



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

IZTACALA

ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LA
MUSCULATURA CRANEAL Y CEREBRO DE
DIPLOBATIS OMMATA (ELASMOBRANCHII:
NARCINIDAE)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G A
P R E S E N T A:
RAQUEL LÓPEZ BÁRCENAS

DIRECTOR DE TESIS:

M en C. HÉCTOR MARCOS MONTES
DOMÍNGUEZ



LOS REYES IZTACALA AGOSTO 2011



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.

DEDICATORIAS:

A mi madre Martha Bárcenas Rubio por todo su apoyo, amor, paciencia y por ser el mejor ejemplo de lucha y dedicación en mi vida. Gracias por ser siempre mi mejor amiga y consejera. Te amo.

A mis abuelos Enrique Bárcenas † y Victoria Rubio † por cuidarme, educarme y por ser los ángeles que aun están conmigo. Gracias a estos tres pilares de mi vida soy lo que soy.

A Eduardo Reyes Duarte, por estar a mi lado apoyándome, echándome porras y por la paciencia que siempre me has tenido, gracias porque por no dejarme caer y nunca soltar mi mano, espero seguir creciendo a tu lado.

Agradecimientos:

Para mis directores M. en C. Héctor Montes y Dra. Moni González, por ayudarme con este proyecto, por aceptarme con ustedes en el laboratorio y por brindarme todo su apoyo, paciencia y amistad durante todo el tiempo que he permanecido con ustedes.

A mi querida profesora M. en C. Alba Márquez porque gracias a usted, terminé en el laboratorio de anatomía y por enseñarme lo bellos que son los peces. Por brindarme su apoyo, su casa y su amistad para la elaboración de este proyecto, gracias!!!

Para mis asesores Dr. Jaime Barral y M. en C. Mario Gárdenas por dedicarme un espacio en su vida para revisar mi tesis y por el aporte tan importante que dieron a ella.

Gracias infinitas a mi querida Universidad y a los profesores que forman parte de ella, por formarme como profesionista.

Al maestro Antonio Reyes Cortés, mi querido suegro, por darme sus consejos y su apoyo para la elaboración y término de esta tesis. Gracias por creer en mí.

Toño Reyes y Miriam Ruiz, gracias por su cariño y su apoyo incondicional.

A todos los amigos y compañeros que conocí a lo largo de mi estancia en la UNAM, porque a su lado aprendí, jugué, reí, lloré y crecí como persona. Siempre serán un recuerdo muy grato en mi vida y tendrán un lugar especial en mi corazón.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCION	3
ANTECEDENTES	9
OBJETIVOS.....	12
GENERAL:	12
PARTICULARES:.....	12
MATERIALES Y METODOS	13
SITIO DE COLECTA.....	15
CLASIFICACIÓN	16
DESCRIPCIÓN.....	16
DISTRIBUCIÓN.....	17
RESULTADOS	18
DESCRIPCIONES DE MUSCULATURA	18
DESCRIPCIÓN DEL ENCÉFALO.....	28
PARES CRANEALES.....	36
DISCUSIÓN.....	39
MUSCULATURA	39
SISTEMA NERVIOSO.....	42
CONCLUSIONES	45
LITERATURA CITADA	47

RESUMEN

Los narcínidos son peces cartilaginosos pertenecientes al orden de los Torpediniformes conocidos como rayas eléctricas, poseen aletas pectorales redondeadas y una boca protráctil, así como, órganos eléctricos a cada lado de la cabeza, que es su característica más distintiva. El propósito de este estudio es describir la anatomía de los sistemas nervioso y muscular. Los organismos pertenecientes a la especie *D. ommata*, fueron colectados en Zihuatanejo Gro., se realizaron disecciones, dibujos y un registro fotográfico de los cerebros, músculos y de la trayectoria de los nervios craneales, elaborando las descripciones correspondientes. Los resultados muestran que *D. ommata*, a pesar de mostrar una musculatura craneal conservativa, tiene algunas diferencias típicas de los Torpediniformes. Se observa que una de las estructuras más grandes son los bulbos olfatorios, seguidos por la médula oblongada, el telencéfalo, cerebelo, vesículas eléctricas, mesencéfalo y por último el diencéfalo que es la estructura más pequeña con respecto a la longitud patrón. Los pares craneales VII, IX y X, además de inervar otras regiones, inervan también de manera significativa a los órganos eléctricos. De acuerdo a lo observado, en musculatura y sistema nervioso se puede mencionar que *D. ommata* es una especie bentónica, con un comportamiento poco complejo, ya que las modificaciones y forma de sus músculos y sistema nervioso son similares a las observaciones realizadas en otras especies con hábitats similares.

INTRODUCCION

Los mares son medios tridimensionales que varían desde las aguas someras, cálidas y bañadas por el sol de los arrecifes tropicales, hasta las casi heladas de las fosas abisales. Suspendidos en este mundo extraño viven los peces, el grupo de cordados que más éxito ha tenido en toda la historia de la tierra. Algunas estimaciones realizadas, sitúan en más de 25.000 el número de sus especies vivas y muchas de ellas cuentan con un abundante registro fósil que nos permite rastrear su evolución (Tricas, et.al. 1998).

Los elasmobranquios comprenden aproximadamente 950 especies que viven en los sistemas marinos y de agua epicontinental (Last y Stevens, 1994), contrariamente al esqueleto de los peces óseos, el de los elasmobranquios se compone principalmente de cartílago, un material de soporte ligero y flexible. Estrechamente relacionados con los tiburones, se encuentran los batoideos, que están representados por casi 600 especies, agrupadas en 18 familias (Tricas *et al.*, 1998). Aproximadamente la mitad de estas especies pertenecen a la familia Rajidae, aunque es probable que este número aumente debido a la pesca comercial y exploratoria de aguas profundas. Además, como los trabajos de revisión taxonómica hasta ahora se han limitado a pocas áreas geográficas, y en especial a la familia Rajidae es de esperar que la taxonomía y nomenclatura de estos peces batoideos sufra ciertos cambios en el futuro (McEachran y Notarbartolo, 1995).

Los registros de batoideos para la zona del Pacífico centro-oriental, comprenden 11 familias, 20 géneros y 42 especies. Pocas de estas, son en la actualidad objeto de pesquerías dirigidas, pero muchas forman parte de la fauna de acompañamiento en la captura de otras pesquerías, y algunas son suficientemente abundantes para ser explotadas por pequeñas pesquerías artesanales (McEachran y Notarbartolo, 1995).

Los batoideos se encuentran en casi todos los hábitats marinos y también son comunes en estuarios, ríos y lagos de agua dulce. La mayoría de ellos se alimentan de invertebrados, pequeños peces y plancton. En general, su forma es aplanada dorsoventralmente, sus aletas pectorales están unidas a la parte posterior del cráneo y se ensanchan en gran medida para formar un disco corporal (Tricas, et.al. 1998).

Algunos batoideos, como los peces guitarra y torpedos, tienen las aletas dorsal y caudal bien desarrolladas y una cola poderosa. Mientras que otros, como las pastinacas, las águilas marinas o las mantas, tienen una cola muy reducida. El tamaño de estos peces varía desde las pequeñas pastinacas del género *Urolophus*, que a veces no supera los 25cm, hasta los 6m de envergadura de las mantarrayas que nadan en los océanos abiertos. Se desplazan ya sea por movimientos ondulantes de la región caudal (p.ej. Pristidae, Rhinobatidae, Torpedinidae y Narcinidae), por ondulaciones de la zona posterior de las aletas pectorales (Rajidae y Dasyatidae), o por movimientos verticales de “aleteo” de las aletas pectorales (Gymnuridae, Myliobatidae, Rhinopteridae y Mobulidae). La fecundación de los huevos es siempre interna, por introducción de los órganos masculinos en la cloaca de la hembra, la familia Rajidae es ovípara y las demás familias son vivíparas aplacentadas (McEachran y Notarbartolo, 1995).

Los narcínidos son peces cartilaginosos pertenecientes al orden de los Torpediniformes conocidos como rayas eléctricas, el nombre de la familia proviene del griego *narke* que significa parálisis, son peces con aletas pectorales redondeadas, una cola larga y fuerte y la boca protráctil, estas especies poseen órganos eléctricos a cada lado de la cabeza con los que generan descargas eléctricas para su defensa.

El estilo de vida se refleja en la organización del sistema nervioso central, el estudio de los cerebros puede dar valiosa información en la biología de cualquier grupo de organismos. Las relaciones entre, el tamaño del cerebro y el desarrollo de las partes principales del cerebro, y un rango de variables ecológicas han sido bien estudiadas en peces. Los cerebros grandes se correlacionan con factores como la complejidad del hábitat, la función locomotora y un estilo de vida como depredador activo. El tamaño relativo de las áreas sensoriales del cerebro, que reflejan especializaciones sensoriales y la importancia de una modalidad sensorial dada, tienden a estar estrechamente relacionados con la alimentación. El desarrollo de las áreas de integración, como el telencéfalo y el cerebelo, han sido relacionadas con las diferencias en el microhábitat (Lisney y Collin, 2006).

El cerebro de los elasmobranquios tiene considerables variaciones en el tamaño relativo, y en el desarrollo de muchas regiones del cerebelo (Northcutt, 1989). En general de todas las partes del cerebro, el telencéfalo y el cerebelo exhiben la mayor variación en tamaño y forma, mientras que el romboencéfalo parece ser la estructura más conservadora entre los condriictios (Csilla, 2008). La función del telencéfalo en peces no está bien comprendida, aunque ésta área del cerebro es grande en peces que viven en ambientes más complejos. El telencéfalo también parece ser importante para el aprendizaje espacial, la memoria y la ejecución de tareas sociales complejas (Lisney y Collin, 2006). Las áreas de la región anterior están involucradas en procesos sensoriales y comportamientos complejos adicionales, como interacciones sociales, cortejo y reproducción. La organización de la médula espinal y nervios craneales es relativamente conservadora, como en todas la radiaciones de los vertebrados; la variación de estas estructuras está más relacionada con el hábitat (Csilla, 2008).

El telencéfalo en condriictios, como en otros vertebrados, consiste de dos hemisferios cerebrales pareados, incluidos los bulbos olfatorios y la invaginación posterior del telencéfalo medio o impar. Los bulbos olfatorios en muchos vertebrados son evaginaciones secundarias de los hemisferios cerebrales.

En elasmobranquios, estos surgen lateralmente y poseen pedúnculos olfatorios distintivos. El pallium lateral y la porción ventrolateral del pallium dorsal son los objetivos primarios de los tractos olfatorios secundarios (Northcutt, 1989). En general estos bulbos olfatorios son estructuras bien desarrolladas pero varían considerablemente en forma de a cuerdo a cada especie (Csilla, 2008).

El diencefalo como en otros vertebrados, consiste de tres divisiones: epitálamo, tálamo e hipotálamo. El epitálamo está formado por el órgano pineal y el núcleo habenular. Este último, exhibe pequeñas variaciones entre las diferentes especies. El tálamo en condictios, es la división más compleja del diencefalo; está dividido en tres grandes divisiones, el tálamo dorsal, tálamo ventral y el tubérculo posterior. El tálamo dorsal recibe las señales retinales, torales y tectales y las proyecta al telencefalo, al cerebelo y al tectum óptico. El tálamo ventral recibe señales retinales, cerebelares y tectales y las proyecta de regreso al tectum óptico y probablemente a la parte media del tegmento. El tubérculo posterior es una extensión de la región caudal del diencefalo y parece tener numerosas interconexiones con la base ventrolateral del telencefalo. El hipotálamo consiste de un área rostral preóptica, un área central tuberal que incluye los lóbulos inferiores y de un hipotálamo posterior (Northcutt, 1989).

El cerebelo de los elasmobranquios es relativamente grande, comparado con el de otros vertebrados, el cuerpo cerebelar varía considerablemente en la forma externa y tamaño entre las especies de condictios. Dos partes pueden ser distinguidas en el cerebelo de los condictios: un cuerpo cerebelar medio impar, que forma la base del telencefalo, y aurículas bilaterales (o lóbulos auriculares) que se pueden encontrar ventrolateralmente de la parte caudal del cuerpo cerebelar. El lóbulo de la línea lateral está situado en la región posterior del cerebelo, esta organización interna del cuerpo cerebelar en condictios es muy similar con la de otros gnatostomados. Las aurículas están compuestas por tres regiones, las hojas inferiores y superiores y el borde inferior, se diferencian en su organización interna y sus conexiones.

El cerebelo de los peces cartilagosos hoy en día, es significativamente grande y contiene mucho más neuronas que las quimeras, y está mucho más desarrollado que la mayoría de los anfibios y reptiles (Csilla, 2008).

Dentro del grupo de los batoideos, los más primitivos (rajiformes y torpediniformes) tienen un cerebelo escasamente foliado, en comparación con los batoideos más avanzados, como los miliobatiformes que poseen un cerebelo muy foliado y asimétrico, similar a los carcarínidos y esfírnidos. La hipertrofia y desarrollo del cerebelo puede estar ligado con el desarrollo de la electrorecepción, principalmente con la electrolocalización (Csilla, 2008).

Como en todos los peces, el mesencéfalo de los elasmobranquios es grande cubierto por el tectum. Como en el telencéfalo es evidentemente un centro asociativo e integrativo, casi todas las fibras ópticas se decusan en el piso del mesencéfalo antes de elevarse a la parte final del tectum donde, por analogía con otros grupos de peces, hay por lo menos un mapa retinotópico del campo visual manifestado por capas de neuronas ordenadas y con un patrón. Algunas neuronas tectales envían axones eferentes a la retina. La base tegmental del mesencéfalo (fusionada con el romboencéfalo) contiene las largas neuronas multipolares del sistema reticular (Hoffmann, 1999).

El romboencéfalo es el centro de origen y terminación de todos los nervios craneales, excepto de los pares I, II y III. En peces cartilagosos, el romboencéfalo contiene una formación reticular bastante desarrollada y un número de centros de enlace y sus conexiones ascendentes y descendentes. El núcleo del romboencéfalo es generalmente, un núcleo motor somático, un núcleo branquiomotor, núcleo motor visceral, núcleo de formación reticular, núcleo sensorial visceral, núcleo general somático sensorial y un núcleo acústico lateral. La médula espinal de todos los condriictios se fusiona rostralmente con el romboencéfalo y termina en la aleta caudal rodeada por tejido linfático. Puede ser considerada como una serie de segmentos, esencialmente idénticos en organización, que coinciden con las divisiones segmentarias de la musculatura del cuerpo (Csilla, 2008).

En cuanto a la musculatura, cabe mencionar que los músculos son importantes para los organismos, ya que les proporcionan la fuerza para el movimiento y junto con el sistema esquelético, son los motores y palancas que hacen que un animal actúe (Kardong, 1999). En los elasmobranquios, los movimientos musculares voluntarios sirven principalmente para elevar y bajar la boca, mover los ojos, abrir y cerrar las hendiduras branquiales, mover las aletas y producir movimientos laterales del cuerpo que faciliten la locomoción en el agua (Orr, 1978).

La musculatura branquial comienza por delante del arco mandibular y sus elementos musculares se acomodan en serie en cada uno de los arcos viscerales (Ziswiler, 1978). La musculatura branquial e hipobranquial de los arcos branquiales ventrales, sirve de adductor y abductor de los arcos viscerales para abrir la mandíbula inferior y ayuda en el movimiento de la cintura pectoral (Wiley, 1979). La musculatura ventral de la región craneal está involucrada con los movimientos de los arcos mandibular e hiomandibular (Lovejoy, 1996). En cuanto a los músculos craneales, y de la región branquial en batoideos y miliobátidos se menciona que son más complejos que en cualquiera de los demás elasmobranquios, mostrando una significativa variación en la región ventral (González, 2003).

