

Descripción Anatómica del Esqueleto de Tiburón Mako (*Isurus oxyrinchus*)

Anatomical Description of Mako Shark (*Isurus oxyrinchus*) Skeleton

Marla Astudillo Gajardo*; Pamela Morales Muñoz* & Maria Eugenia Valenzuela*

ASTUDILLO, G. M.; MORALES, M. P. & VALENZUELA, M. E. Descripción anatómica del esqueleto de tiburón mako (*Isurus oxyrinchus*). *Int. J. Morphol.*, 33(4):1231-1236, 2015.

RESUMEN: La especie *Isurus oxyrinchus*, conocido también como Tiburón Mako o Marrajo Común, pertenece a la familia Lamnidae, de la clase Condrictria, cuya principal característica es su esqueleto, el cual está constituido completamente por cartílago. Se considera una especie vulnerable según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) como consecuencia de su utilización en la industria alimentaria y, en el último tiempo, a la caza deportiva, debido a su gran velocidad. Tiene una distribución cosmopolita, encontrándose en los océanos Pacífico, Atlántico, Índico, así como también en el Mar Mediterráneo y Mar Rojo. En Chile se tiene registro de su captura desde el norte hasta la región centro-sur del país. Son ejemplares de gran tamaño, llegando a medir hasta 3,5 metros y pesar alrededor de 570 kg. El presente trabajo corresponde a un estudio anatómico de un ejemplar juvenil de Tiburón Mako, obtenido por pesca incidental en las costas del Maule, Chile. La descripción del esqueleto se realizó de manera sistemática por segmentos: cráneo, columna y aletas. Se obtuvo un registro fotográfico de los resultados. De acuerdo a lo observado, podemos indicar que existe gran similitud con lo descrito en el Tiburón Espinoso y Tiburón Blanco, salvo algunas variaciones de forma en el esqueleto de esta especie, que corresponderían a las características que le confieren su aptitud para nadar a gran velocidad. La presente descripción, permite ampliar el conocimiento de la anatomía del Tiburón Mako, generando información de esta especie poco estudiada.

PALABRAS CLAVE: Tiburón Mako; Esqueleto; Condriccios.

INTRODUCCIÓN

La especie *Isurus oxyrinchus*, conocido también como Tiburón Mako o Marrajo, pertenece a la familia Lamnidae, del orden Lamniformes, de la clase Condrictria (Guisande, 2013). A la misma familia pertenece también el Tiburón Blanco (Del Moral & Pérez, 2013). Se considera una especie vulnerable según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (Cailliet *et al.*, 2009), ya que se comercializa como alimento, y en el último tiempo se ha instaurado la caza deportiva de este ejemplar, esto debido a que se considera un animal muy rápido, alcanzando velocidades de 124 km/h, en donde la estructura anatómica de la aleta caudal y la forma fusiforme de su cuerpo juega un rol importante. La aleta caudal posee un pedúnculo caudal comprimido dorso-ventralmente, facilitando así el movimiento lateral de la aleta, reduciendo la resistencia del agua (Lingham-Soliar, 2005). Las características que permiten reconocer al Tiburón Mako son: cuerpo fusiforme, hocico cónico y puntiagudo, boca grande y, la principal característica de esta especie es que sus dientes se encuentran permanentemente a la vista. Posee 5 hendiduras

branquiales, aletas escapulares medianas, de extremo ligeramente redondeado, aleta dorsal que se origina justo caudal a las aletas escapulares y finalmente la aleta caudal posee grandes lóbulos, siendo el dorsal ligeramente mayor que el ventral (Lamilla & Bustamante, 2005).

Tiene una distribución bastante amplia, costera y oceánica, alrededor de todo el mundo, entre las latitudes 50°N a 50°S (Cailliet *et al.*), en aguas templadas y tropicales, por lo que en Chile se podría encontrar desde la zona norte a centro-sur del país, excluyendo el extremo sur (Valeiras & Abad, 2006). Es una especie que en su mayoría es capturado incidentalmente en la pesca de pez espada y atún (Ribot, 2003). Lamilla & Bustamante indican que usualmente se extrae solamente las aletas, que es lo que tiene mayor valor comercial, y el resto normalmente se descarta debido al bajo precio de la carne, por lo anterior, no existe un registro de su captura (Bustamante & Lamilla, 2006). Es importante destacar que este animal constituye un riesgo para las personas tanto en pesca incidental como deportiva ya

*Escuela de Medicina Veterinaria. Facultad de Medicina Veterinaria y Recursos Naturales, Universidad Santo Tomás, Talca, Chile.

que se conocen registros informales de ataques a seres humanos. Por otra parte, existen escasos estudios que describan esta especie, solo algunos sobre migraciones y comportamiento (Medellín-Ortiz *et al.*, 2008).

