

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Musculatura cefálica dorsal y ventral de *Aetobatus narinari*
(Chondrichthyes: Myliobatoidea)

TESIS QUE PARA OBTENER EL
TITULO DE: BIOLOGO

PRESENTA:

JOSE DANIEL RAZO MENDEZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MONICA GONZALEZ ISAIS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MI ABUELO José
Ernesto Rasso A.

A MIS PADRES José
Manuel y María de los Ángeles

A MIS HERMANOS
Isaac, Abraham y David

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su amor incondicional e infinita paciencia, ya que sin ellos no estarían leyendo estas líneas. Gracias mamá por ser mi luz y mi guía. A mis padrinos por todo el apoyo que me han brindado desde que tengo memoria, a la familia Luna Razo por estar siempre ahí sin siquiera pedirlo, a mi abuelita por todos sus consejos recibidos hasta el día de hoy.

A la Dra. Mónica González Isáis por su apoyo y dirección durante todo este tiempo al igual que al M. en C. Héctor M. Montes por lo aprendido en el campo y en el laboratorio.

Al profesor Roberto Rico por enseñarme como es la gente, a los profesores: Roberto, Irma, Diodoro, Jonathan, Meirán, Peter por sus consejos y lo aprendido no solo académicamente sino también como persona.

A toda la gente que conocí y estuvo conmigo durante todos estos años, gracias a todos y cada uno de ustedes. Al maricón del Markos por el aguante y lo vivido, al dientón por tantos años de cotorreo y botellas de tinto, a Sam por los buenos tiempos y locuras que solo podíamos soportar juntos además de dejarme conocer a dos ángeles (Tonantzín y Amalinalli), a Adrianita por ser una verdadera amiga al igual que Paola, a Ambar por su belleza y locura, a Letie e Isis por tanta fiesta, a Eric por tantos viajes juntos, a Miguel, Natalia, Rocío, Marlene, Paez, Bahena, Chuper, Martín, Tuka, Nestor, Diana, Periko, Ivan, Karla, Karina, Jorge, Efra, Toro, Omar, Denzo, Vero, Yamal, Sombras, Lalo, Abuelo, Jaime, Horacio, a todos los inflásticos y la banda paxheka.

A toda la pandilla del cuadro: Vlady, Quiroz, Wicho, Monin por la hiperventilación!!!, Nacho, Yepis, Andros, Vilo, Ariel, Marcote y los que falten. Al chemo, chupes, chaparro y Nancy que más que ayudar a la comunidad la van a dejar más perturbada. Al Nirvano, Joe, Chorro, Irad, al pequeño Uriel y sus padres, Erasto, Jessica, Sidharta y toda esa banda re'punkera.

A Cesar, Jacky, Raquel, Martín por hacer menos tediosa mi estancia en el laboratorio y a Bere por escuchar a alguien igual de raro y diferente, a Itandehui por esa voz inconfundible y su euforia. Al OKS crew en especial al Fresh, Payaso, Viko, Muse, La Raza Mexica, Lado B, Infexión sp, XL crew, y todo el buen Hardcore, a la STL, Circo la Nación, Zangrenegra y con dedicación especial a todos los h.d.s.p.p.m. que no creyeron en mí.

INDICE

| | |
|---|----|
| Resumen | 2 |
| Introducción | 3 |
| Antecedentes | 5 |
| Objetivos | 7 |
| Metodología | 7 |
| Resultados. Miología: Musculatura Cefálica Dorsal | 8 |
| Musculatura Cefálica Ventral | 10 |
| Arquitectura muscular | 19 |
| Discusión: Miología | 19 |
| Arquitectura muscular | 21 |
| Conclusiones | 24 |
| Apéndice | 25 |
| Bibliografía | 28 |

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo describir la musculatura cefálica dorsal y ventral de *A. narinari*, así como realizar un trabajo de arquitectura muscular con los músculos aductores y abductores de las mandíbulas para determinar el grado de fuerza que aplican. Los organismos se colectaron en costas del Océano Pacífico y del Golfo de México para después ser fijados en formaldehído al 10%. Posteriormente se realizó la disección de la musculatura cefálica dorsal y ventral para describir los músculos. Después se obtuvieron los valores del índice de prioridad de fuerza y área fisiológica transversal de los músculos aductores y abductores de las mandíbulas. La musculatura en *A. narinari*, con respecto a otros batoideos mostró un alto grado de desarrollo. Se describieron dos músculos nuevos pertenecientes al complejo mandibular. Los valores más altos obtenidos para el índice de prioridad de fuerza y el área fisiológica transversal fueron para los músculos abductores, mientras que para los músculos aductores se obtuvieron los valores más bajos.

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que los músculos abductores aplican una mayor fuerza pero su velocidad de acortamiento es menor, mientras que los músculos aductores son más rápidos pero la fuerza que aplican es menor. Finalmente, el alto grado de desarrollo que presentó el complejo mandibular se debe a que esta especie manipula su alimento durante el proceso de alimentación y necesita aplicar una mayor fuerza debido a sus hábitos alimenticios.

INTRODUCCION

Los tiburones, rayas y quimeras son conocidos colectivamente como “peces cartilagosos”, los cuales comprenden uno de los grupos principales de los peces contemporáneos, la Clase Chondrichthyes. Los primeros condriactios conocidos evolucionaron en el periodo Silúrico tardío, hace más de 400 millones de años. Actualmente más de 950 especies viven en los sistemas marinos y en agua dulce (Last y Stevens, 1994).

Dentro del grupo de las rayas o batoideos existen casi 600 especies actuales, pertenecientes a 18 familias. Sus formas corporales están altamente modificadas y especializadas, están aplanados de varias maneras, las aletas pectorales y parte del cuerpo forman una estructura distintiva denominada disco. Éste suele ser más ancho que largo y puede ser fusiforme, ovalado, circular, rómbico o triangular (Tricas et al., 1998). La boca es subterminal excepto en *Manta birostris*; las aberturas branquiales se localizan en la superficie ventral; los ojos, que carecen de membrana suborbital, y los espiráculos que son de gran tamaño y tienen una válvula, están en posición dorsal; pueden presentar 0, 1 ó 2 aletas dorsales (las formas más primitivas presentan 2); las espinas de las aletas están ausentes en las formas vivientes, no presentan aleta anal; la aleta caudal es heterocerca o díficercas; los dentículos pueden cubrir todo el cuerpo o estar ausentes, aunque a menudo forman una prominente línea dorsal y tienen la cloaca separada de las aletas pélvicas (Bigelow y Schroeder, 1953; Compagno, 1973).

En la actualidad, Compagno (1973, 1977) ha dividido al grupo de los batoideos en cinco grupos monofiléticos: rayas eléctricas (torpedinoideos), peces guitarra (rinobatoideos), peces sierra (pristoideos), rayas (rajoideos) y pastinacas o rayas aguijón (miliobatoideos).

Dentro del suborden Myliobatoidei, se encuentra la superfamilia Myliobatoidea, que incluye a las especies de batoideos de mayor tamaño. Ésta superfamilia está integrada por las familias Gymnuridae y Myliobatidae (Nishida, 1990). La familia Myliobatidae incluye a los rinoptéridos, miliobátidos y mobúlidos, y se caracterizan porque la cabeza está elevada, los ojos y los espiráculos se localizan a los lados, y la cola es mucho más larga que el disco.

Los miliobátidos presentan un disco en forma de rombo, que es mucho más ancho que largo, con un lóbulo rostral no dividido. La boca es amplia, se localiza ventralmente y tiene los dientes arreglados en forma de placas las cuales pueden ser de 1 a 7 hileras dentales. Los dentículos dérmicos y las espinas están presentes alrededor de los ojos y a lo largo de la línea media del disco en algunas especies. La cola que es más larga que el disco, es distalmente filamentosa y tiene una pequeña aleta dorsal cerca de su base. Nadan activamente por movimientos verticales de sus aletas pectorales, pudiendo recorrer grandes distancias. A menudo se encuentran cerca de la superficie, ocasionalmente saltando totalmente fuera del agua. Sin embargo, por lo general nadan en grupos cerca del fondo. Son vivíparos, con camadas de 2 a 6 organismos, este grupo probablemente se originó del grupo de los dasiátidos. Habitan en todas las aguas marinas, templadas y tropicales; su registro fósil comprende desde el Cretácico superior, e incluyen a 4 géneros (Aetobatus, Aetomylaeus, Myliobatis y Pteromylaeus) con aproximadamente 24 especies, de las cuales 5 habitan en las costas mexicanas (Nelson, 1994; Last y Stevens, 1994; McEachran y Notarbartolo-di-Sciara, 1995; Castro-Aguirre y Espinosa, 1996).

