebras de *M. japonica* fueron bastante distintivas en el *corpus calcarium* y en la región de la intemedalia, frecuentemente asociadas a un cambio de ángulo bien definido en el *corpus calcarium*. La marca de nacimiento también fue fácil de diferenciar ya que el

cambio de ángulo fue generalmente pronunciado, sin embargo, en la mayoría de las vértebras observadas no estaba acompañado de una marca traslúcida evidente. El patrón de la depositación de las bandas de crecimiento entre las opacas y translucidas fue constante en la mayoría de las vértebras observadas, a pesar de que algunas de ellas incluyeron anillos falsos, los cuales no se tomaron en cuenta para el conteo. Casey y colaboradores (1985) mencionan que la zona cercana al borde de las vértebras es el área de mayor incertidumbre para interpretar y medir las bandas de crecimiento en los elasmobranquios; por lo que distinguir la presencia del último anillo de crecimiento sigue siendo un problema común (Ferreira *et al.*, 1991). En *M. japonica*, el estimar las bandas de crecimiento en organismos de tallas grandes tuvo una mayor dificultad, ya que se vuelven más delgadas y agrupadas en el borde de la vértebra (Fig. 10), Cailliet (1983a, 1986, 1990) menciona que en estos casos las bandas pueden ser contadas o agrupadas causando edades subestimadas.

En algunos organismos mayores a los 2000 mm AD se encontraron vértebras cuarteadas y otras muy frágiles del borde, por lo que algunas de ellas se tuvieron que embeber en resina para realizar el corte sin riesgo a perder parte de la estructura (Apéndice IV). Se desconoce la causa, pero podría deberse a un déficit alimenticio, parásitos o descalcificación. También es probable que pueda ser producto de un desgaste de la estructura en la porción

donde el cartílago no es tan grueso y rígido, ocasionado por los golpes que reciben al realizar los saltos fuera del agua, comportamiento característico de algunas de las especies del género *Mobula*.

7.2.2 Estructura de tallas.

M. japonica ha sido reportada por Cerutti (2005) como la especie más abundante (35.9%, n=124) durante dos años de muestreo en Punta Arenas, B.C.S. Esta especie constituyó el 41% del total de las muestras colectadas durante el 2001 y 2002 por Hobro (2002). Además Guerrero-Maldonado (2002) reporta que de las cinco especies más representativas que componen la captura comercial de elasmobranquios en ésta zona, *M. japonica* ocupa el segundo lugar con el 19%; no obstante, durante 1981–1984 del total de Mobulidos colectados, *M. thurstoni* fue la más abundante contribuyendo con el 58% (Notarbartolo di Sciara, 1988).

El número de muestra y la estructura de tallas en este estudio fue el reflejo de la selectividad del arte de pesca, aunado a esto, la segregación geográfica por tamaño, que es un rasgo evidente de los organismos sexualmente maduros en el Golfo de California (Notarbartolo-di-Sciara, 1988), por lo que la mayor parte de los organismos obtenidos se concentran en el intervalo de 1600 al 2400 mm AD.

Todos los análisis se efectuaron para ambos sexos en conjunto debido al tamaño de muestra pequeño, sin embargo de los 55 organismos colectados las hembras y machos tienen una proporción similar, lo que confirma que nunca haya sido reportada la segregación sexual en esta especie, ya sea geográfica o por comportamiento (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Cerutti, 2005).

7.2.3 Relación ancho de disco y radio de la vértebra.

La relación entre el ancho de disco y el radio vertebral fue de carácter lineal y significativa, lo que demuestra que el crecimiento de las vértebras calcificadas provee un record continuo del crecimiento corporal de *M. japonica* para todas las clases de talla, por esto, se consideró que ésta estructura es útil para los análisis de edad y crecimiento de ésta especie.

7.2.4 Estructura por edades.

La estimación de edad de *M. japonica*, en número de bandas, varió desde la edad 1 a la 14, y se estimó que el 66.66% del total de muestras está dominado por organismos de edades entre 4 a 8 años, correspondientes a tallas que van desde 1620 hasta 2400 mm de AD, mientras que el 20.37% son organismos de edades menores. Los reportes de talla de madurez para esta especie (Notarbartolo-di-Sciara, 1988) están entre 2100 y 2070 mm AD para

machos y hembras, respectivamente. Comparadas con las estimaciones preliminares de edad para *M. japonica* obtenidas en este estudio, estas tallas corresponderían a una edad de madurez entre 5 y 6 años, lo que nos sugiere que durante los años de muestreo la mayor parte de la captura estuvo compuesta por organismos que están por debajo de la talla de madurez.

El organismo de mayor edad encontrado en este estudio fue una hembra de 14 años (2300 mm AD), no obstante, la falta de muestras de organismos más grandes, hace pensar que *M. japonica* tiene una longevidad todavía mayor; lo que es posible si es comparado con las longevidades teóricas encontradas en especies afines a ésta. Las guitarras, rayas torpedo y mantarayas tienen un rango de longevidad muy amplio (Tmax), comenzando con la raya de agua dulce de 3 años hasta *Dasyatis americana* con 28 años (Cailliet y Goldman, 2004). Para algunas especies de Myliobatiformes se han estimado longevidades altas, *Myliobatis californicus* (Martin y Cailliet, 1988) con 24 años, 26 para *Rhinoptera bonasus* (Neer y Thompson, 2005) y 14 para *Dasyatis chrysonota* (Cowley, 1996). Por su parte, las rajadas tienen un rango de longevidad mayor, con edades que van desde 9 a 24, y de hasta 50 años para dos especies de *Dipturus* (Cailliet y Goldman, 2004).

7.2.5 Precisión de las lecturas.

La precisión en la determinación de edad y crecimiento en peces es un componente crítico en cualquier estudio (Goldman, 2004), debido a que envuelve un elemento de subjetividad que puede contribuir con varios grados de error en las estimaciones (Campana *et al.*, 1995).

Beamish y Fourier (1981) proponen que el APE es una mejor estimación de la precisión que el método convencional de porcentaje de acuerdo (PA), ya que no es independiente a la edad de la especie. No obstante, Chang (1982), menciona que el coeficiente de variación (V) es aún más consistente que el APE, debido a que la varianza es un mejor estimador que la diferencia absoluta. Estos autores consideran que el lector más preciso es el que presenta valores menores de APE, V y D. En general, en este estudio se presentó un buen acuerdo entre los lectores, por grupo de edad, principalmente en ± 3 bandas; siendo el lector dos el más preciso presentando los índices más pequeños.

