



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
IZTACALA

**Contribución al estudio anatómico del
encéfalo de *Aetobatus narinari* y *Rhinoptera
steindachneri* (Chondrichthyes: *Myliobatidae*).**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A:
RODRIGO MIRAMONTES TREJO

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MÓNICA GONZÁLEZ ISÁIS



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.

ÍNDICE

	Página
Índice	1
Resumen	2
Introducción	3
Antecedentes	14
Justificación	16
Objetivos	17
Material y método	18
Resultados	23
<i>Aetobatus narinari</i>	23
<i>Rhinoptera steindachneri</i>	31
Discución	38
Conclusión	42
Anexos	43
Bibliografía	47

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una comparación anatómica del encéfalo entre dos especies de batoideos, *Aetobatus narinari* y *Rhinoptera steindachneri* pertenecientes a la familia Myliobatidae.

Los organismos fueron disectados mediante la técnica convencional para descubrir la bóveda craneal, estructuras cefálicas y pares craneales. Tanto en *Aetobatus narinari* como en *Rhinoptera steindachneri* se encontró que el cerebro es largo y bien desarrollado, de él se proyectan rostro-ventralmente los pedúnculos olfatorios y el nervio terminal (par craneal 0).

En las dos especies se detectó que existe un alto grado de desarrollo cefálico. La longitud de los tractos olfatorios es variable y depende principalmente del tamaño del cráneo.

EL diencéfalo en ambas especies presenta una morfología superficial similar, sin embargo, las estructuras que lo componen son de mayor tamaño en *Rhinoptera steindachneri*. La médula oblongada es la unidad morfo-funcional que se encuentra en la región caudal del encéfalo y la tercera más grande. El cerebelo de estas especies posee un alto desarrollo morfológico, el cerebelo de *Rhinoptera steindachneri* posee una mayor foliación que el de *Aetobatus narinari*, debido a que presenta mayor cantidad y profundidad en los surcos.

Con base en la morfología observada en el estudio de estas especies y a la bibliografía consultada, se puede concluir que el cerebro de *Rhinoptera steindachneri* es anatómicamente más complejo y especializado que el de *Aetobatus narinari*, sin embargo, ambas especies presentan una estructura cefálica compleja en relación a los otros grupos de rayas, lo cual está estrechamente relacionado tanto a su origen filogenético, como a su forma de vida bentopelágica.

Introducción

Los tiburones, rayas y quimeras (Fig. 1) son los tres grupos representantes de la Clase Chondrichthyes (peces cartilagosos), de las cuales se conocen más de 950 especies (Last y Stevens, 1994). Son organismos altamente cosmopolitas que han invadido una gran variedad de nichos ecológicos en diversos ecosistemas, su máxima abundancia es cercana a la superficie y a no más de 2000 m de profundidad, principalmente en aguas cálidas como las de climas tropicales y subtropicales de todo el mundo (McEachran y Di-Sciara, 1995).

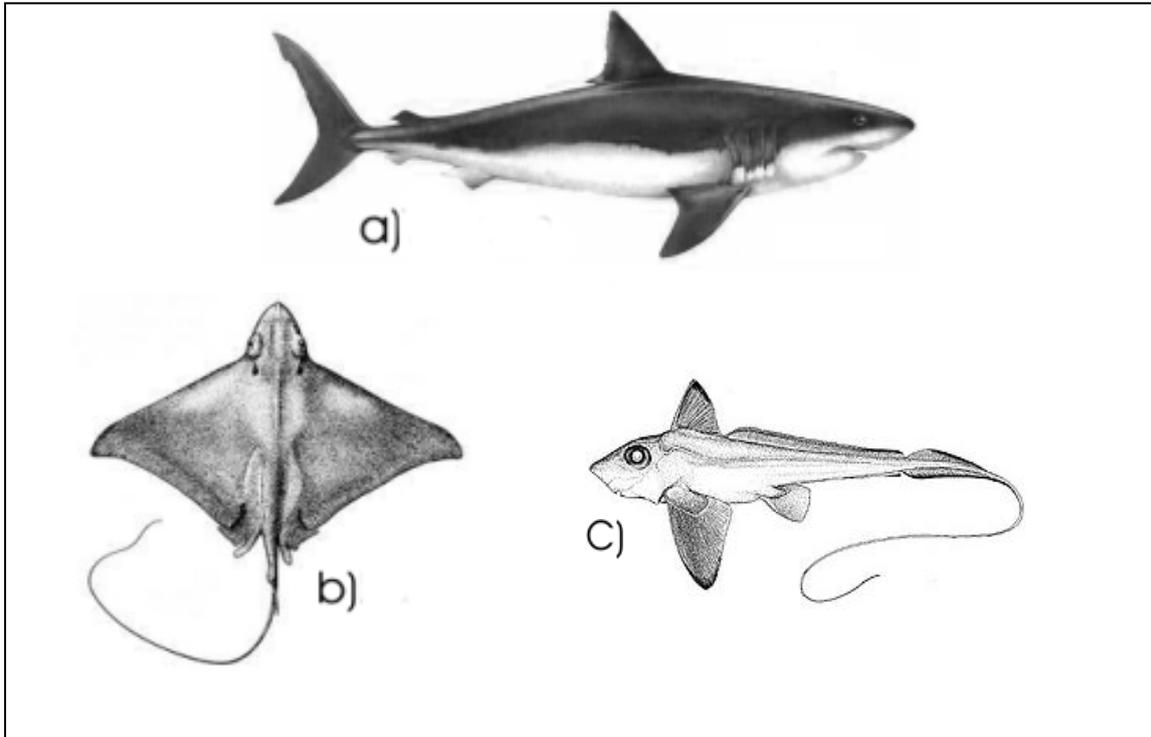


Figura. 1: Organismos representantes de la Clase Chondrichthyes: a) Tiburones, b) Rayas y c) Quimeras. (Tomado de Nelson 2006 y Fisher et al., 1995).

Los Chondrichthyes tienen esqueleto cartilaginoso, característica propia del grupo, además de ello presentan otras particularidades importantes como dentículos dérmicos, dientes no fusionados a las mandíbulas los cuales son reemplazados constantemente; generalmente poseen un par de aberturas nasales; la mandíbula se encuentra dividida en una región superior llamada palatocadrado y la región inferior conocida como cartílago de Meckel (Nelson, 2006).

Presentan su intestino con una válvula espiral y la fertilización es interna en todas las especies conocidas. Los machos poseen unas estructuras llamadas gonopterigios que son proyecciones del borde interior de las aletas pélvicas, las cuales se insertan en la cloaca de la hembra para la fecundación; se han conocido periodos de gestación de hasta dos años en algunos de estos organismos (de los periodos más largos para esta clase de organismos). Hay altas concentraciones de urea y oxido de trimetilamina en sangre lo que permite drenar el agua en el interior del cuerpo libremente (Smeets *et al.*, 1998).

A pesar de que la clase Chondrichthyes es un exitoso linaje desde un punto de vista evolutivo, con más de 400 millones de años de antigüedad y cuyos organismos han adquirido una gran capacidad de adaptación, con complejos sistemas etológicos, ellos no han sido ampliamente estudiados a nivel neuroanatómico. Esta clase tiene dos importantes divisiones, la subclase Holocephalii representada por Quimeras (peces abisales principalmente) y la subclase Elasmobranchii que incluye a tiburones y rayas.

La subclase Holocephalii está compuesta por organismos que se separaron de la subclase Elasmobranchii hace aproximadamente 340 millones de años, durante el Devónico escindiéndose de tiburones primitivos. Hoy en día existen alrededor de 35 especies que se caracterizan por tener una cabeza grande, con ojos prominentes y la boca en posición ventral con dentición constituida de unos pequeños y largos platos dentales; el palatoc cuadrado fusionado al cráneo; usualmente con una fina espina dorsal, la piel del cuerpo es lisa y no tiene escamas, con un entramado aparente de poros electrosensitivos y de canales de la línea lateral en la cabeza y en el cuerpo. La mayoría de las especies tienen un cuerpo alargado que se ahúsa y termina en una cola pequeña y a veces en forma de látigo (Tricas *et al.*, 1998). Hay tres familias de Quimeras actualmente vivas, que se distribuyen por los mares templados y tropicales del mundo los Chimeridae, Callorhynchidae y Rhinochimeridae (Tricas, *et al.*, 1998).

La subclase Elasmobranchii se caracteriza por poseer entre 5 y 7 aberturas branquiales a cada lado, con una espina dorsal rígida que puede o no estar presente; un palatoc cuadrado (mandíbula superior) no fusionado al cráneo con suspensión anfistílica o hioistílica. Además, cuentan con una canasta branquial por detrás del neurocráneo; el reemplazamiento dental se da sumamente rápido, además la dentición se presenta en hileras en muchas de las especies. Se ha notado (Maisey, 2001) que en los elasmobranquios modernos, los canales semicirculares anteriores y posteriores están separados dorsalmente.

La evidencia revela que la percepción química en los elasmobranquios está sumamente desarrollada, el olfato entre las más destacadas. Este sentido es vital para la detección, localización de alimento y para la reproducción. Hay considerables diferencias estructurales en el telencéfalo de los Chondrichthyes respecto a la inserción de los lóbulos olfatorios, el largo de los pedúnculos olfatorios, grado de fusión de los lóbulos hemisféricos, grado de reducción del ventrículo telencefálico y del peso relativo del telencéfalo (Smeets *et al.*, 1998).

La subclase Elasmobranchii comprende cuatro superórdenes (Compagno, 1977) tres de ellos engloban a todos los tiburones, Squalomorphii con el 25% de todos los tiburones (Ari, 2008), Galeomorphii con 75% (Northcutt, 1989) y Sqtinomorphii con una sola familia de tiburones (Ari, 2008), mientras que el superorden Batoidea engloba a las rayas (Ari, 2008).

Los batoideos comprenden una gran variedad de grupos taxonómicos y se conocen alrededor de 600 especies a nivel mundial mientras en México se conocen 69 especies pertenecientes a 18 familias, es decir más de la mitad de los elasmobranquios conocidos (Tricas et al., 1998). Sus formas corporales son altamente modificadas y especializadas. Su cuerpo presenta aplanamiento dorso-ventral además de presentar fusionadas las aletas pectorales en la región antero-lateral de la cabeza formando una estructura distintiva denominada disco. Este suele ser más ancho que largo y puede ser fusiforme, ovalado, circular, rómbico o triangular. La boca se encuentra en posición subterminal excepto en *Manta birostris*; las aberturas branquiales y los orificios nasales se localizan en posición ventral mientras que los ojos y los espiráculos respiratorios en posición dorsal.

Algunas especies carecen de aletas dorsales y otras presentan una o dos, las cuales no están constituidas por espinas, sin embargo, pueden presentar una estructura de defensa, modificada de dichas espinas, denominada aguijón o espina, situada generalmente en el primer tercio de la cola, sin embargo, hay organismos como *Urolophus*, que presentan el aguijón al final de la cola. No presentan aleta anal y la aleta caudal puede ser heterocerca o díficercas; los dentículos solo se presentan en la posición dorsal y presentan patrones de distribución utilizados como carácter taxonómico (Bigelow y Schroeder, 1953; Compagno, 1984; McEachran y Di-Sciara, 1995; Tricas et al, 1998).

Actualmente existen diversas clasificaciones utilizadas para agrupar a los batoideos. Una de las clasificaciones más empleadas es la propuesta por Nelson (2006), el cual basado en un análisis cladista, que se fundamenta en la formación de grupos naturales o monofiléticos, propone cuatro órdenes de Batoideos: Rajiformes, Pristiformes, Torpediniformes y Myliobatiformes.

Superorden Batoidea

Orden Rajiformes

Aleta caudal moderadamente bien desarrollada, reducida o ausente; cola extremadamente esbelta, aletas dorsales 0-2; la mayoría con espinas en la piel derivadas de escamas placoideas, usualmente en una hilera media a lo largo de su dorso; gonopterigios largos, delgados y deprimidos distalmente; ovíparos, con huevos encerrados en cápsulas córneas con cuatro puntas largas (Fig. 2).

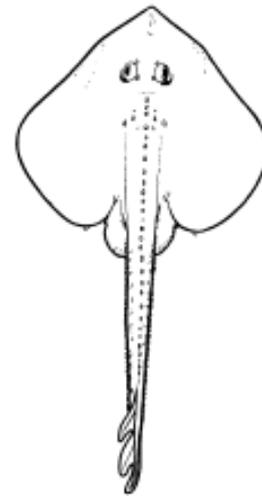


Figura. 2: Organismo perteneciente al orden Rajiformes (Tomado del Nelson 2006).

Orden Pristiformes

Solo tienen una familia (Pristidae), son marinos y raramente se les encuentra en aguas continentales ascendiendo río arriba, circuntropicales, de plataformas continentales del Índico, Pacífico y Atlántico.

Hocico producido en una hoja larga y plana con dientes a cada lado, barbillas ausentes; cuerpo parecido al de un tiburón aunque su cabeza es aplanada; dos aletas dorsales distintivas y una aleta caudal. Su máxima longitud es alrededor de los 6m (Fig. 3).

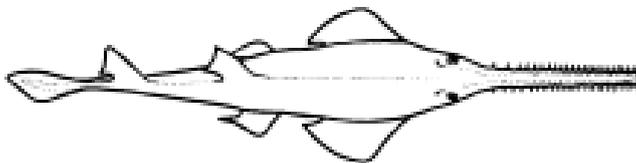


Figura. 3: Organismo perteneciente al orden Pristiformes (Tomado de Nelson 2006).

Orden Torpediniformes

Rayas eléctricas; organismos con un poderoso par de órganos eléctricos derivados de los músculos branquiales de la cabeza; marinas, aguas continentales y de plataformas insulares de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico.

Disco truncado anteriormente, mandíbulas extremadamente delgadas, sin cartílagos labiales y un rostrum reducido. Piel suave y tersa con ojos regularmente pequeños ó inexistentes.

Dos géneros con 22 especies (Fig. 4).



Figura. 4: Organismo perteneciente al orden Torpediniformes (Tomado del Nelson 2006).

Orden Myliobatiformes

A este grupo de organismos de les conoce comúnmente como pastinacas, rayas aguijón, rayas águila; la mayoría de los miembros tienen gran desarrollo cerebral; hay 10 familias con 27 géneros y 183 especies según la clasificación de Nelson (2006).

Alcanzan tallas variadas, desde unos cuantos centímetros como los Urolófidós hasta los Mobúlidos con envergaduras cercanas a los 7m y un peso superior a una tonelada y media. La mayoría de las especies son bentónicas y están confinadas a permanecer cercanas a la plataforma continental, aunque existen especies epipelágicas que se desplazan por movimientos de la aleta caudal como *Rhinobatos*, o por ondulación de las aletas pectorales como en *Himantura* o aleteo de las mismas como en Myliobatidae. Parte importante del grupo son depredadores por lo que han desarrollado adaptaciones a nivel de sistema nervioso mostrando las más altas relaciones de peso cerebro-cuerpo conocidos en los elasmobranquios según Smeets *et.*, (1998).

Existen importantes variaciones cerebrales dentro del grupo de los batoideos cuyas diferencias son comparables a los dos grandes grupos que dividen a los tiburones. La familia Myliobatidae presenta los mayores coeficientes de peso cerebral y no solo dentro del grupo de los batoideos sino de todos los elasmobranquios (Smeets *et al.*, 1998).

Del orden Myliobatiformes la familia Myliobatidae es el grupo con los mayores grados de desarrollo cefálico, (Fig. 5) (Nelson 2006). Dentro de sus principales características 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, en renglones de uno a siete. Los dentículos dérmicos pueden estar 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 aliformes pudiendo recorrer grandes distancias (González, 2003).