Los músculos de la cabeza y del esqueleto branquial de los miliobátidos, al igual que los del resto de los batoideos son más complejos que los de otros elasmobranquios y muestran una considerable variación. Probablemente, uno de los músculos más constantes en los miliobátidos sea el etmoideo-paraetmoidalis,

el cual se origina en la cara posterolateral de las cápsulas nasales y corre posterolateralmente a lo largo del protopterigio insertándose en la superficie interna del protopterigio y del cartílago anterorbital (McEachran et al., 1996).

ANTECEDENTES

Los trabajos realizados con respecto a la anatomía del sistema muscular de miliobátidos son muy pocos.

- De Andrés et al. (1987), realizaron un estudio sobre la musculatura cefálica ventral en elasmobranquios utilizando 32 especies, en las cuales se aplicó la técnica de disección convencional, con el objetivo de describir la musculatura cefálica ventral de especies representativas de 8 ordenes de elasmobranquios incluidos rajiformes, myliobatiformes y torpediniformes con el propósito de proponer homologías con fines filogenéticos.
- Nishida (1990), realizó disecciones parciales de músculos viscerales y de la cabeza de algunas especies de miliobátidos en los cuales encontró diferencias notables. El objetivo de este trabajo, fue describir las características esqueléticas y miológicas como base para estimar relaciones filogenéticas dentro del grupo.
- Miyake et al. (1991, 1992), realizaron una recopilación de algunos estudios sobre los arcos branquiales y músculos craneales de peces óseos que abarcan desarrollo, anatomía comparada, análisis filogenético y función. Así mismo han retomado estudios que manejan el origen y desarrollo de los músculos craneales y branquiales.
- McEachran et al. (1996), realizaron un trabajo sobre relaciones filogenéticas en peces batoideos tomando en cuenta para ello la disposición de algunos músculos cefálicos e hipobranquiales, su origen, la forma en que corren y su inserción. Entre los músculos que se tomaron en cuenta para realizar este estudio destaca el músculo craneal etmoideo-paraetmoidal, el músculo

el cual se origina en la cara posterolateral de las cápsulas nasales y corre posterolateralmente a lo largo del protopterigio insertándose en la superficie interna del protopterigio y del cartílago anterorbital (McEachran et al., 1996).

ANTECEDENTES

Los trabajos realizados con respecto a la anatomía del sistema muscular de miliobátidos son muy pocos.

- De Andrés et al. (1987), realizaron un estudio sobre la musculatura cefálica ventral en elasmobranquios utilizando 32 especies, en las cuales se aplicó la técnica de disección convencional, con el objetivo de describir la musculatura cefálica ventral de especies representativas de 8 ordenes de elasmobranquios incluidos rajiformes, myliobatiformes y torpediniformes con el propósito de proponer homologías con fines filogenéticos.
- Nishida (1990), realizó disecciones parciales de músculos viscerales y de la cabeza de algunas especies de miliobátidos en los cuales encontró diferencias notables. El objetivo de este trabajo, fue describir las características esqueléticas y miológicas como base para estimar relaciones filogenéticas dentro del grupo.
- Miyake et al. (1991, 1992), realizaron una recopilación de algunos estudios sobre los arcos branquiales y músculos craneales de peces óseos que abarcan desarrollo, anatomía comparada, análisis filogenético y función. Así mismo han retomado estudios que manejan el origen y desarrollo de los músculos craneales y branquiales.
- McEachran et al. (1996), realizaron un trabajo sobre relaciones filogenéticas en peces batoideos tomando en cuenta para ello la disposición de algunos músculos cefálicos e hipobranquiales, su origen, la forma en que corren y su inserción. Entre los músculos que se tomaron en cuenta para realizar este estudio destaca el músculo craneal etmoideo-paraetmoidal, el músculo

- intermandibular, el coracomandibular, el depresor mandibular, los coracobranquiales, el coracoarcual y el coracohioideo.
- Wilga y Motta (1998), realizaron un trabajo sobre cinemática y actividad motora del mecanismo de alimentación de *Rhinobatos lentiginosus*; describiendo la actividad muscular y la duración de la misma durante el proceso de alimentación.
 - González-Isáis (2003), realizó un estudio sobre anatomía comparada de la musculatura cefálica dorsal y ventral de algunos miembros de la Superfamilia Myliobatoidea (*Chondrichthyes*), así como también algunos comentarios de filogenia.
 - Dean y Motta (2004), hicieron un trabajo de anatomía y morfología funcional, del aparato alimenticio de *Narcine brasiliensis*; describiendo así, la cinemática y sus modificaciones con respecto a otros batoideos.
 - González-Isáis y Montes (2004), realizaron un trabajo sobre filogenia de la superfamilia Myliobatoidea utilizando caracteres de musculatura.
 - Montes y Gonzalez (2007) realizaron un trabajo sobre la anatomía de 4 especies de *Mobula*, en el cual incluyen una descripción de la musculatura cefálica dorsal y ventral.

Debido a que los trabajos realizados sobre anatomía muscular en miliobátidos son muy escasos, es importante llevar a cabo más estudios sobre este tema, que aporten información útil sobre este grupo, ya sea descriptiva o evolutivamente. Por tal motivo el propósito de este trabajo es aportar información acerca de la anatomía de la musculatura cefálica dorsal y ventral así como de la arquitectura de los músculos que abren y cierran las mandíbulas de *Aetobatus narinari*.

OBJETIVOS

- Describir la musculatura cefálica dorsal y ventral de *Aetobatus narinari*.
- Analizar la arquitectura de los músculos que abren y cierran las mandíbulas de *Aetobatus narinari*.

METODOLOGIA

Los organismos se colectaron en Boca del Cielo Chis. y Mazatlán Sin., en el Océano Pacífico y en Cancún Quintana Roo en el Caribe mexicano, posteriormente se fijaron en formaldehído al 10%. La disección de la musculatura cefálica se realizó siguiendo la técnica convencional. Posteriormente, tanto en el campo como en el laboratorio se tomaron medidas morfométricas tales como: longitud del disco (LD), anchura del disco (AD) y longitud total (LT) (ver Apéndice 2).

De cada músculo se vio su forma, la disposición de las fibras, origen e inserción para realizar así su descripción. Posteriormente se retiraron los músculos y se procedió a tomar los siguientes datos:

- Longitud del fascículo: longitud de pequeños paquetes de fibras musculares desde el tendón de origen hasta el de inserción.
- Volumen del paquete muscular: es estimado como la relación de la masa de la fibra muscular y la densidad específica del músculo (1.0564 g/cm³; Murphy y Beardsley, 1974).
- Área fisiológica transversal (PCS): la cual se calculó con la siguiente fórmula: $PCS=V/FL$, donde V= volumen, LF= el promedio de longitud del paquete de fibras (Van Eijden, et al., 1997).
- Para cada músculo se calculó el índice de prioridad de fuerza (Woittiez et al., 1986): $I=PCS/V^{2/3}$ (Ver Apéndice 1).

RESULTADOS Miología: Musculatura

Cefálica Dorsal

- Músculo etmoideo paraetmoidal (EPE). Este músculo se origina en la parte anterior del neurocráneo, por debajo del proceso anterior y corre posterolateralmente insertándose en el protopterigio (Fig. 1).
- Músculo elevador del palatoc cuadrado (EP). Se origina de la pared lateral del neurocráneo, mientras que otras fibras se originan del proceso postorbital. Estas fibras corren anteroventralmente y se insertan en la parte dorsolateral del cartílago palatoc cuadrado.
- Músculo elevador espiracular (ES). Se origina de la pared lateral del neurocráneo en la región ótica y corre anterolateralmente insertándose en la parte dorsal del cartílago hiomandibular (Fig. 1).
- Músculo elevador hiomandibular (EH). Este músculo se origina por encima del elevador espiracular, en la parte lateral del neurocráneo, sus fibras corren lateralmente hasta insertarse en el cartílago hiomandibular (Fig. 1).
- Músculos epiaxiales (EPI). Músculo par que se origina en la cara anterodorsal de la cintura escapular, sus fibras corren de forma paralela y se ubican a ambos lados de la sinarcualia, insertándose en la parte posterior de la región ótica (Fig. 1).