El objetivo fue conocer la anatomía del esqueleto cartilaginoso de esta especie, entregando información valiosa para su reconocimiento como también para generar una base para futuros trabajos sobre esta especie u otras especies de tiburones.

MATERIAL Y MÉTODO

Se utilizó un cadáver de Tiburón Mako, macho, juvenil, de 1,70 m de largo y 21 kg de peso (eviscerado), obtenido por pesca incidental en las costas de la localidad de Duao, Región del Maule, Chile, el cual fue donado a la Unidad de Anatomía Veterinaria de la Universidad Santo Tomás, sede Talca. Mediante la utilización de instrumental de disección de rutina se extrajo el tegumento y gran parte de tejido muscular, para luego conservar la muestra en formalina al 1%, y así continuar con el trabajo de limpieza del esqueleto. La disección se efectuó de craneal a caudal, realizando un estudio descriptivo de las principales estructuras cartilaginosas que conforman el esqueleto: cráneo, branquias, hioides, columna, aletas pectorales, aleta pélvica y aleta caudal. Se realizó registro fotográfico de cada segmento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El esqueleto de este tiburón está formado por cartílagos, sin embargo el cráneo se observa como una estructura de mayor densidad tisular que el resto del cuerpo, lo que hace suponer que dicha zona presenta mayor cantidad de impregnación de calcio, tal como se describe en otras especies de condictios (Kardong, 2012).

Cráneo. Se divide en dos segmentos: Condrocáneo y Esplancocráneo. El Condrocáneo es el que protege el encéfalo y órganos de los sentidos, en él se encuentra el rostrum, que se proyecta rostralmente, el cual contiene la cavidad precerebral, similar a lo descrito en el Tiburón Espinoso, otra especie de condictio frecuente de observar en las costas de nuestro país (Quintanilla, 2007). En el caso del Tiburón Mako el rostrum posee dos bandas tubulares de cartílago dorsal que se unen rostralmente, y una tercera banda tubular, medial y ventral a las anteriores, que correspondería a la carina rostral, que también se une a ellas en el extremo rostral, por lo cual el rostrum se observa abierto lateral-

mente, lo que difiere con lo descrito en el Tiburón Espinoso en donde el rostrum se sostiene en una carina ventral y se observa cerrado lateral y ventralmente con dos fisuras rostrales pequeñas (De Iullis & Pulerà, 2007). El par de cápsulas nasales se encuentra lateral en la base del rostrum, y los nares de cada cápsula se encuentran orientados ventralmente (Fig. 1). Posterior a las cápsulas nasales se encuentra la región óptica, en donde la órbita no es cerrada por completo, dorsalmente posee: proceso antorbital (rostral), cresta supraorbital (dorsal) y proceso postorbital (caudal) (Fig. 2). Medial en el proceso antorbital, se encuentra el foramen para el nervio oftálmico superficial, el cual emerge por dicho foramen, para luego ramificarse dentro del rostrum, lo que difiere con lo publicado en el Tiburón Espinoso, en donde el nervio mencionado emerge por una serie de forámenes pequeños ubicados en la cresta supraorbital (De Iullis & Pulerà). El foramen óptico se encuentra en la pared medial de la órbita. El Esplancocráneo incluye 7 arcos viscerales: arco mandibular, arco hioideo y 5 arcos branquiales. Los arcos mandibular e hioideo están altamente modificados para su uso en la captura de presas, las cuales consisten principalmente en peces óseos y constituyen alrededor de un 87% de la dieta del Tiburón Mako (López *et al.*, 2009). Los arcos branquiales le dan soporte a los septos interbranquiales, además de la lengua. El arco mandibular es el más grande; el cartílago hiomandibular es el único elemento cartilaginoso que lo relaciona con el cráneo, ya que rostralmente se encuentra unido sólo por musculatura y fascias, este tipo de articulación se denomina hiofísica (Teisaire *et al.*, 2010). Los dos cartílagos Palatocuadrados se fusionan rostralmente para formar la mandíbula superior. La otra mitad del arco mandibular forma la mandíbula inferior, la cual está compuesta por un par de cartílagos mandibulares fusionados rostralmente (Fig. 2). El arco mandibular es el que le da soporte a los dientes, las cuales están en constante producción, llegando a formarse 20.000 dientes en los primeros 25 años del ejemplar (Mendoza-Vargas, 2009). En cada hemi mandíbula, se observan dos filas dentales, sin embargo, al extraer la mucosa de la región se observan otras cinco filas dentales al interior de la mandíbula, siendo las más superficiales de consistencia firme, y los dientes que se encuentran en profundidad bastante más frágiles y flexibles (Fig. 3). Los dientes son una característica que permite identificar a una especie detiburón, en el caso del Tiburón Mako, los dientes son de base estrecha con bordes laterales lisos (Lamilla, 2005), a diferencia del Tiburón Blanco, cuya base es ancha y los bordes laterales son aserrados (Klimley & Anley, 1996). El arco hioideo está modificado para sostener el arco mandibular, el segmento dorsal de este arco corresponde a los cartílagos hiomandibular (uno a cada lado) los cuales se encuentran relacionados con el cráneo. El cartílago hiomandibular articula con el cartílago queratohioides, el cual, a su vez, articu-