ANTECEDENTES

- ◆ Nishida (1990). Menciona que existen un sin fin de discusiones acerca de la clasificación de los miliobatoideos debido a que existen pocos estudios, que proveen o aportan la descripción de algún carácter. Así mismo en su estudio brinda una descripción del esqueleto y de los caracteres miológicos en detalle, como una base para estimar las relaciones filogenéticas de este suborden; además propone una nueva clasificación. Referente a la familia Narcinidae, hace la descripción y diagrama del neurocráneo de *Diplobatis* y de *Narcine*.

- ◆ De Andrés et. al. (1987), describen la musculatura ventral de 32 especies de algunos elasmobranquios, entre estas especies describe la musculatura cefálica ventral de *Torpedo marmorata*.

- ◆ Miyake, et. al. (1992), hacen una descripción de la musculatura ventral de varias especies de batoideos, entre ellas, *Narcine*, *Discopyge*, *Benthobatis* y *Diplobatis*.

- ◆ McEachran, et. al. (1996), afirman que los músculos de la cabeza y del esqueleto branquial de los batoideos, son más complejos que los de otros elasmobranquios y muestran una considerable variación.

- ◆ Motta y Wilga (1995), describen la musculatura de la mandíbula del tiburón limón (*Negaprion brevirostris*) por medio de tomografías, disecciones e histología.

- ◆ González (2003), elaboró una descripción de la musculatura dorsal y ventral de diferentes miliobatoideos y menciona que la musculatura dorsal no muestra muchas diferencias en las especies, sin embargo, la musculatura ventral es más variable. En general esto se relaciona con los hábitos alimenticios de cada especie.

-
- ◆ Dean y Motta (2004), realizaron un estudio sobre la morfología funcional y anatómica de la boca de *Narcine brasiliensis* describiendo el funcionamiento y forma de la mandíbula, así como de los mecanismos de protracción mandibular. Este trabajo fue realizado por medio de preparaciones anatómicas, radiografías, fluoroscopia así como imágenes CT (scanner 3D). También dan una breve descripción de musculatura craneal, dorsal y ventral.

 - ◆ Fechhelm y Mc. Eahran (1984), consideran que *Diplobatis ommata* es una especie que se encuentra en las costas del Pacífico mexicano y América central, y es considerada idéntica a *Diplobatis pictus* en cuanto a anatomía de esqueleto, distinguiéndose por el patrón de coloración que posee *D. ommata* en su parte dorsal. Se redefine el género y las especies de *Diplobatis*, además de describir tres subespecies. Finalmente, después de comparar los cuatro géneros concluyen que son desde un punto de vista anatómico muy conservadores.

 - ◆ Da Silva et. al. (2005), elaboraron un trabajo relacionando los nervios y musculatura mandibular de *Carcharias taurus*, dando una descripción de la musculatura mandibular y los nervios que inervan a estos músculos. Este trabajo es uno de los más importantes, ya que relaciona tanto músculos como nervios, tema que se aborda en este trabajo de tesis.

 - ◆ Northcutt (1977), menciona que los elasmobranquios poseen cerebros grandes en comparación con algunas aves y con mamíferos, y que poseen aproximadamente el mismo rango de variación en el tamaño del cerebro como en otras clases de vertebrados mayores. Además da una descripción detallada de las diferentes regiones del encéfalo, así como las diferencias entre cada especie.

-
- ◆ Lisney, *et. al.* (2007), realizaron un estudio acerca de las variaciones en la organización del cerebro y la foliación cerebelar en batoideos. En él mencionan que los factores ecológicos juegan un rol importante en la definición de los patrones de la organización cerebral y que esto se evidencia por los tipos de cerebros en batoideos.

 - ◆ Yopak y Montgomery (2008), proporcionan evidencia de la variación del cerebro en condictios de aguas profundas mostrando que los patrones adaptativos están por arriba de los patrones filogenéticos. Examinaron 22 especies de tiburones de aguas profundas y holocéfalos, relacionando su filogenia y ecología.

JUSTIFICACIÓN

El grupo de los torpediniformes es considerado evolutivamente como un grupo basal, ya que comparte características tanto con tiburones como con batoideos modernos. Los torpedos se caracterizan por tener órganos eléctricos por lo que presentan modificaciones tanto en sistema nervioso como en la inervación de los pares craneales en la musculatura. Es por ello que el propósito de este estudio es describir la anatomía de los sistemas nervioso y muscular de *Diplobatis ommata* y obtener caracteres que nos permitan comprender mejor las relaciones que guardan estos organismos con otros grupos de elasmobranquios. Adicionalmente, este estudio servirá como base para futuros estudios de anatomía comparada y filogenia.

OBJETIVOS

GENERAL:

Realizar la descripción de la musculatura craneal y del cerebro de *Diplobatis ommata*.

PARTICULARES:

- Describir el cerebro de *Diplobatis ommata*.
- Describir los músculos craneales de *D. ommata*
- Describir la trayectoria de los pares craneales de la especie.

MATERIALES Y METODOS

TRABAJO EN CAMPO: Se colectaron un total de 14 organismos pertenecientes a la especie *D. ommata*, en las costas de Zihuatanejo, Guerrero, para lo cual se utilizó un arpón llamado hawaiiana, esto con el apoyo de la sociedad cooperativa de buzos "Vicente Guerrero". A los organismos obtenidos se les tomaron las medidas morfométricas (Fig. 1) y fueron identificados con las claves de McEachran y Notarbartolo 1995. Se fijó la región cefálica con formol salino, hecho esto se preservaron con formaldehído al 4%, y fueron trasladados al laboratorio.

TRABAJO EN LABORATORIO: Se seleccionaron 10 organismos adultos, y se sumergieron en agua para eliminar el exceso de formol. Para describir la musculatura craneal, los organismos fueron disectados por la técnica convencional. Las descripciones fueron realizadas por observación directa, de cada músculo se observó el origen e inserción, la forma, disposición y dirección de las fibras, con la ayuda de un microscopio estereoscópico marca Leica EZ4. La nomenclatura de los músculos cefálicos puede ser presentada de dos maneras, la primera, con base a su localización en el esqueleto; y la segunda está relacionada con su función, la terminología utilizada es una combinación de las nomenclaturas ya mencionadas, debido a que el presente estudio se basó en la terminología empleada por: Dean y Motta (2004). En cuanto a la descripción del cerebro, se llevó a cabo una remoción parcial del neurocráneo, esqueleto hiobranquial y columna vertebral para exponer el cerebro y los nervios craneales. Al mismo tiempo se tomaron medidas de las principales estructuras del cerebro como son: telencéfalo, diencefalo, mesencefalo, cerebelo y médula oblonga (fig. 2), así como de la longitud patrón del encéfalo con el fin de determinar el porcentaje de cada una de las estructuras con respecto a la longitud patrón. Posteriormente, se realizaron dibujos de acuerdo a los diferentes niveles de disección, tomándose un registro fotográfico con una cámara digital Panasonic y con la cámara integrada del microscopio estereoscópico marca Leica EZ4, de los cerebros, músculos y de la trayectoria de los nervios craneales, desarrollándose las descripciones correspondientes.

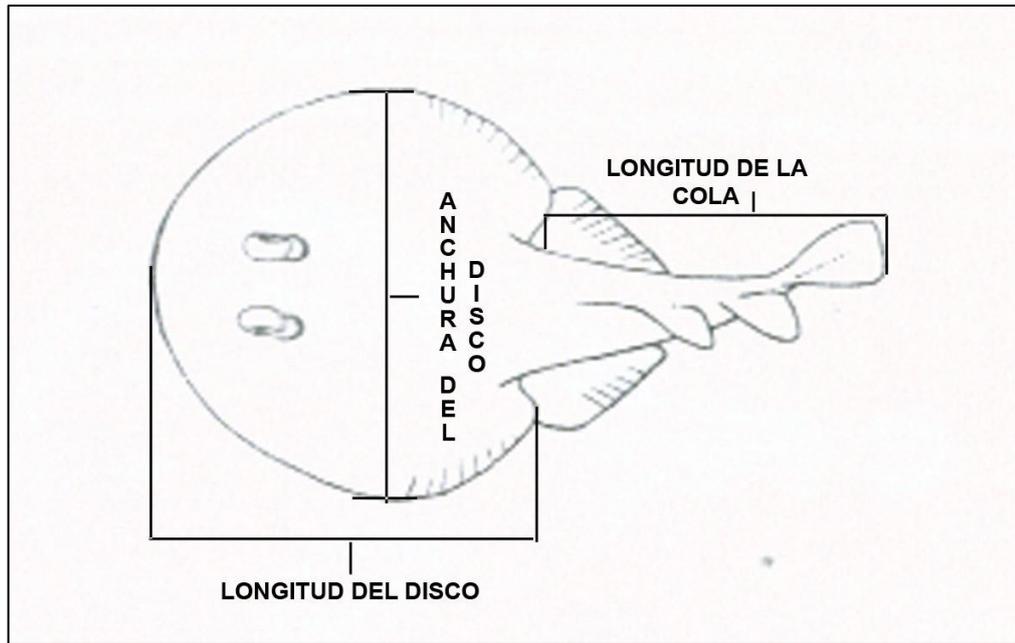


Figura 1. Medidas morfométricas de *D. ommata*

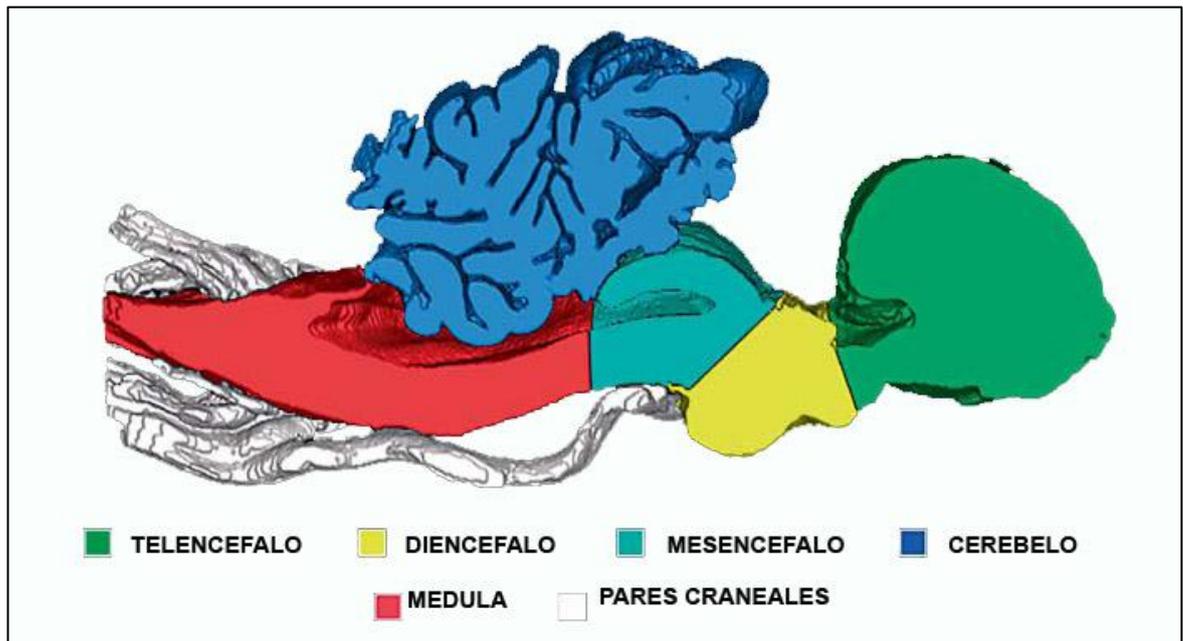


Figura 2. Estructuras principales del encéfalo y su longitud. (tomada de: Yopak y Frank, 2009).

SITIO DE COLECTA

El Estado de Guerrero, está situado en el sur de la República Mexicana, se localiza en la zona tropical, entre los 16° 18' y 18° 48' latitud norte y los 98° 03' y 102° 12' de latitud oeste. Limita al norte con los estados de México, Morelos, Puebla y Michoacán; al sur con el océano Pacífico; al este con Puebla y Oaxaca; y al oeste con Michoacán y el océano Pacífico.

El municipio de Zihuatanejo de Azueta, está localizado al suroeste del estado de Guerrero, entre los 17° 33' y 18° 05' latitud norte y entre los 101° 15' y 101° 44' longitud oeste. Ocupa una superficie territorial de 1921.5 km². Este municipio forma parte de la región hidrológica de la Costa Grande, donde la principal cuenca es el río Ixtapa y una pequeña porción del río Coyuquilla. El tipo de clima que predomina es Cálido Subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual varía, en la parte sur van de los 26-28°C, en la parte central de 22-26°C, y en la parte norte de los 18-22°C. La precipitación promedio de lluvias es en promedio de 1200mm.

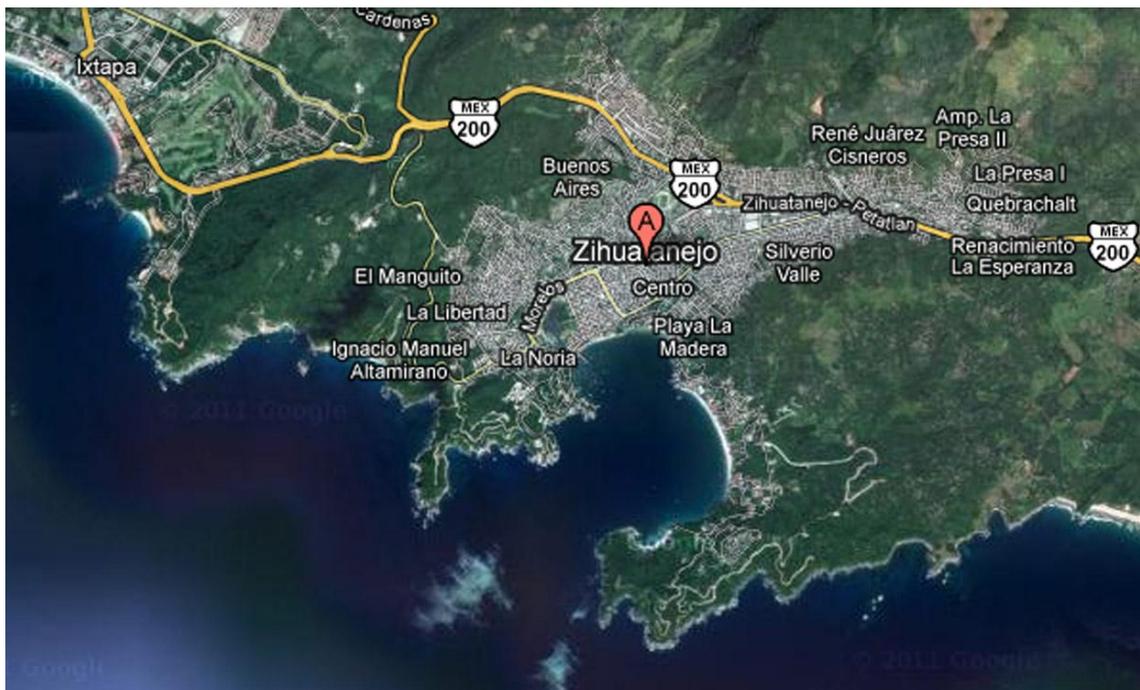


Figura 3. Mapa de Zihuatanejo Guerrero (tomada de: www.googlemaps.com)

CLASIFICACIÓN

según Mc.Eachran et.al. 2004

Phyllum Chordata

Subphyllum Vertebrata

Clase Chondrichthyes

Subclase Neoselachii

Cohorte Squalea

Superorden Batoidea

Orden Torpediniformes

Suborden Narcinoidei

Familia Narcinidae

Género Diplobatis

Especie: Diplobatis ommata



Figura 4. Diplobatis ommata

DESCRIPCIÓN

Diplobatis ommata (Jordan & Gilbert, 1890)

Nombres comunes: Raya-eléctrica ocelada, Raya eléctrica diana ó Torpedo

Descripción: Disco redondeado; órgano eléctrico grande al lado de cada ojo; dos aletas dorsales de tamaños similares; puntas de las aletas dorsales y la caudal redondeados; margen anterior de las pélvicas cubierto por las aletas pectorales; abertura nasal de cada lado dividida en dos secciones separadas; dientes completamente ocultos cuando están con la boca cerrada. Su coloración es generalmente café con muchas barras transversales difusas formadas con manchas como de leopardo, también con un ocelo grande "ojo de buey" en el centro del disco, la región ventral es blanquecina. El tamaño es de aproximadamente 25 cm de largo total en organismos adultos. Y se encuentran en profundidades que varían de unos cuantos metros hasta los 94 m. Son vivíparos aplacentados y los neonatos se asemejan a los adultos.