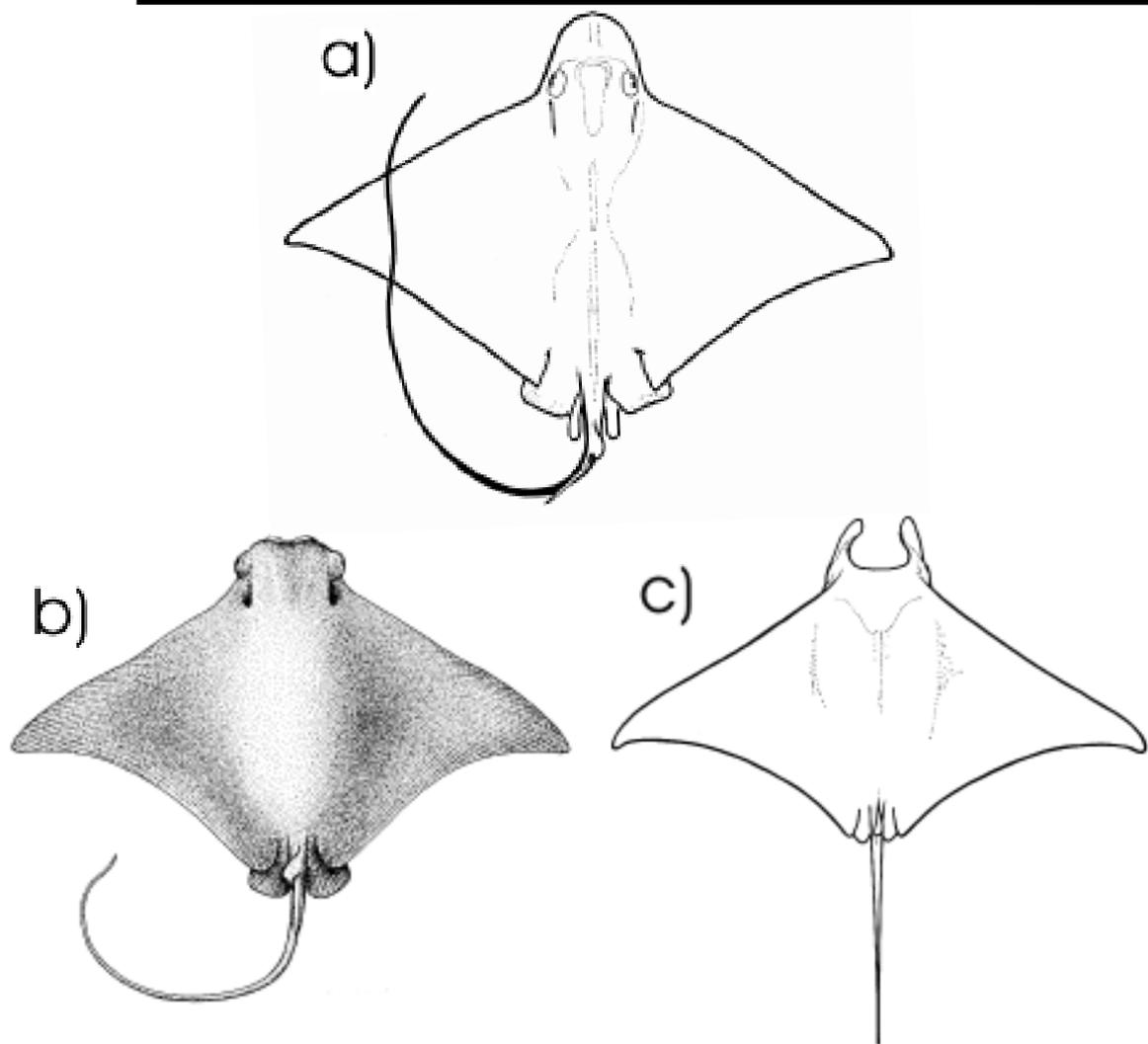


Figura 5. Familia Myliobatidae. a) Myliobatinae, b) Rhinopterinae, c) Mobulinae (Nelson, 2006).

Generalmente se encuentran cerca de la superficie, y algunos organismos pueden ocasionalmente saltar totalmente fuera del agua. Sin embargo, comúnmente nadan en grupos cerca del fondo. Son vivíparos con camadas de dos a seis individuos. Este grupo probablemente se originó de los Dasiátidos, ya que los dientes laterales de los Miliobátidos son similares a los de dicho grupo. La familia Myliobatidae está compuesta por 3 subfamilias: Myliobatinae, Rhinopterinae y Mobulinae (González, 2003). La subfamilia Myliobatinae está constituida de 4 géneros que son *Aetobatus*, *Aetomylaeus*, *Myliobatis* y *Pteromylaeus* mientras la subfamilia Rhinopterinae está constituida de un solo género, *Rhinoptera*.

***Aetobatus narinari* (Euphrasen 1790)**

Descripción General: disco rómbico al menos de 1.7 a 2.0 veces tan ancho como largo; cabeza conspicuamente marcada del disco; el hocico se proyecta formando un lóbulo rostral plano con 15 radios de cada lado. Márgenes anteriores del disco convexos, posteriores cóncavos. Esquinas externas de las aletas pectorales puntiagudas. Ojos y espiráculos en posición lateral; sin aleta caudal pero con una pequeña aleta dorsal en la base de la cola localizada anterior a la espina aserrada. La cola delgada se diferencia claramente del cuerpo y constituye en promedio del 75 al 80% de la longitud total del cuerpo. La superficie dorsal y ventral de la cola con un pliegue longitudinal, posterior al origen de la espina. Aletas pectorales con 180 radios cada una y las pectorales con 22. Piel lisa.

Alcanzan tallas de más de 2.3 m de anchura del disco, común hasta 1.3. El color en las especies del Golfo de México tienen la superficie dorsal verde olivo, negro, gris oscuro e incluso azul, mientras en las especies del pacífico tienen un color pardo; en ambos casos con manchas blancas redondeadas o elípticas blanquecinas o a veces amarillas con la superficie ventral blanquecina. Son organismos vivíparos aplacentados.

En mares de Australia se han reportado organismos con un diámetro de disco cercano a los 3m y de 8.8m incluyendo la cola. Su hábitat generalmente no excede más allá de los 60m de profundidad y se han encontrado organismos dentro de los estuarios (Tricas, 1998). Ellos alcanzan su madurez sexual después 4-6 años.

El gran atractivo de esta raya es su dorso moteado, además de que gasta mucho de su tiempo nadando activamente cerca de la superficie del mar abierto. Como otros miembros de la familia sus dientes en forma de plato son utilizados para romper las conchas de ostras, almejas y otros muchos moluscos (Fig. 6).

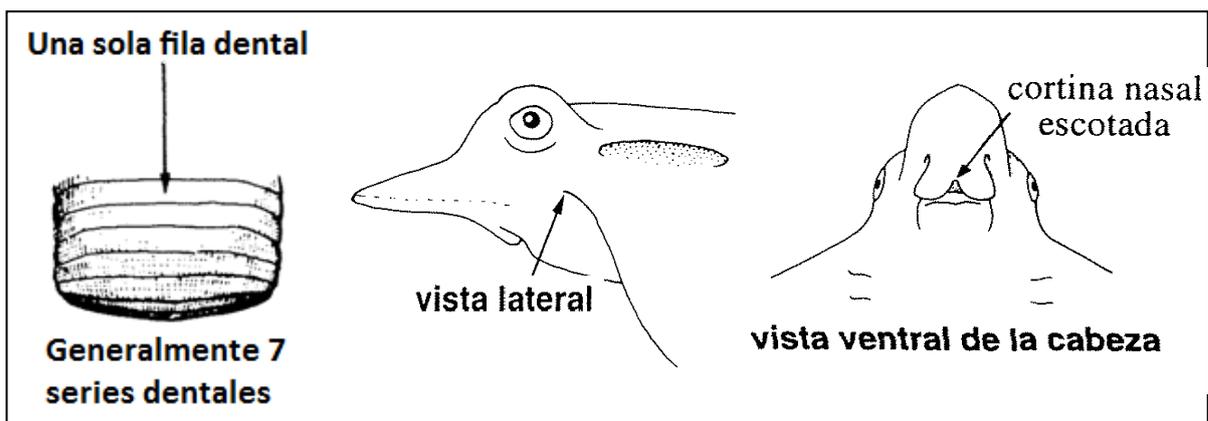


Figura. 6: Características de identificación para *Aetobatus narinari* (Tomado de Fisher et al., 1995).

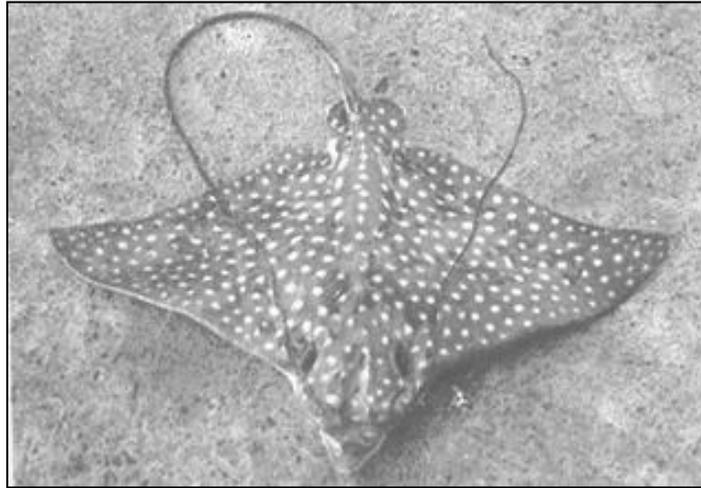


Figura. 7: Vista dorsal de *Aetobatus narinari* (Tomado de González., 2003).

Puede encontrarse solitario o en cardúmenes de varios centenares de individuos. Se alimenta principalmente de bivalvos, incluso de ostras, camarones, poliquetos y en menor proporción de peces. Se captura como pesca de acompañamiento en otras pesquerías y se utiliza en algunas localidades para consumo humano (Fig. 7).

Distribución geográfica

Cosmopolita de mares tropicales, subtropicales y aguas cálidas que se encuentran entre los 35° N y los 35° S. Para el continente americano lo encontramos en el océano atlántico occidental, distribuyéndose desde Carolina del Norte (EUA) hasta Brasil. En el Pacífico oriental desde las costas del Golfo de California hasta Panamá, incluyendo las islas Galápagos (Bigelow y Schorder, 1953; S.I.C., 1976 Castro-Aguirre y Espinoza, 1996; Fig. 8).

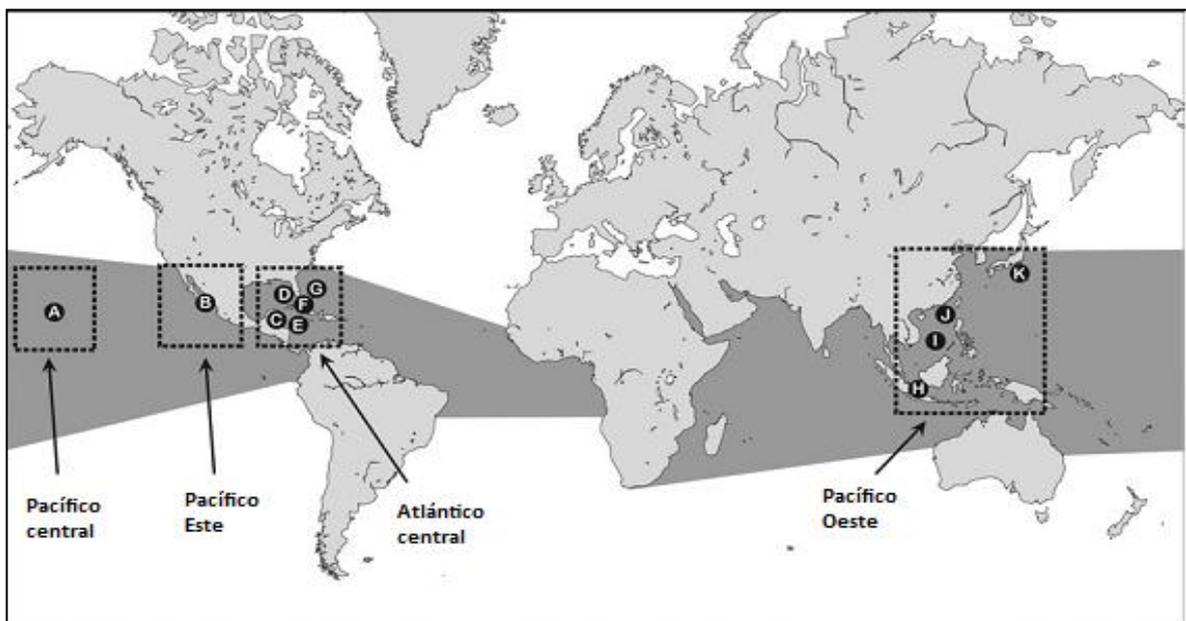


Figura. 8: Distribución conocida a nivel mundial de *A. narinari* (Tomado de Richards *et al.*, 2009).

***Rhinoptera steindachneri* (Evermann and Jenkins, 1891)**

Descripción general: Chucho dorado, Gavilán dorado, Gavilán negro.

Disco rómbico de 1.5 a 1.7 veces tan ancho como largo; cabeza conspicuamente marcada del disco; el hocico se proyecta formando un lóbulo rostral bilobulado, con 21 radios de cada lóbulo. Márgenes anteriores del disco convexos; márgenes posteriores cóncavos. Ojos y espiráculos en posición lateral; sin aleta caudal, pero con una pequeña dorsal en la base de la cola, localizada delante de la espina aserrada. La cola delgada, se diferencia claramente del cuerpo y constituye aproximadamente del 59 al 69% de la longitud total. Piel desnuda, con excepción de la espina aserrada.

Vive en aguas costeras de plataforma continental. Nada activamente batiendo sus aletas pectorales a modo de alas y puede efectuar grandes migraciones. Ocasionalmente se observa en la superficie y hasta brincando fuera del agua, pero generalmente nada en pequeños grupos cerca del fondo. Se alimenta de crustáceos bentónicos y de concha dura, que arranca del fondo con sus aletas pectorales y su rostro bilobulado. Es vivíparo aplacentado y sus neonatos se asemejan a la forma adulta (Fig. 9).

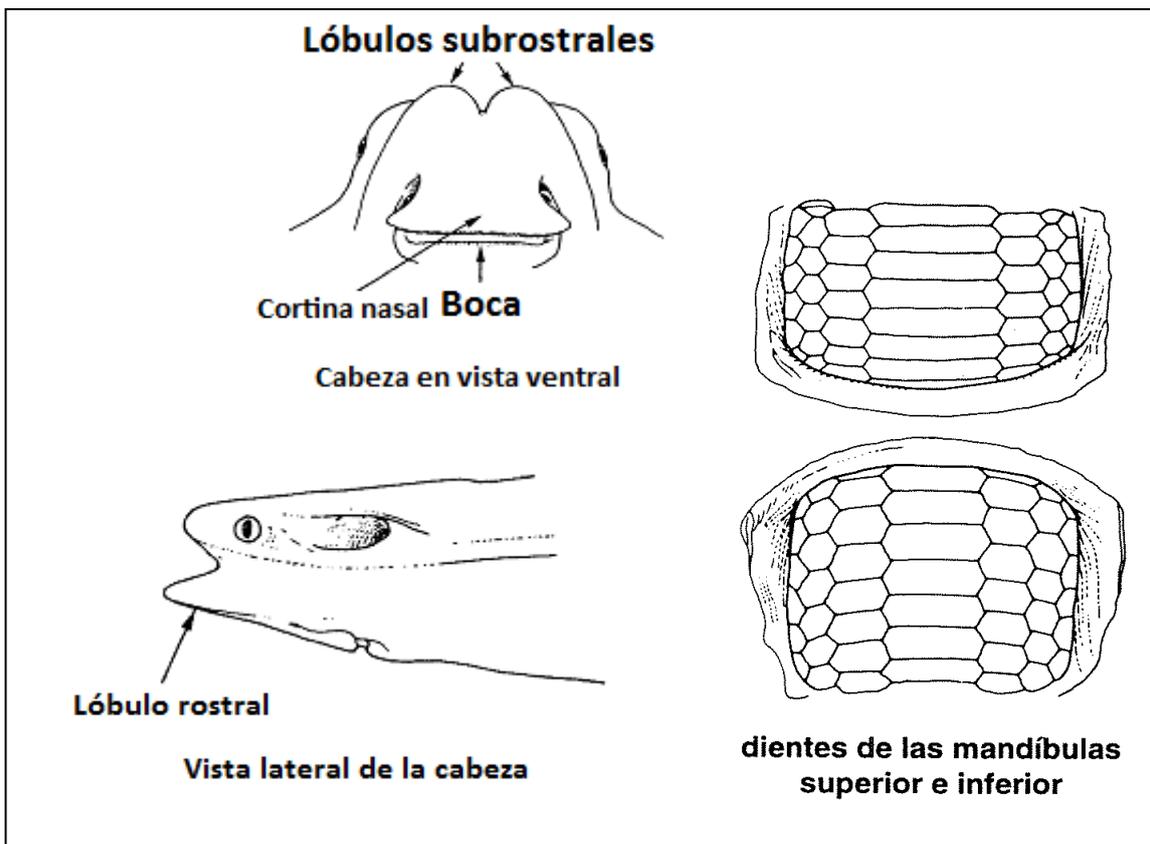


Figura. 9: Características de identificación para *Rhinoptera steindachneri* (Tomado de Fisher et al., 1995).

Estos organismos pueden ser capturados en redes pesqueras como fauna de acompañamiento, en chichorro playero o incluso en palangre. Talla máxima: 78 cm de longitud del disco. Su carne es muchas veces descartada, sin embargo en el pacífico tropical mexicano si es consumida por la población.

Color: Superficie dorsal de pardo a pardo-verdosa; superficie ventral blanquecina. Obsérvese en la figura 10.



Figura. 10: Vista frontal de *Rhinoptera steindachneri*

Distribución geográfica

Los miembros de esta familia se encuentran en aguas cálidas y mares tropicales de todo el mundo excepto en las islas del pacifico. Ellos son más abundantes en aguas costeras y más frecuentemente en la entrada de bocas estuarinas. *Rhinoptera steindachneri* se distribuye desde la Bahía de Todos los Santos, B. C., hasta Cabo San Lucas, B. C. S y el Golfo de California hasta Perú e Islas Galápagos (Fig. 11; Castro-Aguirre y Espinosa, 1996).