7.2.6 Modelos de crecimiento.

Según Cowley (1996) la variación en la periodicidad de las bandas de las vértebras es el rasgo más importante cuando se intenta determinar la edad en un organismo. La mayoría de los estudios en elasmobranquios reportan una

formación anual de una marca opaca (calcificada) y otra traslúcida (menos calcificada) en las vértebras (Yudin y Cailliet, 1990 en Cowley, 1996). Así mismo, algunos autores han encontrado el mismo patrón o anualidad en la depositación de bandas en algunas especies de batoides, tales como *Dasyatis chrysonota* (Cowley, 1996) y *Leucoraja ocellata* (Sulikowski *et al.*, 2003). En las estimaciones de edad para *M. japonica* se asumió que la formación de las bandas es anual; sin embargo, el patrón fue inconcluso debido a la falta de muestras, puesto que sólo fue posible examinar vértebras que representan un periodo de cuatro meses (mayo-agosto). Para verificar ésta depositación se necesitaría un análisis apropiado de validación, ampliando el número de muestra por cada intervalo de talla a lo largo de todo el año y de ésta manera obtener resultados más concluyentes. Pocas técnicas de verificación y validación son aplicables para *M. japonica* debido al poco número de muestras disponibles, la dificultad que envuelve su captura y recaptura o marcado, e inclusive para mantenerlos en cautiverio.

Existen un gran número de modelos y variantes de modelos para estimar los parámetros de crecimiento en peces, de los cuales el de von Bertalanffy y Gompertz son los que se han aplicado con mayor frecuencia. Estos modelos, incluyendo el de Fabens, ajustaron bien los datos de edad y talla para *M. japonica*, además los valores obtenidos de los parámetros de crecimiento fueron muy similares entre ellos.

Pocos estudios han aplicado la ecuación de Fabens para estimar los parámetros de crecimiento en elasmobranquios, sin embargo, algunos autores han sugerido que utilizar la talla de nacimiento (AD_0) en lugar de t_0 provee estimaciones más reales desde el punto de vista biológico. Es una excelente alternativa al modelo de von Bertalanffy, especialmente para aquellos estudios, como el presente, donde el número de muestra es pequeño particularmente en individuos de tallas pequeñas y grandes, ya que utilizando otros modelos pueden causar estimaciones pobres (Goosen y Smale, 1997). Además, proporciona resultados extremadamente similares al modelo de von Bertalanffy cuando el tamaño de muestra es apropiado (Carlson *et al.*, 2003).

Se decidió ajustar los datos también al modelo de crecimiento de Gompertz, puesto que ha sido utilizado frecuentemente para estimaciones de edad en batoides (Mollet *et al.*, 2002), siendo éste modelo el que produjo estimaciones de los parámetros de crecimiento biológicamente más realistas en *Dasyatis violacea* (Mollet *et al.*, 2002) y *Rhinoptera bonasus* (Neer y Thompson, 2005). Cailliet y Goldman (2004) señalan que posiblemente describe mejor el crecimiento en organismos como los Myliobatiformes, donde el volumen o grosor se incrementa considerablemente con el tiempo, pero no la longitud.

Holden (1974) reporta que para los elasmobranquios los valores de t_0 calculados deben predecir el periodo de gestación en años. No obstante, estos

valores para especies con un modo de reproducción vivíparo aplacentado, son sobreestimados debido a que estos organismos presentan una tasa alta de crecimiento embrionario (Smith y Merriener, 1987). Para *M. japonica* los valores de t_0 calculados con el modelo de von Bertalanffy y Gompertz fueron bajos comparados con los valores reportados para otras especies de Myliobatiformes, sin embargo, es importante considerar que es una especie que alcanza grandes tallas (Tabla IV).

El valor de k comparado entre estas especies de Myliobatiformes, indica que *M. japonica* es la especie que crece más rápido, siendo los machos de *Myliobatis californica* los que presentan parámetros similares, esto es relativo si se considera que la talla máxima de éstos organismos es prácticamente la mitad que la alcanzada por *M. japonica*. La talla máxima reportada para *M. japonica* (3100 mm AD), es menor al valor de AD_{∞} (2338 mm AD) predicho por el modelo, por lo que es factible que ésta información no esté dando parámetros de crecimiento reales para la especie, afectado por la falta de organismos de las tallas más grandes y que el tamaño de muestra no cubre todas las longitudes. O bien, tomando en cuenta que lo mismo sucede con los valores de talla máxima (1800 mm AD) y AD_{∞} (♀1587 y ♂1004 mm AD) para *M. californica*, es posible que el modelo de von Bertalanffy no sea el más adecuado para determinar los parámetros de crecimiento de algunas especies de

Myliobatiformes, y por lo que algunos autores recomiendan el modelo de Gompertz para organismos de éste orden.

Tabla IV. Comparación de algunas características de la historia de vida y parámetros de von Bertalanffy, de tres especies de Myliobatiformes con los estimados para *M. japonica*. Talla máxima registrada en la literatura.

	Talla de Nacimiento (mm) AD	Talla máxima (mm) AD		AD _∞ (mm)	k (/año)	t ₀ (año)
<i>Myliobatis californica</i>	258-315	1800	♀	1587	0.099	-2.06
			♂	1004	0.229	-1.58
<i>Dasyatis chrysonota</i>		750	♀	913	0.070	-4.48
			♂	532	0.175	-3.65
<i>Rhinoptera bonasus</i>	350		♀	125	0.119	-3.76
			♂	119	0.126	-3.69
<i>Mobula japonica</i>	700	3100		2338	0.277	-1.676

Los parámetros de crecimiento estimados para *M. japonica* se encuentran dentro del rango que Holden (1974) menciona para los batoideos y similares a los que se han obtenido en otros estudios para especies del orden Myliobatiformes. Estos parámetros (AD_∞, k, t₀) se listan en la tabla IV, para algunas de las especies que presentan un modo de reproducción vivíparo, comparándolos con los valores obtenidos por el modelo de von Bertalanffy para *M. japonica*.

Típicamente los batoideos tienen valores de k en un rango entre 0.2 y 0.3 mm por año (Holden, 1974), sin embargo, estos valores están basados en datos de crecimiento para batoideos del género raja, que presentan un modo de reproducción ovíparo, y por tanto no es comparable con batoideos vivíparo aplacentados. No obstante, los valores de k existentes en la literatura para batoideos vivíparos están entre 0.07 y 0.45 (Cowley, 1996), por lo que los valores obtenidos para *M. japonica* con los tres modelos caen dentro de este rango. La estimación de la tasa de crecimiento (k) para ésta especie con el método de Fabens, tomando la talla de nacimiento reportada por Notarbartolodi-Sciara (1988) (700 mm AD), fue mayor (0.3285 mm por año) que la estimada con la ecuación original de von Bertalanffy (0.2771 mm por año), y similar aunque ligeramente menor con respecto a la que se predijo con el modelo de Gompertz (0.3932 mm por año). Estos valores confirman una tasa de crecimiento relativamente mayor que *Dasyatis chrysonota* y *Rhinoptera bonasus* pero similar a *Myliobatis californica* (Tabla IV).