Alimentación: Invertebrados de la endofauna bentónica, tales como poliquetos, así como pequeños peces asociados al fondo.

Hábitat: Son organismos exclusivamente marinos, bentónicos.

Según: (McEachran y Notarbartolo, 1995) y (www.fishbase.org)

DISTRIBUCIÓN

Estos organismos se encuentran desde Baja California sur y los $\frac{3}{4}$ inferiores del Golfo de Baja California, hasta la región norte de Perú.



Figura 5. Mapa de distribución de *D. ommata* (www.fishbase.org)

RESULTADOS

DESCRIPCIONES DE MUSCULATURA

Vista dorsal primer nivel:

Elevador Rostral: Se distinguen dos paquetes musculares. El primero se origina sobre la parte anterolateral del epiaxial y corre por debajo del segundo paquete muscular hasta insertarse por medio de un tendón en el cartílago anterorbitario. El segundo paquete se origina en la región dorsal de las cápsulas óticas, las fibras se dirigen lateralmente hasta insertarse en la región anterior del borde interno de los órganos eléctricos (figs. 4 y 5).

Epiaxial: Una parte se origina en la región posterior de las cápsulas óticas y la otra parte se origina en la región branquial. Las fibras corren longitudinalmente pasando por debajo del cartílago escapulacoracoides de la cintura pectoral, este músculo continua hasta la región caudal del organismo (figs. 4 y 5).

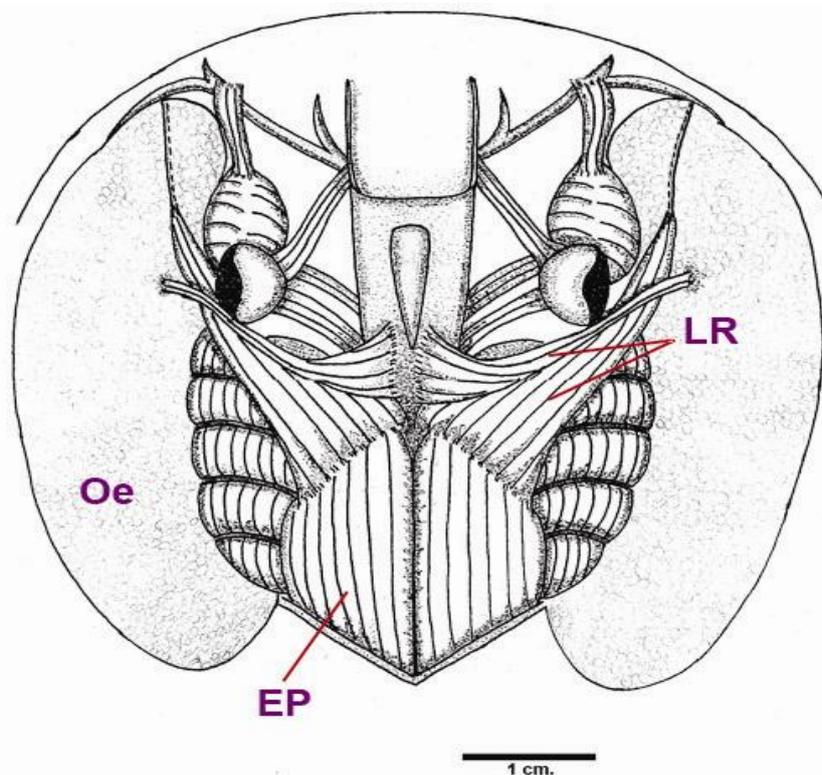


Figura 6. Vista dorsal de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 1. EP, epiaxial; LR, elevador rostral; Oe, órgano eléctrico.

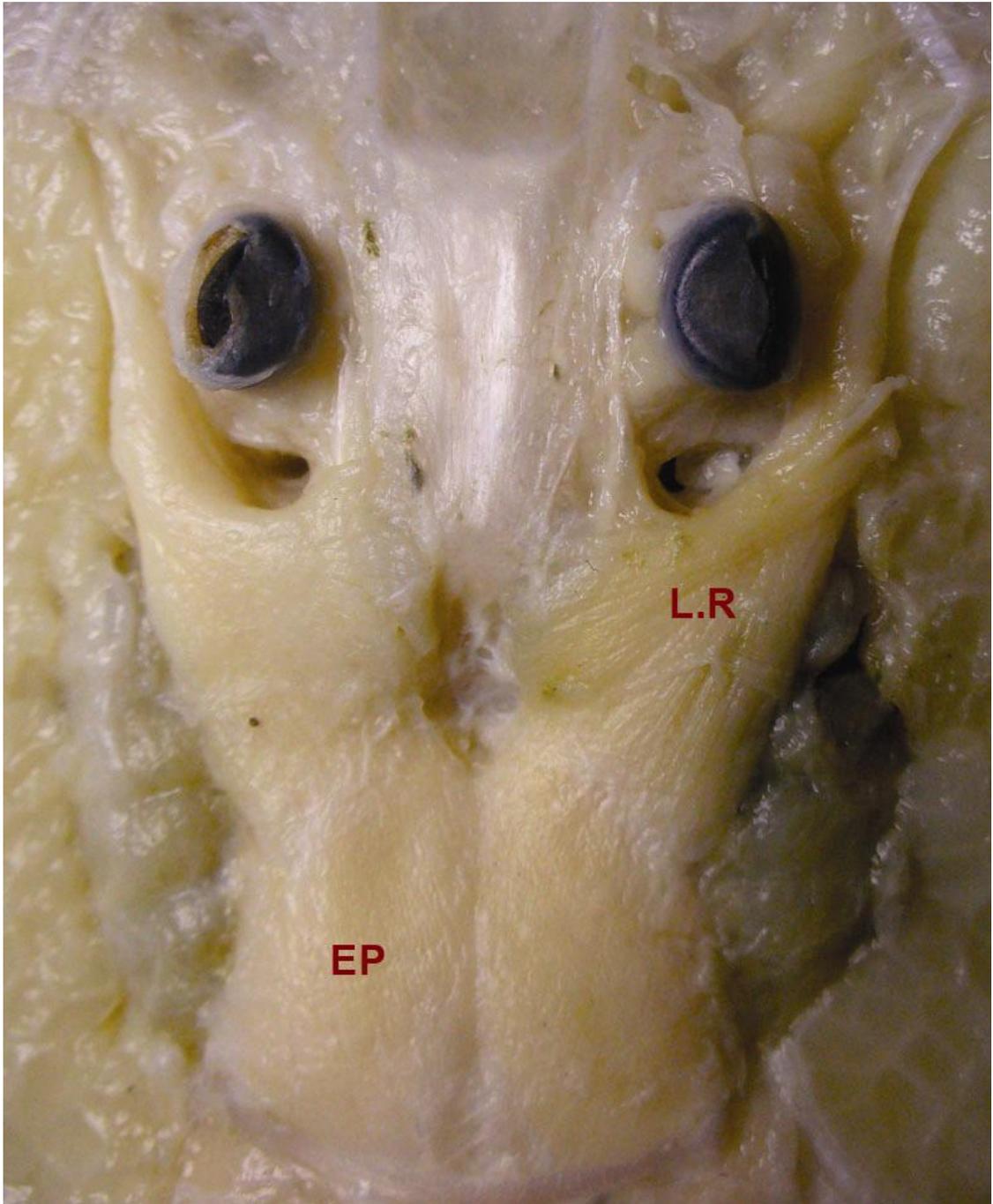


Figura 7. Vista dorsal de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 1. EP, epiaxial; LR, elevador rostral.

Vista dorsal segundo nivel:

Elevador Hiomandibular: Se origina en la región dorsolateral de las cápsulas óticas, se dirige anterolateralmente, cubriendo la mitad del cartílago hiomandibular, insertándose en la parte dorsal de la hiomandíbula. (figs. 6 y 7)

Elevador Palatocuadrado: Se origina sobre la superficie dorsal de las cápsulas óticas, se dirige anteroventralmente hasta insertarse en la superficie dorsal del cartílago palatocuadrado (figs. 6 y 7).

Espiracular: Forma el margen anterior de la abertura espiracular, se origina sobre la superficie lateral de las cápsulas óticas y corre lateralmente, hasta insertarse en la región anterior interna de la hiomandíbula (figs. 6 y 7).

Preorbital Lateral: Se origina del cartílago anterorbital y corre caudomedialmente, se inserta sobre la parte anterior del músculo Cuadratmandibularis (figs. 6 y 7).

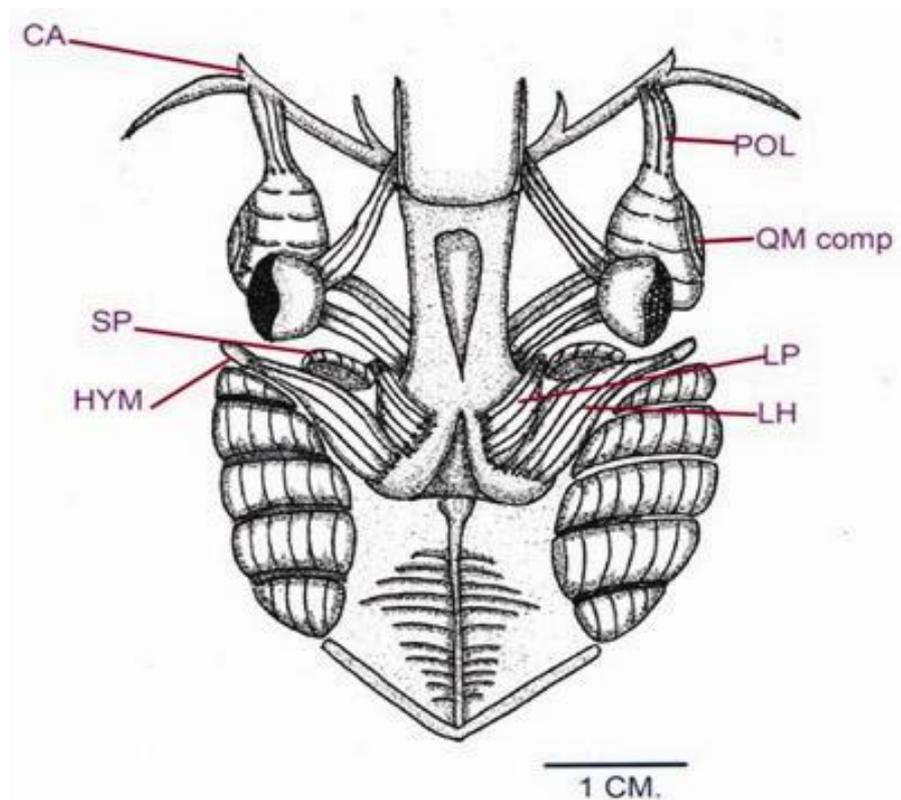


Figura 8. Vista dorsal de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 2. CA cartílago anterorbital; SP, espiracular; HYM, cartílago hiomandibular; POL, preorbital lateral; QM comp, complejo cuadratmandibular; LP, elevador del palatocuadrado; LH, elevador hiomandibular.

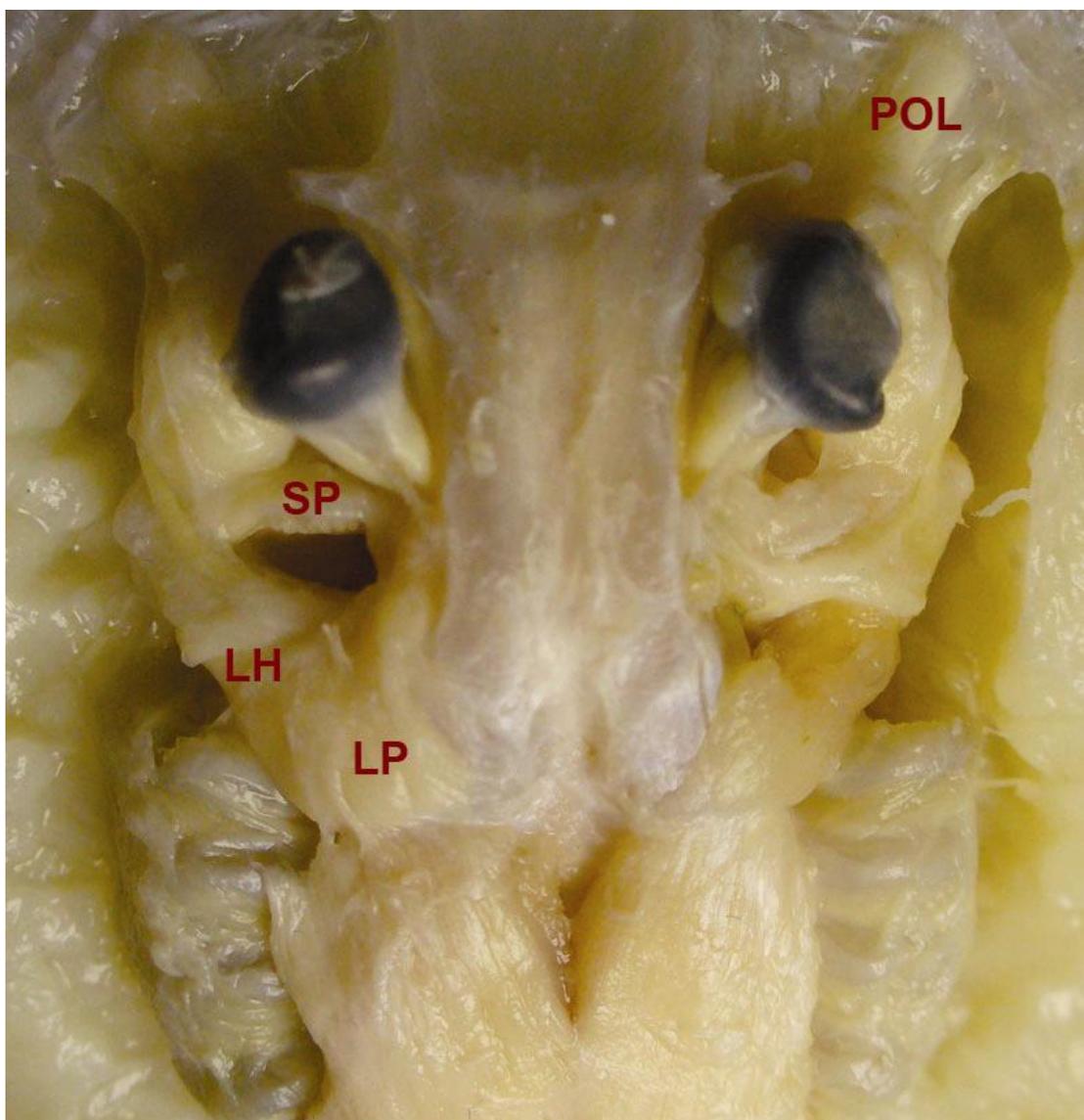


Figura 9. Vista dorsal de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 2. LH, elevador hiomandibular; LP, elevador del palatocadrado; SP, espiracular; POL, preorbital lateral.