Figura. 11: Distribución de *R. steindachneri* del Pacífico oriental (Tomado de aquamaps.org)

Antecedentes

Los estudios realizados sobre anatomía cefálica en elasmobranquios arrojan importantes descubrimientos sobre el origen y desarrollo tanto ecológico como evolutivo de este grupo de peces. Además de las formas de vida tan complejas y diversas que pueden presentar se ha encontrado un estructurado y altamente desarrollado sistema nervioso, que desde los años 70's del siglo XX ha venido siendo mas y mas estudiado para poder explicar el importante y significativo desarrollo cefálico de muchas de las especies de este grupo. Sin embargo, estos hallazgos arrojan más interrogantes no solo sobre las similitudes sino entre las diferencias de dichos grupos. La evidencia revela que la forma de vida juega un papel de mayor importancia que lo pensado, esto se puede explicar con organismos poco emparentados que comparten caracteres tan similares como si perteneciesen al mismo grupo, sin embargo, las formas de vida son sumamente parecidas. Yopak, (2007, 2008) denominó a este fenómeno como eventos de correlaciones ecológicas que conducen a estructuración similar en ambientes similares.

Dentro de los trabajos que se han realizado para el sistema nervioso de Batoideos pueden destacar los siguientes.

Northcutt (1977) realizó una exhaustiva revisión del cerebro de tiburones e hizo una comparación de la masa cerebral de estos organismos con peces óseos, aves y mamíferos y encontró que el desarrollo cefálico de muchos Chondrycties es comparable con organismos con cerebros tan especializados como los mamíferos. Determinó que las estructuras más importantes para hacer una comparación anatómica del cerebro son el telencéfalo y el cerebelo; menciona además que estas estructuras tuvieron un gran desarrollo evolutivo y de especialización independiente y paralela a los organismos más desarrollados en hábitats tanto terrestres como aéreos.

Northcutt (1989) realizó un análisis cladístico utilizando relaciones filogenéticas en cuanto a cerebelo de Chondrycties vivientes determinando que los organismos primitivos de este grupo poseían cerebros pequeños y que el desarrollo y especialización de cerebros más grandes ocurrió de manera independiente en los Myliobatiformes actuales por el ancestro común de Heterodontidos y Galeomorfos. También se destaca que el cerebelo ha incrementado tanto en tamaño como en complejidad y foliación en los diferentes grupos de manera independiente.

Smeets et al. (1998), realizaron una revisión general sobre la anatomía de los cerebros de rayas y tiburones, en su trabajo incluyen esquemas de los cerebros y además describen detalladamente que el cerebro de estos organismos está en la región central del cráneo, que todas las terminales nerviosas importantes parten o llegan a el, excepto el nervio olfatorio que aunque sale del telencéfalo tiene otros centros de origen de mayor importancia como son los lóbulos olfatorios.

Walker y Sherman (2001) realizaron un estudio morfológico del cerebro de *Urobatis jamaicensis* donde encontraron que la estructura cerebral externa de dicha especie es similar a otros batoideos incluyendo la asimetría cerebelar, y la simetría bilateral cerebral bien desarrollada; también mencionan que la longitud del cerebro es significativamente grande en comparación a la longitud total del cuerpo.

Lisney y Collins (2005) realizaron una comparación cuantitativa entre el grado de cefalización y desarrollo cerebral relativo de cinco partes del cerebro entre tiburones pelágicos y peces teleósteos, destacando el desarrollo de dos áreas de integración en el telencéfalo y en el cuerpo cerebelar, además de tres áreas cerebrales sensoriales, lóbulos olfatorios, el tectum óptico y el área octavo lateral. Las proporciones relativas de tres áreas sensoriales cerebrales se promediaron respecto al total de las áreas sensoriales cerebrales y se hizo un análisis alométrico, además de una comparación entre los tiburones y los peces teleósteos concluyendo que los tiburones tienen una encefalización mucho mayor respecto al total del cráneo y de las zonas sensoriales que los peces teleósteos. Sin embargo, estos peces tienen más desarrollado el tectum óptico que los tiburones.

Yopak et al., (2007) y Yopak y Montgomery., (2008) llevaron a cabo una serie de estudios sobre la especialización y la organización cerebral de Chondrichthyes tanto de Holocéfalos como tiburones y Batoideos en los mares de Australia, donde se enfocaron principalmente al grado de organización cerebral, niveles de foliación cerebelar escala implementada por Yopak et al., (2007) y grados de especialización utilizando variables comparativas como el parentesco filogenético y las correlaciones ecológicas como factor de influencia en la especialización cerebral, principalmente en organismos a gran profundidad, pelágicos, bentónicos y bentopelágicos y las diferencias de esta variable entre ellos.

Lisney et al., (2008) realizaron un estudio comparativo de 20 especies de batoideos para calcular las variables interespecíficas en cuanto a tamaño y forma de las cinco principales unidades morfofuncionales del encéfalo y haciendo énfasis en la foliación cerebelar. Se tomaron en cuenta para el desarrollo de este estudio que las especies utilizadas provinieran de distintos orígenes filogenéticos, distintos hábitat con distintos estilos de vida en general. El estudio confirmó que las variables ecológicas son sumamente importantes y que influyen en la variación interespecíficas de las especies, tanto como las relaciones filogenéticas.

Guerrero (2008) realizó un estudio descriptivo sobre la morfología del encéfalo y pares craneales de tres especies de miliobatidos (*Dasyatis americana*, *Gymnura micrura* y *Urtrygon aspidurus*), encontrando que existen diferencias significativas en la morfofisiología del encéfalo de las tres especies. Además menciona que no existe una correlación entre la longitud máxima del encéfalo y su anchura máxima, y que el telencéfalo, el diencefalo y el mesencefalo son las estructuras más similares que comparten las tres especies.

Justificación

El estudio de los Batoideos ha quedado muy rezagado en comparación con otros Elasmobranquios como los tiburones, debido a que su importancia tanto comercial como ecológica ha sido subestimada y poco valorada. Existen pocas investigaciones sobre ellos así como contados especialistas, quienes resaltan constantemente la importancia evolutiva de estos organismos, sin embargo, su desarrollo y especialización cerebral queda apenas por debajo de mamíferos avanzados y a la par de grandes aves depredadoras.

Es por ello que es importante la realización de este tipo de estudios que tienen la intención de enriquecer la información existente, corroborar datos y contribuir a la investigación realizada hasta el momento para entender mejor la dinámica ecológica y evolutiva de estos organismos.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un estudio anatómico del encéfalo de *Aetobatus narinari* y *Rhinoptera steindachneri*.

Objetivos particulares:

Describir la morfología y la disposición de las estructuras encefálicas de *A. narinari*.

Describir la morfología y la disposición de las estructuras encefálicas de *R. steindachneri*.

Realizar una comparación anatómica del encéfalo entre ambas especies.

Material y métodos:

Para este estudio se trabajó con dos especies pertenecientes a la familia Myliobatidae cuyos organismos fueron colectadas durante la realización de este estudio, también fueron proporcionados por el laboratorio de anatomía. Para su clasificación se utilizó la clasificación de Nelson (2006).

Clase: Chondrichthyes

Subclase: Elasmobranchii

Superorden: Batoidea

Orden: Myliobatiformes

Familia: Myliobatidae

Subfamilia: Myliobatinae

Género: *Aetobatus*

Especie: *Aetobatus narinari* (Euphrasen, 1790)

Subfamilia: Rhinopterinae

Género: *Rhinoptera*

Especie: *Rhinoptera steindachneri* (Evermann and Jenkins, 1891)

Los ejemplares de *A. narinari* se capturaron en la playa del poblado del Bayo, Municipio de Alvarado, Veracruz $19^{\circ}00'41.37''N$ y $95^{\circ}57'98.21''O$. Los ejemplares de *R. steindachneri* se obtuvieron del Laboratorio de Anatomía cuyos organismos fueron colectados en las costas del Pacífico tropical mexicano, principalmente en Ixtapa Zihuatanejo $17^{\circ}38'18.27''N$ y $101^{\circ}33'19.80''$, con ayuda de los pescadores locales utilizando el palangre como arte de pesca (Fig. 12).

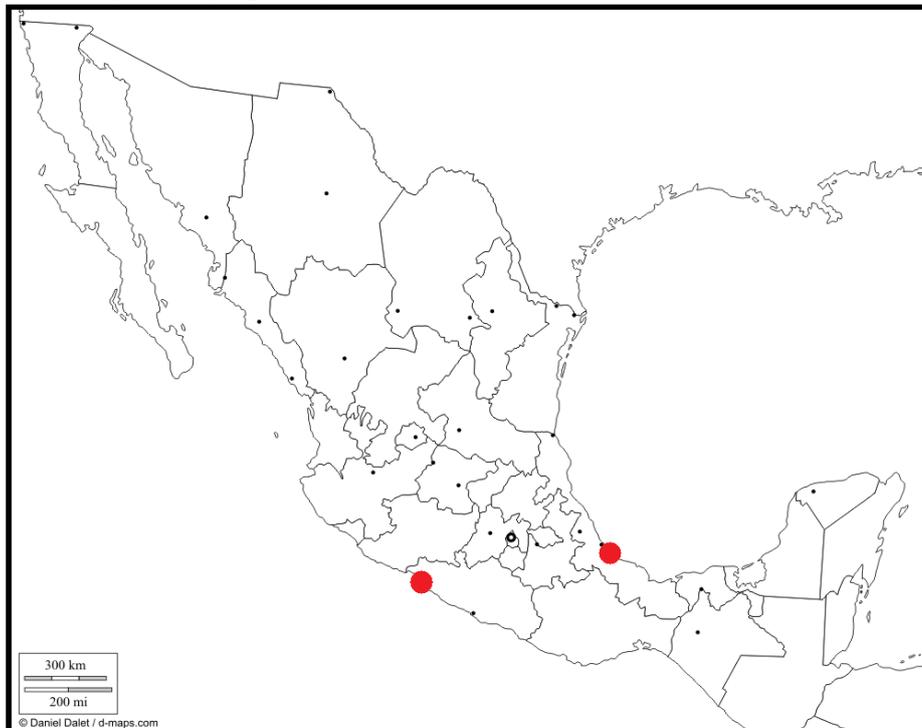


Figura. 12: Zonas de colecta (costas de Alvarado, Ver y Zihuatanejo, Gro). (Tomado de o-maps.com).

En las zonas de colecta se utilizó el palangre como arte de pesca con la ayuda de los pescadores lugareños (Fig. 13).



Figura. 13: Se utilizó el palangre como arte de pesca.

Se trabajó con 3 cerebros de los organismos de la especie *Aetobatus narinari*, y 3 cerebros de la especie *Rhinoptera*. La determinación taxonómica se realizó con las claves de Bigelow y Shroeder (1953), Compagno (1984), Notarbartolo McEachran y Di-Sciara (1995).

Posteriormente los organismos fueron procesados *in situ* retirando la cabeza a la altura de las branquias del resto del disco por completo. La cabeza fue inyectada con formol salino al 4% y se enjuagó completamente la sangre. Después fue retirada la piel y la musculatura craneal dejando expuesto el cerebro; la cabeza entera fue embebida en agua pura con formol salino dentro de bolsas de plástico transparentes.

Ya determinados los organismos, se realizó la disección por la técnica convencional, retirando la musculatura craneal y se retiró completamente el neurocráneo, el esqueleto hiobranquial, la sinarcualia y parte de la columna vertebral exponiendo completamente el encéfalo.

Se realizaron esquemas del encéfalo y otras estructuras importantes de la bóveda craneal, pares craneales y otras estructuras tomando las medidas necesarias para obtener las escalas correctas.

En forma simultánea se obtuvieron placas fotográficas, las cuales se utilizaron como apoyo para los esquemas y así entender las descripciones anatómicas, las cuales se realizaron utilizando la nomenclatura utilizada por Smeets, *et al.* (1998), Kardong (2006) y Northcutt (1989) (Fig. 14).

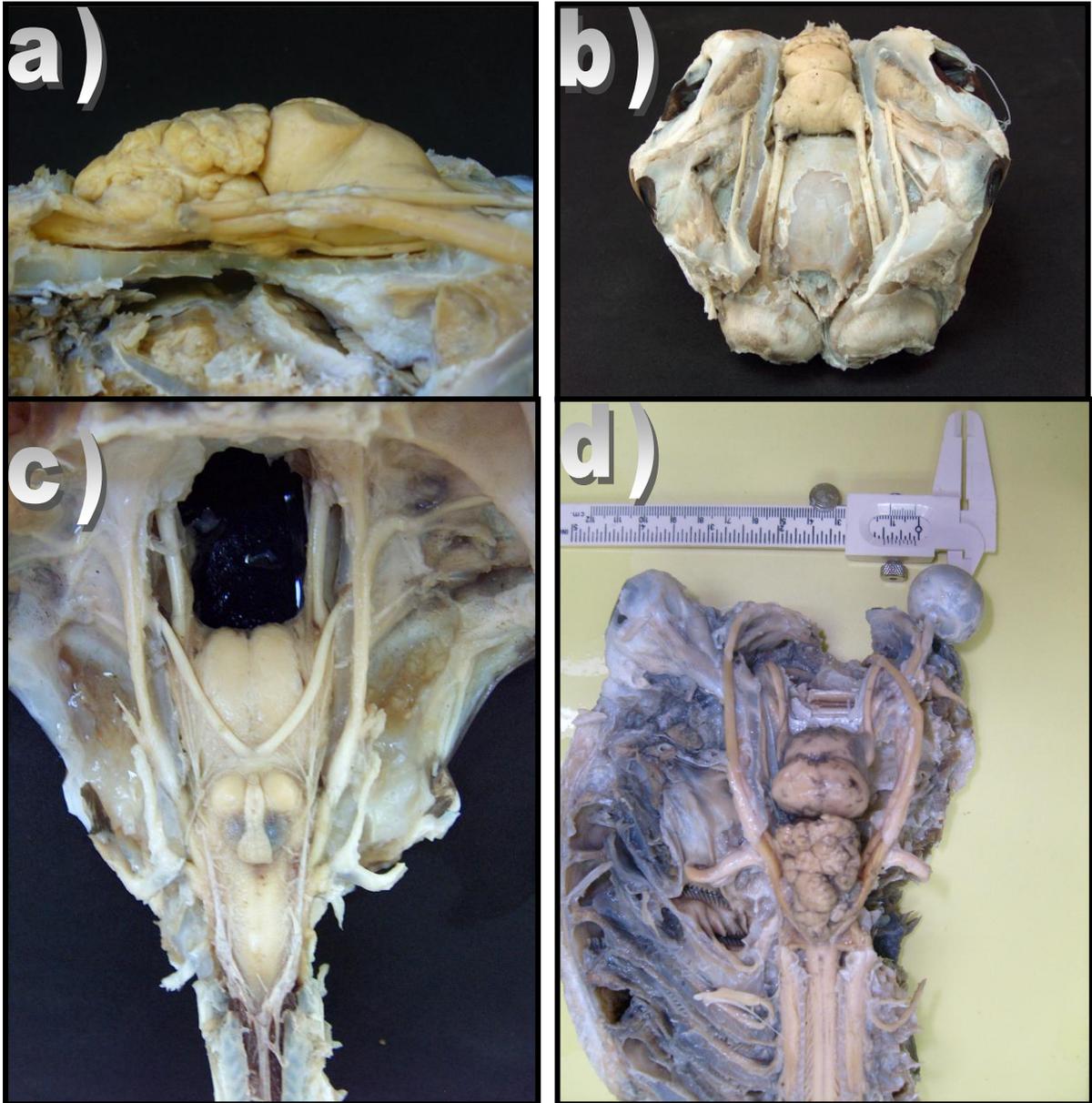


Figura. 14: a) Vista lateral del encéfalo de *A. narinari*. b) Vista frontal de *A. narinari*. c) Vista ventral de *A. narinari*. d) Vista dorsal de *R. steindachneri*.

Posteriormente se obtuvieron valores morfométricos como la anchura y longitud de las cinco regiones diferenciables del encéfalo (telencéfalo, diencéfalo, mesencéfalo, médula oblongada y cerebelo) las medidas fueron estandarizadas con base a la longitud patrón (Figuras 15, 16 y 17).