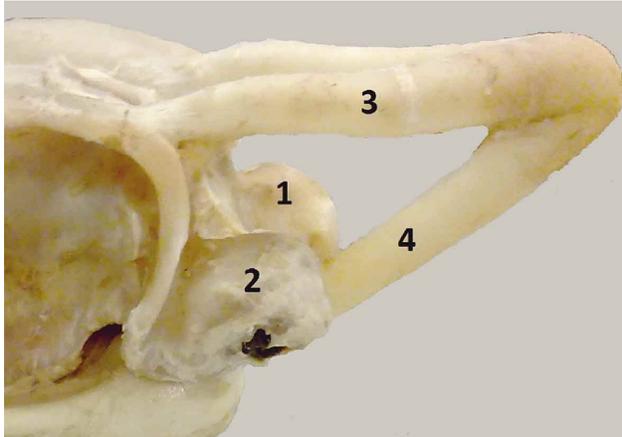


Fig. 1. Vista lateral derecha de condrocráneo de Tiburón Mako. 1- Cápsula nasal izquierda. 2- Cápsula nasal derecha. 3- Rostrum. 4- Carina rostral.

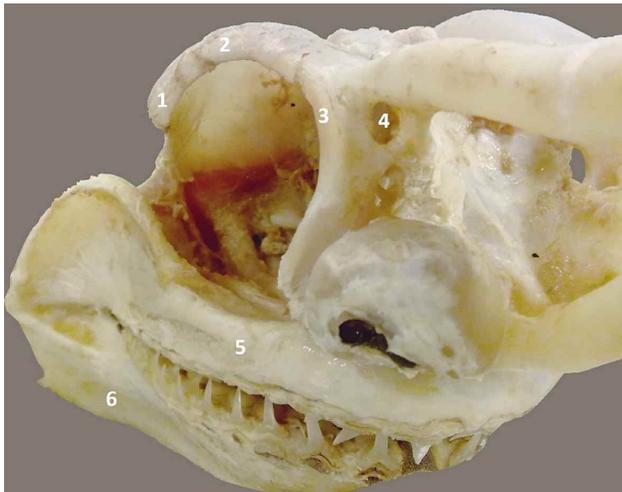


Fig. 2. Vista rostro lateral de cráneo de Tiburón Mako. 1- Proceso postorbital. 2- Cresta supraorbital. 3- Proceso antorbital. 4- Foramen para el Nervio Oftálmico Superficial. 5- Cartílago Palatoc cuadrado. 6- Cartílago mandibular.