Los datos preliminares obtenidos en este estudio y la información disponible en la literatura indican que *M. japonica* es una especie que alcanza grandes tallas, es relativamente longeva y al igual que otras especies de elasmobranquios tiene un bajo potencial reproductivo y una tasa de crecimiento lenta. Se necesita información más detallada para refinar las estimaciones presentadas, ampliar el número de muestra por mes y por intervalo de talla,

especialmente para la validación de la determinación de edad. Los Mobulidos se consideran de las especies más evolucionadas dentro de los elasmobranquios, pero de los menos conocidos, por lo que es importante generar más información acerca de su reproducción, población, abundancia, distribución y patrones de migración, para poder hacer un manejo efectivo de la pesquería de este recurso.

8 CONCLUSIONES

Este estudio provee la primera información sobre edad y crecimiento del género *Mobula*.

8.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL

La columna vertebral de *M. japonica* se caracteriza por ser una estructura muy gruesa y rígida, con aparente ausencia de vértebras en la zona anterior de la porción torácica, siendo únicamente el cartílago lo que da el mayor soporte. Cercano a la porción caudal las vértebras se hacen presentes para dar soporte y proporcionar mayor libertad de movimiento. Por el contrario, en otras especies de elasmobranquios las vértebras están distribuidas a lo largo de toda la columna vertebral.

No se ha encontrado ningún registro de otra especie de batoideo con una columna vertebral similar a la de *M. japonica*, sin embargo, aparentemente es una característica anatómica que comparte con todo el género *Mobula*.

8.2 DETERMINACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO

En *M. japonica*, a diferencia de otras especies de batoideos, incluyendo otros Myliobatiformes, las vértebras localizadas en la porción de la cavidad torácica no son las más adecuadas para la determinación de la edad; las vértebras de mayor tamaño y más redondas se localizan debajo del origen anterior de la aleta dorsal.

Se analizaron un total de 55 cortes vertebrales de *M. japonica*, con un intervalo de talla que varió desde 1095 a 2400 mm AD, y edades estimadas en número de bandas desde 1 a 14.

Por medio de la lectura de bandas en las vértebras es posible estimar la edad y describir el crecimiento de la manta de espina *M. japonica*.

La técnica de Cristal Violeta descrita por Schwartz (1983) para resaltar las bandas de crecimiento en las vértebras de ésta especie dió resultados satisfactorios y consistentes.

Los parámetros de crecimiento se calcularon con el modelo de von Bertalanffy, Gompertz y Fabens, resultando muy similares entre ellos. Además, los parámetros estimados concordaron con los reportados para especies del

orden Myliobatiformes y se encuentran dentro del rango que Holden (1974) reporta para los batoideos que tienen un modo de reproducción vivíparo aplacentado.

La edad máxima en número de bandas encontrada en este estudio fue de 14, perteneciente a una hembra de 2300 mm AD, no obstante, por la falta de organismos de tallas más grandes se espera que *M. japonica* sea un organismo más longevo. Asumiendo una anualidad en la depositación de las bandas en las vértebras se puede concluir que esta especie llega a vivir al menos 14 años.

Es posible que con la información disponible sobre *M. japonica*, se crea que es susceptible a la sobreexplotación por presión pesquera dirigida e incidental, sin embargo, es necesario hacer análisis más detallados de edad y crecimiento, ciclo reproductivo y patrones de migración.

Se recomienda hacer un estudio más detallado de edad y crecimiento de esta especie, ampliando el número de muestra por mes y por intervalo de talla, para que los resultados aquí presentados sean más concluyentes.

9 LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. En: Ketchum, B.K. (Ed.), Ecosystems of the world 26, Estuaries and enclosed seas. Elsevier scientific publishing Company, Amsterdam, Oxford. 427 – 499.
- Álvarez-Borrego, S. y R.A. Schwartzlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. Ciencias Marinas. 6 (1 y 2) : 43 – 63.
- Hernández Becerril, D.U. 1985. Estructura del fitoplancton del Golfo de California. Ciencias Marinas. 11 (2): 23-38 (16).
- Bizzarro J.J. (m.s.). The occurrence of mobulid (Chondrichthyes: Mobulidae) rays in the Gulf of California and their associated fisheries. Moss Landing Marine Laboratories. 1 – 18.
- Cailliet, G.M. y K.J. Goldman. 2004. Age determination and Validation in Chondrichthyan Fishes in Biology of Sharks and Their Relatives. 14: 399 – 446.
- Cailliet, G.M., L.K. Martin, D. Kusher, P. Wolf y B.A. Welden., 1983a. Technics for Enhancing Vertebral Bands in Age Estimation of California Elasmobranchs. NOAA Tech. Rep. NMFS, 8: 157 – 165.
- Cailliet, G.M., L.K. Martin, J.T. Harvey, D. Kusher y B.A. Weldon. 1983b. Preliminary studies on the age and growth of the blue shark, *Prionace glauca*, common thresher *Alopias vulpinus*, and shortfin mako *Isurus oxyrinchus*, from California waters. In Proceedings of the international

workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks (E. D. Prince y L.M. Pulos, eds.), 8: 179 – 18

Cailliet G.M., L.J. Natanson, B.A. Welden, y D.A. Ebert. 1985. Preliminary studies on the age and growth of the white shark, *Carcharodon carcharias*, using vertebral bands. *Memoirs*. 9: 49 – 60.

Cailliet, G.M., R.L. Radtke, y B.A. Welden. 1986. Elasmobranch age determination and verification: a review, p. 345 – 360. *In*: Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes. T. Uyeno, R. Arai, T. Taniuchi and K. Matsuura (eds.). 29 July – 3 Aug. 1985; National Science Museum, Tokyo National Museum, Ueno Park, Tokyo, Japan.

Cailliet, G.M., R.L. Radtke, y B.A. Welden. 1987. A progress report on the electron microprobe analysis technique for age determination and verification in elasmobranches, p. 359 – 369. *In*: Age and growth of fish. R.L. Summerfelt and G.E. Hall (eds.). Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Cailliet, G.M. 1990. Elasmobranch age determination and verification: an updated review. *In*: Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries (L. Pratt Jr, S.H. Gruber, and T. Tanuichi (eds.)), p. 157-165. NOAA Tech. Report NMFS 90.

- Camhi M., S. Fowler, J. Musick, A. Bräutigam y S. Fordham. 1998. Sharks and their Relatives. Ecology and Conservation. IUCN. 2: 3 – 5.
- Campana, S.E., M.C. Annand y J.I. McMillan. 1995. Graphical and Statistical Methods for Determining the Consistency of Age Determinations. Transactions of the American Fisheries Society. 124:131-138.
- Carlson, J.K., E. Cortés y D.M. Bethea. 2003. Life history and population dynamics of the finetooth shark (*Carcharhinus isodon*) in the northeastern Gulf of Mexico. Fish. Bull. 101:281–292 (2003).
- Casey, J.G., H.L. Pratt Jr. y C.E. Stillwell. 1985. Age and growth of the sandbar shark (*Carcharhinus plumbeus*) from the Western North Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 963-975.
- Casselman, J.M. 1983. Age and growth assessment of fish from their calcified structures – techniques and tools. *In* Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and Sharks. Edited by E.D. Prince and L.M. Pulos. NOAA Tech. Rep. NMFS No. 8. pp. 1 – 17.
- Cerutti, F. 2005. Isótopos estables de Carbono y Nitrógeno en mantas (Batoideo:Mobulidae) como indicadores tróficos. Tesis de licenciatura de Biología Marina. UABCS. La Paz, B.C.S. pp. 74.
- Chang, W.Y.B. 1982. A Statistical Method for Evaluating the Reproducibility of Age Determination. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 1208 – 1210.