Vista ventral primer nivel:

Depresor Rostral: Se origina de la línea media sobre el rafe hipobranquial. Sus fibras corren anterolateralmente formando 2 paquetes musculares. El paquete posterior, es un músculo par cuyos antímeros se unen en la línea media, algunas fibras corren anterolateralmente y se insertan en los músculos constrictores branquiales superficiales; otras fibras corren rostralmente hasta unirse con las fibras del segundo paquete muscular. Este último está ubicado rostromedialmente, sus fibras son continuas y corren anterolateralmente insertándose mediante un tendón en la superficie ventral del cartílago anterorbital (figs. 8 y 9).

Coracoarcual: Es un músculo par que se origina en la cintura pectoral, sus fibras corren diagonalmente hacia la línea media y se insertan sobre el rafe hipobranquial superficial, cubriendo una parte del origen del músculo coracomandibular (figs. 8 y 9).

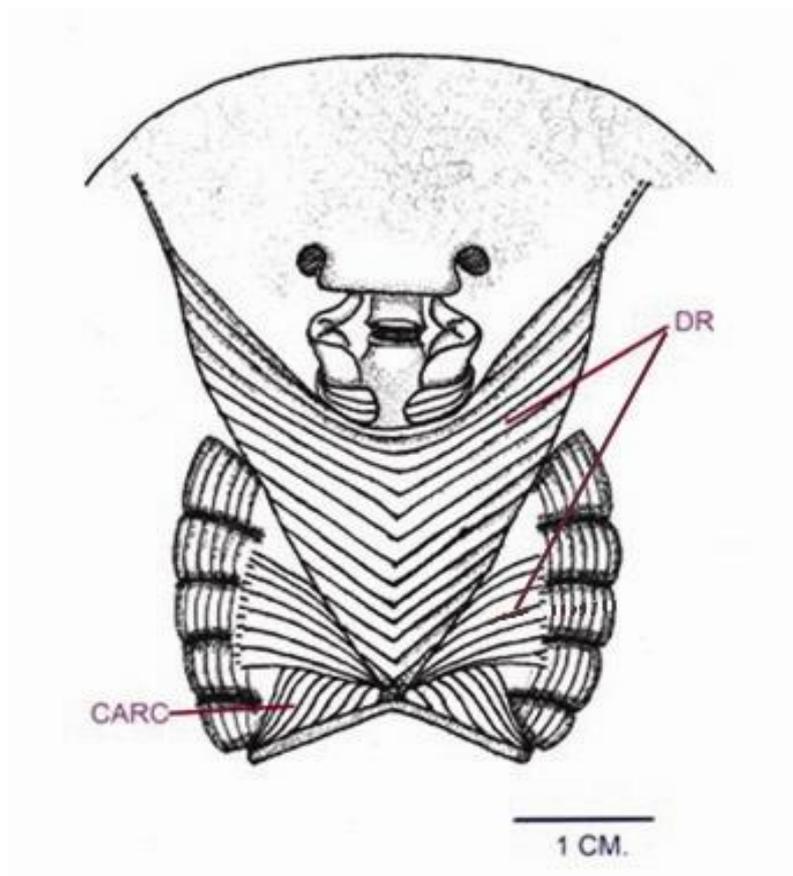


Figura 10. Vista ventral de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 1. DR, depresor rostral; CARC, coracoarcual.

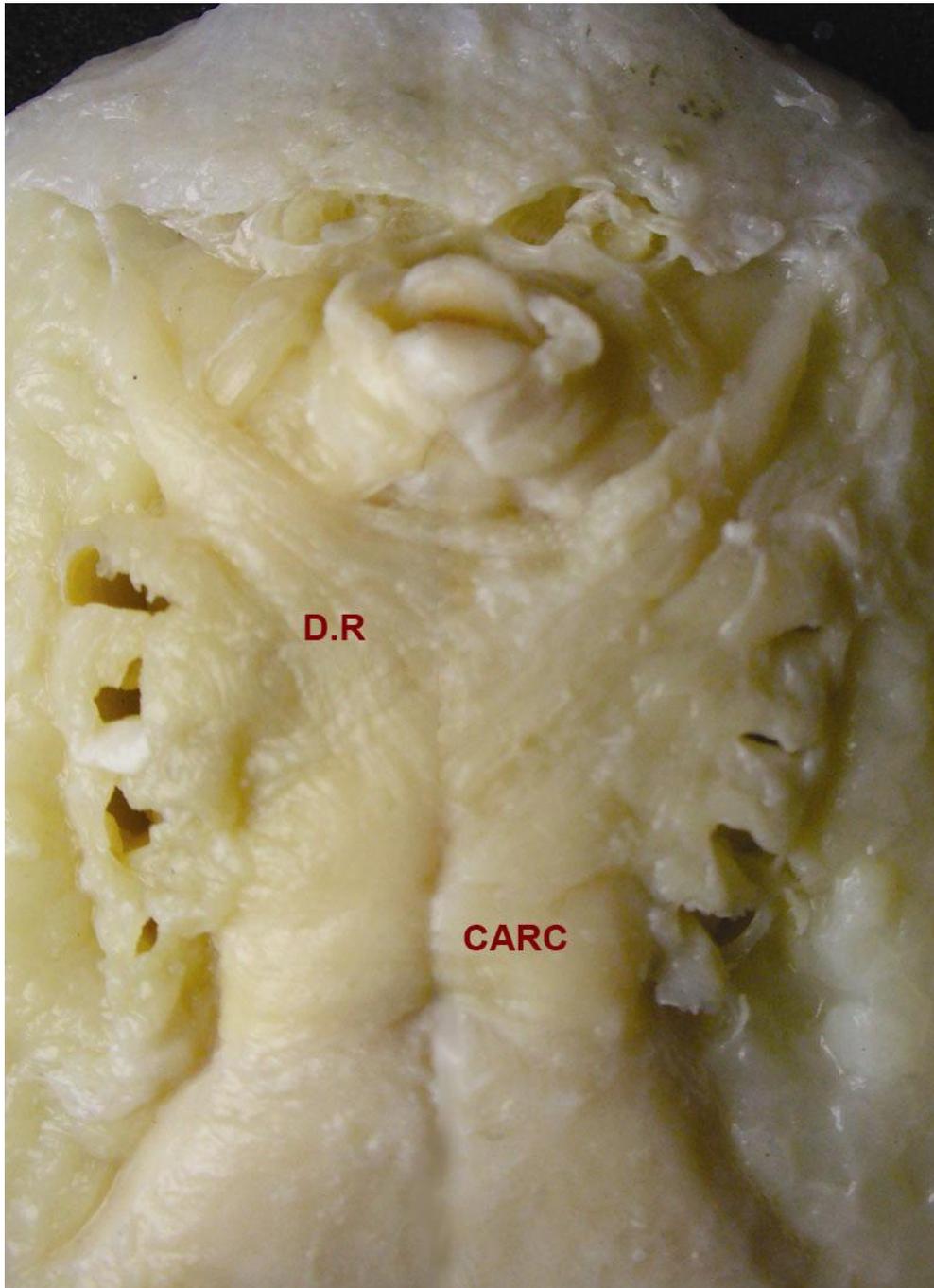


Figura 11. Vista ventral de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 1. DR, depresor rostral; CARC, coracoarcual.

Vista ventral segundo nivel:

Coracomandibular: Es un músculo impar, que se origina en la línea media del rafe hipobranquial, sus fibras se dirigen anteriormente a lo largo del eje medial ventral, y se inserta en el cartílago de Meckel a ambos lados de la región caudal de la sínfisis mandibular (figs. 10 y 11).

Coracohiomandibular: Músculo par que tiene su origen de una inserción rostral del coracoarcual, sus fibras corren paralelas al coracomandibular a lo largo de la región branquial, hasta insertarse en el primer cartílago ceratobranquial (figs. 10 y 11).

Interbranquial: Es un músculo delgado, se origina en el borde lateral del coracomandibular y sus fibras se dirigen diagonalmente hacia la región rostral, hasta insertarse en el borde lateral del músculo constrictor ventral superficial 1.

Depresor Hiomandibular: Orientado transversalmente, tiene su origen en la línea media en donde se fusiona con su antímero, se ubica sobre el coracomandibular y sus fibras corren laterales al músculo "X" hasta insertarse en el cartílago hiomandibular (figs. 10 y 11).

Constrictores Hioideos Ventrales: Se originan sobre el borde lateral del coracomandibular y otras fibras por debajo de este. Se dirige lateralmente hasta insertarse sobre la superficie anterior del constrictor ventral superficial 1 (figs. 10 y 11).

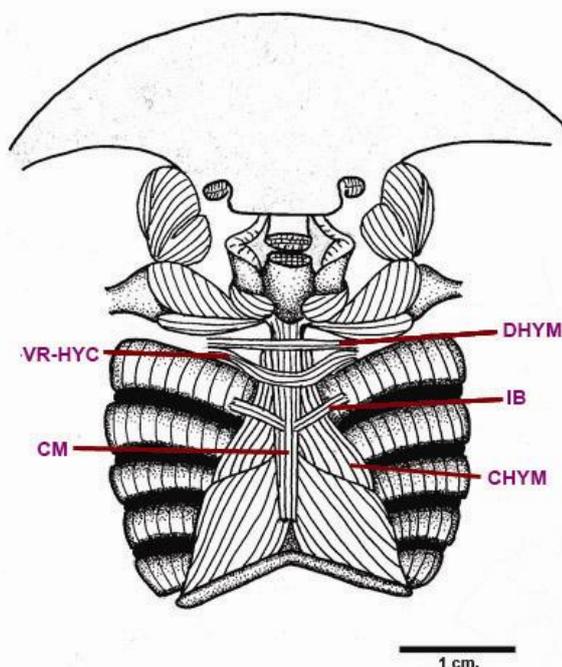


Figura 12. Vista ventral de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 2. DHYM, depresor hiomandibular; VR-HYC, constrictores hioideos ventrales; IB, interbranquial; CM, coracomandibular; CHYM, coracohiomandibular

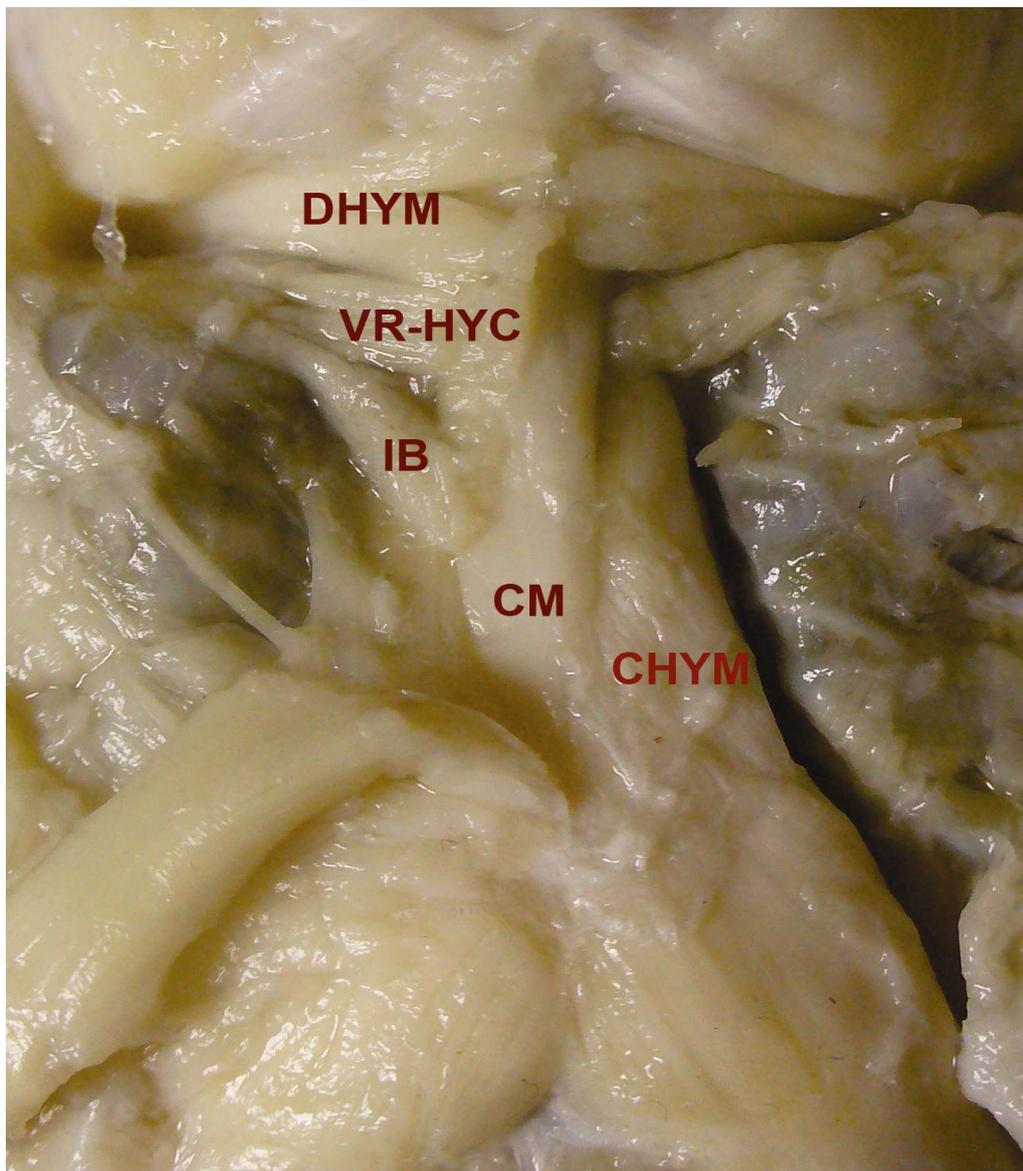


Figura 13. Vista ventral de la musculatura cefálica de *D. ommata* nivel 2. DHYM, depresor hiomandibular; VR-HYC, constrictores hioideos ventrales; IB, interbranquial; CM, coracomandibular; CHYM, Coracohiomandibular.

Complejo mandibular

Complejo Cuadromandibular Anterior/Posterior: Está formado por tres paquetes musculares. El más interno tiene un origen tendinoso y se encuentra sobre la superficie dorsal del cartílago palatocadrado, sus fibras están orientadas diagonalmente y se insertan en la superficie ventral del cartílago de Meckel. El segundo paquete (medial) es más amplio, unas fibras tienen un origen tendinoso y se ubican en la superficie dorsal del cartílago palatocadrado, otras fibras se originan directamente sobre el sustentáculum mandibular, las fibras corren longitudinalmente hasta insertarse en la región rostrolateral del cartílago de Meckel. El tercer paquete (externo) es el más pequeño y aparenta ser una subdivisión del segundo paquete, sus fibras van en dirección caudal hasta insertarse en la superficie lateral del cartílago de Meckel (figs. 12 y 13).

