



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES IZTACALA**

**Comparación Anatómica del Sistema
Nervioso de *Raja texana* y *Rhinobatos
lentiginosus* (Chondrichthyes)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIOLOGO

PRESENTA:

IVO YAIR CORTES GONZALEZ



DIRECTOR DE TESIS: DRA. MONICA GONZALEZ ISAIS

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Estado de México

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 mama Marta por todo su amor y cariño durante toda mi vida y mi formación académica mami muchas gracias.

A mi papa Ivo gracias por todo tu apoyo y por tus sabios consejos durante toda mi vida gracias papa te quiero.

A Fabián gracias por compartir todo este tiempo conmigo te quiero hermano.

Agradecimientos

A mis abuelos Marta, Rodolfo, Rogelio y Graciela por todo su amor y apoyo durante toda mi formación académica.

A mis tías Selene y Elvira por todo su apoyo durante mis estudios.

A la Dra. Mónica Gonzales por aceptar ser mi directora de tesis y por su apoyo incondicional sus consejos tiempo y dedicación de este trabajo.

Al profesor Héctor Marcos Montes por su colaboración en trabajo de campo y por sus comentarios durante el desarrollo de este trabajo.

A mis sinodales Alba Márquez, Bertha Segura y Jaime Barral por su apoyo y aportaciones y consejos durante este proyecto.

Al profesor Agustín por su gran ayuda en la parte estadística y por sus consejos durante toda la carrera.

A todos mis amigos y personas especiales con los que compartí tantas cosas Mariana Vilchis, Viridiana, Charly, Angel Toño, Anel, Jatziry, Alejandra, Luz, Miguel, Mariana, Karlita, Nadia, Karla, Paulina, Juan Manuel.

Índice

RESUMEN.....	5
INTRODUCCION	6
ANTECEDENTES.....	10
OBJETIVOS	14
METODOLOGIA.....	15
ZONA DE COLECTA.....	16
DESCRIPCIÓN	19
RESULTADOS.....	21
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO DE RHINOBATOS LENTIGINOSUS.....	22
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO DE RAJA TEXANA.....	30
DISCUSIÓN	37
CONCLUSIONES.....	41
ANEXO	42
BIBLIOGRAFÍA	45

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la comparación morfológica del sistema nervioso entre dos especies de batoideos: *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*. Los especímenes fueron colectados en las costas del Golfo de México, posteriormente, fueron fijados con formaldehído al 4%, y fueron desollados con la técnica de disección tradicional; se realizaron esquemas de las diferentes vistas del encéfalo. Se obtuvo la longitud y anchura máxima de las cinco regiones principales del encéfalo (telencéfalo, diencéfalo, mesencéfalo, cerebelo, y medula oblongada), con las cuales se llevo a cabo un análisis estadístico utilizando una prueba de t student, con el fin de establecer si existen diferencias significativas entre las dos especies.

El análisis estadístico y morfológico muestra que existen diferencias significativas en las 5 principales áreas del encéfalo. El telencéfalo es liso carente de circunvoluciones, es la tercera estructura más grande del encéfalo; los lóbulos olfatorios son largos y bien desarrollados. El diencéfalo es similar en ambas especies, sin embargo, los lóbulos inferiores del infundíbulo se observan completamente separados en *Rhinobatos lentiginosus* en tanto que en *Raja texana* están fusionados. El mesencéfalo está formado por dos lóbulos ópticos bien desarrollados, en *Rhinobatos lentiginosus* está casi cubierto por el cerebelo. Este último es la estructura más grande del encéfalo, en ambas especies conserva simetría bilateral; el índice foliación para *Raja texana* fue de 2, observándose pocas circunvoluciones, en tanto que en *Rhinobatos lentiginosus* fue de 1, esto es, liso carente de circunvoluciones. La medula oblongada es la parte más caudal en encéfalo y es la segunda estructura más grande. En las diferentes vistas del encéfalo son visibles 9 de los 11 nervios craneales reportados para estos grupos.

Rhinobatos lentiginosus presentó un mayor grado de desarrollo en las 5 áreas principales del encéfalo, sin embargo, *Raja texana* presentó un mayor índice de foliación del cerebelo, adicionalmente, estudios previos muestran que esta especie es la más especializada.