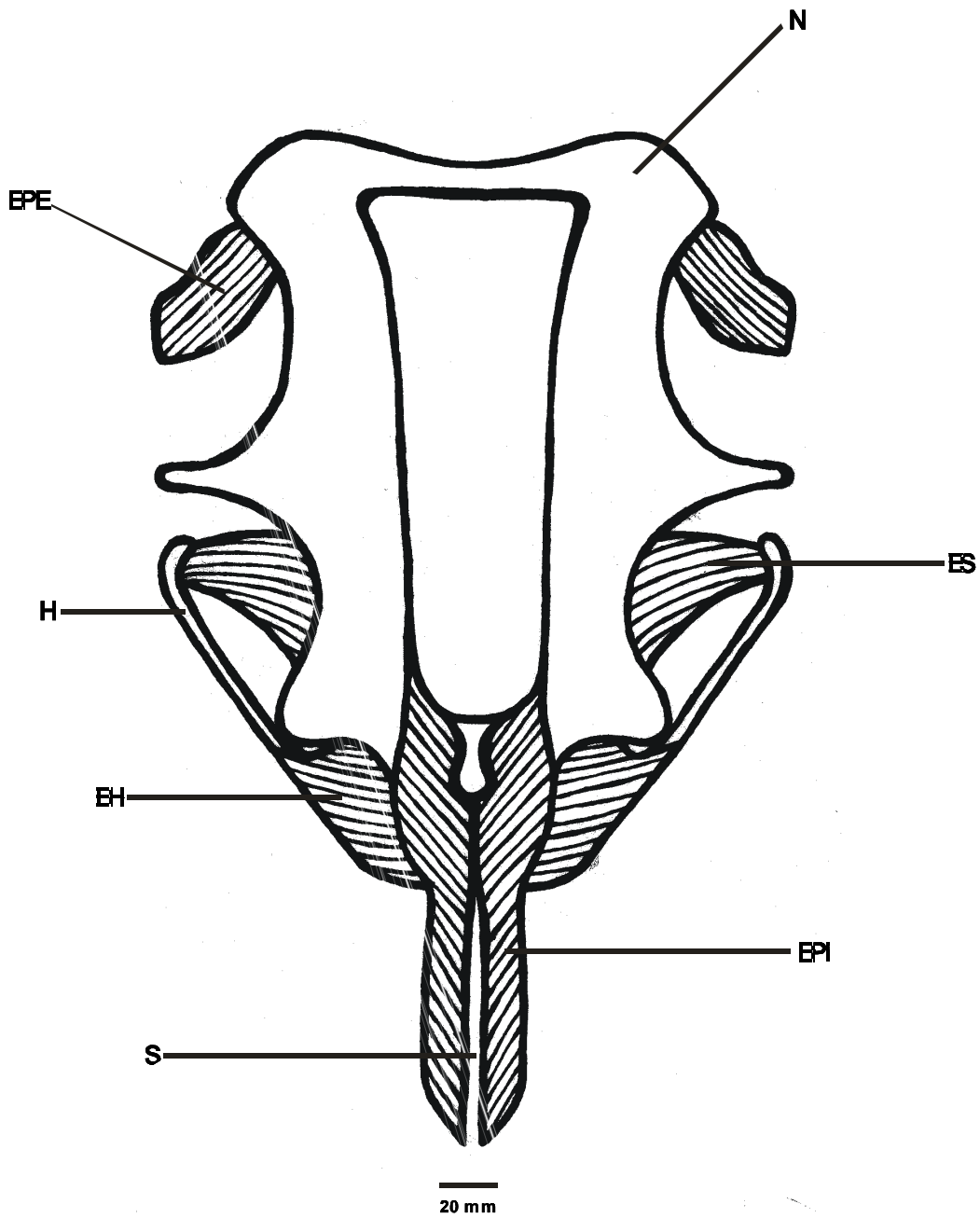


Figura 1. Musculatura cefálica dorsal de *Aetobatus narinari*. EPE, etmoideo paraetmoidal; ES, elevador espiracular; EH, elevador hiomandibular; EPI, músculos epiaxiales; H, cartílago hiomandibular; N, neurocráneo; S, sinarcualia.

Musculatura Cefálica Ventral

- **Músculo Depresor Mandibular (DM).** Este músculo está ubicado en la parte anterolateral del organismo debajo del protopterigio. Es un músculo par muy amplio el cual se origina en la línea media, sobre el rafe hipobranquial superficial, en donde se une con su antímero; unas fibras corren anteriormente insertándose en los procesos alares del cartílago de Meckel, otras fibras corren anterolateralmente hasta insertarse mediante una aponeurosis en la parte posterior de la cápsula nasal, mientras que otras fibras se insertan en el protopterigio (Fig. 2).
- **Músculo Cuadromandibularis Medialis (CME).** Este músculo se origina de la línea media en la parte posterior del cartílago palatocuadrado y se inserta en la parte anterior del cartílago de Meckel, las fibras de este músculo corren posterolateralmente de forma paralela rodeando la mandíbula del organismo (Fig. 2).
- **Músculo Coracomandibular (CM).** Músculo par que se origina en la parte central de la cintura escapular y corre anteriormente hasta llegar a insertarse en los procesos alares del cartílago de Meckel mediante dos tendones (Fig. 3).
- **Músculo Preorbitalis Medialis (POM).** Este músculo es el más pequeño de los músculos descritos que se origina en la parte posterolateral del cartílago palatocuadrado y corre posteriormente insertándose en la parte lateral del músculo cuadromandibularis profundo (CMD) (Fig. 3).

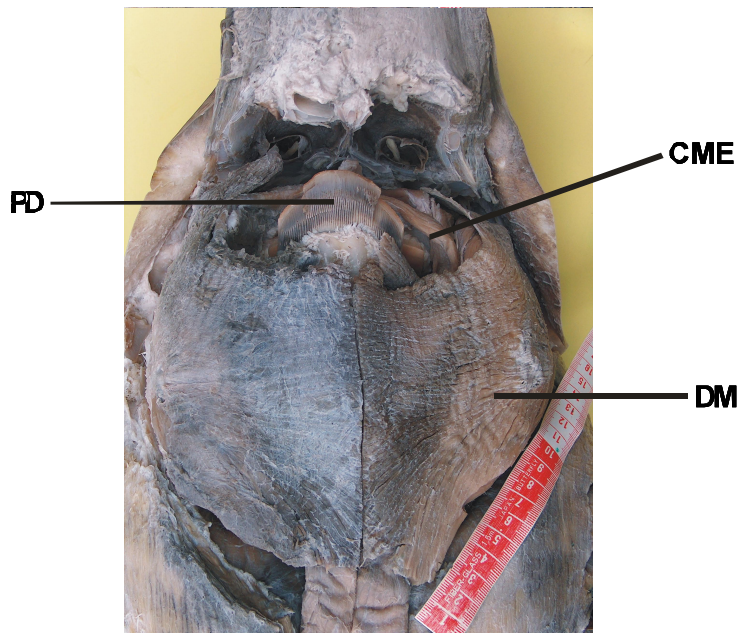
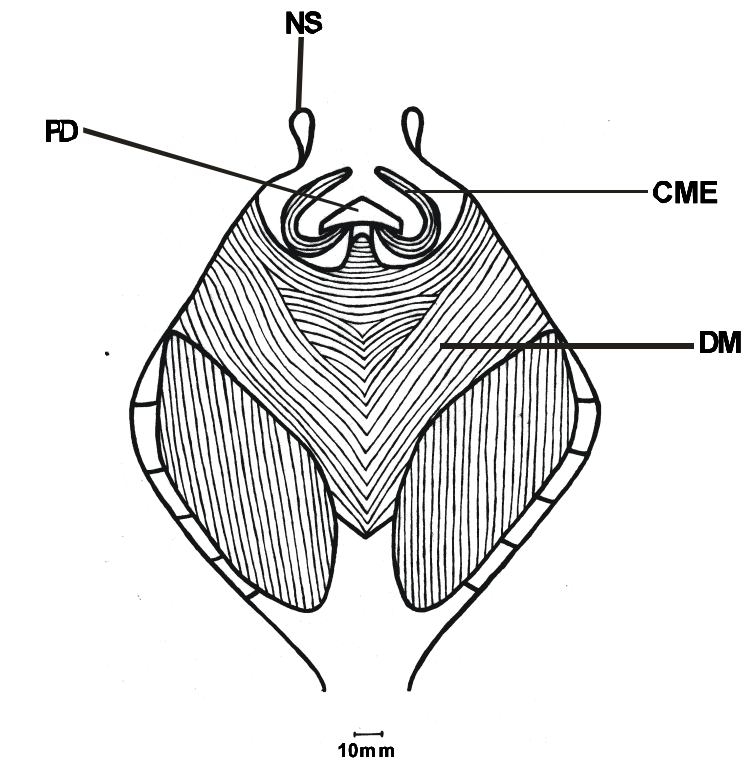


Figura 2. Músculos ventrales de *Aetobatus narinari*. Nivel 1 (superficial). CME, cuadratomandibularis medialis; DM, depresor mandibular; NS, nostrilios; PD, placa dental.