- Compagno, L.J., F. Krupp y W. Schneider. 1995. *En* Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca en el Pacífico Centro-Oriental. FAO. 2: 759 – 761.
- Compagno, L.J. 1999. Endoskeleton. *In*: Sharks, Skates and Rays. The Biology of elasmobranch fishes. W.C. Hamlett (eds.). The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London. p. 69-92.
- Cowley, P.D. 1996. Age and growth of the blue stingray *Dasyatis chrysonota chrysonota* from the south-eastern cape coast of South Africa. *S. Afr. J. mar. Sci.* 18: 31 – 38.
- Daniel, J.F. 1928. The elasmobranch fishes. University of California Press. Berkeley, California. 3: 41-78.
- 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, U.S.* 89:19-31.
- Hobro, F.E. 2002. The feeding ecology, foraging behaviour and conservation of manta rays (Mobulidae) in Baja California, México. Thesis submitted in partial fulfillment to the requirement for the degree of Master of Science in Marine Environmental Protection. University of Wales, Bangor. pp 106.
- Holden, M. I. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. *In Sea Fisheries Research*. Harden-Jones, F.R. (Ed.). London; Elek Science: 117-137.

- Frisk M.G., T.J. Millar y M.J. Fogarty. 2001. Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58(5): 969 - 981.
- Gallagher M. J. y C.P. Nolan., 1999. A novel method for the estimation of age and growth in rajids using caudal thorns. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 56. 1590 – 1599.
- Gallagher M. J., C.P. Nolan, y F. Jeal. 2004. Age, growth y maturity of the commercial ray species from the Irish sea. *e-Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*. V35. art. 10.
- Guerrero-Maldonado. 2002. Captura comercial de elasmobranquios en la costa suroccidental del Golfo de California, México. Tesis de licenciatura de Biología Marina. UABCS. La Paz, BCS. pp. 1 - 53.
- Goldman K.J. 2004. Age and Growth of Elasmobranch Fishes. En *Elasmobranch Fisheries Management Techniques*. IUCN, APEC, VIMS. 6: 97 – 132.
- Goosen, A.J.J., y M.J. Smale. 1997. A preliminary study of the age and growth of the smoothhound shark *Mustelus mustelus* (Triakidae). *S. Afr. J. Mar. Sci.* 18:85–91.
- Martin, L.K., y G.M. Cailliet. 1988. Age and Growth Determination of the Bat Ray, *Myliobatis californica* Gill, in Central California. *Copeia*. 1998 (3): 762– 773.

- Mollet, H.F., J.M. Ezcurra y J.B. O'Sullivan. 2002. Captive biology of the pelagic stingray, *Dasyatis violacea* (Bonaparte, 1832). Mar. Freshwater Res. 53: 531-541.
- Neer J.A. y G.M. Cailliet. 2001. Aspects of the life history of the Pacific Electric Ray, *Torpedo californica* (Ayres). Copeia, 2003 (3), pp. 842 – 847.
- Neer J.A. y B.A. Thompson. 2005. Life history of the cownose ray, *Rhinoptera bonasus*, in the northern Gulf of México, with comments on geographic variability in life history traits. Environmental Biology of Fishes. 73: 321-331.
- Neer J.A., B.A. Thompson y J.K. Carlson. 2005. Age and growth of *Carcharhinus leucas* in the northern Gulf of Mexico: incorporating variability in size at birth. Journal of Fish Biology. 67: 370-383.
- Notarbartolo-di-Sciara. 1987a. A revisionary study of the genus *Mobula* (Chondrichthyes, Mobulidae), with the description of a new species. Zool. J. Linn. Soc. London 91: 1 – 19.
- Notarbartolo-di-Sciara. 1987b. Myliobatiform rays fished in the southern Gulf of California (Baja California Sur, México) (Chondrichthyes: Myliobatiformes) Mem. V Simp. Biol. Mar. Univ. Autón. Baja California Sur: 109 – 115 (1987).
- Notarbartolo-di-Sciara. 1988. Natural history of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. Fish. Bull. 86 (1): 45 – 66.

- Notarbartolo-di-Sciara. 1995. What future for manta rays? Shark news. Newsletter of the IUCN Shark specialist group. 5: 1-8.
- Lagler, K.F., J.E. Bardach, R.R. Miller y D.R. May Passino. 1990. Anatomía básica de los peces. En: Ictiología. AGT editor, S.A. México. 3: 51-56.
- Lavín, M.F. y S.G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. O.U. Velasco Fuentes (ed.). Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics. 173-204.
- Officer, R.A., A.S. Gason, T.I. Walker y J.G. Clement. 1996. Sources of variation in counts of growth increments in vertebrae from gummy shark, *Mustelus antarcticus*, and school shark, *Galeorhinus galeus*: implications for age determination. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 1765-1777.
- O'Sullivan, J. 2005. Campamentos pesqueros de mobulidos en la región de La Paz (Baja California Sur, México). Monterey Bay Aquarium. Reporte Técnico 3. 2 p.
- Ridewood, W.G. 1899. Some observations on the caudal diplospondyly of sharks. Jour. Linn. Soc. Zool. Lond. 27: 46-59.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can. 191.
- Schwartz, F.J. 1983. Shark ageing methods and age estimation of Scalloped Hammerhead, *Sphyrna lewini*, and Dusky, *Carcharhinus obscurus*, sharks based on vertebral ring counts. In: Proceedings of the International Workshop on Age determination of Oceanic Pelagic Fishes:

- Tunas, Billfishes and Sharks, E.D. Prince and L.M. Pulos (eds.), US Department of Commerce, Washington. *NOAA Tech. Rep. NMFS*, 8: 157-166.
- Smith, J.W. y J.V. Merriner. 1987. Age and Growth, Movements and Distribution of the Cownose Ray, *Rhinoptera bonasus*, in Chesapeake Bay. *Estuaries*. 10 (2): 153-164.
- Sulikowski J.A., M.D. Morin, S.H. Suk y W.H. Howell. 2003. Age and growth estimates of the winter skate (*Leucoraja ocellata*) in the western Gulf of Maine. *Fish. Bull.* 101: 405 – 413.
- Sulikowski J.A., J. Kneebone, y S. Elzey. 2005. Age and growth estimates of the thorny skate (*Amblyraja radiata*) in the western Gulf of Maine. *Fish. Bull.* 103: 161 – 168.
- Villavicencio C.J. 2000. Taxonomía, abundancia estacional, edad y crecimiento y biología reproductiva de *Narcine entemedor* Jordan y Starks (Chondrichthyes: Narcinidae), en Bahía Almejas, B.C.S., México. Tesis de Doctorado en Ecología Acuática y Pesca. U.A.N.L. Monterrey, Nuevo León. pp. 102.
- Younger, W.D. 1975. Age and growth estimation in population size. *In*: Principles of fishery science. *Edited by* W.H. Everhart, A.W. Eipper, and W.D. Young. Iowa State University Press. Ames, Iowa. pp. 301 – 315.