INTRODUCCION

Los tiburones, rayas y quimeras son conocidos como peces cartilaginosos, estos organismos comprenden uno de los tres grupos de peces contemporáneos de la clase Chondrichthyes, los cuales evolucionaron desde el Silúrico Tardío (Last y Stevens, 1994).

Los Chondrichthyes se caracterizan por tener sistemas altamente evolucionados para la localización de sus presas, cerebros relativamente grandes, sofisticados mecanismos de reproducción, adaptaciones especializadas de osmorregulación y en algunas especies de termorregulación.

Debido al gran éxito evolutivo los Chondrichthyes son animales cosmopolitas, que tienen la mayor diversidad por encima de los 2000 m de profundidad en aguas tropicales y subtropicales, sin embargo, existen algunas especies que entran a lagunas costeras y aguas continentales en busca de alimento (Last y Stevens, 1994). Actualmente se han reportado alrededor de 1,100 especies en los diferentes mares y cuerpos de agua de todo el mundo (Compagno, 1984).

La clase Chondrichthyes se divide en dos subclases la Elasmobranchii que comprende tiburones y rayas; que representa el 96% de las especies descritas y la Holocephalii donde se encuentran las quimeras que constituye el 4% restante, (Last y Stevens, 1994). Cerca del 57% de los tiburones y las rayas son vivíparos. En el caso de las especies ovíparas los huevos están protegidos en cápsulas queratinizadas dentro de cuevas o rocas. Tienen escamas placoideas y órganos copuladores pelvianos en los machos, los miembros mas primitivos muestran semejanzas en la sustitución seriada de los dientes (Kardong, 1999).

Dentro del grupo de las rayas o batoideos existen más de 600 especies actuales pertenecientes a 18 familias. En México existen 87 especies de batoideos incluidas en 27 géneros, 14 familias y 5 órdenes.

En cuanto a sus formas corporales los batoideos están altamente modificados y especializados. Su cuerpo esta aplanado dorsoventralmente y las aletas pectorales y parte del cuerpo se fusionan formando una estructura distintiva llamada disco. La boca se encuentra en posición subterminal (excepto en *Manta sp*); las aberturas branquiales y los orificios nasales se localizan en la superficie ventral, mientras que

los ojos y los espiráculos respiratorios en posición dorsal (Castro Aguirre y Espinosa, 1996).

La mayoría de las especies de batoideos viven o están estrechamente relacionados con el substrato y su alimentación principalmente consiste en moluscos crustáceos y pequeños peces (Compagno, 1984; Compagno, 1990; Last and Stevens, 1994; Tricas et al., 1998; Dean et al., 2007).

Los batoideos poseen sistemas sensoriales altamente especializados lo que les permite la localización de su alimento, orientación, la dirección y polaridad eléctrica en los océanos así como también como mecanismos de defensa (Chu and Wen 1979; Montgomery, 1988; Hueter et al., 2004; Hart et al., 2006), además de tener cerebros bien desarrollados (Smeets, 1998; Walker y Sherman 2001; Striedter, 2005, Guerrero, 2008).

En la actualidad el grupo de los batoideos se divide en cinco subórdenes (Figura 1): Torpediniformes (Rayas eléctricas), Rhinobatiformes (Peces guitarra), Pristiformes (Peces sierra), Rajiformes (Rayas) y Myliobatiformes (Pastinacas, Rayas aguijón) (Compagno, 1977). De estos grupos los rajoideos (Figura 1a) son el grupo más numeroso con 200 especies en 14 géneros, los cuales se distribuyen en todos los océanos del mundo. Se caracterizan por tener discos cuadrangulares a rómbicos, boca transversal con numerosos dientes, cola muy esbelta, con pliegues laterales, dos aletas dorsales reducidas al igual que la aleta caudal (Nelson, 2006).