- Músculo Cuadromandibularis Anterior (CMA) y Cuadromandibularis Posterior (CMP). Estos músculos se originan en la parte posterior del cartílago palatoc cuadrado, las fibras del cuadromandibularis anterior corren posterolateralmente; mientras que las del cuadromandibularis posterior corren en sentido opuesto hasta insertarse en el cartílago de Meckel. Estos músculos están divididos por medio de una aponeurosis (Fig. 3).

- Músculo Cuadromandibularis Profundo (CMD). Este músculo se ubica en la parte lateral y está formado por dos paquetes musculares. El primer paquete se origina de la parte posterolateral del cartílago palatoc cuadrado y corre posteriormente hasta llegar a unirse con el segundo paquete mediante un tendón; este último paquete se inserta en la parte posterior del cartílago de Meckel en los procesos alares (Fig. 3).

- Músculo cuadromandibularis mayor (CMM). Músculo par que se origina en la línea media sobre el cartílago de Meckel; a diferencia de otros batoideos, éste músculo en su etapa juvenil (A.D.= 35.5 cm) se encuentra separado de su antímero (Fig. 7) y en etapa adulta se fusionan; corre anterolateralmente hasta insertarse en la parte lateral del cartílago palatoc cuadrado (Fig. 4).

- Músculo X. este músculo se localiza por debajo del músculo (CM), es un músculo par que se origina en una membrana en la parte media por encima del músculo coracohioideo, sus fibras corren transversalmente dispuestas en forma de “x” sobre la parte anterior de la región branquial en donde se inserta (Fig. 4).

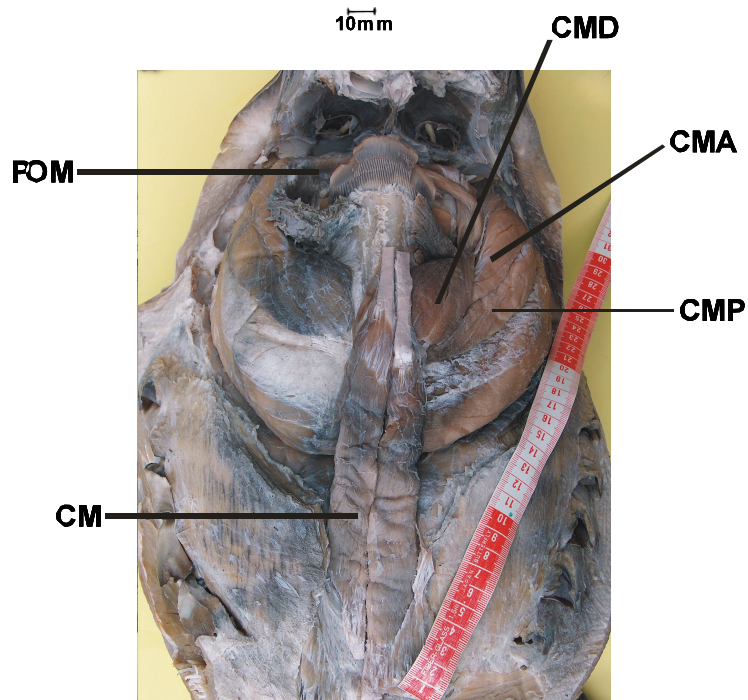
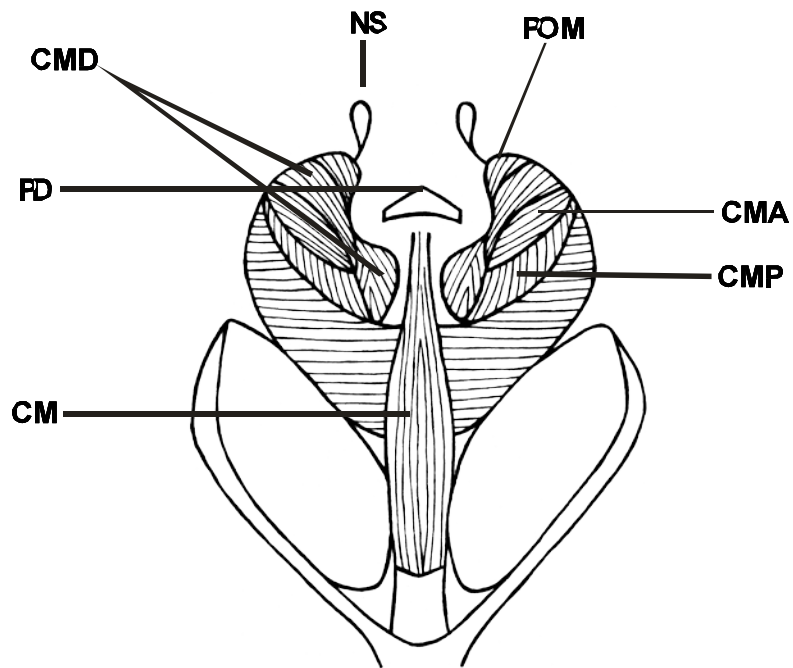


Figura 3. *Aetobatus narinari* Nivel 2. CM, coracomandibular; POM, preorbitalis medialis; CMA, cuadratmandibularis anterior; CMP, cuadratmandibularis posterior; CMD, cuadratmandibularis profundo; NS, nostrilios; PD, placa dental.

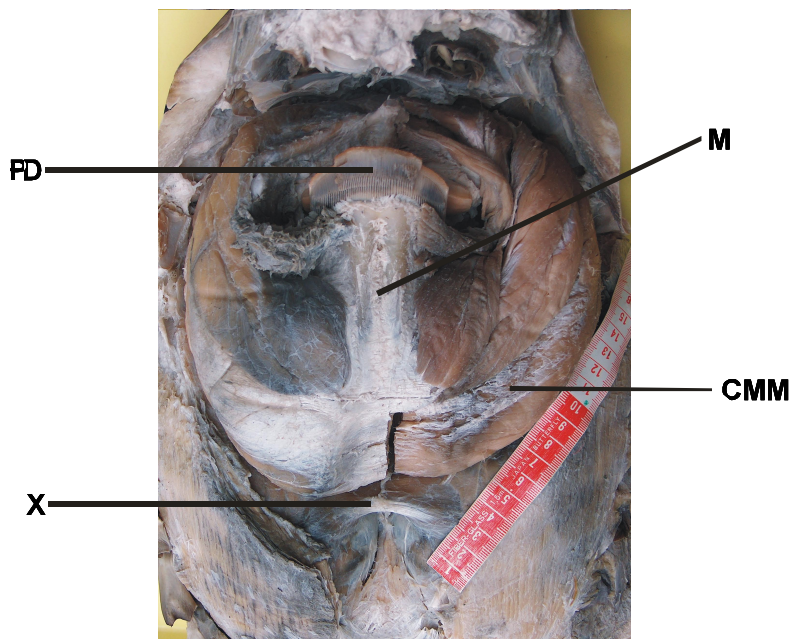
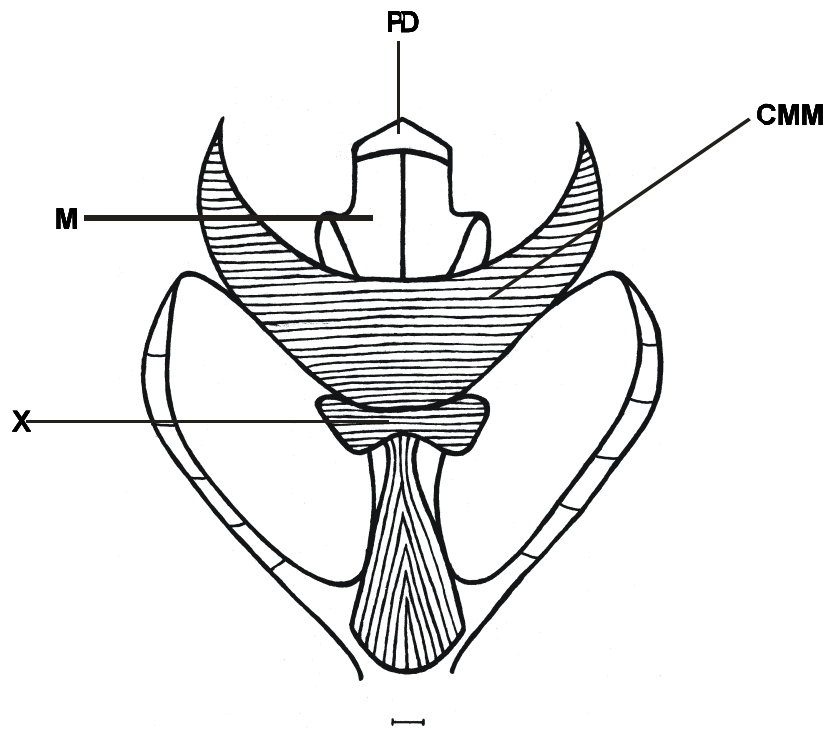


Figura 4. *Aetobatus narinari*. Nivel 3. CMM, cuadratomandibularis mayor; M, cartílago de Meckel; PD, placa dental; X, músculo X.