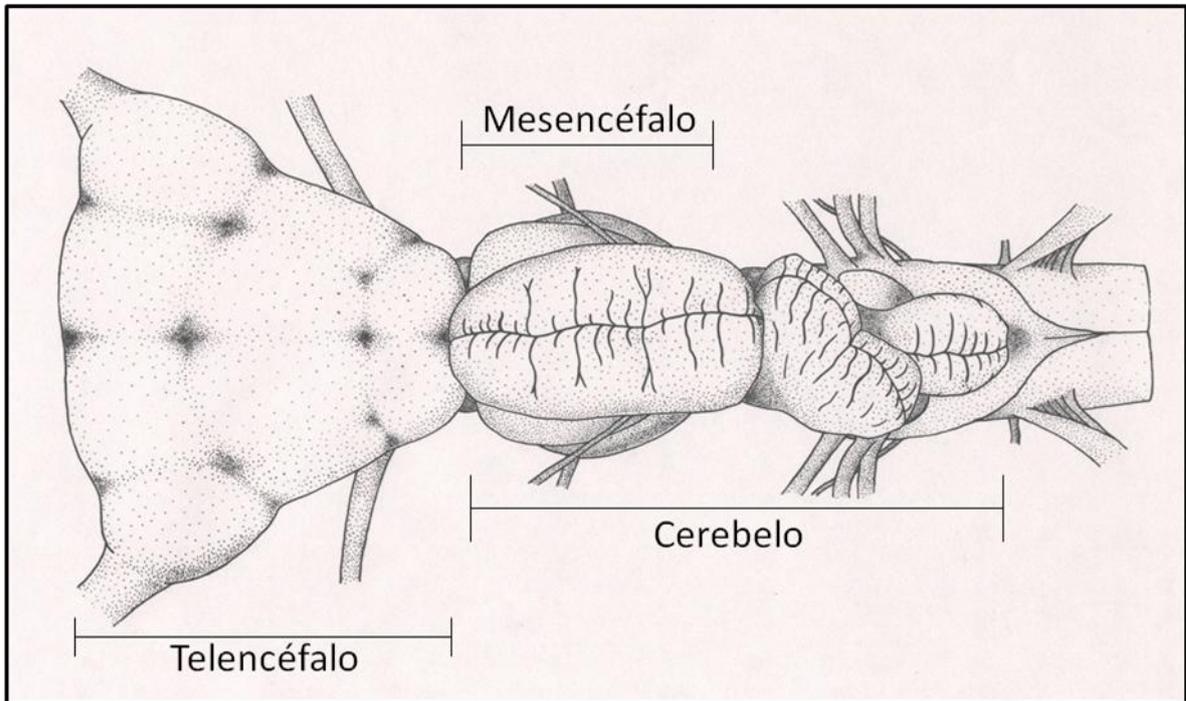


Figura. 15: Vista dorsal del encéfalo de *Urobatis jamaicensis*. Tomado de Walker y Sherman, (2001).

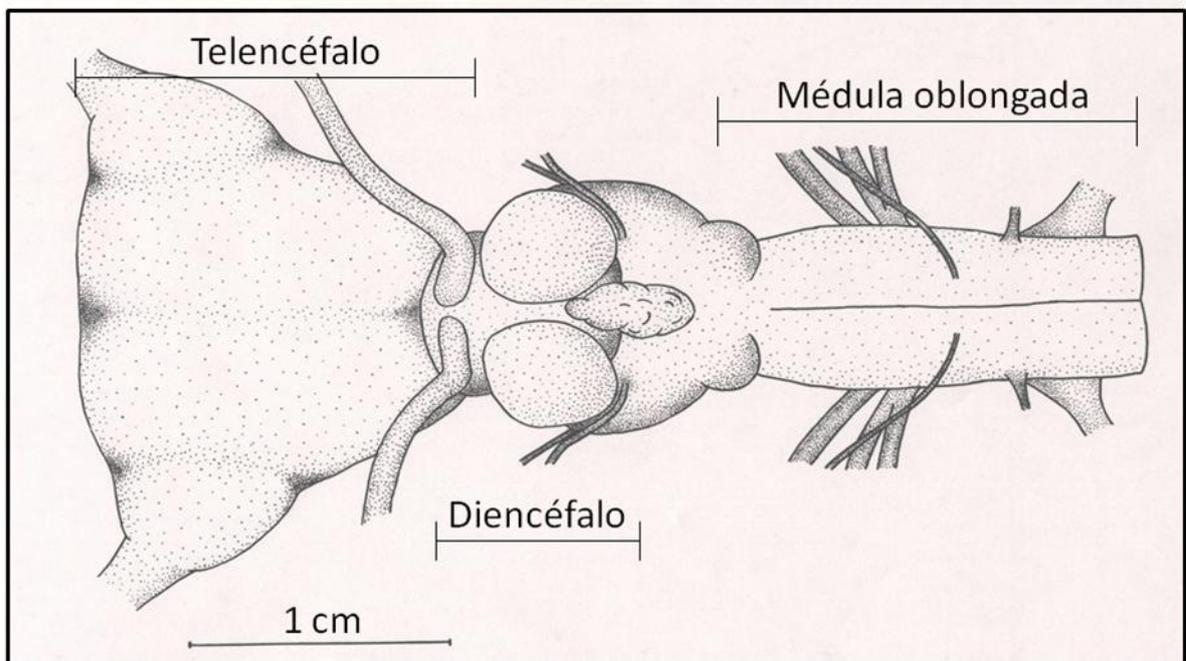


Figura. 16: Vista ventral del encéfalo de *Urobatis jamaicensis*. Tomado de Walker y Sherman (2001).

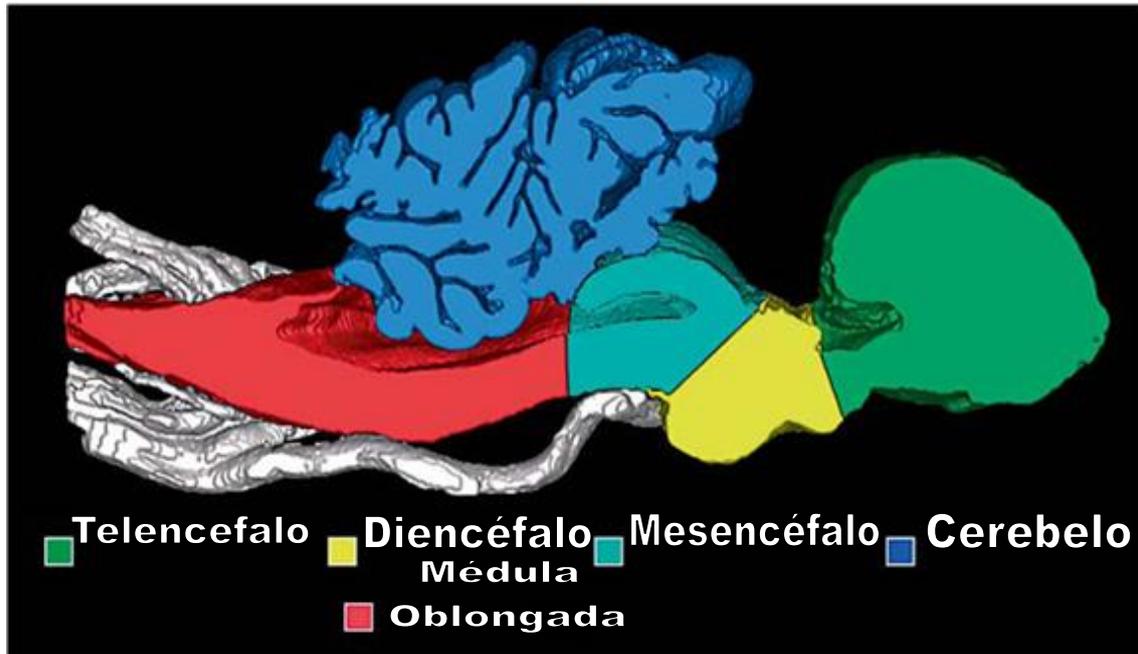


Figura. 17: Corte lateral del encéfalo de *Rhinocodon typus*. (Tomado de Yopak y Frank, 2009).

Resultados

Para la descripción anatómica, obtención de valores morfológicos y la comparación entre las especies se utilizaron tres organismos de *Aetobatus narinari* y tres de *Rhinoptera steindachneri*.

Descripción del encéfalo de *Aetobatus narinari*

El cerebro de *Aetobatus narinari* es largo y bien desarrollado, posee un telencéfalo grande respecto a la longitud patrón, un cerebelo de considerable longitud y gran foliación además de bulbos olfatorios prominentes (Anexo 1).

Telencéfalo

El telencéfalo de *Aetobatus narinari* (Tabla 1) es la porción más anterior del cráneo y la segunda estructura más grande del cerebro (Fig. 18); se encuentra dividido en tres regiones principales: 1) Pedúnculos olfatorios y bulbos olfatorios, 2) lóbulos hemisféricos telencefálicos, 3) telencéfalo impar. Los bulbos olfatorios están compuestos por dos gruesos y largos pedúnculos olfatorios que representa en promedio el 84.90% de la longitud patrón (L.P); dichos pedúnculos se proyectan a partir de los lóbulos olfatorios, estructuras que se encuentran a los costados de la cara rostral del telencéfalo; los pedúnculos se proyectan hacia la región rostroventral del encéfalo atravesando el foramen del canal orbitonasal del cráneo hacia las cápsulas nasales, donde se conectan con los bulbos olfatorios por la región media dividiéndose hacia ambos lados y abrazando dorsolateralmente dichas estructuras, que son prominentemente grandes. En los bulbos olfatorios se encuentra el primer par craneal (I, olfatorio). Su anchura promedio es del 56.03% respecto a la longitud patrón (Tabla 1). El nervio terminal se proyecta de igual manera desde el telencéfalo hasta los bulbos olfatorios, sin embargo, no corre independientemente debido a que se encuentra parcialmente fusionado con-el pedúnculo olfatorio, a pesar de esto se alcanza a distinguir a ambos nervios (Figs. 18 y 19).

El telencéfalo es la fusión de la segunda y tercera región, ocupando aproximadamente el 49.30% de la longitud patrón (Tabla 1). El borde anterior inicia con los lóbulos hemisféricos telencefálicos, a sus costados se observan los lóbulos olfatorios, zona de origen de los pedúnculos olfatorios. Los lóbulos hemisféricos se encuentran generalmente uno a cada lado de la cabeza divididos por un surco vertical intermedio (fig. 19); en *Aetobatus narinari* dicho surco es imperceptible en la cara dorsal del telencéfalo dado al grado de fusión de los hemisferios, por lo que se aprecia una sola vesícula, a pesar de ello es evidente en la región ventral del telencéfalo; la cara dorsal del telencéfalo se encuentra dividida por un surco sumamente pronunciado que cruza horizontalmente. En posición inferior a dicho surco, en el centro de la cara rostral del telencéfalo, se observa una invaginación profunda; la tercera y última región conocida, es el telencéfalo impar que inicia en el borde rostral del foramen Monroe y termina en la cara anteroventral del quiasma óptico (figs. 22 y 23).

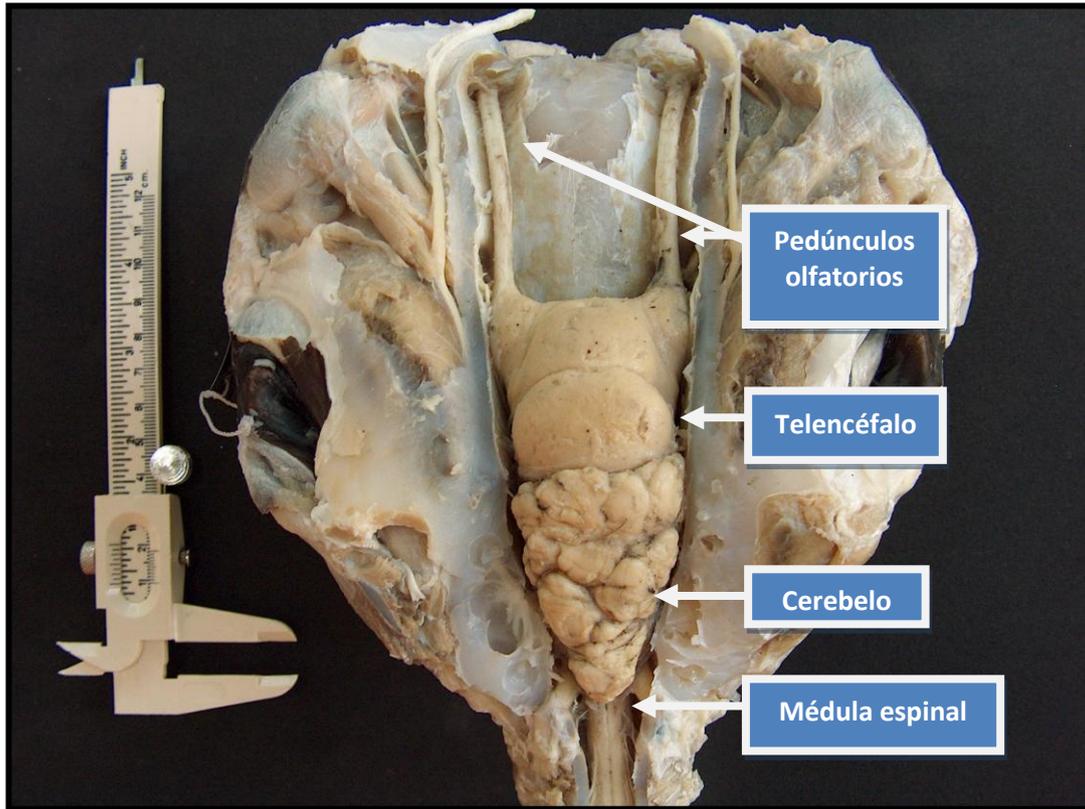


Figura. 18: Vista dorsal del cerebro *Aetobatus narinari* (adulto).

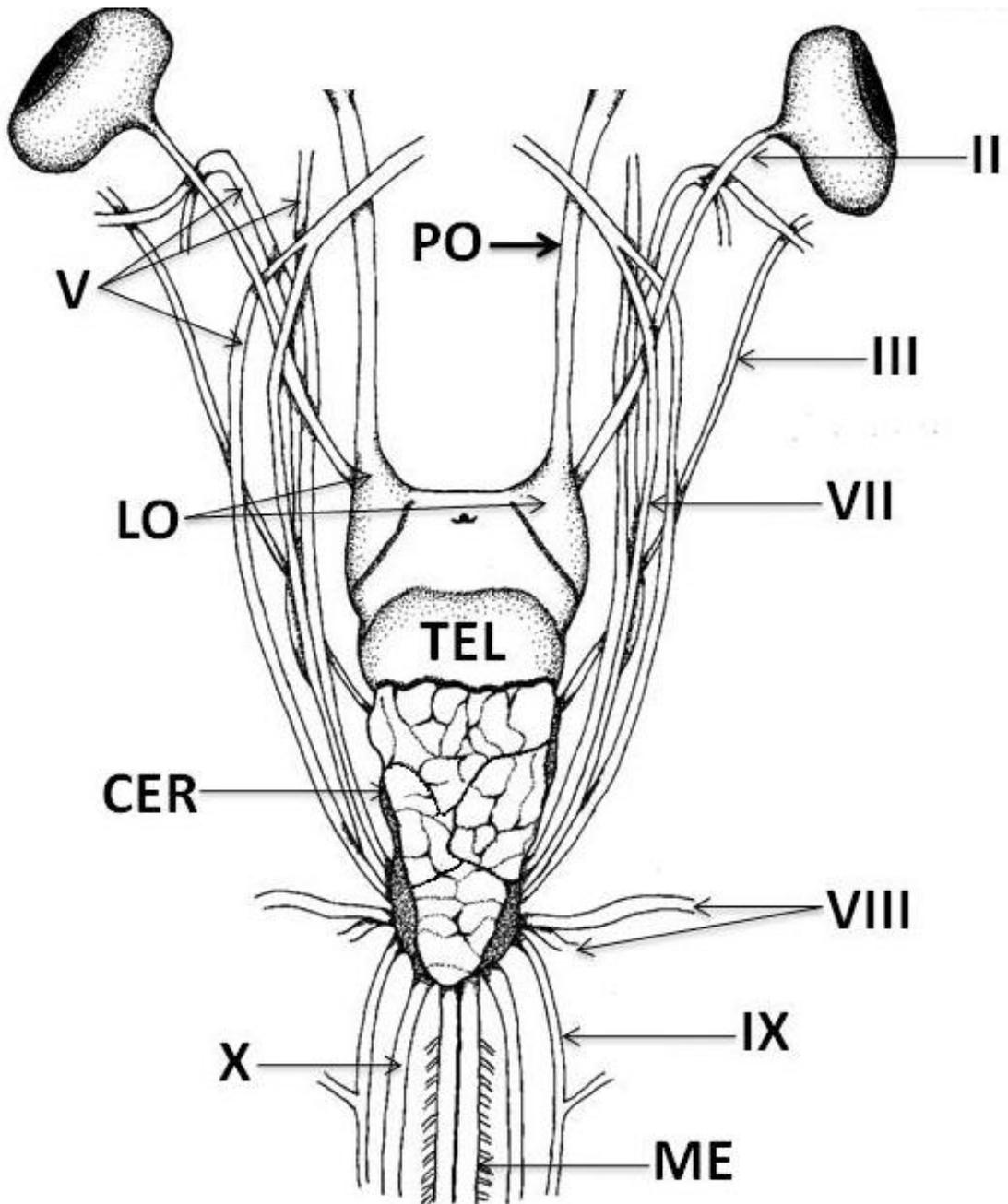


Figura. 19: Vista dorsal del encéfalo de *Aetobatus narinari*. CER, Cerebelo; LO, Lóbulos olfatorios; Me, Médula espinal; PO, Pedúnculos olfatorios; TEL, Telencéfalo; Vesículas Cerebelares; Pares craneales: II, óptico; III, oculomotor; V, trigémino; VII, facial; VIII, acústico; IX, glossofaríngeo; X, vago.