Yudin, K.G. y G.M. Cailliet. 1990. Age and growth of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, and the brown smoothhound, *M. henlei*, sharks from central California. *Copeia* 1990 (1): 191-204.

<http://www.bigfish.net.nz>.

APÉNDICES

APÉNDICE I

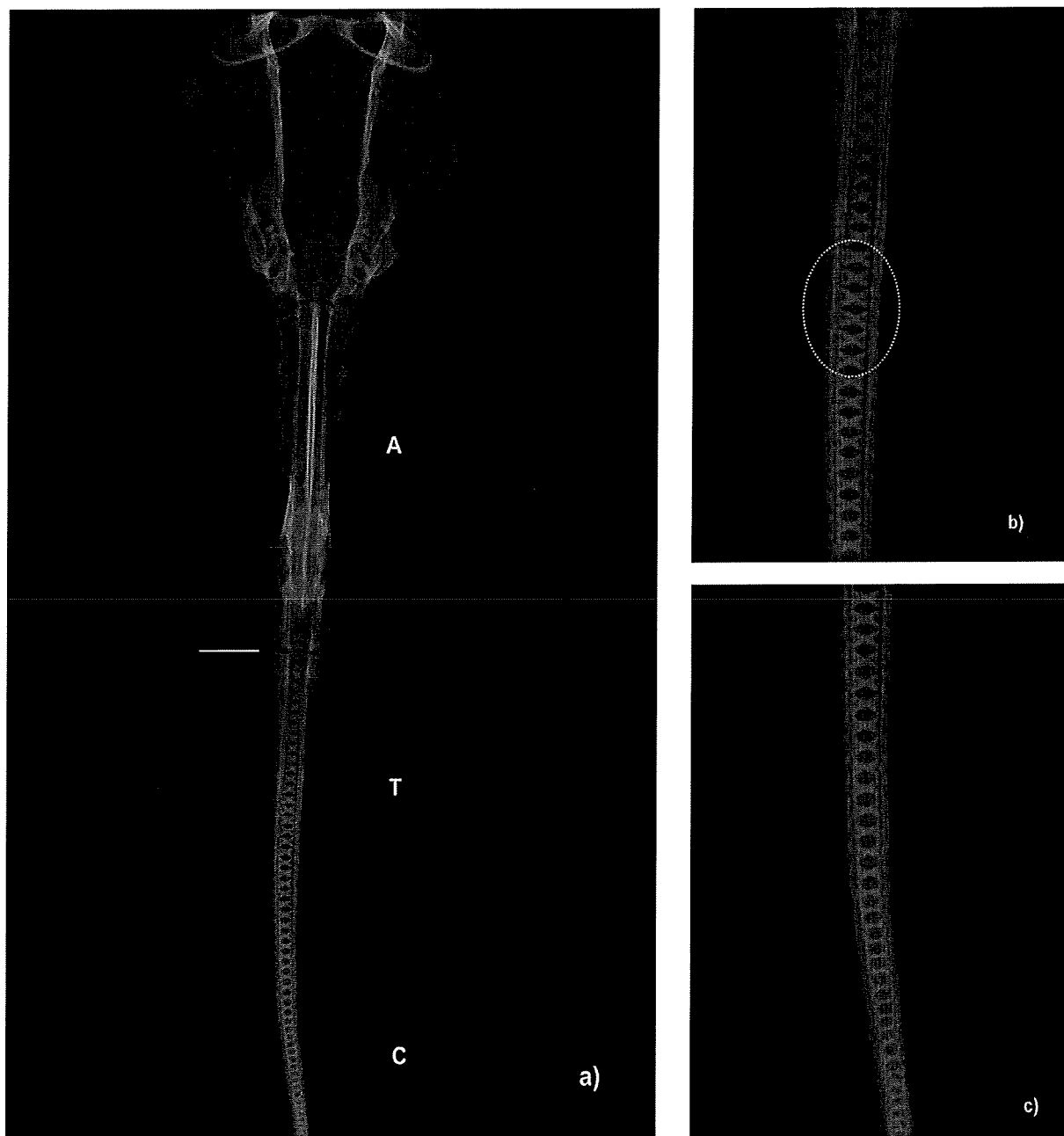


Figura 1. Radiografía de la columna vertebral de *Rhinoptera steindachneri*. a) columna vertebral entera, b) acercamiento de la porción torácica (T), c) acercamiento de la porción caudal (C). La línea denota dónde termina la cintura escapular en la zona anterior (A) de la columna vertebral. El círculo amarillo denota el área donde se encuentran las vértebras más grandes y redondas.