Depresor Mandibular: Se origina en la concavidad del cartílago de Meckel, sus fibras se dirigen caudalmente, solo una parte pasa por debajo del músculo "X" y se insertan en el borde posterior del cartílago de Meckel (figs. 12 y 13).

Cuadromandibular Medial: Músculo par, digástrico que se origina en la región media del cartílago de Meckel, sus fibras corren lateralmente bordeando la boca, hasta insertarse en la región media del cartílago palatocadrado (figs. 12 y 13).

Músculo "X": Su origen es sobre la superficie rostrolateral del cartílago hiomandibular, sus fibras corren transversalmente sobre el cartílago de Meckel, hasta insertarse mediante un tendón en el margen ventromedial del cartílago de Meckel (figs. 12 y 13).

Cuadromandibular Profundo: Se origina sobre el cartílago palatocadrado, se dirige caudalmente insertándose sobre el cartílago de Meckel a un lado del cuadromandibular medial, otras fibras se originan mediante una aponeurosis y corren diagonalmente insertándose en el cartílago de Meckel (figs. 12 y 13).

Músculo 1: Se origina en el borde rostral del cartílago palatocadrado, sus fibras corren caudalmente hasta insertarse en el borde rostral del cartílago de Meckel (en la unión entre el palatocadrado y el de Meckel). Se ubica junto al cuadromandibular profundo (figs. 12 y 13).

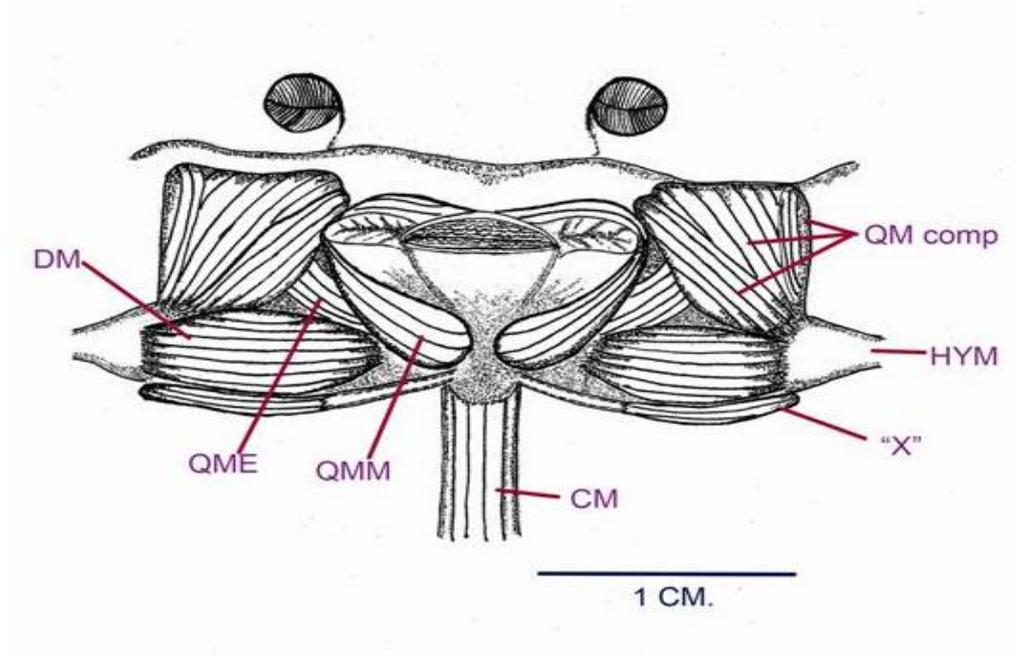


Figura 14. Vista ventral del Complejo mandibular.de *D. ommata* QM comp, complejo cuadrato mandibular; DM, depresor mandibular; QMM, cuadrotomandibular medial; QME, cuadrotomandibular profundo; CM, coracomandibular; HYM, cartilago hiomandibular.

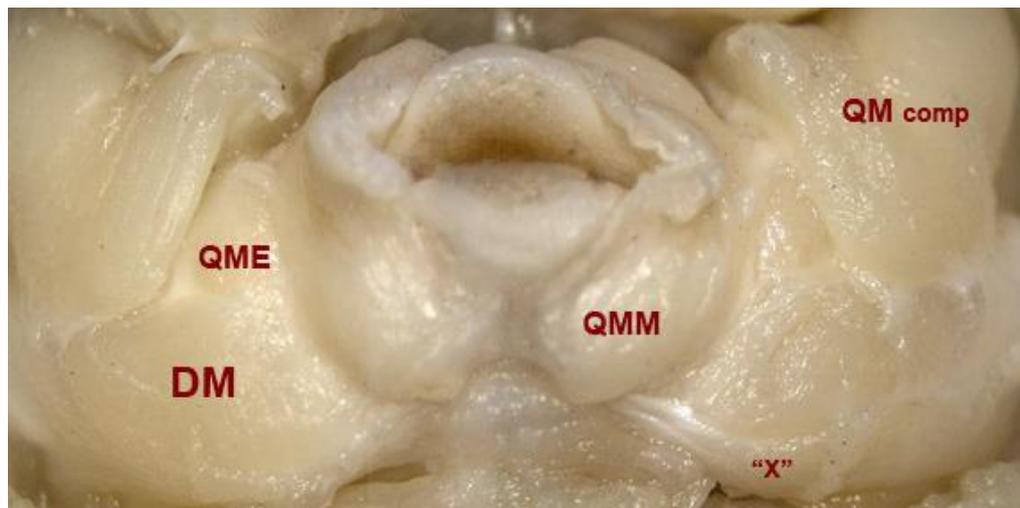


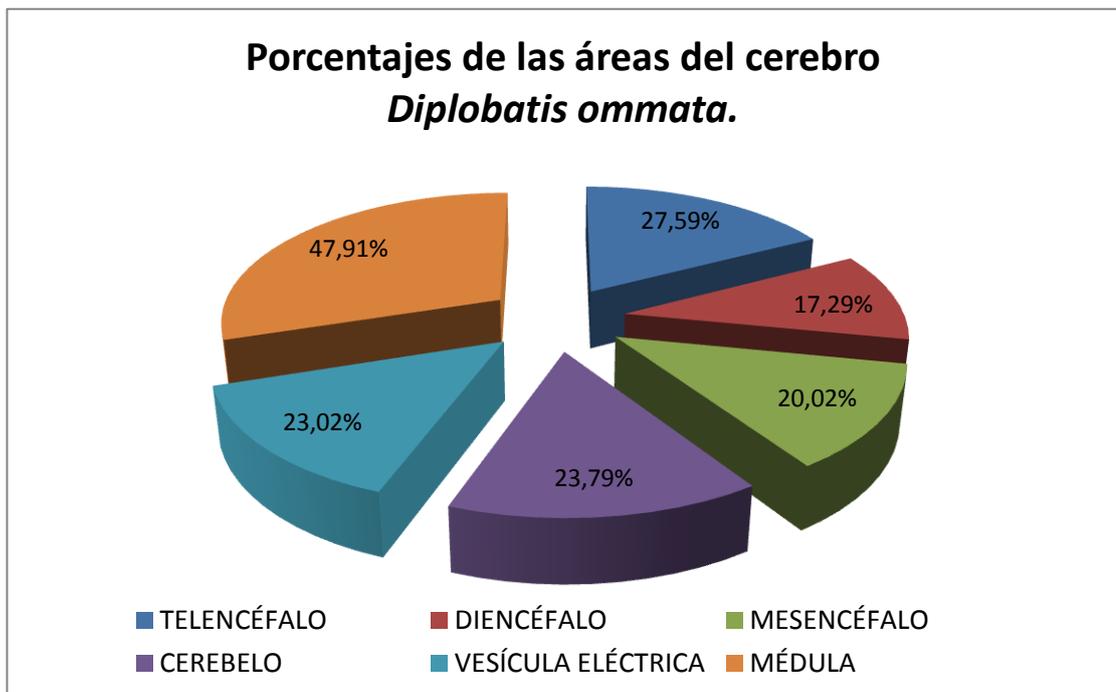
Figura 15. Vista ventral del Complejo mandibular.de *D. ommata*. Ver abreviaciones en la fig. 14.

DESCRIPCIÓN DEL ENCÉFALO

Diplobatis ommata, tiene un cerebro alargado en el que se distinguen muy bien las diferentes regiones principales. La descripción está dada en orden de la región más anterior a la región posterior del organismo.

- ◆ El bulbo olfatorio se encuentra dentro de la cápsula nasal ubicada en posición anteroventral, los bulbos son grandes, y ocupan en promedio el 26.9% de la longitud patrón. Tienen forma semicircular (figs. 16 y 17).
- ◆ Los tractos olfatorios salen de la región media del bulbo olfatorio, son largos y muy delgados, se dirigen posteriormente hasta unirse al lóbulo olfatorio (figs. 14, 15 y 18).
- ◆ El lóbulo olfatorio, se ubica en la región anterolateral del telencéfalo, es una estructura delgada y corta (figs. 14, 15 y 18).
- ◆ El telencéfalo está ubicado en la región más anterior de la cavidad craneal, es una estructura lisa, redondeada, los hemisferios cerebrales no son muy evidentes y están divididos longitudinalmente por un surco muy tenue (figs. 14-20), su longitud promedio es de 27.59% de la longitud patrón (Gráfica 1).
- ◆ El diencéfalo es simétrico, su longitud promedio es de aproximadamente 17.29% de la longitud patrón (Gráfica 1). Se observa bien diferenciado y se ubica posterior al par craneal II, este par no presenta entrecruzamiento, sin embargo se le llama quiasma óptico. Posterior a este se encuentran los lóbulos inferiores del infundíbulo, divididos por el lóbulo rostral; posterior a este, se encuentra la hipófisis, divide en tres regiones principales por dos surcos laterales (fig.18).
- ◆ El mesencéfalo es una estructura lisa, redondeada, con simetría bilateral, se ubica detrás del telencéfalo (figs.14, 15,18 y 19). Su longitud aproximada es un 20.02% de la longitud patrón (Gráfica 1).

- ◆ El cerebelo, tiene una forma romboide, es liso, con simetría bilateral y está dividido en 4 vesículas bien diferenciadas por dos surcos, uno longitudinal y otro trasversal. Se pueden observar otros 4 surcos muy poco profundos tanto longitudinales como trasversales (figs.14,15,18,19 y 20). Esta estructura ocupa en promedio el 23.79% de la longitud patrón (Gráfica 1).
- ◆ Las vesículas eléctricas, son estructuras pares, alargadas y divididas longitudinalmente por un surco muy profundo (figs. 14,15,18 y 20), y ocupa en promedio el 23.02% de la longitud patrón (Gráfica 1).
- ◆ La médula oblongada es una estructura alargada, lisa y se ubica posterior al diencefalo por debajo del cerebelo, se observa claramente la fosa romboidea posterior a las vesículas eléctricas en la parte más posterior de la médula oblongada (figs. 14-18 y 20). Esta es la estructura más larga del encéfalo y ocupa en promedio el 47.9% de la longitud patrón (Gráfica 1).



Gráfica 1 Proporciones de la longitud de las diferentes áreas del cerebro con respecto a la longitud patrón.

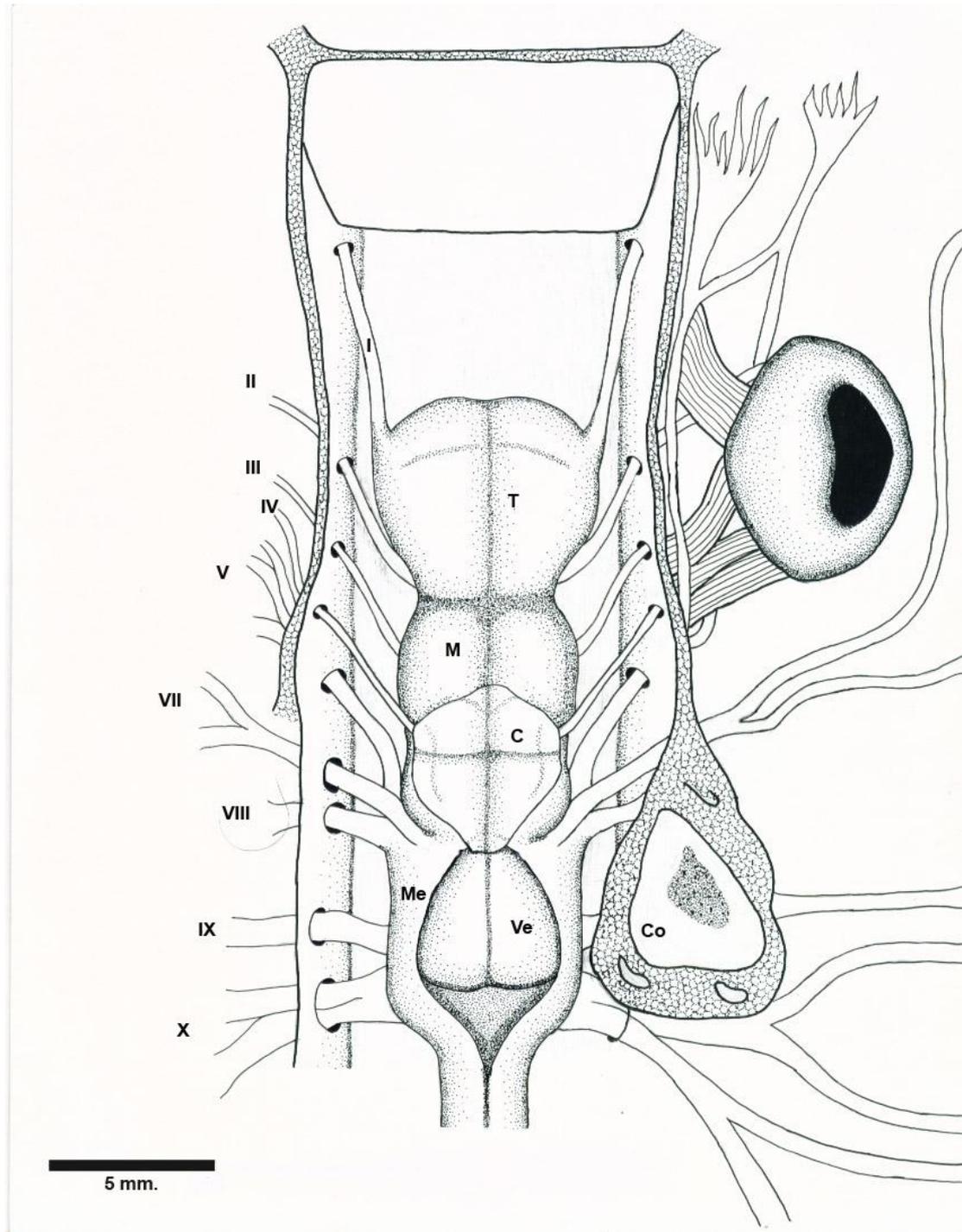


Figura 16. Vista dorsal del cerebro de *D. ommata*. T, telencéfalo; M, mesencéfalo; C, cerebelo; Ve, vesícula eléctrica; Me, médula oblongada; Co, cápsula ótica; I, nervio olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VII, facial; VIII, auditivo; IX, glossofaríngeo; X, vago.