Diencéfalo

El diencéfalo (Fig. 22) se encuentra en posición ventral en la región caudal del telencéfalo, justo por debajo del mesencéfalo, tiene una longitud promedio de 18.34% respecto a la longitud patrón (Tabla 1); el borde anterior inicia en el quiasma óptico, donde se origina el nervio craneal II, el cual es grueso y tan largo como la longitud del cráneo, proyectándose rostrolateralmente y atravesando el forámen craneal del nervio óptico insertándose en la región media del lóbulo ocular. Hay que aclarar que en el caso de *Aetobatus narinari* no existe un quiasma óptico como tal debido a que no hay un entrecruzamiento del par craneal II, de cualquier modo se le nombra así. El borde posterior está delimitado por la región caudal de los lóbulos inferiores del infundíbulo (lii). El diencéfalo está constituido principalmente por el quiasma óptico y por los lii en cuyo centro se inserta el lóbulo rostral de la hipófisis (región anterior de la hipófisis). Posterior a los lii se encuentra el lóbulo neuro-intermedial (lin) el cual está unido al resto del diencéfalo, debido a que el lóbulo medial de la hipófisis (región posterior de la hipófisis) se inserta en su centro (Figs. 22 y 23).

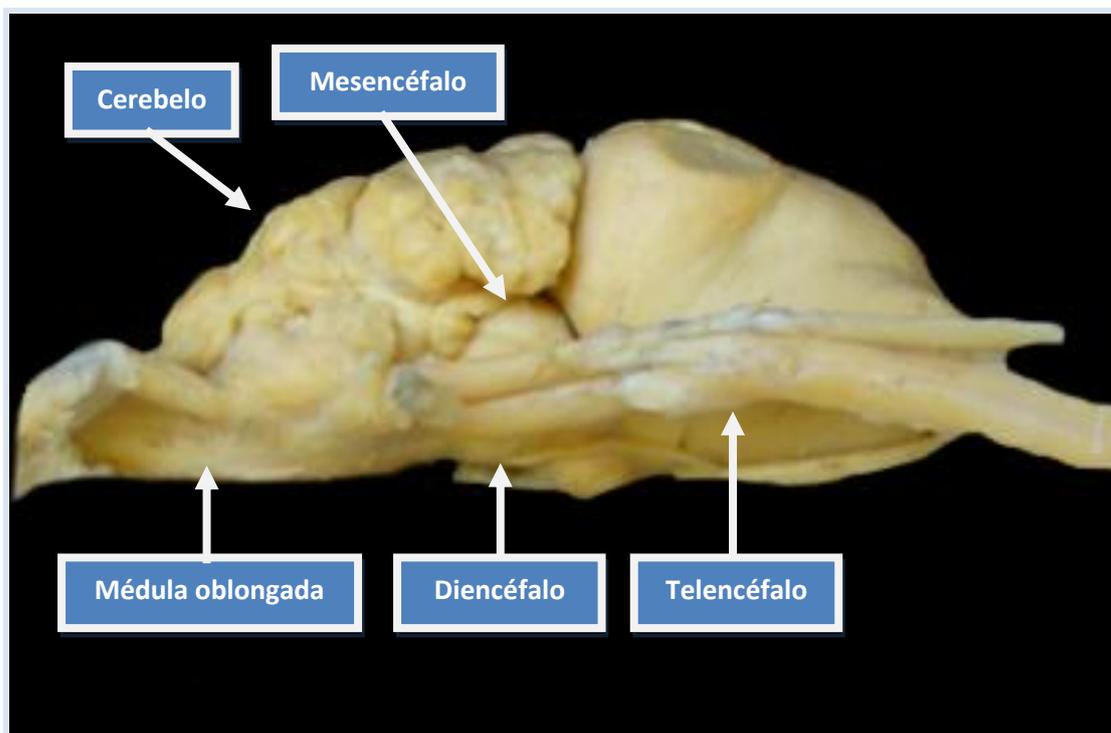


Figura. 20: Vista lateral del cerebro de *Aetobatus narinari* (adulto).

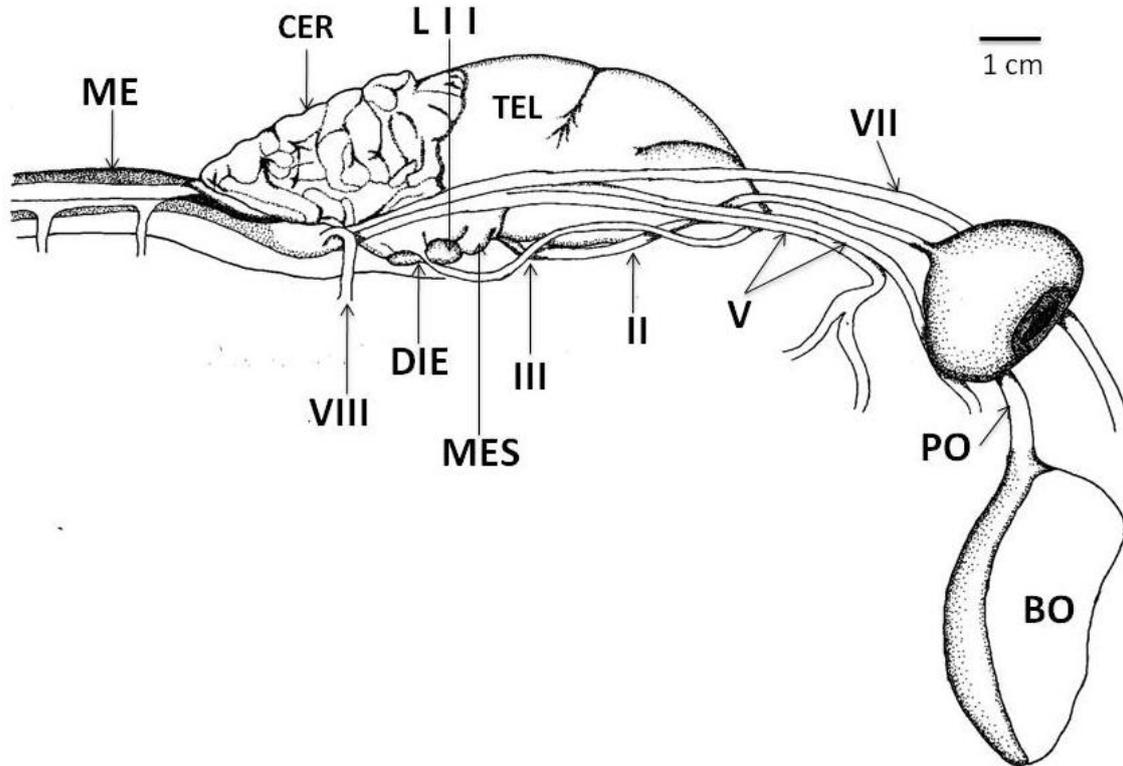


Figura. 21: Esquema de vista lateral de *Aetobatus narinari*. BO, Bulbos olfatorios; CER, Cerebelo; DIE, Diencefalo; LII, Lóbulos inferiores del infundíbulo; ME, Médula espinal, MES, Mesencéfalo; PO, Pedúnculos olfatorios; TEL, Telencéfalo; Pares craneales: II, óptico; III, oculomotor; V, trigémino; VII, facial; VIII, acústico.

Mesencéfalo

El mesencéfalo es la cuarta estructura más grande del encéfalo (Fig. 20), abarcando en promedio el 24.62% de la longitud patrón (Tabla 1). Se encuentra en la región media del cerebro, justo por debajo del cerebelo en posición dorsal al diencefalo; su borde rostral está delimitado por el borde ventrocaudal del telencéfalo donde se encuentra un par de lóbulos ópticos sumamente grandes, su borde posterior está delimitado por el comienzo de la medula oblongada; en el mesencéfalo se originan dos pares craneales, al nervio oculomotor, (par craneal III) el cual es delgado y largo proyectándose desde la región ventral de la estructura atravesando por el forámen craneal del nervio oculomotor e insertándose en el músculo recto superior. El nervio troclear, (par craneal IV) se extiende rostralmente desde la región laterocaudal de los lóbulos ópticos atravesando el forámen del nervio troclear del neurocráneo y se inserta en el músculo oblicuo superior (Fig. 20 y 21).

Cerebelo

El cerebelo de *Aetobatus narinari* (Fig. 18) es la estructura más grande del cerebro y constituye en promedio el 54.23% de la longitud patrón (Tabla 1); su borde anterior se encuentra delimitado por la pared caudal del telencéfalo mientras su borde posterior está delimitado por el borde posterior del cráneo justo por encima del forámen magnum, donde inicia la médula espinal. El cerebelo se encuentra en posición dorsal en la región posterior del encéfalo, yace sobre el techo de la médula oblongada y sobre los lóbulos ópticos del mesencéfalo cubriendo dichas estructuras por completo desde una vista dorsal; es claramente asimétrico. En organismos adultos de *Aetobatus narinari* la superficie dorsal del cerebelo se encuentra completamente foliada y repleta de surcos, se observa que los pliegues más evidentes dividen al cerebelo en cuatro vesículas principales (Fig. 18 y 19).

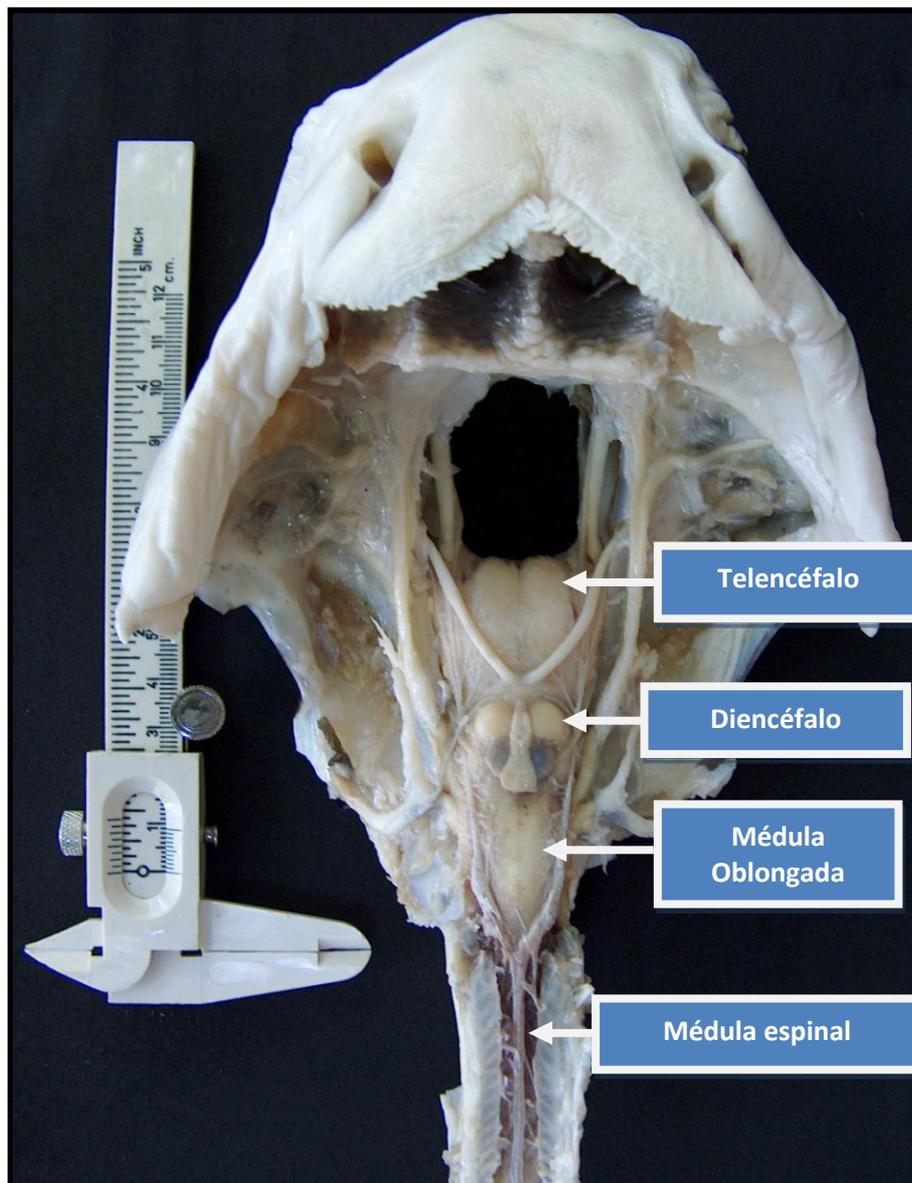


Figura. 22: Vista ventral del encéfalo de *A. narinari*.

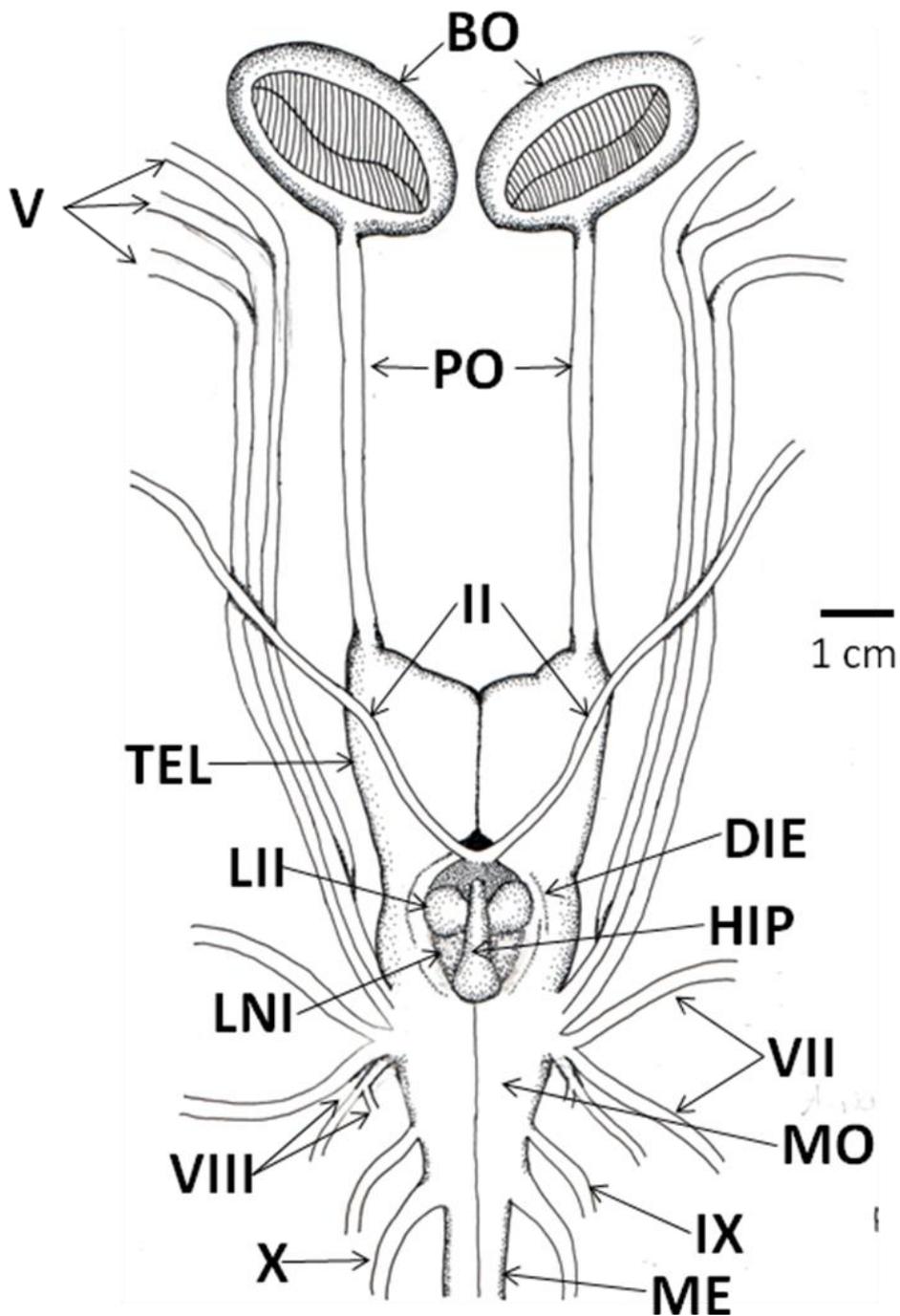


Figura. 23: Vista ventral del encéfalo de *Aetobatus narinari*. DIE, Diencefalo; HIP, Hipófisis; LII, Lóbulos inferiores del infundíbulo; LNI, Lóbulos neuro-intermediales; ME, Médula espinal; MO, Médula oblongada; PO, Pedúnculos olfatorios; TEL, Telencéfalo; Pares craneales: II, óptico; V, trigémino; VII, facial; VIII, acústico; IX, glossofaríngeo; X, vago.