Fig. 3. Vista medial de cartílago mandibular izquierdo (hemi mandíbula inferior izquierda) de Tiburón Mako. Se observa filas dentales y formación de nuevos dientes al interior de la mandíbula.

la con el cartílago basihioides (Fig. 4), éste último presenta una leve diferencia con lo descrito en el Tiburón Espinoso (De Iullis & Pulerà), en el que el basihioides es más alargado, en cambio en el Tiburón Mako es más corto y redondeado. Los arcos restantes son los branquiales, los cuales están formados, de dorsal a ventral, por cartílagos pares: faringobraquial, epibranchial y queratobraquial, Ventralmente los arcos se completan por 3 pares de cartílagos hipobranquiales, y 2 cartílagos basibranchiales que se encuentran en la línea media (Fig. 4).

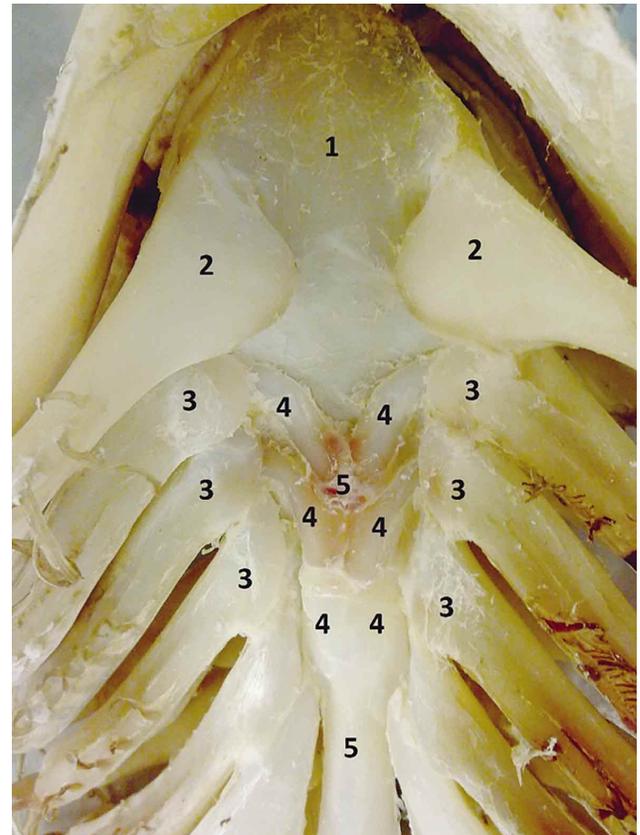


Fig. 4. Vista ventral de arco hioideo y arcos branquiales de Tiburón Mako. 1- Basihioides. 2- Queratohioides. 3- Queratobraquial. 4- Hipobranquial. 5- Basibranchial.

Columna. Hay 2 tipos de vértebras en la columna: las del tronco y las caudales. Cada vértebra posee un cuerpo vertebral, o centrum (ventral), los cuales al unirse forman un canal en cuyo interior se encuentra protegida la notocorda. Dorsal a cada cuerpo vertebral se observa una proyección denominada plato neural triangular, cuya base está orientada hacia el cuerpo vertebral, entre platos neurales consecutivos se encuentran placas intercalares, también triangulares, pero invertidas en relación a los platos neurales, así forman el arco neural, canal en cuyo interior se encuentra protegida la médula espinal. Las vértebras del tronco, a diferencia de las caudales, poseen una proyección, ventral y la-

teral al cuerpo vertebral, llamada Basapófisis (Fig. 5), en cambio, las vértebras caudales, poseen ventral al cuerpo un arco hemal para el paso de la arteria y vena caudal, lo que concuerda con lo descrito en el Tiburón Espinoso (De Iullis & Pulerà).

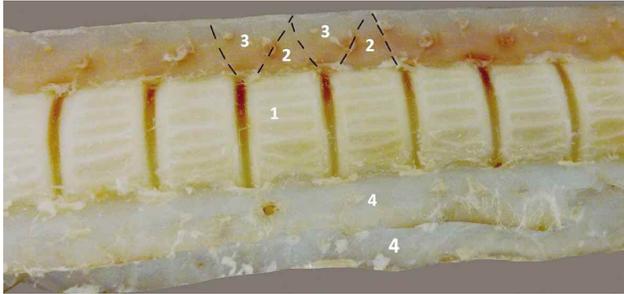


Fig. 5. Vista lateral derecha de vértebras del tronco de Tiburón Mako. 1- Cuerpo vertebral. 2- Plato neural. 3- Plato intercalar. 4- Basapofisis derecha e izquierda. Las líneas punteadas indican la forma triangular que poseen estos delgados cartílagos.