APÉNDICE II

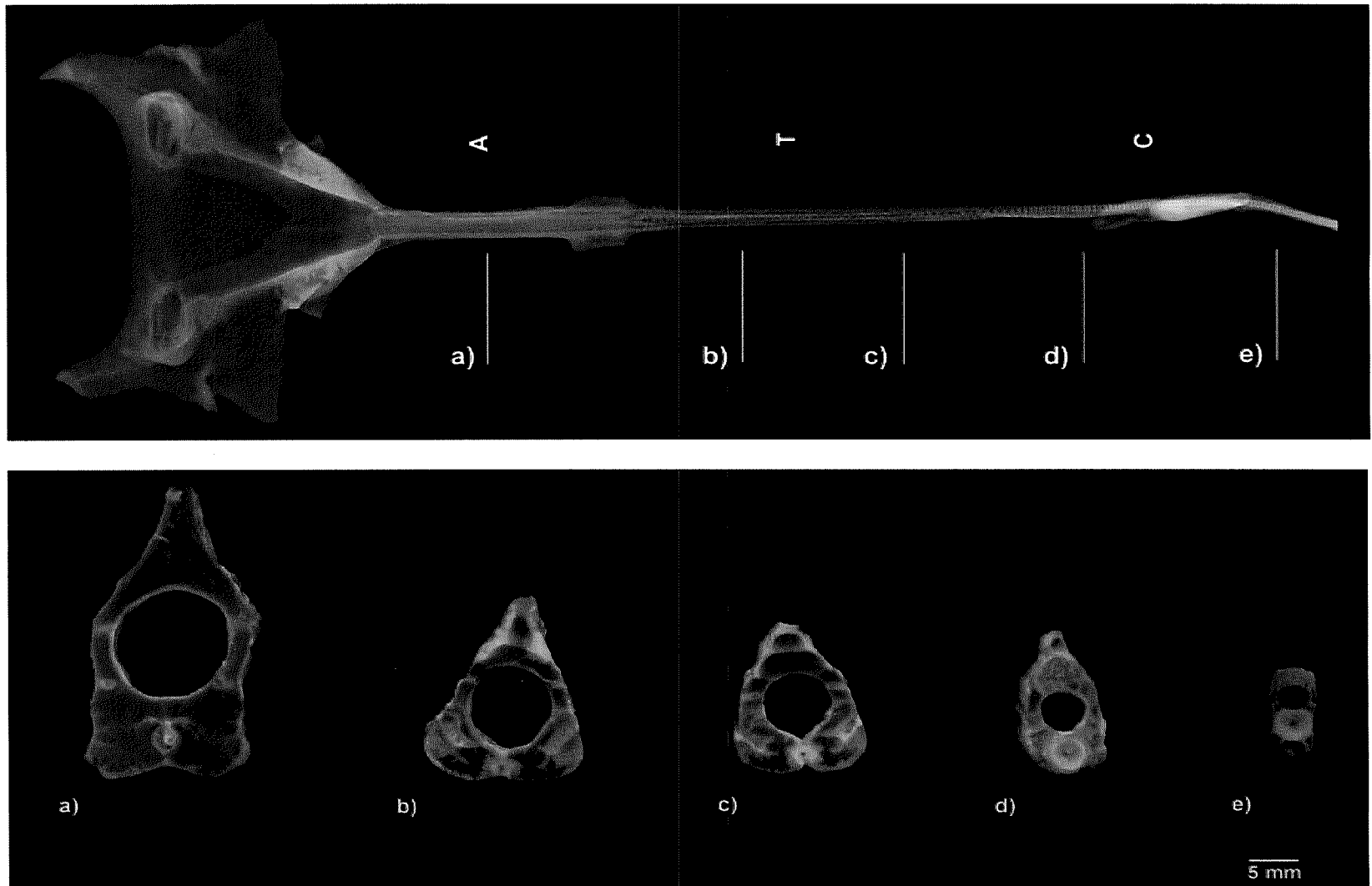


Figura 2. Radiografía de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD) de *M. japonica*; con la respectiva secuencia de cortes transversales entre vértebras en diferentes secciones a lo largo de la columna vertebral. a) corte en la porción anterior (A) de la columna; b) corte en la parte anterior de la porción torácica (T); c) corte en la parte posterior de la porción torácica; d) corte en la base de la aleta dorsal en la porción caudal (C), región donde se obtienen las vértebras adecuadas para la determinación de edad en ésta especie; e) corte en la parte posterior de la porción caudal. Las líneas denotan la región a la que pertenece cada corte.

APÉNDICE III

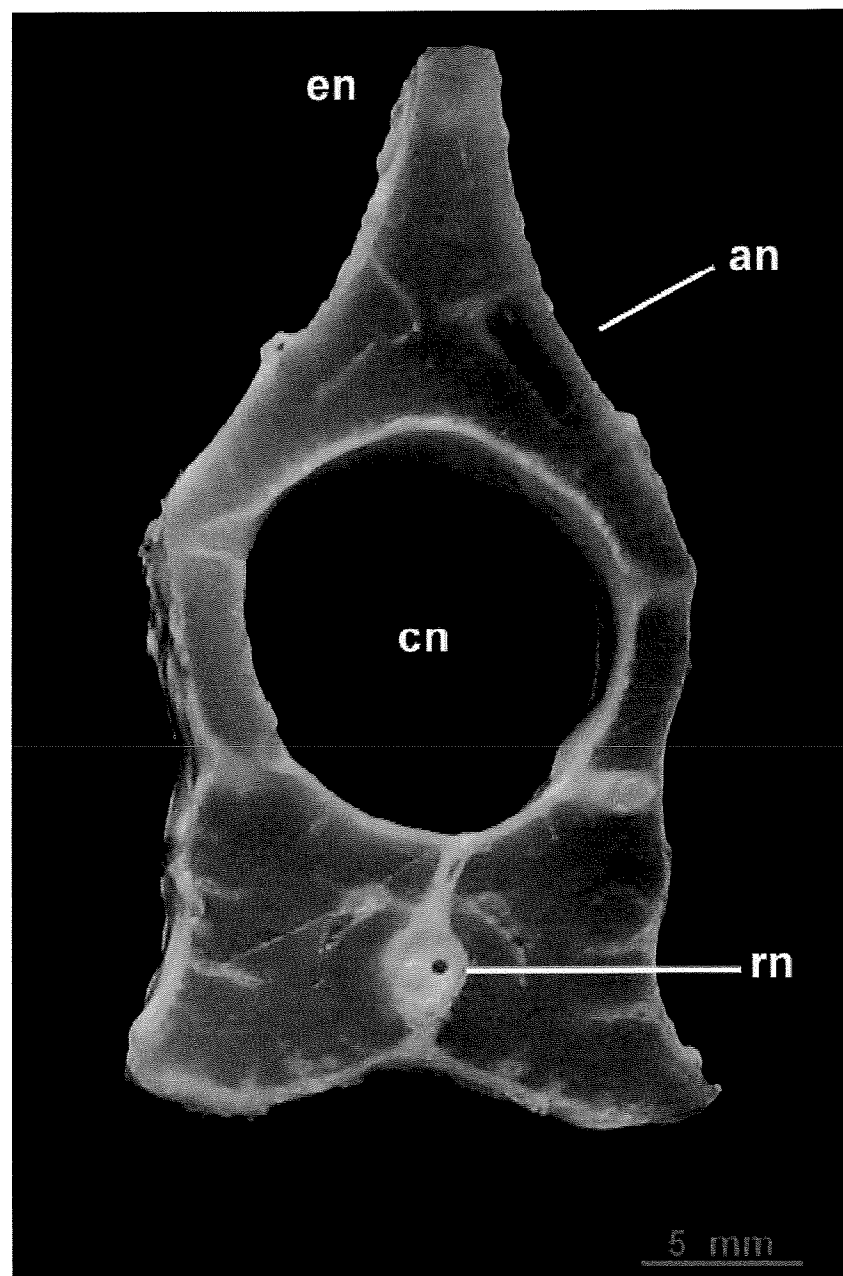


Figura 3. Corte transversal entre vértebras, perteneciente a la porción anterior de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD) de *M. japonica*. **en:** espina neural; **an:** arco neural; **cn:** conducto neural; **rn:** reminiscencia del notocordo.