Médula Oblongada

La médula oblongada (Fig. 22) es la estructura ubicada en posición caudal del encéfalo y la tercera más grande abarcando cerca del 35.70% respecto a la longitud patrón (Tabla 1); su borde posterior está delimitado por la fosa romboidea, justo donde comienza a ensancharse la médula espinal, mientras su borde anterior se delimita con la pared posterior del mesencéfalo. La médula oblongada corre justo por debajo del cerebelo hasta el mesencéfalo y de ella se originan los siguientes nervios yendo de la región anterior hacia la posterior: el trigémino (par craneal V) el cual surge de la región anterior en posición lateral; el abductor (par craneal VI) el cual no se observó en ninguna de las disecciones debido al diámetro tan pequeño de dicho nervio; el facial (par craneal VII), el cual se origina lateralmente en la región media; el auditivo (par craneal VIII), el cual se origina lateralmente insertándose en las cápsulas óticas y compartiendo ramificación con el par craneal VII; el glossofaríngeo (par craneal IX) que se origina en la región posterior en posición lateral y el vago (par craneal X) nervio que se encuentra en la región posterior de la médula oblongada, que es justo donde se encuentra el forámen magnum y donde comienza la médula espinal (Figs. 22 y 23).

Estructuras cerebrales	<i>Aetobatus narinari</i>	<i>Rhinoptera steindachneri</i>
Longitud patrón	100%	100%
Pedúnculos olfatorios	84.90%	63.80%
Bulbos olfatorios	56.03%	47.38%
Telencéfalo	49.30%	47.88%
Diencéfalo	18.34%	23.94%
Mesencéfalo	24.62%	26.26%
Cerebelo	54.23%	56.73%
Médula oblongada	35.70%	36.75%

Tabla 1: Porcentajes longitudinales de las estructuras cefálicas en *A. narinari* y *R. steindachneri* respecto a la longitud patrón.

Descripción del encéfalo de *Rhinoptera steindachneri*

Para la descripción anatómica, obtención de valores morfológicos y la comparación entre las especies se utilizaron tres organismos de *Aetobatus narinari* y tres de *Rhinoptera steindachneri* (Anexo 1).

Telencéfalo

El telencéfalo de *Rhinoptera steindachneri* es la estructura más anterior del cráneo, la segunda estructura más grande del cerebro, después del cerebelo (Fig. 24); al igual que en *Aetobatus narinari* se encuentra dividido en tres regiones principales, 1) pedúnculos olfatorios y bulbos olfatorios, 2) lóbulos hemisféricos telencefálicos, 3) telencéfalo impar. Los pedúnculos olfatorios representan en promedio el 63.80% de la longitud patrón (Tabla 1); dichos pedúnculos se originan en los lóbulos olfatorios, estructuras que se encuentran a ambos lados de la cara rostral del telencéfalo; los pedúnculos se proyectan hacia la región rostroventral del encéfalo atravesando el foramen del canal orbitonasal del cráneo donde se conectan con los bulbos olfatorios por la región media dividiéndose hacia ambos lados y abrazando dorsolateralmente dichas estructuras, que son ligeramente más pequeños en comparación a lo encontrado en *Aetobatus narinari*, cuya anchura promedio es de 47.38% respecto a la longitud patrón. El nervio terminal (casi imperceptible) corre adyacente y casi totalmente fusionado desde los lóbulos olfatorios del telencéfalo hasta los bulbos olfatorios (Figs. 24 y 25).

El telencéfalo como tal es una estructura única conformada por la segunda y tercer región, ocupando aproximadamente el 47.88% de la longitud patrón (Tabla 1). El borde anterior inicia con los lóbulos hemisféricos telencefálicos, a sus costados se observan los lóbulos olfatorios, zona de origen de los pedúnculos olfatorios. Los lóbulos hemisféricos se encuentran en otras especies uno a cada lado de la cabeza divididos por un surco vertical intermedio, sin embargo, en *Rhinoptera steindachneri* dicho surco es imperceptible en la cara dorsal del telencéfalo debido al grado de fusión de los hemisferios, por lo que se aprecia una sola vesícula, a pesar de ello es evidente en la región ventral del telencéfalo; la cara dorsal del telencéfalo se encuentra dividida por un surco pronunciado que cruza horizontalmente justo por la mitad de la estructura; inferior a dicho surco, en el centro de la cara rostral del telencéfalo se observa una invaginación profunda; la tercera y última región conocida, es el telencéfalo impar que inicia en el borde rostral del foramen Monroe y termina en posición ventral de la cara anterior del quiasma óptico (Figs. 28 y 29).

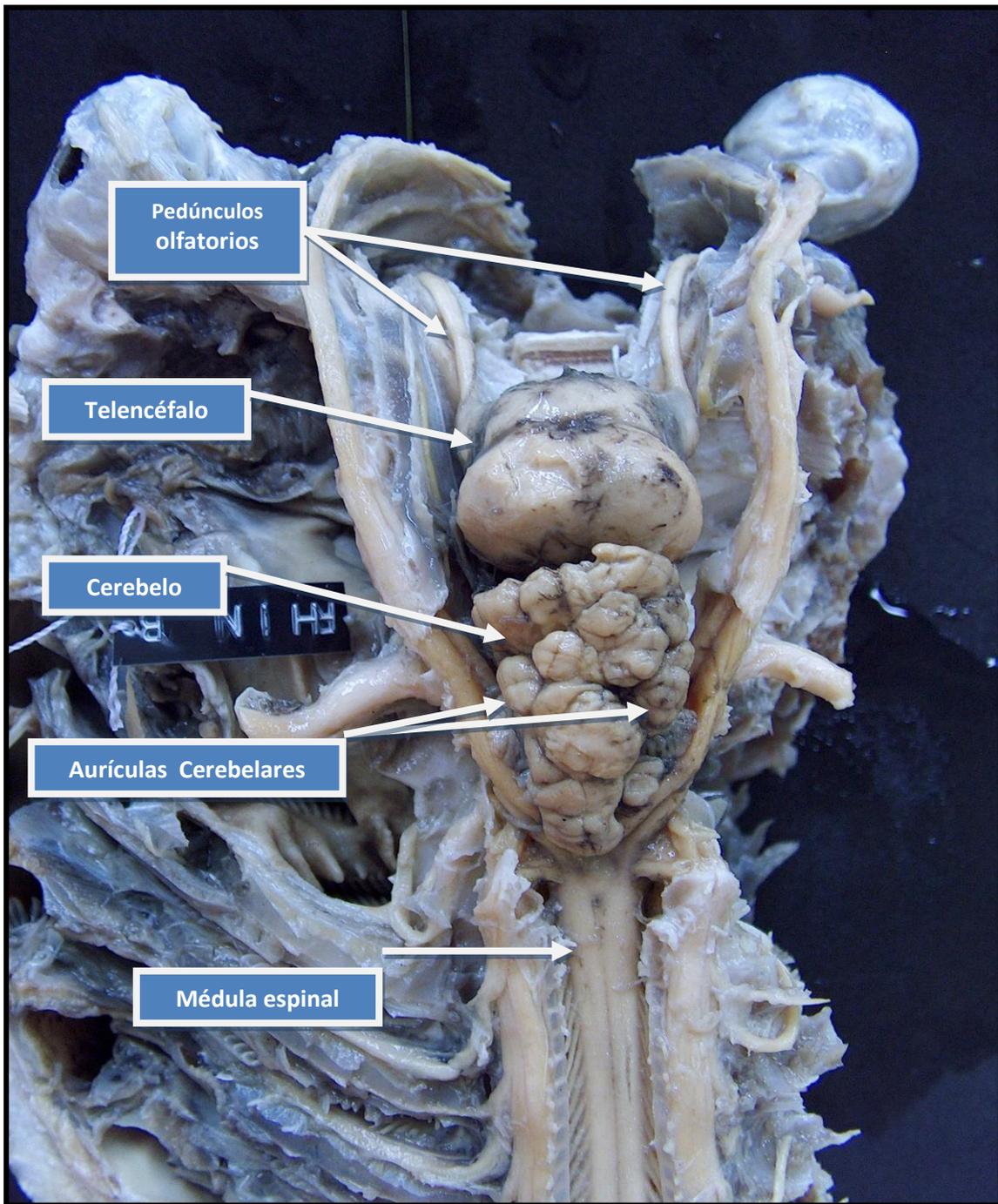


Figura 24: Vista dorsal del encéfalo de *Rhinoptera steindachneri* (Adulto).

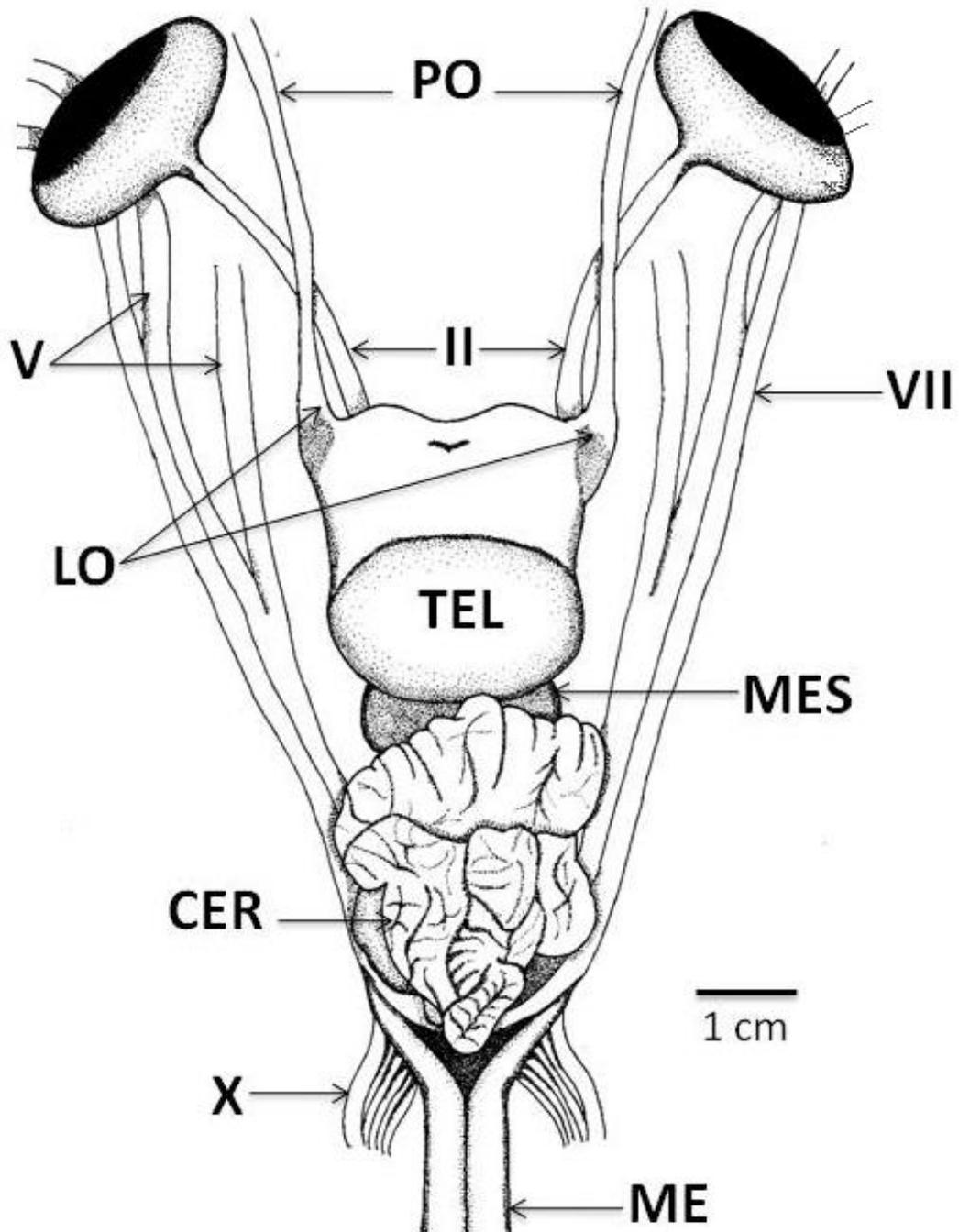


Figura. 25: V ista dorsal de *Rhinoptera steindachneri*. CER, Cerebelo; LO, Lóbulos olfatorios; ME, Médula espinal; MES, Mesencéfalo; PO, Pedúnculo olfatorios; TEL, Telencéfalo; Pares craneales: II, óptico; V, trigémino; VII, facial; X, vago.

Diencéfalo

El diencéfalo (Fig. 28) se encuentra en la región caudal y en posición ventral del telencéfalo, por debajo del mesencéfalo, tiene una longitud promedio de 23.94% respecto a la longitud patrón (Tabla 1); el borde anterior de la estructura inicia en el quiasma óptico, donde se origina el par craneal II (nervio óptico), siendo el nervio más grueso para esta especie y tan largo como la longitud del cráneo; dicho par craneal se proyecta rostrolateralmente y atraviesa el forámen craneal del nervio óptico insertándose en la región media del lóbulo ocular. En el caso de *Rhinoptera steindachneri* al igual que en *Aetobatus narinari* no existe un quiasma óptico como tal debido a que no hay un entrecruzamiento del nervio craneal II; el borde posterior es delimitado por la región caudal de los lóbulos inferiores del infundíbulo (lii), sin embargo, el diencéfalo pudiera parecer de un tamaño mayor debido a que el lóbulo medial de la hipófisis al igual que los lóbulos neuro-intermediales, estructuras del límite posterior del diencéfalo, no se encuentran unidos a la pared ventral del hipotálamo. El diencéfalo está constituido principalmente por el quiasma óptico y por los lii en cuyo centro se inserta el lóbulo rostral de la hipófisis (adenohipofisis). Posterior a los lii se localiza el lóbulo neuro-intermedial (lni) el cual se encuentra unido al resto del diencéfalo debido a que el lóbulo medial de la hipófisis (región posterior de la hipófisis) se inserta en su centro (Figs. 28 y 29).

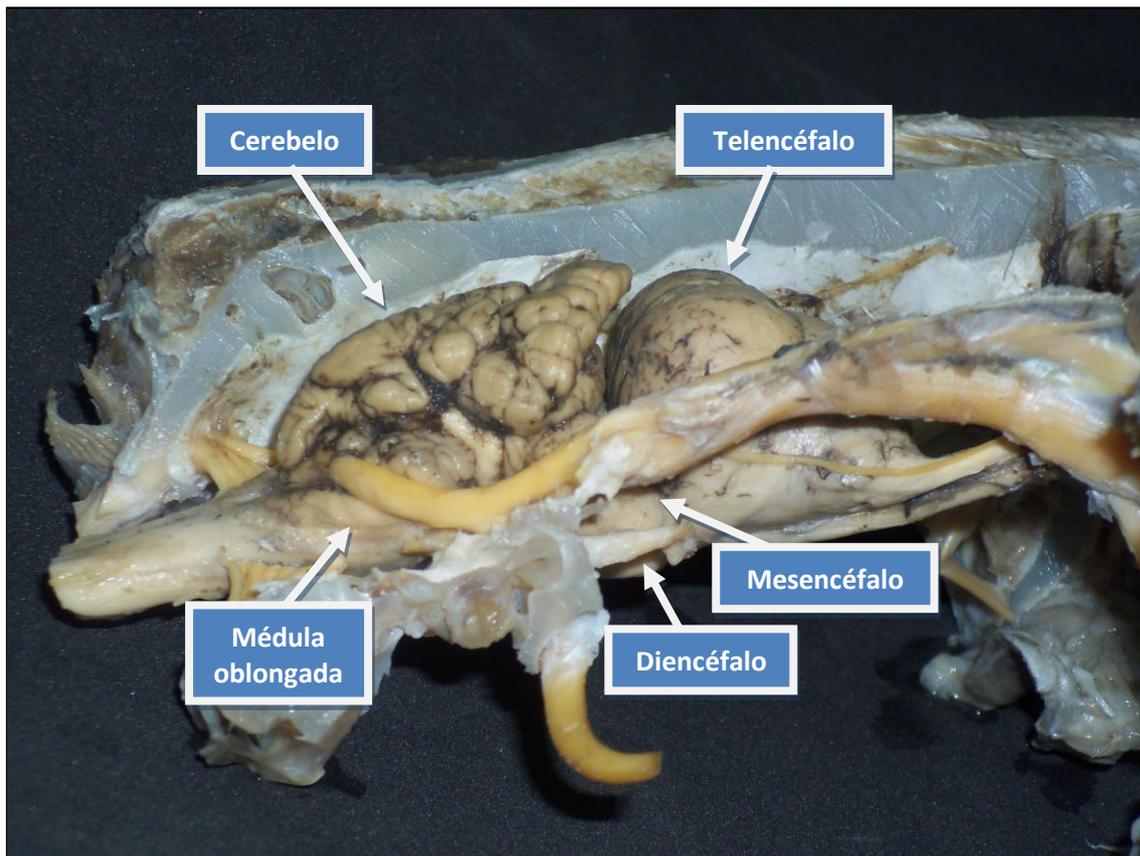


Figura. 26: Vista lateral del encéfalo de *Rhinoptera steindachneri*.