Aletas. Las aletas pectorales están unidas entre sí por un grueso cartílago en forma de “U”. La porción entre ellas corresponde a la Barra Coracoide. La parte que se extiende dorsalmente desde la unión entre las aletas corresponde al proceso escapular (Fig. 6). En la aleta se reconocen tres estructuras denominadas pterigioforas basales que articulan con el proceso escapular mediante la superficie glenoidea: Propterigio, Mesopterigio y Metapterigio (Fig. 7). Distal en

la aleta se encuentran las pterigioforas radiales, que corresponden a pequeñas barras de cartílago, paralelas entre sí, dispuestas en 2 filas. Finalmente, en la porción distal de la aleta se encuentran las queratotriquiás, que corresponden a una fila de barras de cartílago alargadas, paralelas entre sí (Fig. 8). Esta distribución es similar a lo descrito en el Tiburón Espinoso (De Iullis & Pulerà).

La aleta pélvica consiste en una barra pubioisquiática, la que en cada extremo posee un proceso iliaco. A diferencia de la aleta pectoral, posee solo dos pterigioforas basales: Propterigio y Metapterigio, además de pterigioforas radiales. Existe diferencia entre las aletas pélvicas de macho y hembra, en el macho el Metapterigio de cada lado, presenta una proyección caudal para formar los Fórceps, que corresponde al órgano copulador (Fig. 9), esto basados en el esquema publicado por De Iullis & Pulerà.



Fig. 6. Vista ventral de la unión de las aletas pectorales de Tiburón Mako. 1- Barra Coracoide. 2- Proceso Escapular.

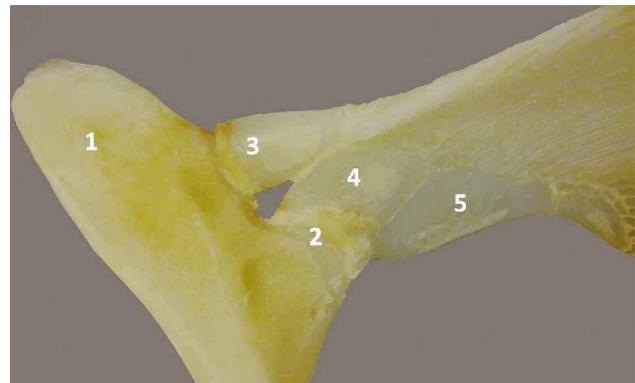


Fig. 7. Vista ventral de la articulación de la aleta pectoral y pterigioforas basales de Tiburón Mako. 1- Proceso Escapular. 2- Superficie Glenoidea. 3- Propterigio. 4- Mesopterigio. 5- Metapterigio.

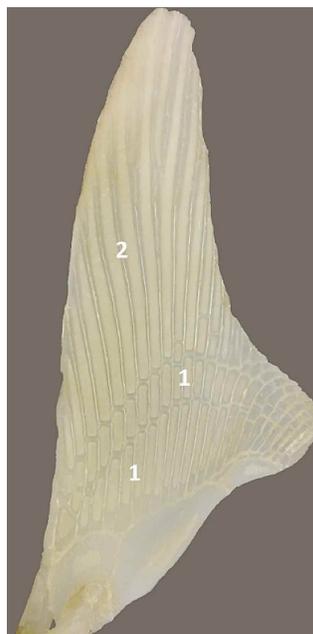


Fig. 8. Vista medial de aleta pectoral izquierda de Tiburón Mako. 1- Pterigioforas radiales. 2- Queratotriquiás.