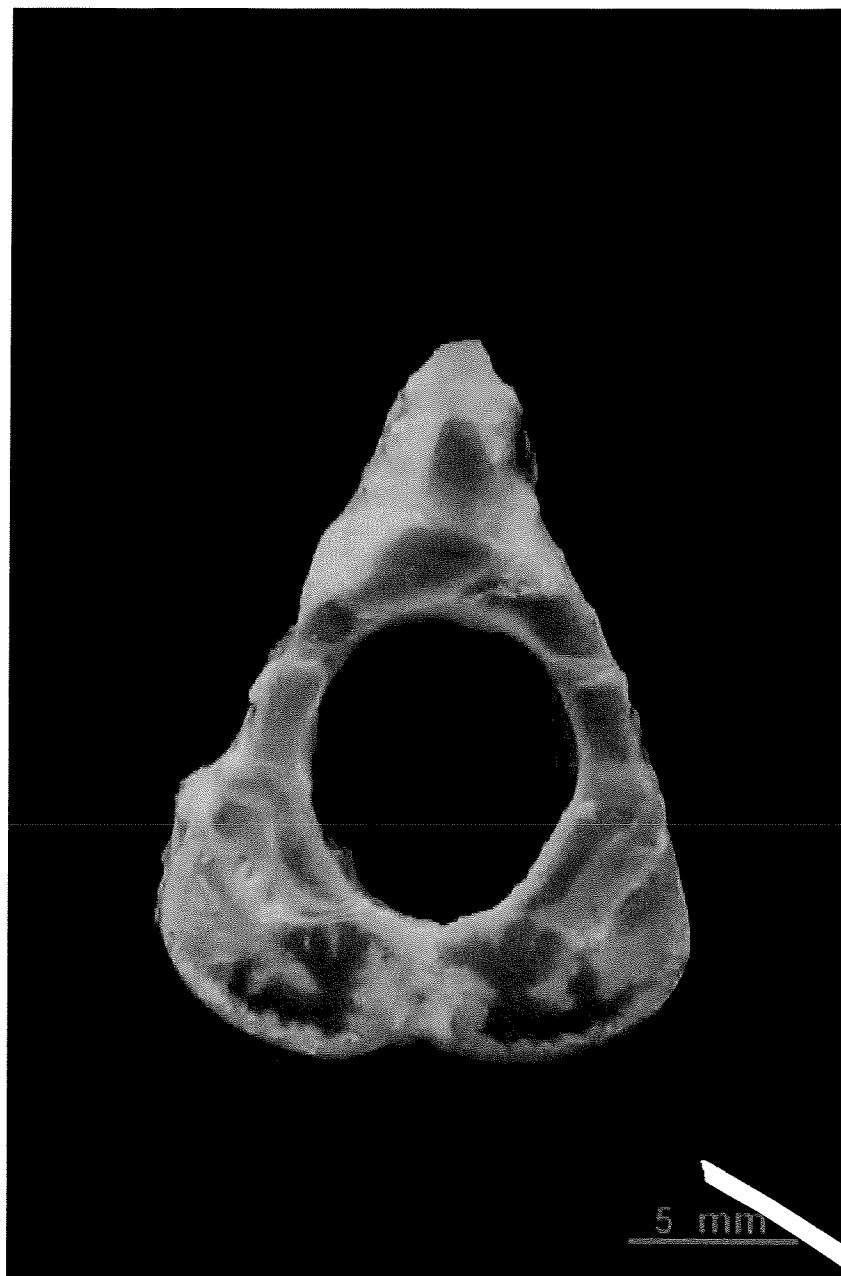


Figura 4. Corte transversal entre vértebras, perteneciente a la región anterior de la porción torácica de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD) de *M. japonica*.

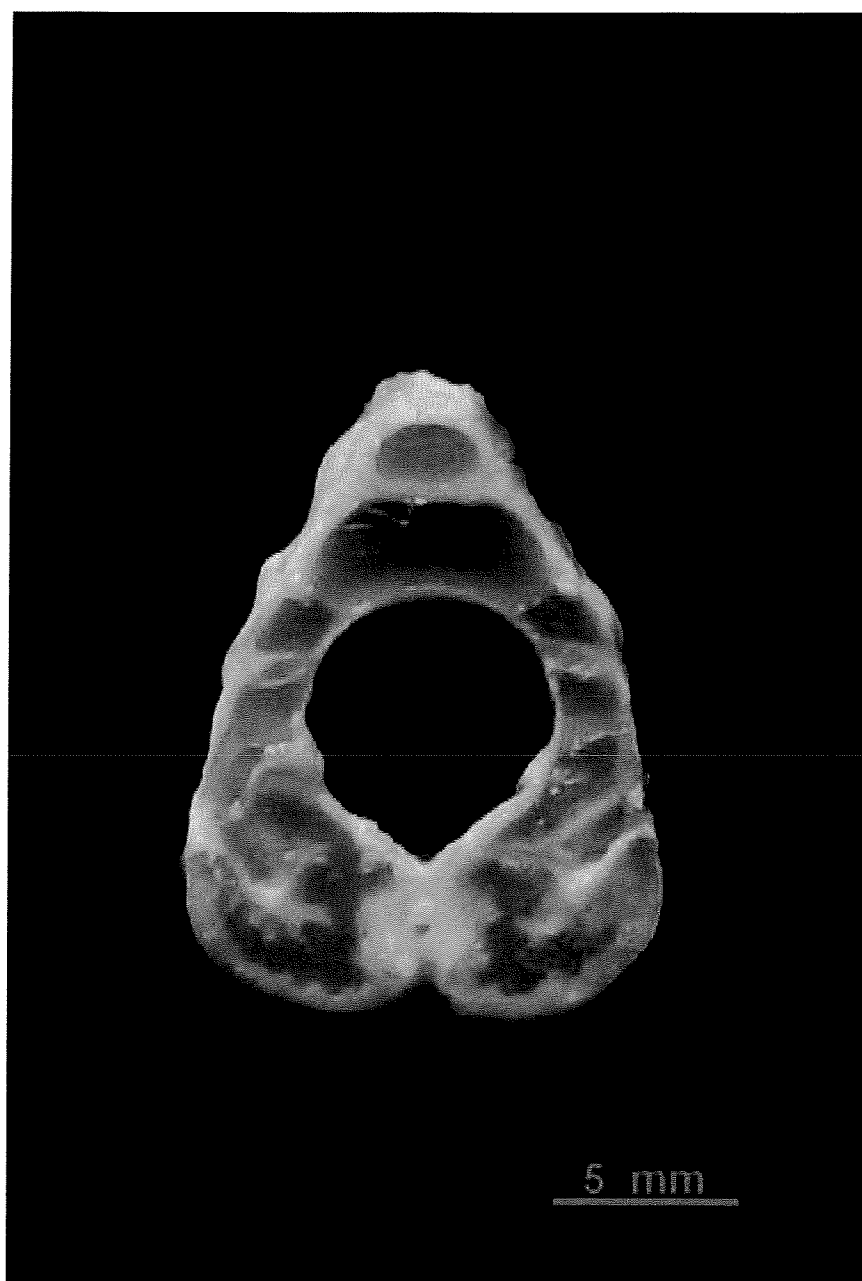


Figura 5. Corte transversal entre vértebras, perteneciente a la región posterior de la porción torácica de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD) de *M. japonica*.