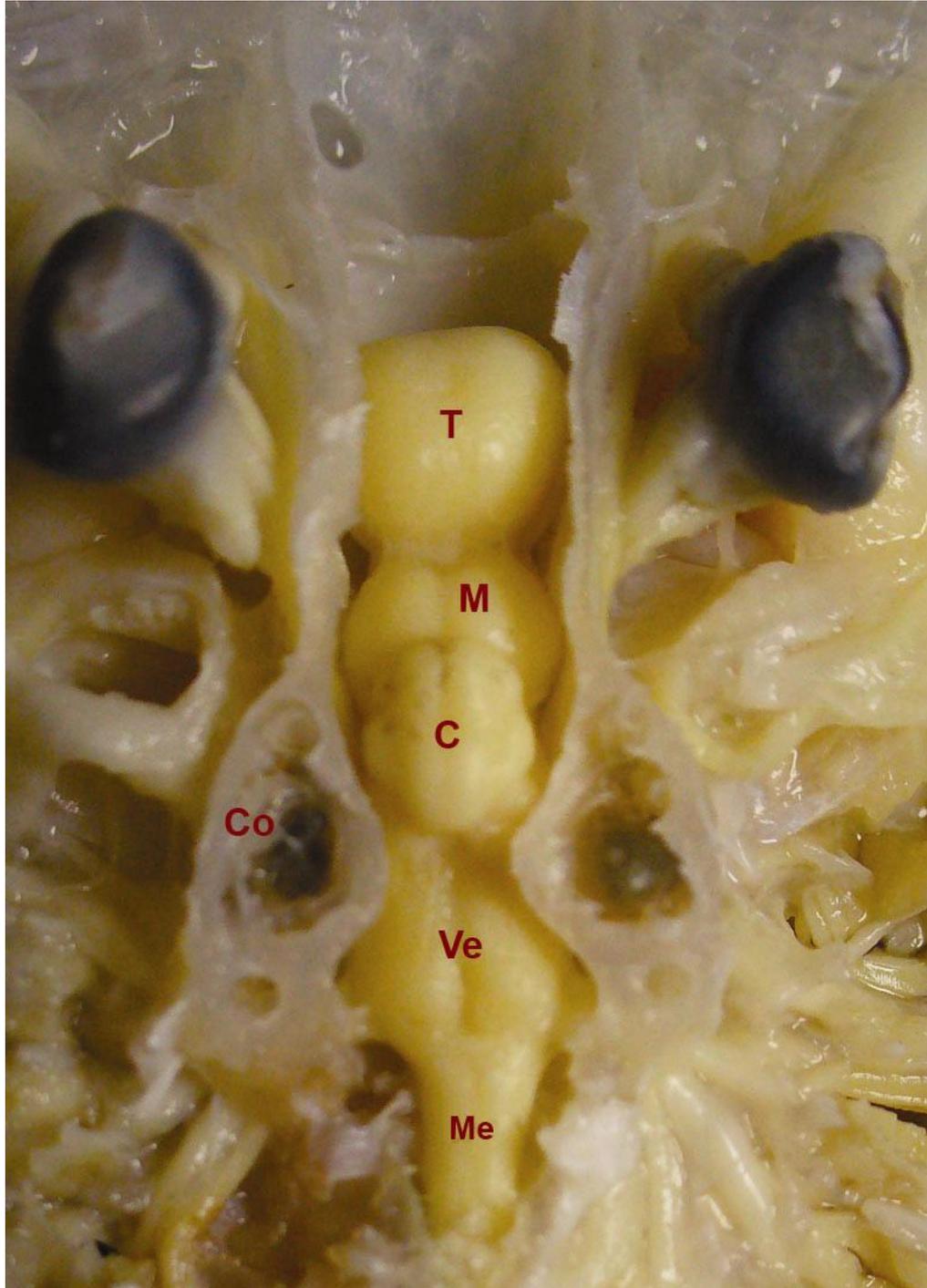


Figura 17. Vista dorsal del cerebro de *D. ommata*. T, telencéfalo; M, mesencéfalo; C, cerebelo; Ve, vesícula eléctrica; Me, médula oblongada; Co, cápsula ótica; I, nervio olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VII, facial; VIII, auditivo; IX, glossofaríngeo; X, vago.

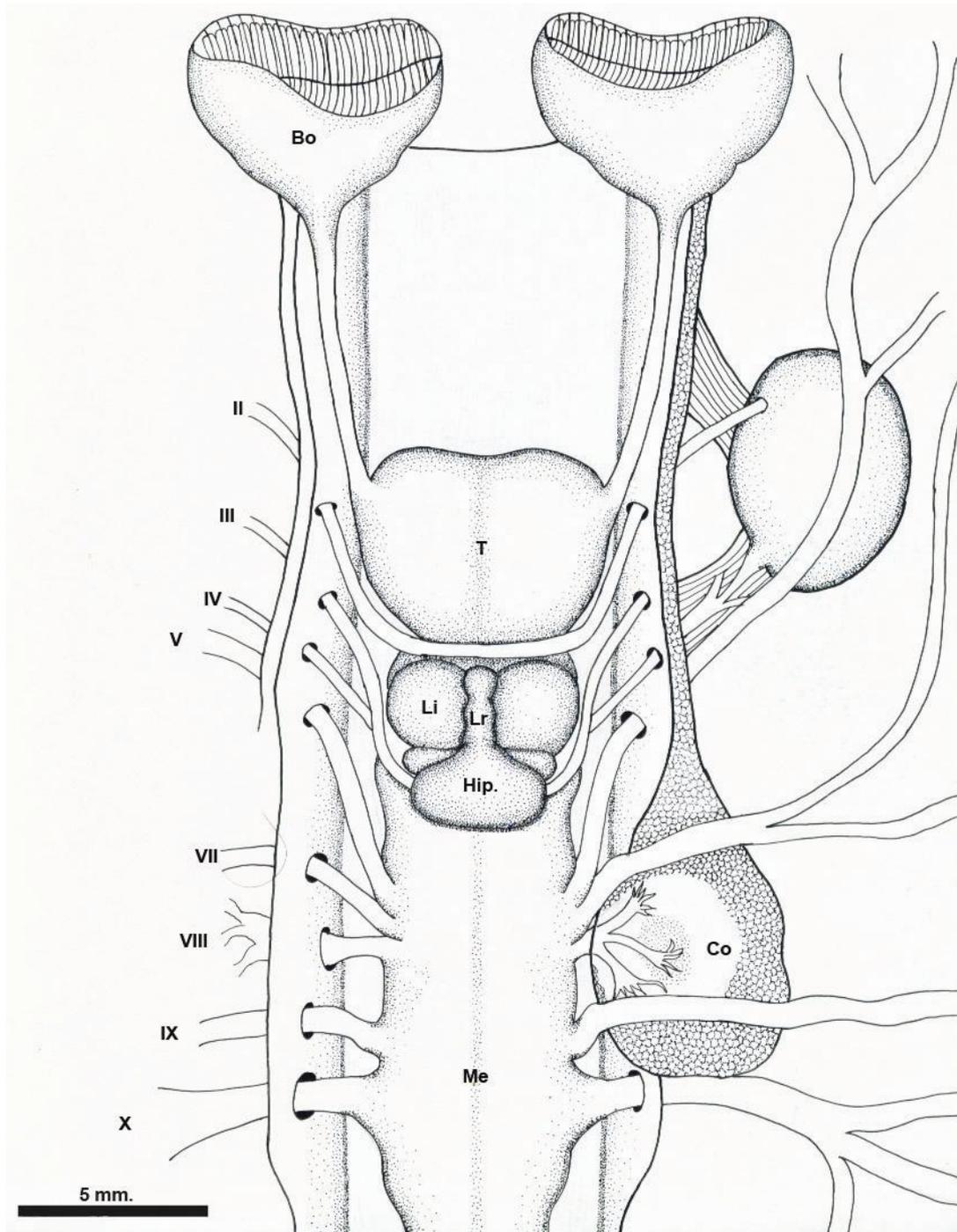


Figura 18. Vista ventral del cerebro de *D. ommata*. Bo, bulbo olfatorio; T, telencéfalo; Hip, hipófisis; Li, lóbulo inferior; Lr, lóbulo rostral; Me, médula oblongada; Co, cápsula ótica; I, nervio olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VII, facial; VIII, auditivo; IX, glossofaríngeo; X, vago.

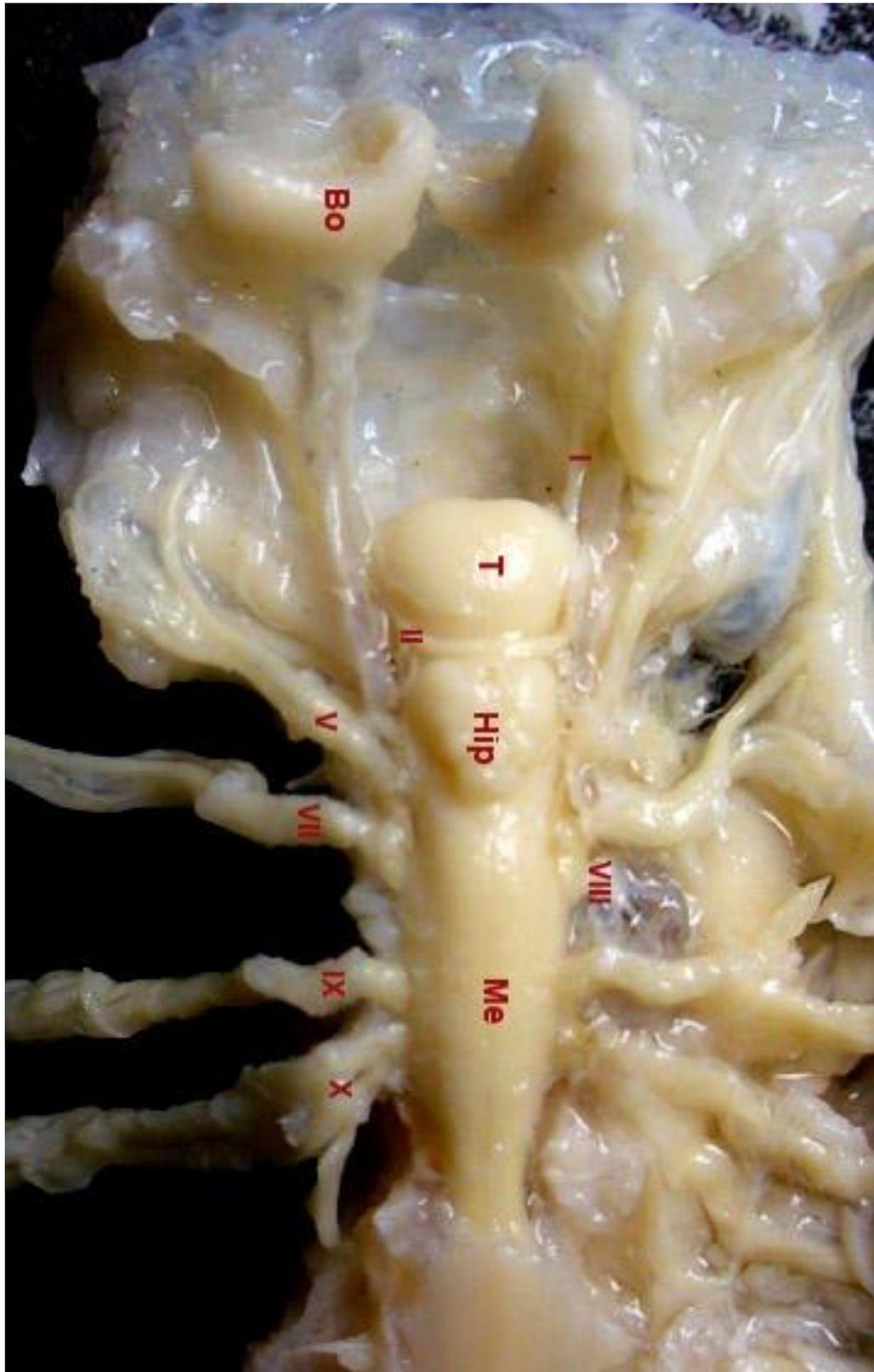


Figura 19. Vista ventral del cerebro de *D. ommata*. Bo, bulbo olfatorio; T, telencéfalo; Hip, hipófisis; Li, lóbulo inferior; Lr, lóbulo rostral; Me, médula oblongada; Co, cápsula óptica; I, nervio olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VII, facial; VIII, auditivo; IX, glossofaríngeo; X, vago.

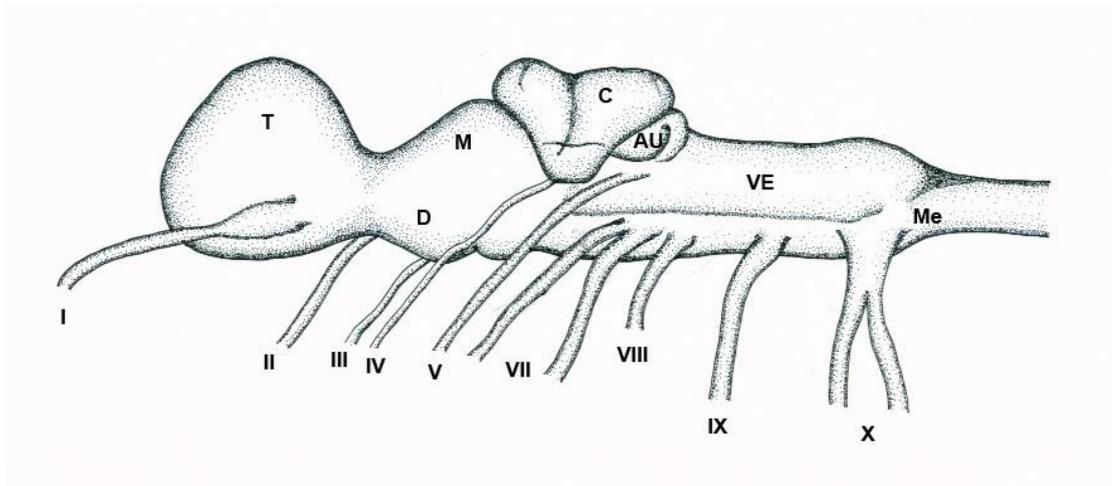


Figura 20. Vista lateral del cerebro de *D. ommata*. T, telencéfalo; M, mesencéfalo; C, cerebelo; AU, aurícula del cerebelo; VE, vesícula eléctrica; Me, médula oblongada; Co, cápsula ótica; I, nervio olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VII, facial; VIII, auditivo; IX, glossofaríngeo; X, vago.



Figura 21. Vista lateral anterior cerebro de *D. ommata*. Ver abreviaciones en la fig. 20.