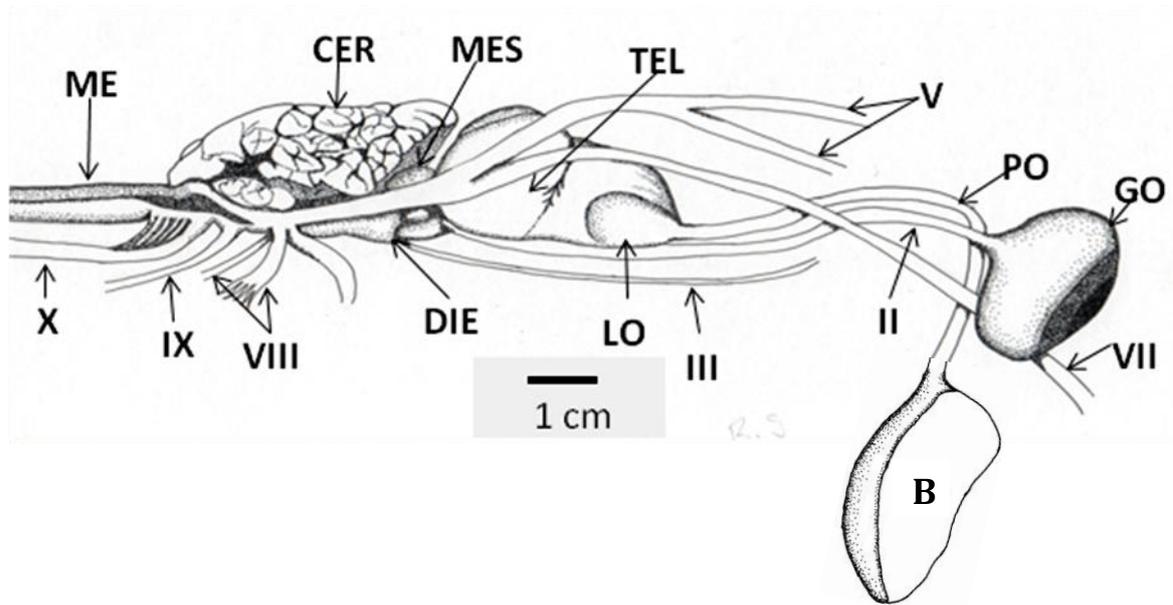


Figura. 27: Vista lateral del encéfalo de *R. steindachneri*. B, Bulbo olfatorio; CER, Cerebelo; DIE, Diencéfalo; GO, Globo ocular; LO, Lóbulos olfatorios; ME, Médula espinal; MES, Mesencéfalo; PO, Pedúnculos olfatorios; TEL, Telencéfalo; Pares craneales: II, óptico; III, oculomotor, V, trigémino; VII, facial; VIII, acústico; IX, glossofaríngeo; X, vago.

Mesencéfalo

El mesencéfalo (Fig. 26) abarca en promedio el 26.26% de la longitud patrón (Tabla 1). Se encuentra en la región media del cerebro, justo por debajo de la región anterior del cerebelo y en posición dorsal al diencéfalo; su borde rostral está delimitado por el límite caudal del telencéfalo donde se encuentra un par de lóbulos ópticos sumamente grandes, apreciables desde la vista ventral; su borde posterior está delimitado por el comienzo de la medula oblongada justo donde inicia el nervio mas anterior de esta ultima estructura (nervio craneal V). En el mesencéfalo se originan dos pares craneales, el nervio oculomotor, (par craneal III) el cual es sumamente ancho en comparación con *Aetobatus narinari* y largo proyectándose desde el tectum del mesencéfalo y atraviesa el forámen craneal del nervio oculomotor y se inserta en el músculo recto superior. El nervio troclear, (par craneal IV) se proyecta rostralmente desde la región laterocaudal del los lóbulos ópticos atravesando el forámen del nervio troclear e insertándose en el músculo oblicuo superior (Figs. 26 y 27).

Cerebelo

El cerebelo de *Rhinoptera steindachneri* (Fig.24) es la estructura más grande del cerebro y constituye en promedio el 56.73% de la longitud patrón (Tabla 1); su borde anterior se encuentra delimitado por la pared caudal del telencéfalo mientras su borde posterior es delimitado por el mismo borde posterior del cráneo el cual se adelgaza hasta permitir únicamente el paso de la médula espinal por el forámen magnum; el cerebelo se encuentra en posición dorsal en la región posterior del encéfalo; yace sobre el techo de la médula oblongada y sobre los lóbulos ópticos del mesencéfalo cubriéndolos parcialmente; es claramente asimétrico. En los organismos de *Rhinoptera steindachneri*, tanto adultos como juveniles la superficie dorsal del cerebelo esta completamente foliada y repleta de surcos pronunciados, sin embargo, los pliegues más evidentes dividen al cerebelo en diversas vesículas. La foliación que posee *Rhinoptera steindachneri* es de nivel 5, la máxima posible de acuerdo con la escala de Yopak, *et al.* (2007; Figs. 24 y 25).

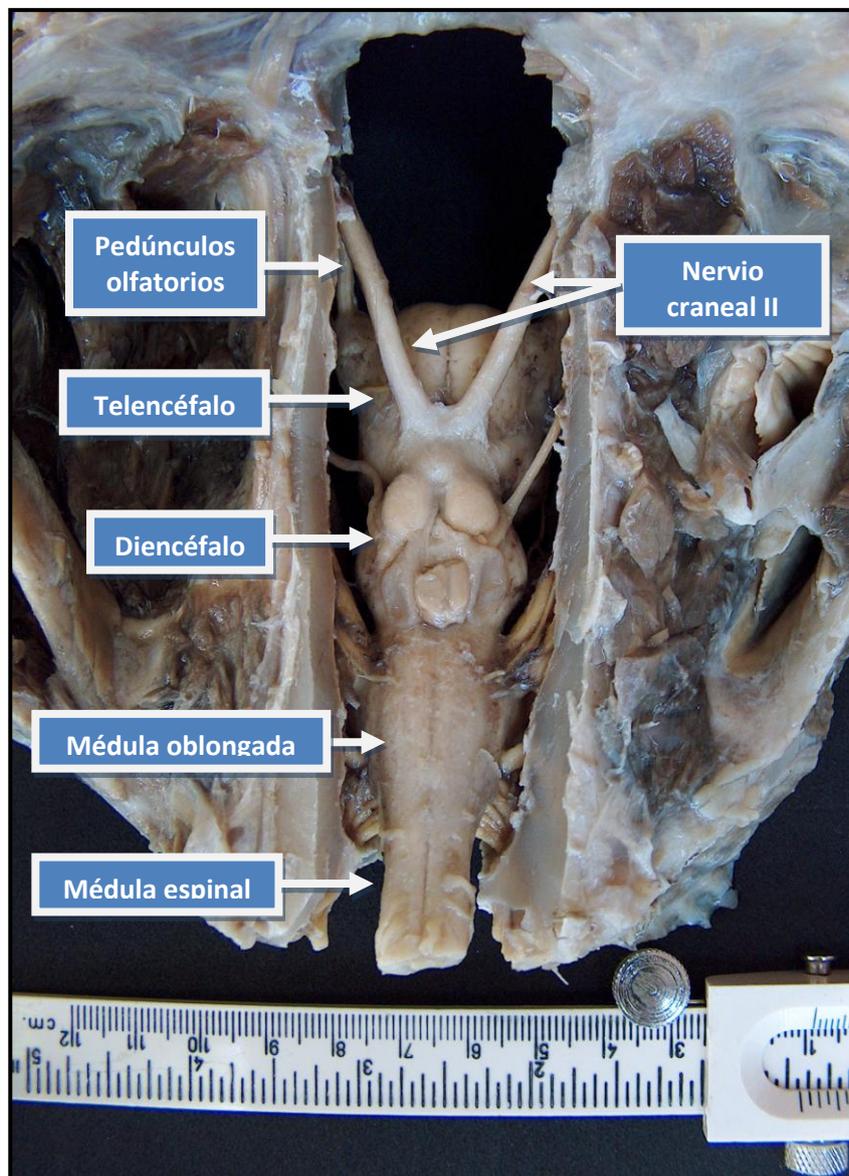


Figura. 28: Vista ventral de *R. steindachneri*

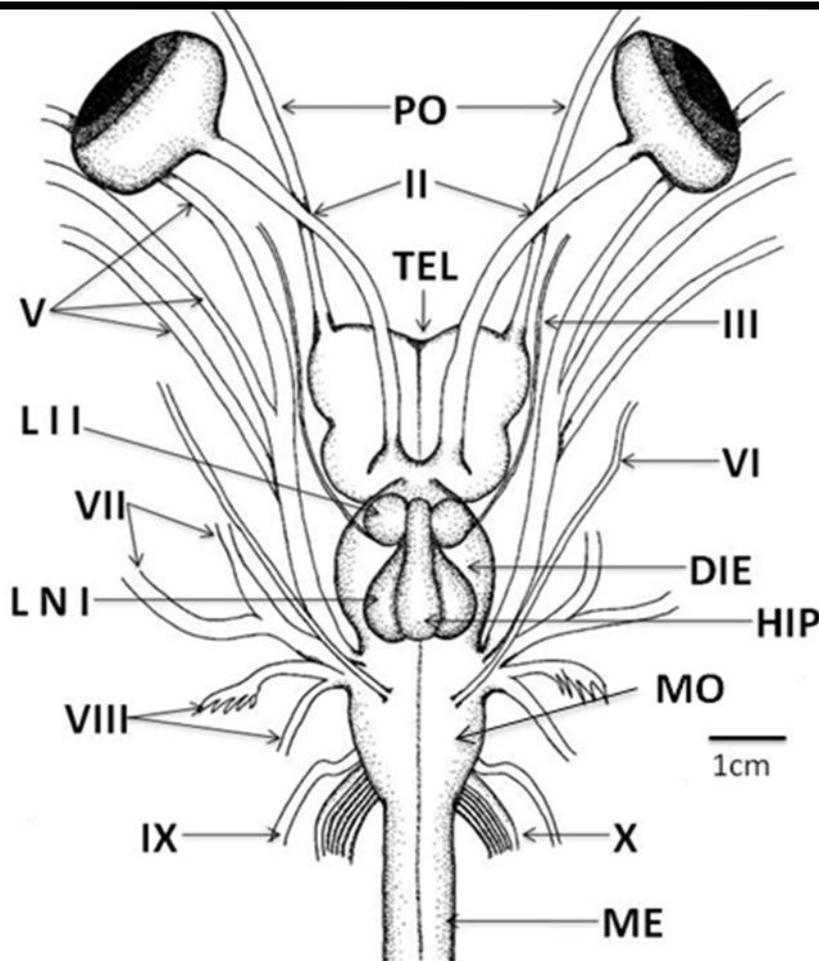


Figura. 29: Vista ventral del encéfalo de *R. steindachneri*. DIE, Diencéfalo; HIP, Hipófisis; LII, Lóbulos inferiores del infundíbulo; LNI, Lóbulos neuro-intermediales; ME, Médula espinal; MO, Médula oblongada; PO, Pedúnculos olfatorios; TEL, Telencéfalo; Pares craneales: II, óptico; III, oculomotor; V, trigémino; VI, abductor; VII, facial; VIII, acústico; IX, glossofaríngeo; X, vago.

Médula Oblongada

La médula oblongada (Fig.28) es la estructura más posterior de todo el encéfalo y la tercera más grande con cerca del 36.75% respecto a la longitud patrón (Tabla 1); su borde posterior desde la vista dorsal está delimitado por la casi imperceptible fosa romboidea, justo donde se ensancha la médula espinal; su borde anterior se delimita con la pared posterior del mesencéfalo; la médula oblongada se encuentra completamente por debajo del cerebelo hasta el mesencéfalo y de ella se originan cinco de los once nervios craneales; el trigémino (nervio craneal V) el cual surge de la región anterior en posición lateral; el abductor (nervio craneal VI), el cual surge ventralmente justo al centro de la médula oblongada; el facial (nervio craneal VII), que se origina lateralmente en la región media; el auditivo (nervio craneal VIII), el cual se origina lateralmente insertándose en las cápsulas óticas y compartiendo ramificación con el nervio (VII); el glossofaríngeo (nervio craneal IX) el cual se origina en la región posterior en posición lateral y el vago (nervio craneal X), nervio que se encuentra en la región extrema posterior de la médula oblongada, que es justo donde se encuentra el forámen magnum y donde comienza la médula espinal; se encuentra ramificado en 6 nervios menores que se proyectan paralelos a la medula espinal (Figs. 28 y 29).

Discusión

La información presentada en este estudio muestra las similitudes y diferencias en cuanto al tamaño relativo del cerebro en dos especies pertenecientes a la familia Myliobatidae, *Aetobatus narinari* y *Rhinoptera steindachneri*. Dichas diferencias nos sirven para determinar el grado de desarrollo de las cinco unidades morfo-funcionales principales que lo conforman, (telencéfalo, mesencéfalo, diencéfalo, cerebelo y medula oblongada). Al realizar esta comparación nosotros damos por hecho que el tamaño de las unidades funcionales cerebrales (longitud relativa) nos otorgan información suficiente para determinar la complejidad de la especie en cuanto al desarrollo anatómico cerebral, considerando que existen dos variables para las diferencias longitudinales de dichas estructuras, una es la ubicación filogenética de la especie y la otra, como lo menciona Yopak et al., (2007) está más relacionada con la forma de vida que lleva el organismo (hábitat, reproducción, alimentación, movilidad etc.).

En principio para las dos especies se detectó que existe un alto grado de desarrollo cefálico y en ambos casos, el cerebro ocupa en gran medida la bóveda craneal. La longitud de los tractos olfatorios es variable y depende principalmente del tamaño del cráneo. La organización así como la dirección y trayectoria de los pares craneales en ambas especies concuerda con lo reportado por Walker y Sherman, (2001) para *Urobatris jamaicensis*. La organización y regionalización de las cinco principales unidades morfo-funcionales tanto para *A. narinari* como para *R. steindachneri* coincide con lo reportado por Smeets et al., (1998) para *Squalus acanthias* y por Yopak y Frank (2009) para *Rhincodon typus*.

En la región más anterior del cráneo se encuentran los bulbos olfatorios, estructuras situadas rostroventralmente en ambas especies; son prominentemente grandes, sin embargo, en *A. narinari* su longitud promedio es de 56.03% respecto a la longitud patrón mientras en *R. steindachneri* es de 47.38% respecto a su longitud patrón (Tabla 1). Dichos bulbos se encuentran unidos al telencéfalo mediante el pedúnculo olfatorio los cuales surgen de los lóbulos olfatorios, situados uno en cada hemisferio telencefálico proyectándose rostroventralmente atravesando el forámen orbitonasal hasta los bulbos olfatorios situados en las capsulas nasales. El telencéfalo de ambas especies se encuentra sumamente desarrollado, tanto que en las paredes medias de los hemisferios telencefálicos se observan altamente fusionados. Esto es congruente con lo que menciona Smeets et al, (1998) quien denota que esta característica propia de batoideos corresponde a un alto grado de especialización.

El telencéfalo de *Aetobatus narinari* presenta una longitud promedio del 49.3% respecto a la longitud patrón (Tabla 1), por lo que es la estructura más grande a nivel cefálico, dicha longitud concuerda con lo reportado por Yopak et al., (2007), para esta especie. Mientras que en *R. steindachneri* el telencéfalo es ligeramente más pequeño que el de *A. narinari* con una longitud promedio del 47.88% respecto a su longitud patrón (Tabla 1).

Los bulbos olfatorios y el telencéfalo en *A. narinari* están más desarrollados lo que sugiere que esta especie, posee un desarrollo en su capacidad olfativa superior, no obstante que *R. steindachneri* sea la especie más derivada. Esto puede deberse a que *A. narinari* invade ambientes a mayor profundidad que *R. steindachneri*, por lo que tiene que desplazarse mayores distancias para realizar actividades como la alimentación y la reproducción. Existe una alta probabilidad de que las unidades morfofuncionales estén más influenciadas por la forma de vida del organismo, que por la posición taxonómica como lo mencionan Yopak et al., (2007) y Ari (2008).

Los telencéfalos desarrollados no son exclusivos para el grupo de los batoideos sino también para tiburones avanzados (*Charcharinus* y *Sphirna*) en los cuales se han encontrado telencéfalos mayores al 50% de la longitud total cerebral (Smeets et al, 1998).

El cerebelo es una de las estructuras más especializadas del grupo de los Myliobatiformes (Ari, 2008), en *A. narinari* y en *R. steindachneri* se encontró que el cerebelo está altamente foliado y es asimétrico. De acuerdo con Smeets (1998) el grado de desarrollo cerebelar está en función de la capacidad de control de los movimientos, principalmente de las aletas pectorales, las cuales tanto en *A. narinari* como en *R. steindachneri* son las principales fuentes de locomoción.

El cerebelo de *R. steindachneri* es una de las estructuras encefálicas más desarrolladas de la especie, equivale al 56.73% respecto a su longitud patrón, mientras que en *A. narinari* es ligeramente más pequeño con un promedio de 54.23% (Tabla 1). Autores como Northcutt, (1977, 1989) y Smeets et al., (1998) determinaron que el tamaño del cerebelo puede estar determinado por el grado de foliación, demeritando la importancia de la longitud como una variable. *R. steindachneri* posee una foliación nivel 5 con mayor cantidad de vesículas cerebelares, en comparación a *A. narinari* quien posee una foliación nivel 4 con 4 vesículas cerebelares; es por esto que podría decirse que si *R. steindachneri* posee movimientos más complejos tendrá mayores probabilidades de invadir el ambiente bentopelágico que *A. narinari*, sin embargo, eso no concuerda con la distribución geográfica y la batimetría de los organismos debido a que *A. narinari* es una especie ampliamente distribuida a nivel mundial (Richards et al, 2009) encontrándose a profundidades que van hasta los 60m mientras *R. steindachneri* es una especie limitada a la costa este del Pacífico tropical en profundidades de máximas de 30m.