Figura 6. Corte transversal entre vértebras, perteneciente a la región anterior de la porción caudal de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD) de *M. japonica*. Muestra las vértebras útiles para la determinación de edad de ésta especie.

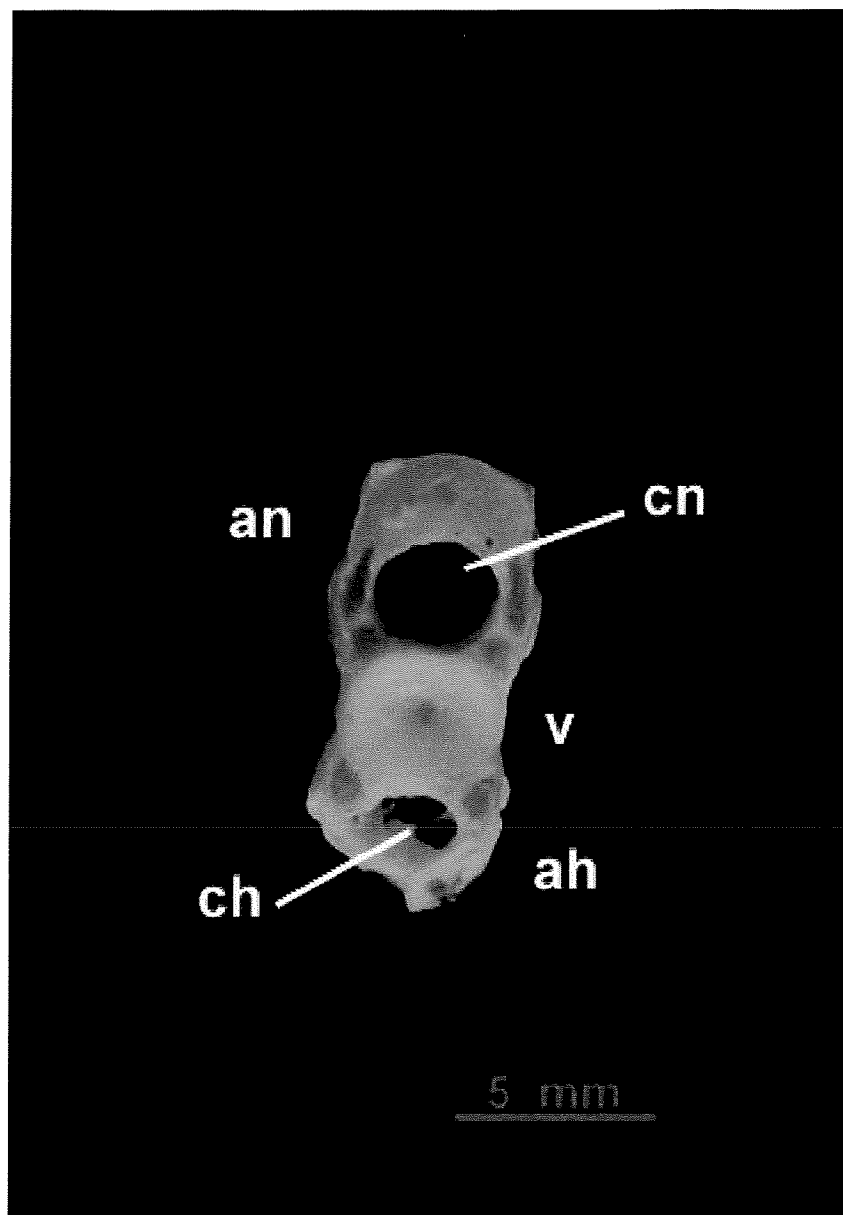


Figura 7. Corte transversal entre vértebras, perteneciente a la región posterior de la porción caudal de la columna vertebral de una hembra de 1280 mm (AD) de *M. japonica*. **an**: arco neural; **cn**: conducto neural; **v**: vértebra; **ah**: arco hemal; **ch**: conducto hemal.

APÉNDICE IV

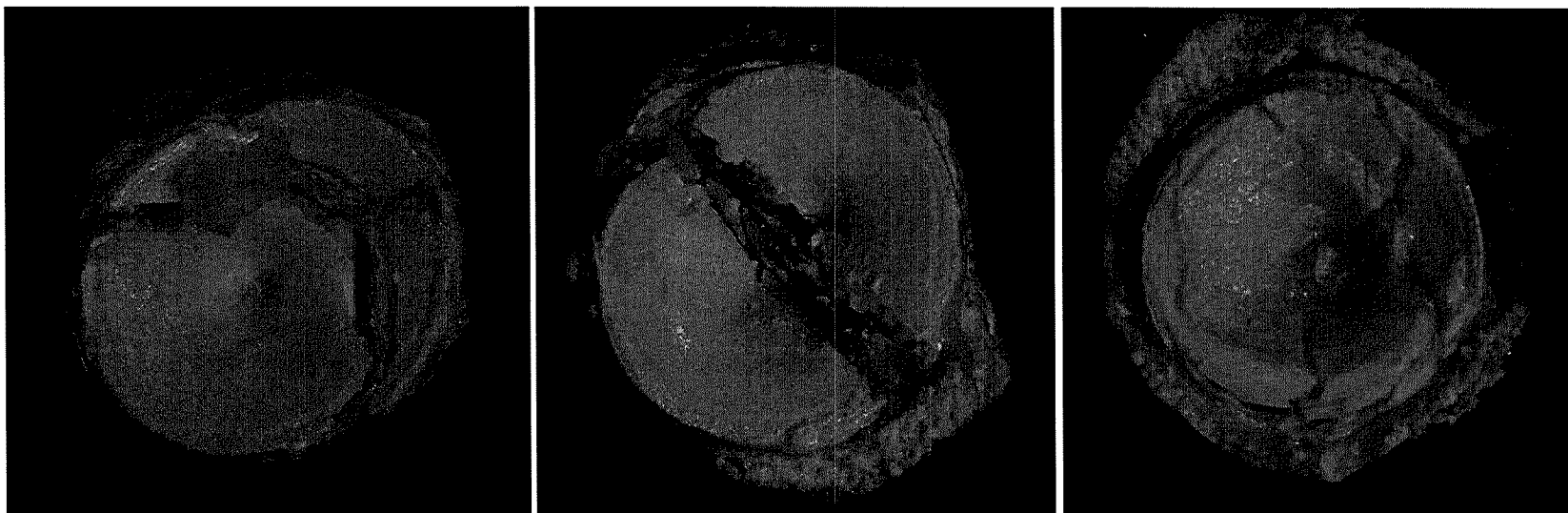


Figura 8. Vértabras cuarteadas que pertenecen a un macho de 2330 mm AD de *M. japonica*