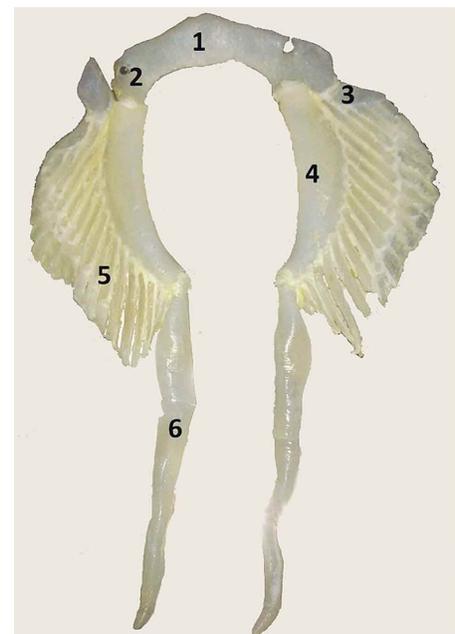


Fig. 9. Vista ventral de aleta pélvica de macho de Tiburón Mako. 1- Barra Isquiopubiana. 2- Proceso Iliaco. 3- Propterigio. 4- Metapterigio. 5- Pterigioforas radiales. 6- Fórceps.

Finalmente, la aleta caudal está conformada por los cuerpos vertebrales, arcos hemales y pterigioforas radiales (Fig. 10). Es importante mencionar que en el espécimen completo la aleta caudal se observa conformada por dos lomos: dorsal y ventral, sin embargo solo el lomo dorsal está compuesto por tejido cartilaginoso y, por tanto, formando parte del esqueleto, el lomo ventral posee solo tejido fibroso y muscular. Debido a lo anterior, los cuerpos vertebrales se observan incluidos dentro del lomo dorsal cartilaginoso, llegando hasta el final aguzado de la aleta, esta descripción concuerda con lo observado en el Tiburón Blanco (*Lingham-Soliar*).

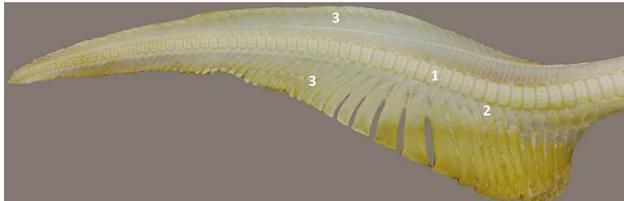


Fig. 10. Vista lateral derecha de aleta caudal de Tiburón Mako. 1- Cuerpo vertebral. 2- Arco Hemal. 3- Pterigioforas radiales.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la disección y estudio realizado fue posible describir en detalle el esqueleto cartilaginoso del Tiburón Mako (*Isurus oxyrinchus*). Se concluye que según lo observado en este ejemplar existe gran similitud con lo descrito en el Tiburón Espinoso (*Squalus acanthias*) y Tiburón Blanco (*Carcharodon carcharias*) y posiblemente con otras especies de condrichtios. Sin embargo, existen algunas diferencias a nivel del cráneo como: rostrum abierto lateralmente, foramen para el nervio oftálmico superficial se encuentra medial en el proceso antorbital, dientes de base estrecha y bordes lisos y basihioideos más corto y redondeado.

Este estudio descriptivo permite ampliar el conocimiento anatómico referente al esqueleto de los condrichtios, especialmente del Tiburón Mako, especie presente en nuestro país y que ha sido escasamente estudiada. Además esta información podrá ser utilizada como base para la realización de futuros estudios de anatomía comparada.

ASTUDILLO, G. M.; MORALES, M. P. & VALENZUELA, M. E. Anatomical description of Mako Shark (*Isurus oxyrinchus*) skeleton. *Int. J. Morphol.*, 33(4):1231-1236, 2015.

SUMMARY: The species *Isurus oxyrinchus*, also known as Mako Shark or commonly as Shortfin Mako, belongs to the Lamnidae family, of the Condrichtis class. The main anatomical feature of this class is a skeleton fully composed of cartilage.

Considered to be a vulnerable species according to the IUCN (International Union for Conservation of Nature), as a result of its extensive use in food industry and hunting sports due to its high speed. It has a cosmopolitan distribution, being found in the Pacific, Atlantic and Indian Oceans, the Mediterranean Sea and the Red Sea. In Chile, a variety of this species has a distribution from the North to the Central-South regions of the country (according to industrial fishing data). Specimens are large in size, reaching 3.5 m and around 570 kg of weigh. The aim of this work was to perform a gross anatomy study of a juvenile Mako Shark, obtained by incidental fishing off the coast of Maule, Chile. The description of the skeleton was carried out in a systematic way by segments: skull, spine and fin. A photographic record of the specimen was obtained. According to the results, there is great similarity with what was described for the prickly shark and white shark, except for some shape variations in the skeleton. These differences could be explained by its ability to swim at high speed. The present description allows expanding knowledge of the anatomy of the Mako Shark, generating more information on this species.