El incremento de los valores para el cerebelo y para el telencéfalo aún no es claro y parece no haber una relación lineal entre las dos estructuras (Ari, 2008) es por eso que probablemente *A. narinari* a pesar de que posea un telencéfalo y un par de bulbos olfatorios más grandes que *R. steindachneri*, este sea más plesiomórfico que *R. steindachneri*.

Las características morfológicas presentes en el diencéfalo son muy similares entre ambas especies. En *A. narinari* se encontró que la longitud promedio del diencéfalo es de 18.34% respecto a su longitud patrón mientras *R. steindachneri* posee una longitud de 23.94% (Tabla 1) respecto a su longitud patrón. La disposición de las unidades que conforman el diencéfalo así como su aparente organización es muy similar. En la región más anterior del diencéfalo, el quiasma óptico para las dos especies es inexistente, debido a que los nervios se proyectan sin entrecruzarse, lo que coincide con lo que describen Walker y Sherman, (2001) para *Urobatis jamaicensis*.

En cuanto a la morfología y disposición del diencéfalo, concuerda con lo que reporta Smeets *et al.*, (1998) para el tiburón *Scyliorhinus canicula*. La hipófisis es muy similar en ambas especies en cuanto a tamaño y forma, siendo fácilmente diferenciable los lóbulos inferiores del infundíbulo a los costados del lóbulo rostral de la hipófisis, mientras en la región posterior de la hipófisis encontramos el lóbulo medial, y a sus costados y por debajo, el lóbulo neuro-intermedial. Existe otra estructura que describe Smeets *et al.*, (1998) llamada saco vasculoso por debajo de los lóbulos inferiores del infundíbulo y de los lóbulos neuro-intermediales, sin embargo, no se encontró para ninguna de las dos especies estudiadas.

En cuanto al mesencéfalo se encontró en la región dorsal (tectum mesencephali), un par de prominentes lóbulos bilaterales que en *R. steindachneri* ocupan el 26.26% respecto a la longitud patrón siendo ligeramente mayor que para *A. narinari* quien tiene un mesencéfalo del 24.62% respecto a su longitud patrón (Tabla 1), lo que puede sugerir un alto grado de desarrollo visual, debido a que en otros estudios como el realizado por Ari, (2008) menciona que hay altas probabilidades de que el tamaño de los ojos esté relacionado con el tamaño de los lóbulos bilaterales, sin embargo, otros autores (Smeets, 1998; Guerrero, 2008), destacan que el desarrollo de los lóbulos bilaterales no se deba por completo a la agudeza visual. Por otro lado Ari, (2008), Walker y Sherman (2001), mencionan que a excepción de los pares craneales 0, I, II y III, el resto de los nervios se originan en la médula oblongada, sin embargo, eso no concuerda con lo que se encontró en este estudio, ya que el nervio craneal IV es el único par craneal que se proyecta dorsalmente, y se origina precisamente en la cara dorsal del mesencéfalo (tectum mesencephali).

En cuanto a la médula oblongada, el arreglo estructural así como el tamaño relativo es muy similar en ambas especies, siendo para *R. steindachneri* de 56.73% respecto a la longitud patrón mientras en *A. narinari* es ligeramente menor con una longitud promedio de 54.23% respecto a la longitud patrón (Tabla 1), lo que sugiere que las dos especies poseen características de desarrollo parecido. El que presenten una médula oblongada tan grande se debe a que es en esta estructura en donde se encuentran los núcleos relacionados con su amplio sistema de la línea lateral y con la coordinación del equilibrio.

Dentro de la familia Myliobatidae los Mobúlidos son los organismos más especializados debido principalmente al prominente tamaño del telencéfalo y del cerebelo (Ari, 2008) y al grado de foliación de este último; al comparar las estructuras podemos determinar que existen importantes similitudes con *R. steindachneri*, debido a esto podemos comprobar su alto grado de desarrollo cefálico; autores como Nishida (1990) con base en análisis cladistas en donde han determinado que los Mobúlidos son un grupo hermano de los Rhinoptéridos, esto se corrobora con lo que se encontró en este estudio en donde se determinó que *R. steindachneri* posee una mayor similitud morfológica a nivel cefálico con el grupo de los Mobúlidos que con *A. narinari*.

Por otra parte autores como Walker y Sherman, (2001) han descrito a los nervios craneales V, VII y VIII que surgen de la médula oblongada de una ramificación común para organismos como *Squalus acanthias*, sin embargo, en otras especies como *D. sabina* y *U. jamaicensis* el nervio craneal V es un tronco independiente a los nervios VII y VIII, lo que concuerda con lo que se encontró en este estudio tanto para *A. narinari* como para *R. steindachneri*, esto posiblemente se deba a la cercanía parental de dichas especies. Con base en la bibliografía consultada y los datos obtenidos en este trabajo, es posible señalar que el que el par craneal V surja de manera independiente es un carácter único de este grupo.

En conjunto *R. steindachneri* es la especie que presentó mayor grado de desarrollo cefálico con base en la morfología comparada, sin embargo, ambas especies poseen características propias de batoideos con alto grado de desarrollo cefálico y justo antes de su grupo hermano, los Mobúlidos.

Conclusiones

Con base en morfología observada y al análisis realizado en este estudio se llegó a las siguientes conclusiones.

- Ambas especies presentan el mismo patrón morfológico común en cuanto la disposición de las unidades morfofuncionales.
- Los bulbos olfatorios y el telencéfalo están más desarrollados en *A. narinari* que en *R. steindachneri* lo que sugiere una mayor capacidad olfativa.
- El diencéfalo, mesencéfalo y medula oblongada son las estructuras que presentaron mayor grado de semejanza morfológica en ambas especies.
- Los bulbos olfatorios del telencéfalo y el diencéfalo son las estructuras menos semejantes en cuanto a longitud entre las especies.
- El cerebelo, el mesencéfalo y la médula oblongada son las estructuras con mayor grado de semejanza en cuanto a longitud entre las especies.
- El par craneal V surge de manera independiente de los pares craneales VII y VIII, tal como se reporta para otros miliobátidos, lo que representaría un carácter derivado para este grupo.
- El cerebelo de *R. steindachneri* posee una foliación nivel 5, siendo superior a la foliación que presenta *A. narinari* quien posee una foliación nivel 4, lo que indica una mayor complejidad en sus movimientos.
- Con base a la morfología y a la disposición de las principales estructuras encefálicas observadas, *R. steindachneri* es la especie que posee más similitudes con los Mobúlidos, principalmente la disposición general del encéfalo además del al grado de foliación.
- Dentro de los batoideos las especies pertenecientes a la familia Myliobatidae presentan mayor grado de desarrollo cefálico.

Anexo 1

***Aetobatus narinari* (Vista dorsal de adulto A)**

Medidas encefálicas:

Estructura	Largo	Anchura	Altura/espesor
Longitud patrón	100% (8.1cm)	*	*
Cerebelo	4.6cm	3.05cm	1.2cm
Telencéfalo	3.9cm	3.8cm	2.9cm
Mesencéfalo	1.8cm		
Lóbulos olfatorios	2.25cm	1.05cm	1.5cm
Pedúnculos olfatorios	7.1cm	0.45cm	0.25
Bulbos olfatorios	4.3cm	4.9cm	3.0cm

Tabla 2: Medidas del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

***Aetobatus narinari* (Vista dorsal de adulto B)**

Medidas encefálicas:

Estructura	Largo	Anchura	Altura/espesor
Longitud patrón	(100%) 7.65cm		
Cerebelo	3.95cm	2.7cm	1.9cm
Telencéfalo	3.7cm	3.7cm	2.95cm
Mesencéfalo	2.0cm	2.1cm	1.3cm
Diencéfalo	1.55cm	1.55cm	0.5cm
Medula oblongada	2.75cm	1.8cm	1.2cm
Lóbulos olfatorios	1.85cm	1.1cm	1.4cm
Pedúnculos olfatorios	7.7cm	0.4cm	0.25cm
Bulbos olfatorios	3.25cm	4.3cm	2.9cm

Tabla 3: Medidas del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

***Aetobatus narinari* (juvenil)**

Medidas encefálicas:

Estructura	Largo	Anchura	Altura/espesor
Longitud patrón	100% 7.0cm		
Mesencéfalo	1.75cm	2.2cm	1.05cm
Cerebelo	3.8cm		
Telencéfalo	3.6cm	3.35cm	
Diencéfalo	1.15cm	1.6cm	0.3cm
Medula oblongada	2.65cm	1.85cm	1.45cm
Lóbulos olfatorios	1.8cm	0.85cm	1.25cm
Pedúnculos olfatorios	4.65cm	0.3cm	0.2cm
Bulbos olfatorios	2.55cm	3.6cm	2.0cm

Tabla 4: Medidas del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

***Rhinoptera steindachneri* (Adulta A)**

Medidas encefálicas:

Estructura	Largo	Anchura	Altura/espesor
Longitud patrón	100% (6.6cm)		
Cerebelo	54.54%	34.84%	25%
Telencéfalo	43.75%	37.78%	36%
Mesencéfalo		28%	
Lóbulos olfatorios	16.66%	7.57%	
Pedúnculos olfatorios	69.69%	4.54%	
Bulbos olfatorios	22.72%		

Tabla 5: Medidas del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

***Rhinoptera steindachneri* (Adulta B)**

Medidas encefálicas:

Estructura	Largo	Anchura	Altura/espesor
Longitud patrón	100% 6.9cm		
Mesencéfalo	1.9cm	2.2cm	1.05cm
Cerebelo	4.1cm		
Telencéfalo	3.3cm	3.35cm	
Diencéfalo	1.7cm	1.6cm	0.3cm
Medula oblongada	2.5cm	1.85cm	1.45cm
Lóbulos olfatorios	1.2cm	0.85cm	1.25cm
Pedúnculos olfatorios		0.3cm	0.2cm
Bulbos olfatorios	2.55cm	3.6cm	2.0cm

Tabla 6: Medidas del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

***Rhinoptera steindachneri* (juvenil)**

Medidas encefálicas:

Estructura	Largo	Anchura
Longitud patrón	100%cm) 4.8cm	
Cerebelo	2.7cm	1.5cm
Telencéfalo	2.5cm	2.2cm
Diencéfalo	1.1cm	1.25cm
Mesencéfalo	1.2cm	2.2cm
Médula oblongada	1.95cm	1.35cm
Lóbulos olfatorios	0.68cm	
Pedúnculos olfatorios	1.75cm	0.2cm
Bulbos olfatorios	1.7cm	1.1cm

Tabla 7: Medidas del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

Aetobatus narinari.

Medidas encefálicas:

<i>Aetobatus narinari</i>	A	B	J	% prom
Longitud patrón (100%)	8.1cm	7.65cm	7.0cm	
Pedúnculos olfatorios	7.1cm 87.65%	7.7cm 100.65%	4.65cm 66.42%	84.90%
Bulbos olfatorios	4.9cm 60.49%	4.3cm 56.20%	3.6cm 51.42%	56.03%
Telencéfalo	3.9cm 48.14%	3.7cm 48.36%	3.6cm 51.42%	49.30%
Diencéfalo		1.55cm 20.26%	1.15cm 16.42%	18.34%
Mesencéfalo	1.8cm 22.22%	2.0cm 26.66%	1.75cm 25%	24.62%
Cerebelo	4.6cm 56.79%	3.95cm 51.63%	3.8cm 54.28%	54.23%
Médula oblongada	2.7cm 33.33%	2.75cm 35.94%	2.65cm 37.85%	35.70%

Tabla 8: Medidas promedio del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

Rhinoptera steindachneri

<i>Rhinoptera steindachneri</i>	A	B	J	% prom
Longitud patrón (100%)	6.6cm	6.9cm	4.8cm	
Pedúnculos olfatorios	4.6cm 69.69%	5.9cm 85.5%	1.75cm 36.45%	63.8%
Bulbos olfatorios	3.6cm 54.54%	3.6cm 52.2%	1.7cm 35.4%	47.38%
Telencéfalo	2.9cm 43.75%	3.3cm 47.8%	2.5cm 52.1%	47.88%
Diencéfalo	1.6cm 24.24%	1.7cm 24.6%	1.1cm 23%	23.94%
Mesencéfalo		1.9cm 27.53%	1.2cm 25%	26.26%
Cerebelo	3.6cm 54.54%	4.1cm 59.4%	2.7cm 56.25%	56.73%
Médula oblongada	2.3cm 34.84%	2.4cm 34.8%	1.95cm 40.62%	36.75%

Tabla 9: Medidas promedio del encéfalo expresadas en porcentaje de la longitud patrón.

Bibliografía

Ari. C. 2008. Correlation between the cerebralization, astroglial architecture and blood-brain barrier composition in Chondrichthyes. Semmelweis University. Neurobiology School of doctoral studies.

Bigelow, H. B. and 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. Catalogo sistemático de las rayas y especies afines de México(Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes = Batoidimorfa). Instituto de Biología UNAM.

Compagno, L. J. V. 1977. Phyletic Relationships of Living Sharks and Rays. Amer. Zool., 17:303-322.

Compagno, L. J. V. 1984. FAO Species Catalogue. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of Sharks species known to date. FAO Fish. Synop., 4(125), Pt. 1:249.

Fischer. W, Krupp. F, Schnider. W, Sommer. C, Carpenter. E. K, Nlem. H.V, 1995. Guía FAO para la identificación de peces con fines de pesca. Pacífico centro-oriental, volúmenes II y III. Organización para las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.

Gonzalez, I. M. 2003. Estudio de anatomía comparada de la superfamilia Myliobatoidea (Chondrichthyes) en México, con algunos comentarios de filogenia. Tesis (Biología) Doctorado. Facultad de ciencias. UNAM.

Guerrero. C. 2008. Contribución al estudio morfológico del encéfalo y pares craneales en tres especies de Rajiformes (Elasmobranchii: Myliobatoidei). Tesis (Biología) Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.

Kenneth V. Kardong. 1999. Vertebrados, anatomía comparada, function, evolución. McGraw Hill interamericana. Washington State University.

Last, P. R., y J. D. Stevens. 1994. Sharks and rays of Australia. CSIRO, Australia.

Lisney, T.J and Collin, 2005. S.P. Brain Morphology in large pelagic fishes: a comparison between sharks and teleosts. *Journal of Fish Biology*; 68: 532-554.

Lisney. J. T, Yopak. K.E, Montgomery. C.J, Collin. P.S, 2008. Variation in Brain Organization and Cerebellar Foliation in Chondrichthyan Batoids. *Brain Behavior and Evolution*; 72: 262-282.

Maisey, J. G. 2001. A primitive chondrichthyan braincase from the Middle Devonian of Bolivia, pp 263–288. En: P. E. Ahlberg (Ed.), Major events in early vertebrate evolution: palaeontology, phylogeny, genetics and development. *Syst. Assoc. Spec. Vol. Series 61*. Taylor & Francis, London.

McEchran, 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. II Vertebrados-Parte I. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.*

Nelson, 2006. *Fishes of the World*, Cuarta edición. Departamento de ciencias biológicas de la Universidad de Alberta, Edmonton, Canadá.

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

Northcutt, G.R, 1977. Elasmobranch Central Nervous System Organization and Its Possible Evolutionary Significance. *American Zoology*; 17:411-429.

Northcutt, G.R, 1989. Brain Variation and Phylogenetic Trends in Elasmobranch Fishes. *The Journal of Experimental Zoology Supplement*; 2:83-100.

Northcutt, G.R, 2002. Understanding Vertebrate Brain Evolution. *Integrative and Comparative Biology*; 42:743-756.

Richards. P. V, Henning. M, Witzell. W, Shivji. S. M, 2009. Species delineation and evolutionary history of the globally distributed

spotted eagle ray, (*Aetobatus narinari*). *Journal of heredity*. 100(3), 273:283.

Smeets, WJAJ. 1998. Cartilaginous Fishes. En: N, euwenhuys R, Ten Ponkelaar HS y Nichoson C. eds. 1998. The central nervous system of vertebrates. Springer Verlag, Heidelberg; Vol 1: 551-659.

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

Walker, K. B y Sherman, L. R. 2001. Gross brain morphology in the yellow stingray, *Urobatis jamaicensis*. *Florida Scientist*, Autumn. Volume 64, Number 4, pp. 246-249.

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, K.E y Montgomery. C.J, 2008. Brain Organization and Specialization in Deep-sea Chondrichthyans. *Brain Behavior and Evolution*; 71:279-304.

Yopak, E. K y Frank. L. R. 2009. Brain size and brain organization of the whale shark, *Rhincondon typus* using magnetic resonance imaging. *Brain, behavior and evolution*, 74: 121-142.