- Músculo W. Este músculo se origina en la parte anterolateral del cartílago Palatoc cuadrado, corre diagonalmente a la línea media; y hacia la parte caudal hasta insertarse en el cartílago de Meckel (Fig. 5).

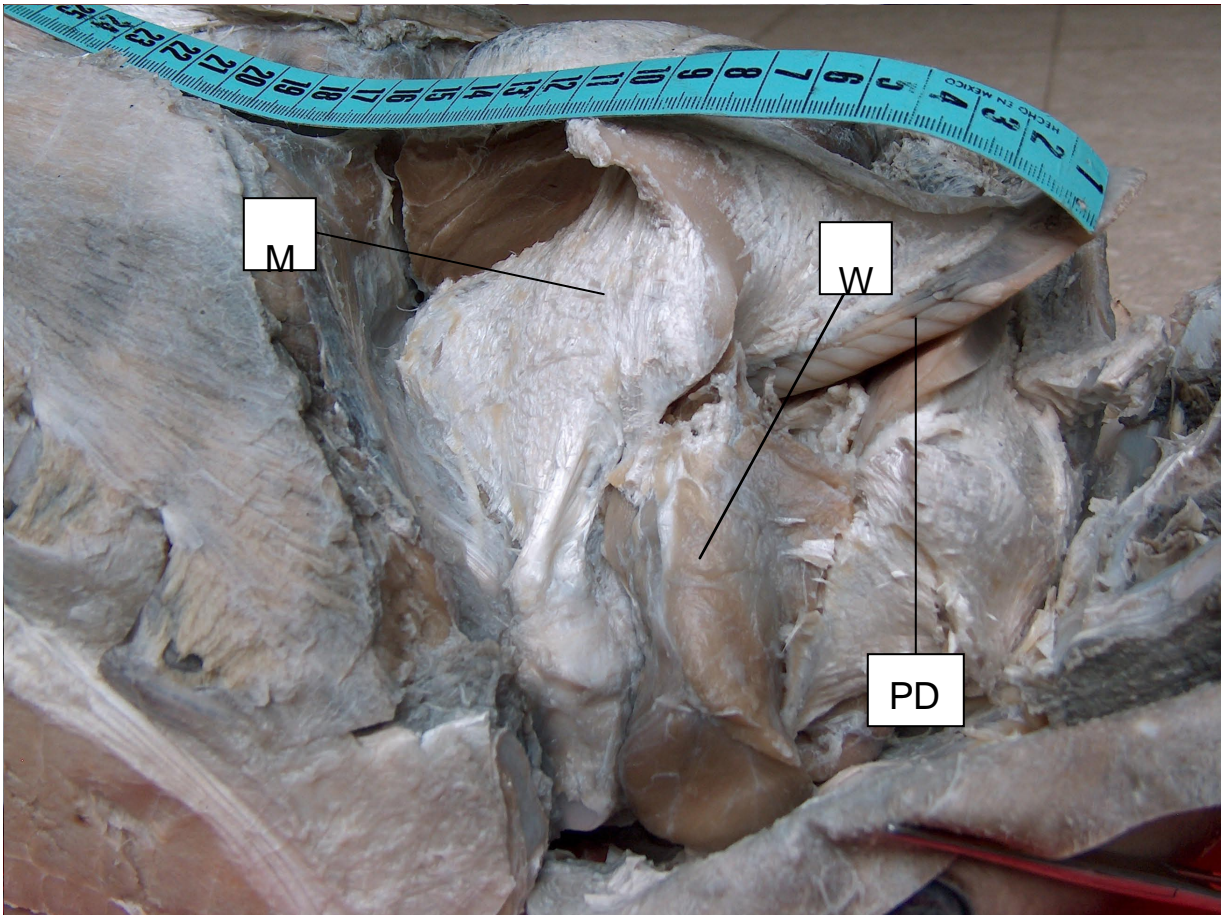


Figura 5. Vista lateral de *Aetobatus narinari*. W, Músculo W; M, cartílago de Meckel; PD, placas dentales.

- Músculo coracohioideo (CH). Este músculo se origina en la parte anterior de la cintura pectoral, corre anteriormente pasando por la región interbranquial en donde se adelgaza; en la región cefálica se divide en dos para posteriormente insertarse en el músculo DH mediante dos tendones (Fig. 6).

- Músculo depresor hiomandibular (DH). Músculo par que se origina en la parte media, sobre la superficie dorsal del cartílago de Meckel en donde se fusiona con su antímero. Sus fibras corren anterolateralmente hasta insertarse en la parte anterior del cartílago hiomandibular (Fig. 6).

Una diferencia que se observó claramente en la musculatura de *A. narinari* fue que al momento de describir los músculos con organismos de diferentes etapas de crecimiento, estos mostraron una diferencia en cuanto a su tamaño y arreglo; ya que en la etapa juvenil aún no se observaban bien divididos algunos músculos. Por otro lado el cuadratomandibularis mayor no se observó fusionado con su antímero como se encuentra en su etapa adulta (Fig. 7)

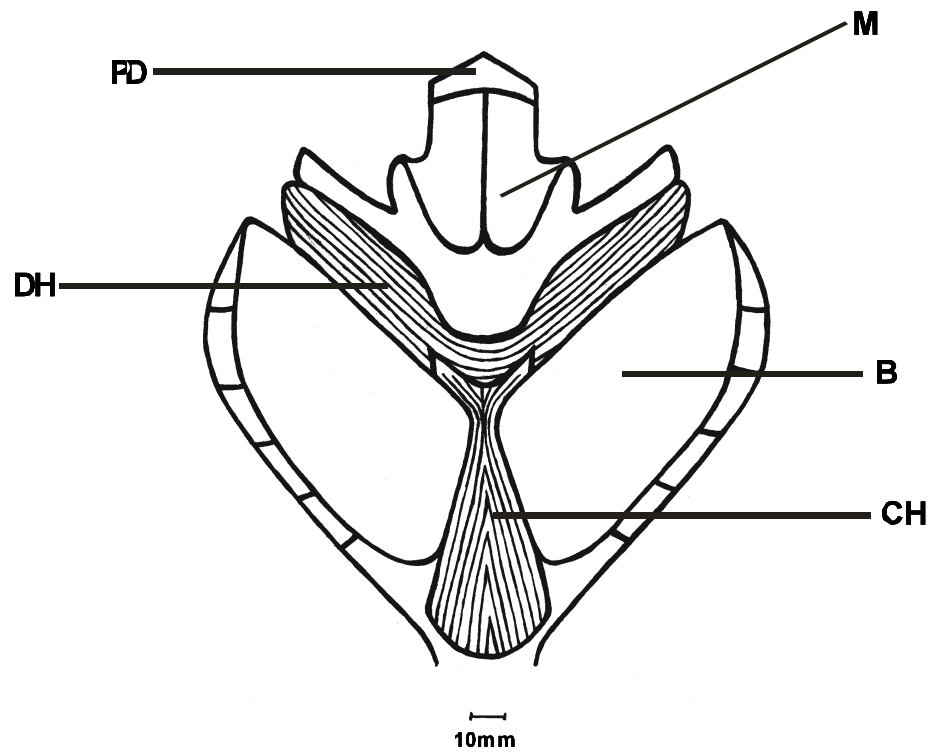


Figura 6. *Aetobatus narinari* Nivel 4. B, región branquial; CH, coracohioideo; DH, depresor hiomandibular; M, cartílago de Meckel; PD, placa dental.