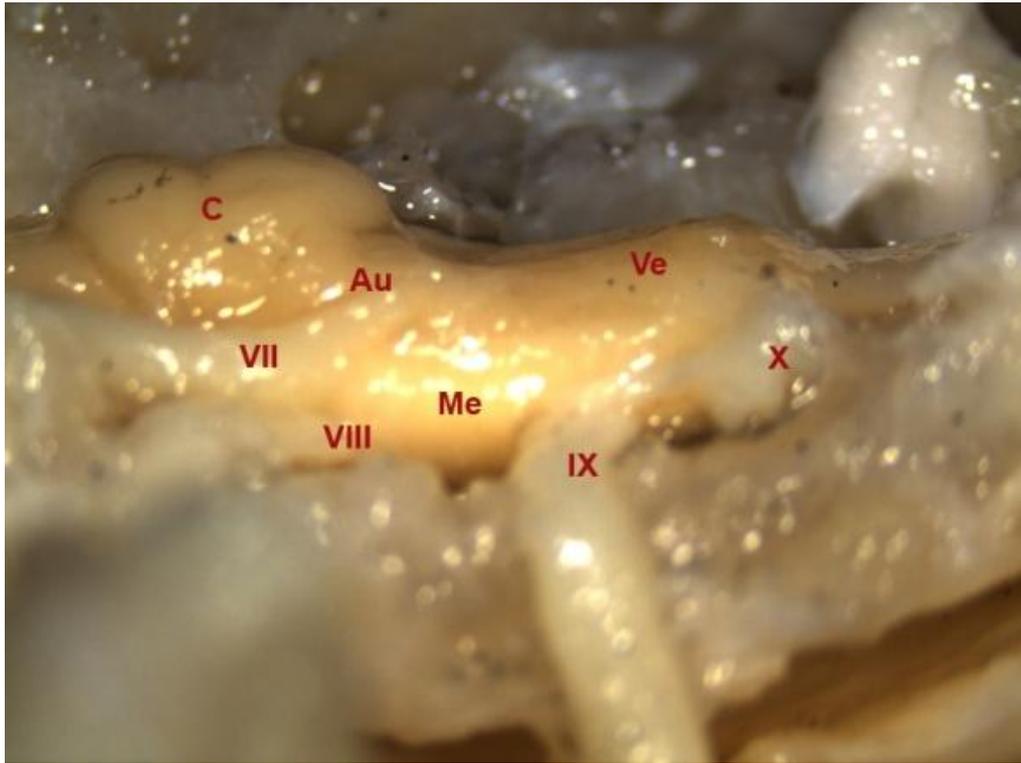


Figura 22. Vista lateral posterior del cerebro de *D. ommata*. C, cerebelo; Au, aurícula del cerebelo; Ve, vesícula eléctrica; Me, médula oblongada; I, nervio olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VII, facial; VIII, auditivo; IX, glossofaríngeo; X, vago.

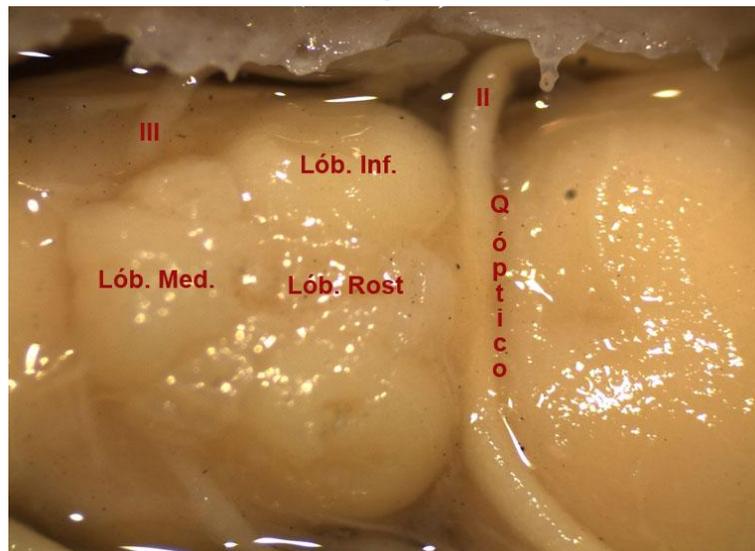


Figura 23. Acercamiento de la vista ventral posterior del cerebro de *D. ommata*. Lób. Inf, lóbulo inferior; Lób. Rost, lóbulo rostral; Lób. Med, lóbulo medio; Q. óptico, quiasma óptico; II, nervio óptico; III, oculomotor

PARES CRANEALES

- ◆ I: Olfatorio, los cuerpos neuronales forman parte del epitelio olfatorio y se encuentran dentro del bulbo olfatorio. (figs. 16 y 17).

- ◆ II: Óptico, se origina en la región anterior del diencéfalo, se observa como un nervio continuo (que no está dividido por el quiasma óptico), pasa a través del foramen del nervio óptico y se inserta en la región anterior del globo ocular (figs. 14-18).

- ◆ III: Oculomotor se observa ventralmente y se origina en la región caudal del diencéfalo, por debajo del saco vascular de la hipófisis, se dirige lateralmente y atraviesa el foramen del nervio oculomotor. Este nervio se divide en varias ramas e inerva al músculo recto superior en la región basal; y también inerva al globo ocular en la parte posterior (figs. 14-18).

- ◆ IV: Troclear, se observa en la región dorsal del cerebro y se origina por debajo de la región anterior del cerebelo, se dirige anteriormente y pasa por el foramen del canal postorbital, hasta insertarse en la región media del músculo oblicuo superior (figs. 14-18).

- ◆ V: Trigémino, se origina en la parte media de la médula oblongada, y se dirige anteriormente formando tres ramificaciones, oftálmica, maxilar y mandibular, la oftálmica, se dirige anteriormente pasando a través de los músculos del ojo e inerva la región media anterior de la cabeza del organismo, la rama maxilar se encuentra por encima de la rama mandibular e inerva la región anterior de la cabeza del organismo y otra rama se dirige a la región bucal. La rama mandibular se ubica en posición ventral e inerva a los músculos mandibulares incluyendo al elevador del cartílago palatocuadrado y a los músculos del complejo mandibular (figs. 14-18, y 21).

-
- ◆ VII: Facial, se origina en la médula oblongada detrás de la aurícula del cerebelo, sin embargo, una pequeña parte de este nervio también tiene su origen en la región posterior de la aurícula, está dividido en dos ramas principales, la más dorsal es más ancha y se dirige anteriormente, innervando la región anterior de la cabeza y al músculo preorbital lateral en la cara lateral interna del músculo. La segunda rama se origina de la aurícula del cerebelo pasando por debajo de la primera rama, se dirige lateralmente y se subdivide una parte inerva todo el borde del disco hasta la parte media de los órganos eléctricos, y la segunda subdivisión inerva la región anterior del órgano eléctrico (figs. 14-18,20 y 21).

 - ◆ VIII: Auditivo, Se origina en la médula oblongada justo detrás del par craneal VII, se observa una división muy delgada entre estos pares craneales, dando la idea de que comparten el mismo origen. Se dirige lateralmente hasta insertarse en la cápsula ótica donde se ramifica (figs. 14-18).

 - ◆ IX: Glossofaríngeo se origina en la médula oblongada y se dirige lateralmente pasando por el foramen del nervio glossofaríngeo, pasa por la región branquial innervándola y se inserta en la región media del órgano eléctrico en donde se ramifica (figs. 14-18,20 y 21).

 - ◆ X: Vago, se origina en la región caudal de la médula oblongada detrás del par craneal IX. Tiene una clara división en donde se observan dos ramas gruesas. Se dirige lateralmente pasando por el foramen del nervio vago, una de las ramas inerva la región branquial y se dirige al órgano eléctrico en donde se ramifica, la segunda rama se divide en donde una de las ramas (la más ancha) se dirige lateralmente innervando la región branquial y la parte posterior del órgano eléctrico, la siguiente rama se dirige caudalmente innervando la región visceral del organismo (figs. 14-18,20 y 21).

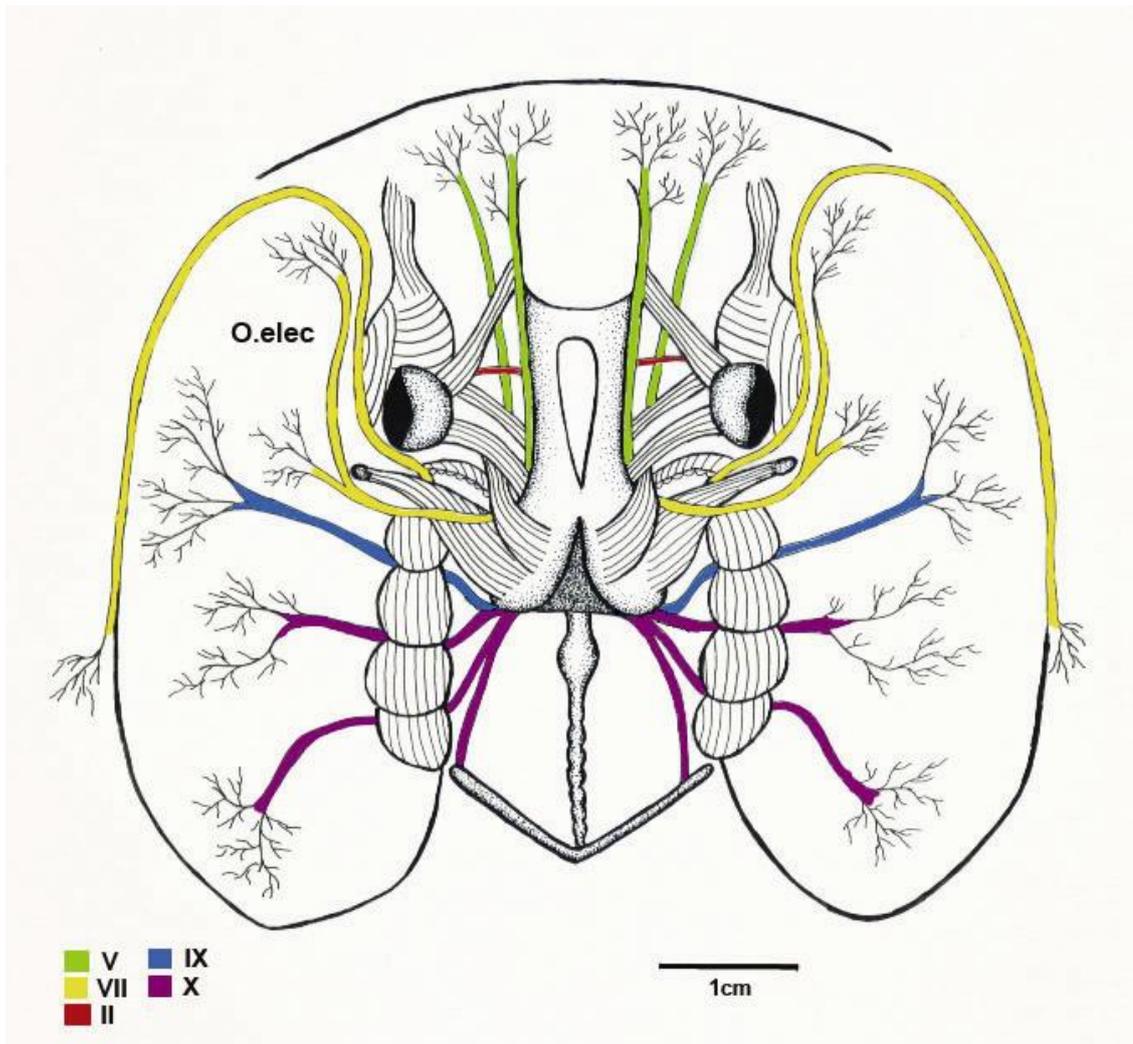


Figura 24. Vista dorsal de algunos pares craneales y su inervación en *D. ommata*. Oelec, órgano eléctrico. II, óptico; V, trigémino; VII, facial; IX, glossofaríngeo; X, vago.

DISCUSIÓN

MUSCULATURA

Si bien los elasmobranchios comparten un diseño craneal básico, la musculatura craneal de los batoideos es notablemente más compleja que en los tiburones, e implica diversas innovaciones clave (Dean y Motta, 2004). Tal es el caso de *Diplobatis ommata*, que a pesar de mostrar una musculatura craneal conservativa, y muy similar a los demás batoideos, muestra algunas diferencias típicas de los Torpediniformes, por ejemplo, este es el único grupo incluyendo a los narcínidos, en el que el intermandibularis se modifica para formar el músculo "X", como lo mencionan Dean y Motta (2004). Este músculo en *D. ommata* está bien desarrollado y tiene una inserción tendinosa en el cartílago de Meckel (Figs. 12 y 13).

En general, la musculatura dorsal presenta la mayoría de los músculos mencionados en la bibliografía para otros grupos de batoideos, salvo algunas modificaciones. Un ejemplo de ello es el músculo elevador rostral (LR), que de acuerdo con lo que describen Dean y Motta (2004) para *Narcine brasiliensis*, se presenta como un solo paquete muscular que se origina en la región dorsocaudal y se inserta por medio de un tendón en el cartílago anterorbital. Wilga y Motta (1998) mencionan que en *R. lentiginosus* este músculo también forma un solo paquete que se origina sobre el músculo epiaxial y se inserta en la superficie dorsal del rostro. A diferencia de estas descripciones, *D. ommata* presenta este músculo dividido en dos paquetes, uno tiene su origen en el borde anterolateral del epiaxial y se inserta en el cartílago anterorbitario, el segundo paquete se origina en las cápsulas óticas y se inserta en la región dorsal de los órganos eléctricos (Figs. 4 y 5). En cuanto al elevador hiomandibular (LH), Dean y Motta (2004) mencionan que cubre totalmente la hiomandíbula, por su parte Motta y Wilga (1995) afirman que este músculo cuenta con divisiones superficiales y profundas, una se origina en el epiaxial y la otra, en las cápsulas óticas. En *D. ommata*, este músculo tiene su origen en las cápsulas óticas, sin ninguna subdivisión, y cubre solo parcialmente el cartílago hiomandibular.

En el músculo elevador del palatoc cuadrado (LP), Dean y Motta (2004) mencionan que en *N. brasiliensis* este músculo cubre parcialmente el origen del elevador hiomandibular, Motta y Wilga (1995) en *Negaprion brevirostris*, Wilga y Motta (1998) *Rhinobatos lentiginosus*, y Da Cruz, et. al (1997) en *Sphyrna* y *Rhizoprionodon*, afirman que este músculo tiene su origen en el proceso postorbital, sin embargo, en *D. ommata* se origina en la superficie dorsal de las cápsula óticas y se inserta en la superficie dorsal del cartílago palatoc cuadrado (Figs. 6 y 7).

La musculatura ventral en *D. ommata*, no presenta muchas diferencias con lo descrito por Dean y Motta (2004), para *Narcine brasiliensis*, sin embargo, se observó cierta variación en algunos músculos. Dean y Motta (2004) mencionan que el músculo depresor rostral (DR), en *N. brasiliensis* está formado por un paquete y no presenta fibras continuas, además cubre toda la musculatura ventral. En el caso de *D. ommata* este músculo está sumamente desarrollado y tiene su origen en la línea media del rafe hipobranquial, así como algunas inserciones en los constrictores ventrales superficiales, además no está cubriendo toda la musculatura ventral (Figs. 8 y 9). De acuerdo con lo descrito por Miyake et al. (1992), este músculo es similar en la especie *Discopyge tschudii*, al igual que lo presentado por González (2003) en el que se encuentran similitudes con *A. narinari*. El músculo coracoarcual (CARC), en *D. ommata* se origina de la cintura pectoral, y se inserta sobre el rafe hipobranquial superficial, cubriendo una parte del coracomandibular (Figs. 8 y 9). Motta y Wilga (1995) mencionan que este músculo se origina en parte del adductor de la aleta y se inserta en la superficie dorsal del depresor rostral; Wilga y Motta (1998) afirman que este músculo es muy delgado, en tanto que en *D. ommata* este músculo es muy grueso y muy desarrollado.

González (2003) menciona que el coracohiomandibular (CHYM), observado en *Gymnura marmorata*, se origina en la línea media del basihial, y se inserta tendinosamente en la región posterior del Cartílago de Meckel, mientras que en *Gymnura micrura*, este músculo se expande hacia la región caudal, algunas fibras se originan de uno de los constrictores ventrales y otras fibras se originan del primer cartílago hipobranquial.

En *D. ommata* tiene su origen de una inserción rostral del coracoarcual y forma un macizo muscular similar a un tendón para insertarse en la cara lateral del cartílago hiomandibular entre el 2º y 3er. cartílago hipobranquial (Figs. 10 y 11), como lo menciona Dean y Motta (2004) para *Narcine brasiliensis*. De Andrés et. al (1987), mencionan que en *Torpedo sp.* se encontraron 3 pares de músculos a cada lado del coracoarcual, de los cuales se desconoce su origen y función, similar a lo descrito por Dean y Motta (2004) como el músculo interbranquial. En *D. ommata* este músculo es muy delgado y se encuentra sobre el coracomandibular, insertándose en uno de los constrictores hioideos ventrales, aunque también se desconoce su función (Figs. 10 y 11).