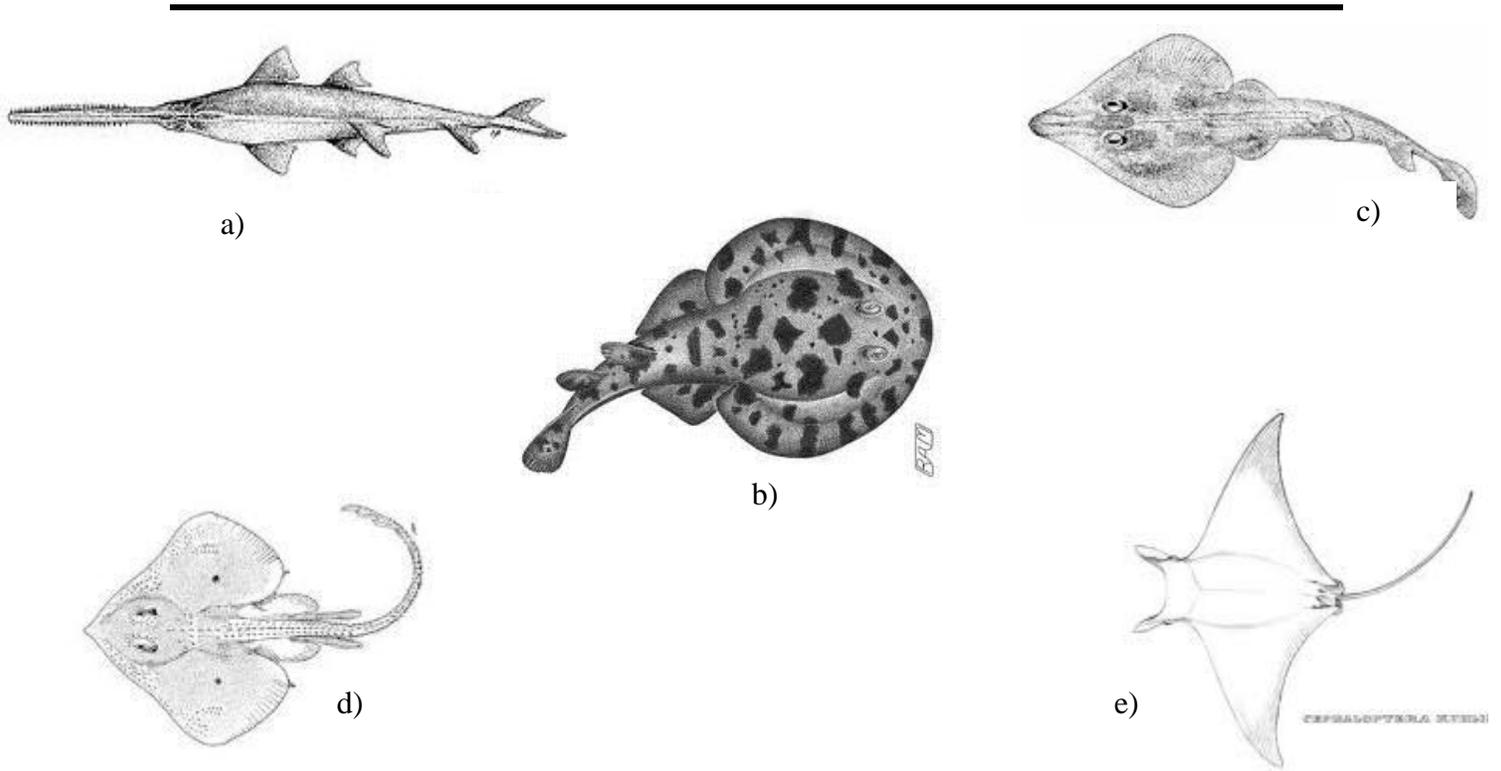


Figura 1. Subórdenes de Batoideos: a) Pristiformes, b) Torpediniformes, c) Rhinobatiformes, d) Rajiformes, e) Myliobatiformes.

La familia Rhinobatidae (Figura 1c) contiene 45 especies incluidas en siete géneros que se distribuyen en aguas tropicales del Atlántico, Indico y Pacífico. Su cuerpo tiene una forma intermedia entre un tiburón y una raya; con numerosos y pequeños dientes en las mandíbulas; con dos grandes aletas dorsales; el origen de la primera aleta dorsal se localiza detrás de la pelvis; aleta caudal bien desarrollada, dentículos dispuestos en una fila en la línea media dorsal (Nelson, 2006).