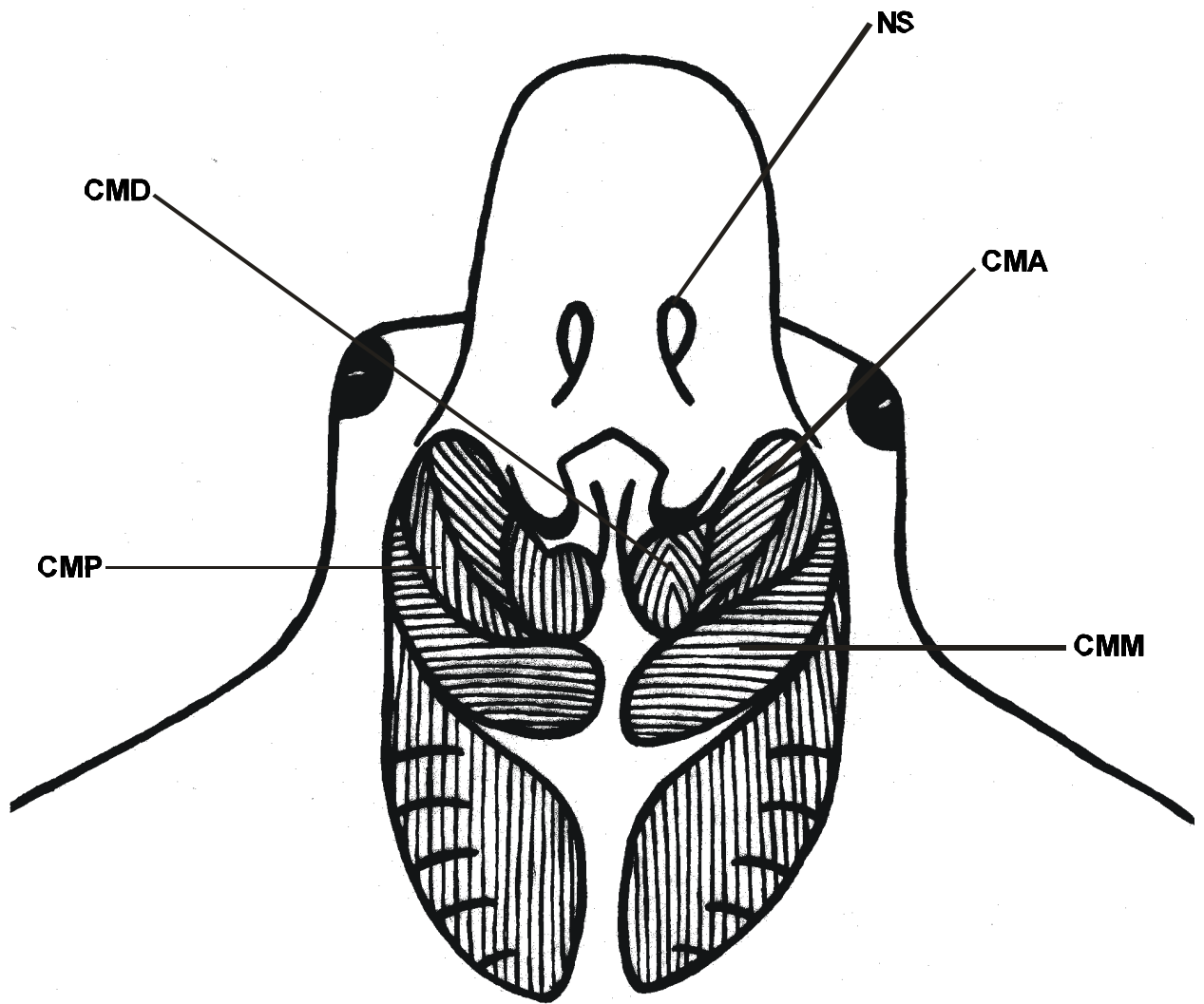


Figura 7. Vista ventral de *A. narinari* en etapa juvenil. CMA, cuadratomandibularis anterior; CMD, cuadratomandibularis profundo; CMM, cuadratomandibularis mayor; CMP, cuadratomandibularis posterior; NS, nostrilios.

Arquitectura Muscular

| Músculo | W | FL | V | PCS | I |
|---------|-------|------|-------|-------|-------|
| DM | 16.29 | 3.90 | 17.20 | 4.41 | 0.661 |
| CM | 8.22 | 5.82 | 8.68 | 1.49 | 0.352 |
| CME | 3.36 | 2.22 | 3.54 | 1.59 | 0.684 |
| POM | 1.89 | 1.57 | 1.99 | 1.26 | 0.796 |
| CMA | 2.31 | 2.22 | 2.44 | 1.09 | 0.601 |
| CMP | 5.28 | 2.10 | 5.57 | 2.65 | 0.843 |
| CMD | 4.88 | 1.78 | 5.15 | 2.89 | 0.969 |
| CMM | 55.42 | 2.09 | 58.54 | 28.00 | 1.857 |

Tabla 1. Valores promedio del peso (w), la longitud de los fascículos (FL), Volumen (V), área fisiológica transversal (PCS) e índice de prioridad de fuerza (I).

En la tabla 1 se observan los valores promedio para los diferentes músculos con los que se realizó el trabajo de arquitectura muscular, mostrando que el valor más alto para el índice de prioridad de fuerza fue para el músculo cuadratomandibularis mayor con 1.857, mientras que el valor más bajo fue de 0.352 para el coracomandibular. En cuanto a los valores del Área Fisiológica Transversal (PCS), el valor más alto fue para el músculo cuadratomandibularis mayor con un 28.00 y el menor fue de 1.09 para el músculo cuadratomandibularis anterior.

DISCUSI

ÓN

Miología

Con base en los resultados obtenidos se observó que la musculatura cefálica dorsal y ventral de *Aetobatus narinari* no difiere considerablemente con respecto a la de otros batoideos, debido a que se mantiene el patrón morfológico general descrito para este grupo. Algo interesante que se observó fue que en la etapa juvenil de *A. narinari* el músculo

cuadromandibularis mayor no ha alcanzado el

Arquitectura Muscular

| Músculo | W | FL | V | PCS | I |
|---------|-------|------|-------|-------|-------|
| DM | 16.29 | 3.90 | 17.20 | 4.41 | 0.661 |
| CM | 8.22 | 5.82 | 8.68 | 1.49 | 0.352 |
| CME | 3.36 | 2.22 | 3.54 | 1.59 | 0.684 |
| POM | 1.89 | 1.57 | 1.99 | 1.26 | 0.796 |
| CMA | 2.31 | 2.22 | 2.44 | 1.09 | 0.601 |
| CMP | 5.28 | 2.10 | 5.57 | 2.65 | 0.843 |
| CMD | 4.88 | 1.78 | 5.15 | 2.89 | 0.969 |
| CMM | 55.42 | 2.09 | 58.54 | 28.00 | 1.857 |

Tabla 1. Valores promedio del peso (w), la longitud de los fascículos (FL), Volumen (V), área fisiológica transversal (PCS) e índice de prioridad de fuerza (I).

En la tabla 1 se observan los valores promedio para los diferentes músculos con los que se realizó el trabajo de arquitectura muscular, mostrando que el valor más alto para el índice de prioridad de fuerza fue para el músculo cuadratomandibularis mayor con 1.857, mientras que el valor más bajo fue de 0.352 para el coracomandibular. En cuanto a los valores del Área Fisiológica Transversal (PCS), el valor más alto fue para el músculo cuadratomandibularis mayor con un 28.00 y el menor fue de 1.09 para el músculo cuadratomandibularis anterior.

DISCUSIÓN

Miología

Con base en los resultados obtenidos se observó que la musculatura cefálica dorsal y ventral de *Aetobatus narinari* no difiere considerablemente con respecto a la de otros batoideos, debido a que se mantiene el patrón morfológico general descrito para este grupo. Algo interesante que se observó fue que en la etapa juvenil de *A. narinari* el músculo cuadratomandibularis mayor no ha alcanzado el

grado de desarrollo que se observó en los adultos (Fig. 4), ya que en esta etapa de su vida no hay una fusión en la línea media (Fig. 7).

En el caso de la musculatura cefálica dorsal se observa que presenta los mismos músculos reportados para otros batoideos a excepción del músculo cucularis el cual está ausente en esta especie tal como lo reporta González-Isáis (2003) para *A. narinari* y *Mobula*.

En cuanto a los músculos de la región cefálica ventral de *A. narinari*, es posible observar un mayor grado de desarrollo, en comparación con los músculos reportados para otros batoideos (Nishida, 1990; Miyake et al, 1992; González-Isáis, 2003). El músculo depresor mandibular abarca la mayor parte de la superficie cefálica ventral, en comparación con lo reportado por González-Isáis (2003) para *Gymnura*, *Myliobatis*, *Rhinoptera* y *Mobula* y por Nishida (1990) para *Urolophus maculatus* y *Aptychotrema vincentiana*, en donde este músculo se encuentra menos desarrollado.