De acuerdo a lo mencionado por De Andrés et. al (1987), el patrón general de la musculatura cefálica ventral en elasmobranquios fósiles, no ha variado mucho en especies recientes, sin embargo, se ha observado que algunas especializaciones en la forma de alimentación o adaptaciones para la vida bentónica, son las que cambian este patrón, un ejemplo de ello es el depresor rostral, que se desarrolla de la musculatura superficial ventral, como un auxiliar para que el organismo pueda enterrarse en el lecho marino.

SISTEMA NERVIOSO

A diferencia de *Diplobatis. ommata*, los bulbos olfatorios en *Raja* así como en *Rhinobatos*, son pequeños, el telencéfalo es la estructura más grande, seguida por la médula, posteriormente le sigue el cerebelo, mesencéfalo y diencéfalo siendo esta la estructura más pequeña (Northcutt, 1977). En *D. ommata* se observa una de las estructuras más grandes son los bulbos olfatorios (Figs. 16 y 17), enseguida sigue la médula con un 47.9% aprox. de la longitud patrón, el telencéfalo tiene un 27.59%, tanto el cerebelo como las vesículas eléctricas presentan un 23.79% y 23.02% respectivamente, el mesencéfalo tiene aproximadamente un 20.02% y por último el diencéfalo es la estructura más pequeña con un 17.29% (Gráfica 1).

El telencéfalo de *D. ommata* es de tamaño medio (Figs. 14 y 15), lo cual, según Smeets (1997) sugiere una conducta social relativamente moderada, también se ha observado que los Squalomorfos y Holocéfalos presentan un patrón similar, con telencéfalos relativamente pequeños y médulas bien desarrolladas, en comparación con organismos bentopelágicos asociados con arrecifes de coral como algunos *Carcharhinus*, que presentan un telencéfalo más grande (50% aprox.) del total del cerebro. Por otro lado se ha visto que los organismos bentónicos o de aguas profundas, presentan médulas alargadas y bien desarrolladas así como las especies bentónicas asociadas con arrecifes de coral (p. ej. *Orectolobos* y *Brachaelurus wadii*, p.ej.) que presentan un mesencéfalo reducido y una médula alargada (Yopak, et. al. 2007). Tal es el caso de *D. ommata* que presenta una médula bien desarrollada y un mesencéfalo reducido, lo cual corresponde con su forma de vida. Por el contrario, se ha observado que las especies pelágicas (p. ej. *Carcharodon*, *Isurus*, *Pseudocarcharias*) muestran una clara hipertrofia en el mesencéfalo y médula así como en el telencéfalo (Yopak, et. al 2007).

Las quimeras y squalomorfos poseen un cerebelo dividido en un lóbulo anterior y uno posterior, esto sugiere una condición ancestral para los peces cartilaginosos.

Los rajoideos y torpediniformes poseen cerebelos con muy poca foliación, mientras que los rinobatoideos tienen un cuerpo cerebelar dividido en tres lóbulos (Northcutt, 1977 y Smeets, 1997). *Diplobatis ommata* tiene un cuerpo cerebelar poco foliado con dos surcos principales que lo dividen en dos lóbulos principales uno anterior, otro posterior y también está dividido longitudinalmente, sin embargo, también presenta otros dos pares de surcos poco profundos, un par longitudinal y otro par transversal, esto sugiere que el cerebelo de esta especie es un poco más complejo de lo que se ha reportado en otras especies de torpedinidos.

En el estudio realizado por New (2001), se menciona que en *Raja*, las lesiones en el cerebelo resultan en serias anormalidades locomotoras y de postura, lo que demuestra la importancia del cerebelo en la locomoción de los organismos.

Con respecto a los índices de foliación cerebelar se menciona que las especies más basales como *Squalus*, *Notorhynchus* y *Pristiophorus*; tienen niveles de foliación muy bajos en comparación con especies más recientes (*Alopias*, *Lamnidos*, *Sphyrna*), este grupo presenta los niveles de foliación más altos a diferencia de los organismos bénticos y bentopelágicos que presentan índices de foliación muy bajos. Los organismos pelágicos asociados con arrecifes de coral y que se sabe, son cazadores muy ágiles (*Sphyrna*, *Alopias*, *Isurus*), también presentan índices de foliación muy altos (Yopak et. al 2007). En batoideos se ha observado la misma condición, de los cuales los organismos de vida pelágica o bentopelágica presentan índices de foliación más altos, mientras que las especies bentónicas presentan los índices de foliación más bajos. En *D. ommata* esta condición también se cumple, ya que aunque presenta un cerebelo con más de dos surcos, no son muy profundos por lo que en la escala de foliación utilizada por Yopak et. al (2007), tiene un índice de uno, que corresponde al más bajo.

Con respecto a los pares craneales, en *D. ommata* se puede mencionar que la mayoría concuerda con las descripciones de los diferentes autores, sin embargo, los pares craneales V, VII y VIII, no tienen un origen común como en otras especies como *Squalus acanthias* (Walker y Sherman, 2001 y Da Silva et. al, 2005). En *U. jamaicensis* si está separado el par V, sin embargo los pares VII y VIII, comparten un origen común (Walker y Sherman, 2001). Da Silva et. al. mencionan que en *Carcharias taurus* el origen de los pares V, VII y VIII no es el mismo, condición que también presentan algunos miembros de la familia *Squalidae* y algunos rajoideos, esto concuerda con lo encontrado en *D. ommata* ya que en las descripciones dadas para *C. taurus* se menciona que en vista ventral, el origen aparente del par VII se localiza caudalmente al par V, condición muy similar encontrada en *D. ommata*. Sin embargo, en *D. ommata* se presenta una condición particular, a diferencia de otras especies de batoideos, los pares craneales VII, IX y X, además de inervar otras regiones, inervan también de manera muy importante a los órganos eléctricos, posiblemente esta condición pueda estar presente en la mayoría de las especies de torpediniformes, aunque no está aún descrito.

Finalmente, se puede mencionar que *Diplobatis ommata* mostró una morfología conservadora, tanto del sistema nervioso como de los músculos, ya que comparte características con batoideos y tiburones basales. En el encéfalo se observó que presenta un telencéfalo reducido y una médula alargada, además de una característica única de torpediniformes, que son las vesículas eléctricas. Los pares craneales que salen del encéfalo, muestran una disposición similar a tiburones basales, sin embargo, su inervación cambia debido a la presencia de los órganos eléctricos que son músculos modificados. La musculatura está muy desarrollada, característica de organismos adaptados a la vida bentónica.

CONCLUSIONES

- ◆ La anatomía del sistema nervioso y sistema muscular de *Diplobatis ommata* es conservadora y similar a la de batoideos y tiburones basales.

- ◆ Las principales diferencias en cuanto a musculatura con respecto a otros grupos de torpediniformes son las siguientes:
 - El músculo elevador rostral, se divide en dos paquetes, uno de los cuales se inserta en la región antero dorsal de los órganos eléctricos.

 - El músculo depresor rostral, está dividido y algunas fibras se insertan en los constrictores hioideos ventrales, esto puede ser debido a que este músculo está especializado para ayudar a que el organismo se entierre en el sustrato.

- ◆ Los bulbos olfatorios son muy grandes con respecto a la longitud patrón, lo que indica que el sentido del olfato está muy desarrollado. Además los tractos olfatorios son largos y delgados.

- ◆ El telencéfalo es el, 27.59% con respecto a la longitud patrón, por lo que es de los más pequeños dentro de los batoideos. Lo cual sugiere un comportamiento social poco complejo, ya que no viven en cardúmenes y sus hábitos reproductivos no son complejos.

-
- ◆ El cerebelo está dividido en dos lóbulos principales, lo que sugiere una condición ancestral, sin embargo, presenta otros surcos poco profundos lo que sugiere que tiene un cerebelo un poco más complejo que el descrito para otras especies de torpediniformes, con un índice de foliación cerebelar bajo, (1) lo que indica una condición plesiomórfica.

 - ◆ Los pares craneales VII, IX y X se modifican para inervar de manera muy importante a los órganos eléctricos, esta es la principal diferencia con otros batoideos que no presentan este tipo de estructuras.

 - ◆ De acuerdo a lo observado, se puede mencionar que *D. ommata* es una especie cuya musculatura y sistema nervioso se han modificado junto con el desarrollo de los órganos eléctricos.

LITERATURA CITADA

- ☞ Csilla, A. 2008. Correlation between the cerebralization, astroglial architecture and blood-brain barrier composition in Chondrichthyes. Tesis Doctoral. Semmelweis University Neurobiology School of Doctoral Studies. Budapest. 129 págs.
- ☞ Da Cruz, L.M.; Gómez, L. U.; Lima, S. W.; Paragó, C. 1997. Estudo anatômico comparativo da região cefálica pré branquial de *Sphyrna lewini* (griffith & smith) e *Rhizoprionodon lalandii* (valenciennes) (elasmobranchii, carcharhiniformes) relacionados com a presença do cefalofólo em *Sphyrna rafinesque*. Revista Brasileira de Zoologia. 14 (2):347-370.
- ☞ Da Silva, C. A. L. ; Intelizano, W. 2005. Nerves of the Mandibular Musculature of the Sand Tiger Shark *Carcharias taurus* (Rafinesque, 1810) (Chondrichthyes:Odontaspidae). International Journal of Morphology. 23(4):387-392.
- ☞ De Andrés, A.V.; García, G.J.; Chijuli, M.R. 1987. Ventral Cephalic Musculature in Elasmobranchs: Some Functional and Phylogenetic Implications. Proceedings V Congress of European Ichthyologists. 57-63.
- ☞ Dean, M.; Motta, P. 2004. Anatomy and Functional Morphology of the Feeding Apparatus of the Lesser Electric Ray, *Narcine brasiliensis* (Elasmobranchii: Batoidea) . Journal of Morphology. 262:462-483.
- ☞ Fechhelm, D.J.; McEachran, D.J. 1984. A revision of the Electric Ray genus *Diplobatis*, with notes on the Interrelationships of Narcinidae (Chondrichthyes: Torpediniformes). Bulletin of the Florida State Museum, Biological Sciences. 29(5):171-209.
- ☞ González, I. M. 2003. Anatomical Comparison of the Cephalic Musculature of Some Members of the Superfamily Myliobatoidea (Chondrichthyes): Implications for Evolutionary Understanding. The Anatomical Record. part. A 271:259-272 .
- ☞ Hofmann, M.H. 1999. Nervous system. En: Biology of Elasmobranch Fishes, W.C. Ed. Hamlett. Baltimore. John H
- ☞ Kardong, K.V. 1999 . Vertebrados, anatomía comparada, función, evolución. 2a. Ed. Mac Graw-Hill Interamericana. España. 583-593; 601-622 pp.
- ☞ Last, P.R., y Stevens J. D. 1994. Sharks and Rays of Australia. CSIRO. Australia.
- ☞ Lisney, J.T.; Yopak, E.K.; Montgomery, C.J.; Collin, P.S. 2007. Variation in Brain Organization and Cerebellar Foliation in Chondrichthyans: Batoids. Brain, Behavior and Evolution. 72: 262-282.

-
- ☞ Lisney, T.J.; Collin, S.P. 2006. Brain morphology in large pelagic fishes: a comparison between sharks and teleosts. *Journal of Fish Biology*. 68: 532-554.
 - ☞ Lovejoy, N.R. 1996. Systematics of Myliobatid Elasmobranchs: with Emphasis on the Phylogeny and Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Stingrays (Potamotrygonidae: Rajiformes). En: Stiassny M.L.J., Parenti, L.R. y Johnson eds. *Interrelationships of the fishes*. Academic Press.
 - ☞ McEachran, D.J. y Notarbartolo Di-Sciara G. 1995. Peces batoideos. En: Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico Centro-Oriental. Vol. II Vertebrados Parte 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 746-751; 769-771 pp.
 - ☞ McEachran, J.D.; Miyake, T.; Dunn, K.A. 1996. Interrelationships of the batoid fishes (Chondrichthyes: Batoidea). En: Stiassny M.L.J., Parenti, L.R., Johnson, G.D., eds. *Interrelationships of Fishes*. Academic Press.
 - ☞ Miyake, T; McEachran, J.D. y Hall, B.K. 1992. Edgeworth's Legacy of Cranial Muscle Development with an Analysis of Muscles in the Ventral Gill Arch Region of Batoid fishes (Chondrichthyes: Batoidea). *Journal of Morphology*. 212:213-256.
 - ☞ Motta, P.; Wilga, Ch. 1995 . Anatomy of the Feeding Apparatus of the Lemon Shark, *Negaprion brevirostris*. *Journal of Morphology*. 226:309-329.
 - ☞ New, G. J. 2001. Comparative Neurobiology of the Elasmobranch Cerebellum: Theme and Variations on a Sensorimotor Interface. *Environmental Biology of Fishes*. 60:93-108.
 - ☞ Nishida, K. 1990. Phylogeny of the suborder Myliobatoidei. *Mem. Fac. Fish Hokkaido Univ*. 1-108.
 - ☞ Northcutt, R.G. 1977. Elasmobranch central nervous system organization and its possible evolutionary significance. *Am. Zool*. 17: 411-429 pp.
 - ☞ Northcutt, R.G. 1989. Brain Variation and Phylogenetic Trend in Elasmobranch Fishes. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*. 2:83-100.
 - ☞ Orr, R.T. 1978. *Biología de los vertebrados*. 4ª. Ed. Interamericana. México. 545 p.
 - ☞ Smeets, W.J.A.J. 1997. *The Central Nervous System of Vertebrates*. Springer Verlag, Heidelberg. Vol 1. Cap. 12. 551-659 pp.
 - ☞ Tricas, C.T; Deacon, K.; Last, P.; McCosker, E.J.; Walker, I.T.; Taylor, L. 1998. *Tiburones y Rayas*. Omega. Barcelona. 288 p.
 - ☞ Walker, K.B.; Sherman, L.R. 2001. Gross brain morphology in the yellow stingray, *Urolophus hannah*. *Florida Scientist*. 64 (4):246-249.

-
- Wilga, Ch.; Motta, P. 1998 . Feeding Mechanism of the Atlantic Guitarfish *Rhinobatos lentiginosus*: Modulation of Kinematic and Motor Activity. *Journal of Experimental Biology*. 201: 3167-3184.
 - Wiley, E.O. 1979 b. Ventral gill arch muscles and the Phylogenetic Relationship of *Latimeria*. *Occ. Pap. Calif. Acad. Sci.* 134:56-67 pp.
 - Yopak, E. K.; Frank, R.L. 2009. Brain Size and Brain Organization of the Whale Shark, *Rhincodon typus*, Using Magnetic Resonance Imaging. *Brain, Behavior and Evolution*. 74:121-142.
 - Yopak, E.K.; Lisney, J.T.; Collin, P.S.; Montgomery, C.J. 2007. Variation in Brain Organization and Cerebellar Foliation in Chondrichthyans: Sharks and Holocephalans. *Brain, Behavior and Evolution*. 69:280-300.
 - Yopak, E.K.; Montgomery, C.J. 2008. Brain Organization and Specialization in Deep-Sea Chondrichthyans. *Brain, Behavior and Evolution*. 71:287-304.
 - Ziswiler, V. 1978. *Vertebrados. Anamniotas*. Ediciones Omega. Barcelona. 321 p.