KEY WORDS: Shortfin Mako; Skeleton; Condrichtis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bustamante, C. & Lamilla, J. *Estado actual de la pesquería y biología de los condrichtyes en Chile*. II Taller de Cooperación Internacional – Tiburones del Pacífico: ¿Manejo local o conjunto? Valdivia, Universidad Austral de Chile, 2006. pp.26-66.
- Cailliet, G.; Cavanagh, R.; Kulka, D.; Stevens, J.; Soldo, A.; Clo, S.; Macias, D.; Baum, J.; Kohin, S.; Duarte, A.; Holtzhausen, J.; Acuña, E.; Amorim, A. & Domingo, A. *Isurus oxyrinchus*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. 2009. Disponible en: www.iucnredlist.org
- De Iullis, G. & Pulerà, D. *The Dissection of Vertebrates: a Laboratory Manual*. Londres, Academic Press, 2007. pp.27-35.
- Del Moral, L. & Pérez, G. Tiburones, Rayas y Quimeras de México. CONABIO. *Biodiversitas*, 111:1-6, 2013.
- Guisande, C.; Pascual, P.; Baro, J.; Granado, C.; Acuña, A.; Manjarrés, A. & Pelayo, P. *Tiburones, rayas, quimeras, lampreas y mixínidos de la costa atlántica de la Península Ibérica y Canaria*. Madrid, Ediciones Diaz de Santos, 2013. p.22
- Kardong, K. *The vertebrates story*. In: *Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution*. (6° ed.). Nueva York, McGraw-Hill, 2012.
- Kimley, A. & Anley, D. *Great White Sharks: The Biology of Carcharodon carcharias*. San Diego, Academic Press, 1996. pp.9-19.

- Lamilla, J. Bycatch: Tiburones en peligro. *Oceana*, 11:1-14, 2005.
- Lamilla, J. & Bustamante, C. Guía para el reconocimiento de: tiburones, rayas y quimeras de Chile. *Oceana*, 17:28-9, 2005.
- Lingham-Soliar, T. Caudal Fin in the White Shark, *Carcharodon carcharias* (lamnidae): a dynamic propeller for fast, efficient swimming. *J. Morph.*, 264(2):233-52, 2005.
- López, S.; Meléndez, R. & Barría, P. Alimentación del tiburón marrajo *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, 1810 (Lamniformes: Lamnidae) en el pacífico suroriental. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 44(2):439-451, 2009.
- Medellín-Ortiz, A.; Kohin, S.; Dewar, O. & Block, B. *Movimientos del tiburón mako (Isurus oxyrinchus) en el Pacífico Noreste*. México DF, III Simposium Nacional de Tiburones y Rayas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009. pp.142-26.
- Mendoza-Vargas, O. *Dentición en Tiburones*. III Simposium Nacional de Tiburones y Rayas. México D.F., Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.
- Quintanilla, J. *Descripción y determinación de estados de madurez gonadal y gestación en el Tollos de Cachos mediante la utilización de la técnica ecográfica y complementarias*. Memoria para optar al título de Médico Veterinario. Valdivia, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, 2007.
- Ribot, M. *Edad y Crecimiento del Tiburón Mako, Capturado en la Costa Occidental de Baja California Sur, México*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en recursos marinos. La Paz, Instituto Politécnico Nacional, Centro interdisciplinario de ciencias marinas, 2003.
- Teisaire, E.; Nieto, O.; Roldán, I.; Ulloa, Z.; Aragón, M. & García, A. Guía de Trabajos Prácticos de Anatomía Comparada de Vertebrados. *Reduca (Biología)*. Ser. Zool., 3(6):1-15, 2010.
- Valeiras, J. & Abad, E. *Marajo dientuso. Field Manual*. Madrid, International Commission For The Conservation Of Atlantic Tunas, 2010.

Dirección para Correspondencia:
Marla Astudillo Gajardo
Escuela de Medicina Veterinaria
Facultad de Medicina Veterinaria y Recursos Naturales
Universidad Santo Tomás
Talca
CHILE

Email: marla.astudillo@gmail.com

Recibido : 19-03-2015
Aceptado: 20-08-2015