El músculo coracomandibular mostró variación en cuanto a su tamaño; en *Aetobatus narinari* éste músculo se origina en la cintura pectoral, mientras que en otras especies tales como *M. munkiana*, *G. marmorata*, *G. micrura* (González-Isáis 2003), *U. maculatus* y *A. vincentiana* (Nishida, 1990), no es tan largo ya que en estas especies se inserta a la altura de la tercera hendidura branquial sin tocar la cintura pectoral.

A diferencia de otros miliobatidos, excepto *Rhinoptera* y *Myliobatis*, el complejo mandibular en *Aetobatus narinari* mostró un alto grado de desarrollo. En *Gymnura*, *Myliobatis*, *Rhinoptera*, *Mobula* (González-Isáis, 2003) y en *R. lentiginosus* (Wilga y Motta, 1998) el complejo mandibular está formado por cinco músculos (cuadromandibularis medialis, preorbitalis medialis, cuadromandibularis anterior, cuadromandibularis posterior y cuadromandibularis profundo) mientras que en *A. narinari* el complejo mandibular está formado por siete músculos: cuadromandibularis medialis, preorbitalis medialis, cuadromandibularisanterior, cuadromandibularis

posterior, cuadratmandibularis profundo, cuadratmandibularis mayor y el músculo "W" (Figs. 3, 4 y 5). Este último músculo no ha sido descrito con anterioridad para ninguna otra especie (De Andrés et al, 1987; Miyake et al, 1992; Nishida, 1990; Gonzalez-Isáis, 2003). Debido a la ubicación que presenta este músculo (origen e inserción) se considera que forma parte del complejo mandibular.

De los músculos del complejo mandibular, el cuadratmandibularis mayor, que fue descrito por Miyake et al. (1992) como aductor mandibular, presentó los valores más altos para peso y volumen (tabla 1). Por otra parte se encontró que existe una clara división entre el músculo cuadratmandibularis anterior y cuadratmandibularis posterior, al no ser un solo músculo como lo reporta González-Isáis (2003); posiblemente se debió a que para su descripción utilizó organismos jóvenes en los cuales no se observa la división de este músculo. El músculo depresor hiomandibular se observó bien desarrollado a diferencia de lo descrito por González-Isáis (2003), donde se encuentra reducido tanto para *A. narinari* y *M. longirostris*. Por otra parte, las fibras de este músculo, en *A. narinari* presentan una disposición paralela, en contraste con las otras especies (*G. micrura*, *G. marmorata*) en las que se observa un arreglo en forma de penacho.

Arquitectura muscular

Dentro de los músculos del complejo mandibular, el músculo cuadratmandibularis mayor fue el que presentó los valores más altos tanto para índice de prioridad de fuerza como para el área fisiológica transversal (PCS). Existe una relación directa entre estos dos valores ya que al aumentar el área fisiológica transversal (PCS) también se incrementa el valor del índice de prioridad de fuerza (Tabla 1), lo cual corresponde a lo reportado por Van Eijden et al., (1997) entre mayor sea el PCS, el índice de prioridad de fuerza tendrá valores más altos.

Con respecto a los músculos restantes del complejo mandibular, los valores para el índice de prioridad de fuerza variaron entre 0.68 para el músculo cuadratomandibularis medialis, hasta 0.96 para el músculo cuadratomandibularis profundo (Tabla 1), mientras que en el PCS los valores fluctuaron entre 1.59 y 2.89 para los músculos antes señalados. Estos valores fueron mayores que los registrados para los músculos que abren las mandíbulas. Por lo que es posible inferir que los músculos que cierran la mandíbula ejercen una mayor fuerza.

En el caso de los músculos que abren la mandíbula, el músculo depresor mandibular tuvo el segundo valor más alto en cuanto al área fisiológica transversal (PCS), lo que no se observó para el índice de prioridad de fuerza, ya que las fibras de este músculo son más largas. Van Eijden et al., (1997) reportan que la fuerza que ejercen estos tipos de músculos es relativamente baja pero su velocidad de acortamiento es mucho mayor. Algo similar se observó para el músculo coracomandibular que fue el que presentó el valor más alto para la longitud de fibras obteniendo el índice de prioridad de fuerza más bajo.

Wilga y Motta (1998), señalan que para *Rhinobatos lentiginosus* el músculo coracomandibular es el primero en activarse durante la depresión de la mandíbula inferior seguido por los músculos depresor hiomandibular y depresor mandibular. En el caso de *Aetobatus narinari*, se lleva a cabo el mismo mecanismo, sin embargo, en esta especie el músculo coracomandibular muestra un mayor desarrollo en cuanto a la longitud de las fibras, mientras que el músculo depresor mandibular presenta un volumen mayor. Este músculo es considerablemente delgado, sin embargo sus fibras son más largas y están dispuestas en forma de penacho. En el caso del músculo depresor hiomandibular aunque no presenta el arreglo en forma de penacho, este músculo se encuentra sumamente adherido a la parte dorsal del cartílago de Meckel, aunado a esto, su tamaño le permite ejercer una mayor fuerza en comparación de *R. lentiginosus*.

La función principal del complejo mandibular es la de elevar la mandíbula inferior, adicionalmente junto con el músculo elevador del palatocadrado participan en la protusión de la mandíbula superior. Este último músculo está muy desarrollado, y de acuerdo con Wilga y Motta (1998) durante el mecanismo de alimentación, este músculo se encarga de la retracción de la mandíbula superior.

De acuerdo con Wilga y Motta (1998) los músculos que juegan un papel fundamental en la manipulación del alimento son: el músculo coracomandibular, depresor mandibular, depresor hiomandibular, elevador hiomandibular, elevador del palatocadrado y el complejo mandibular; como ya se señaló estos músculos se encuentran muy desarrollados, lo cual no es de extrañarse ya que la manipulación del alimento es un mecanismo determinante en el tipo de alimentación de esta especie. Asimismo, se puede afirmar que el alto grado de desarrollo del complejo mandibular, particularmente del músculo cuadratomandibularis mayor así como el músculo coracomandibular están relacionados con los hábitos alimenticios de esta especie, ya que su dieta se basa en moluscos de conchas duras y crustáceos (Bigelow y Schroeder, 1953; Last y Stevens, 1994), de ahí la necesidad de tener una musculatura más desarrollada para aplicar la fuerza suficiente para romper y triturar las conchas de su alimento.

CONCLUSIONES

- El patrón general de la musculatura cefálica dorsal no mostró variación con respecto a otros batoideos, a excepción del músculo cucularis el cual no se encontró en esta especie.
- La musculatura cefálica ventral mostró en general un mayor grado de desarrollo en comparación con la de otros batoideos.
- La musculatura cefálica de *A. narinari* mostró cierta variación en cuanto a forma y tamaño en organismos de diferentes etapas de desarrollo.
- El complejo mandibular presentó un mayor número de músculos, siendo uno de ellos el cuadratomandibularis.
- Se describió por primera vez el músculo W, el cual forma parte del complejo mandibular.
- El músculo cuadratomandibularis mayor fue el que obtuvo los valores más altos, tanto para el índice de prioridad de fuerza como para el área fisiológica transversal.
- Los músculos aductores de *A. narinari* aplican menos fuerza que los abductores pero su velocidad de acortamiento es mayor, mientras que los músculos abductores son los que mayor fuerza aplican en toda la mandíbula pero sus movimientos son más lentos debido a su baja velocidad de acortamiento.
- Debido al tipo de alimentación de esta especie presentó un alto grado de desarrollo en el complejo mandibular.

APÉNDICE 1

Valores obtenidos para cada músculo de peso (W), longitud (FL), volumen (V), área fisiológica transversal (PCS) e índice de prioridad de fuerza (I).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 1 | 0.4 | 2.371 | 0.422 | 0.177 | 0.314 |
| 9925 | 0.83 | 4.694 | 0.876 | 0.186 | 0.203 |
| OEO80 | 7.81 | 8.599 | 8.250 | 0.959 | 0.234 |
| 9927 | 2.04 | 6.001 | 2.155 | 0.359 | 0.215 |
| Alvarado | 30.02 | 8.945 | 31.713 | 3.545 | 0.353 |

Valores obtenidos para el músculo coracomandibular (CM).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|------|-------|--------|-------|-------|
| 9925 | 0.81 | 1.84 | 0.855 | 0.464 | 0.515 |
| OEO80 | 8.92 | 4.067 | 9.423 | 2.316 | 0.519 |
| 9927 | 2.96 | 2.803 | 3.126 | 1.115 | 0.521 |
| Alvarado | 52.5 | 6.913 | 55.461 | 8.022 | 0.551 |

Valores obtenidos para el músculo depresor mandibular (DM).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|
| OEO80 | 1.34 | 1.547 | 1.415 | 0.914 | 0.725 |
| 9925 | 0.17 | 0.616 | 0.179 | 0.290 | 0.913 |
| 9927 | 0.44 | 0.814 | 0.464 | 0.570 | 0.951 |
| Alvarado | 7.55 | 3.305 | 7.975 | 2.413 | 0.604 |

Valores obtenidos para el músculo preorbitalis medialis (POM).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| OEO80 | 2.63 | 2.4 | 2.778 | 1.157 | 0.585 |
| 9925 | 0.2 | 1.574 | 0.211 | 0.134 | 0.378 |
| 9927 | 0.96 | 1.047 | 1.014 | 0.968 | 0.959 |
| Alvarado | 11.04 | 3.886 | 11.662 | 3.001 | 0.583 |

Valores obtenidos para el músculo cuadratomandibularis medialis (CME).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|------|-------|--------|-------|-------|
| 9925 | 0.23 | 1.072 | 0.242 | 0.225 | 0.579 |
| OEO80 | 1.6 | 3.294 | 1.690 | 0.513 | 0.361 |
| 9925 | 0.35 | 1.115 | 0.369 | 0.330 | 0.641 |
| 9927 | 1.24 | 1.689 | 1.309 | 0.775 | 0.647 |
| Alvarado | 9.8 | 3.971 | 10.352 | 2.606 | 0.548 |

Valores obtenidos para el músculo cuadratomandibularis anterior (CMA).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|------|-------|--------|-------|-------|
| 9925 | 0.85 | 1.081 | 0.897 | 0.829 | 0.891 |
| OEO80 | 5.27 | 2.468 | 5.567 | 2.255 | 0.717 |
| 9925 | 0.58 | 1.143 | 0.612 | 0.535 | 0.742 |
| 9927 | 1.25 | 1.280 | 1.320 | 1.031 | 0.856 |
| Alvarado | 22.2 | 4.561 | 23.452 | 5.141 | 0.627 |

Valores obtenidos para el músculo cuadratomandibularis posterior (CMP).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 9925 | 0.67 | 0.853 | 0.707 | 0.828 | 1.043 |
| OEO80 | 5.4 | 2.081 | 5.704 | 2.740 | 0.858 |
| 9925 | 0.63 | 0.955 | 0.665 | 0.696 | 0.913 |
| 9927 | 2.05 | 1.332 | 2.165 | 1.625 | 0.970 |
| Alvarado | 18.86 | 3.708 | 19.923 | 5.372 | 0.730 |

Valores obtenidos para el músculo cuadratomandibularis profundo (CMD).

| Organismo | W | FL | V | PCS | I |
|-----------|-------|-------|---------|--------|-------|
| 9925 | 6.62 | 1.529 | 6.993 | 4.573 | 1.250 |
| OEO80 | 51 | 2.363 | 53.876 | 22.799 | 1.598 |
| 9927 | 15.8 | 1.356 | 16.691 | 12.308 | 1.884 |
| Alvarado | 240.8 | 3.142 | 254.381 | 80.961 | 2.016 |

Valores obtenidos para el músculo cuadratomandibularis mayor (CMM).

APÉNDICE 2

Medidas morfométricas de los organismos (cm).

| Organismo | AD | LD | LT |
|-----------|-------|------|-------|
| 1 | 35.5 | 23.8 | 71.2 |
| 9925 | 39.5 | 26.0 | 119.2 |
| 9927 | 86.0 | 43.1 | 167.5 |
| OEO80 | 136.0 | 86.0 | - |
| Alvarado | 140.0 | 97.0 | - |

Anchura de disco (AD), longitud de disco (LD) y longitud total (LT).

BIBLIOGRAFÍA

Bigelow, H. B. y Schroeder. 1953. Fishes of Western North Atlantic, Part 2. Sawfishes, guitarfishes, skates, rays, chimaeroids. Mem. Sears Foun. Mar. Res. 588 p.

Castro-Aguirre J. L. y H. P. Espinosa. 1996. Catálogo sistemático de las rayas y especies afines de México (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes= Batoidomorfa). Instituto de Biología UNAM.

Compagno, L. J. V. 1973. Interrelationships of living elasmobranchs. Pages 15-61 in P. H. Greenwood, R. S. Miles, y C. Patterson, eds. Interrelationships of fishes. Academic Press.

Compagno, L. J. V. 1977. Phyletic relationships of living sharks and rays. Amer. Zool., 17:303-322.

De Andrés, Av., García, G. J. M. y R. Muñoz-Chápuli. 1987. Ventral musculature in elasmobranchs: some functional and phylogenetic implications. Fifth Congress of European Ichthyologists Proceedings Stockholm.

Dean, M. N. y P. J. Motta. 2004. Anatomy and Functional Morphology of the Feeding Apparatus of the Lesser Electric Ray, *Narcine brasiliensis* (Elasmobranchii: Batoidea). Journal of Morphology, 262: 462-483.

González-Isáis, M. 2003. Anatomical Comparison of the Cephalic Musculature of Some Members of the Superfamily Myliobatoidea (Chondrichthyes): implications for evolutionary understanding. Anatomical record, 271A: 259-272.

González-Isáis, M. y M. H. Montes. 2004. Comparative Anatomy of the Superfamily Myliobatoidea (Chondrichthyes) with some Comments of Phylogeny. *Journal of Morphology*, 262: 517-535.

Last, P. R., y J. D. Stevens. 1994. *Sharks and rays of Australia*. CSIRO, Australia.
Ledoux, W. R., Hirsch B. E., Church, T. y M. Caunin. 2001. Pennation angles of the intrinsic muscles of the foot. *Journal of Biomedicine*. 34: 399-403.

McEachran, J. D. y G. N. Di-Sciara. 1995. Peces Batoideos. En: Guía Fao para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vol. LI Vertebrados-Parte I. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

McEachran, J. D., Miyake, T. y K. a. Dunn. 1996. Interrelationships of the batoid fishes (Chondrichthyes: Batoidea). En: Stiassny M. L. J., Parenti, L. R. y G. D. Jonson, eds. *Interrelationships of fishes*. Academia Press.

Miyake, T. y J. D. McEachran. 1991. The morphology and evolution of the ventral gill arch skeleton in batoid fishes (Chondrichthyes: Batoideo). *Zool. J. Linn. Soc.*, 102:75-100.

Miyake, T., McEachran, J. D. y B. K. Hall. 1992. Edgeworth's legacy of cranial muscle development with an analysis of muscles in the ventral gill arch of batoid fishes (Chondrichthyes: Batoidea). *J. Morphology*, 212:213-256.

Montes, D. H. M. y M. González-Isáis. 2007. Contribution to the knowledge of anatomy of species of genus *Mobula* Rafinesque 1810 (Chondrichthyes: Mobulinae). *Anatomical Record* 290: 920-931.

Murphy, R. A. y A. C. Beardsly. 1974. Mechanical properties of the cat soleus muscle in situ. *Journal of Physiology*. 227 (5): 1008-1013.

Nelson, J. S. 1994. *Fishes of the World*. 3^a ed. John Wiley & Sons. USA 600 p.

Nishida, K. 1990. Phylogeny of the Suborden Myliobatoidei. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 1-108.

Tricas, T. C., Deacon, K., Last, P., McCosker, J. E., Walter, I. y L. Taylor. 1998. *Tiburones y rayas*. Omega, Barcelona.

Van Eijden, T. M. G. J., Korjage, J. A. M. y P. Brugman. 1997. Architecture of the human jaw- closing and jaw-opening muscles. *Anatomical Record*. 284: 464-474.

Wilga, D. C. y J. P. Motta. 1998. Feeding Mechanism of the Atlantic Guitarfish *Rhinobatos lentiginosus*: Modulation of Kinematic and Motor Activity. *Journal of Experimental Biology*. 201: 3167-3184.

Woittez, R. D., Heerkens, Y. F., Huijng P. A., Rijnsburger, W. H. y R. H. Ruzendal. 1986. Functional Morphology of the Muscle gastrocnemius medialis of the Rat During Growth. *Journal of Morphology*. 187: 247-258.