Antiguamente los elasmobranquios se consideraban animales primitivos pero en la actualidad investigaciones realizadas por Northcutt (1977,1978) han mostrado que la relación peso del cuerpo – cerebro es comparable con otros grupos de animales como los mamíferos y las aves.

Descripciones e ilustraciones de cerebros de diferentes especies de batoideos indican que existe una considerable variación ínterespecífica en el tamaño y en la estructura de varias partes del cerebro, principalmente el telencéfalo y el cerebelo (Smeets, 1998; Walker y Sherman 2001; Striedter, 2005; Guerrero, 2008).

El grupo de los Rajoideos tienen bajos porcentajes de peso corporal, en comparación al cerebro, mientras que en el grupo de los Myliobatiformes existen las tasas más altas de la relación peso del cuerpo- cerebro reportada en todos los elasmobranquios Northcutt (1978).

Tanto en la familia Rajidae como en la familia Rhinobatidae se han reportado cerebros relativamente pequeños al igual que el telencéfalo, una gran medula oblongada y bajos índices de foliación del cerebro (Lisney, et al., 2008).

La organización del cerebro en elasmobranquios ha sido poco estudiada en comparación con otros grupos de vertebrados como peces óseos, aves y mamíferos (Kotschal y Palzenberg, 1992; de Winter y Oxnard, 2001; Iwaniuk y Hurd, 2005).

ANTECEDENTES

Dentro de los trabajos que se han realizado sobre sistema nervioso destaca el de Northcutt (1977) quien realizó un estudio sobre la organización del sistema nervioso en elasmobranquios y su posible importancia evolutiva. Señala que gran parte de la variación del sistema nervioso se debe al desarrollo relativo del cerebelo y el telencéfalo. Menciona dos modelos de desarrollo cerebral: los Squalomorfos que poseen cerebros más pequeños y los Lamniformes y Carcarinidos que se caracterizan por tener cerebros mas grandes y con una mayor hipertrofia. Encontró que el cerebelo posee altos grados de foliación llegando a la conclusión de que los holocefalos son una radiación hermana de los elasmobranquios. Además sugiere que los elasmobranquios han desarrollado de manera independiente complejos campos paliales y una foliación cerebelosa como resultado de las tendencias evolutivas.

Northcutt (1989) realizó un estudio de la variación del cerebro y las tendencias filogenéticas en elasmobranquios, encontrando que el cerebro de estos organismos presenta una variación considerable en el desarrollo relativo de muchas regiones del cerebro. Realizó un análisis cladístico para establecer la polaridad de las relaciones filogenéticas. Llegó a la conclusión que los primeros condriictios disponían de un cerebro relativamente pequeño; además obtuvo que en el grupo de los milibatoideos el tamaño del cerebro aumento independientemente de otros grupos.

Nishida (1990), realizó un análisis filogenético con el grupo de los miliobatoideos, dentro de su análisis incluyó el porcentaje de la longitud del cerebro.

Puzdrowski y Leonard. (1992), describieron el corpus cerebelar de *Dasyatis sabina* encontrando que no existe una simetría bilateral debido a la hipertrofia en el cerebelo, además menciona que la morfología del cerebro no es dependiente del sexo.

Smeets et al. (1998), describieron la morfología externa del encéfalo de tres especies de rajiformes. En sus resultados obtuvieron que dentro de los batoideos, los más primitivos son los Rajiformes y Torpediniformes, los cuales tienen un

cerebelo ligeramente foliado, mientras que los batoideos más avanzados, como *Myliobatis*, poseen un cerebelo complejamente foliado y asimétrico.

Walker y Sherman (2001), trabajaron con la descripción y comparación del sistema nervioso de *Urobatis jamaicensis*, encontrando que la morfología y función del cerebro era similar a la de *Dasyatis sabina*. También obtuvo que el cerebro de *Urobatis jamaicensis* era 10 veces más grande que sus grupos hermanos, las rayas eléctricas y *Rhinobatos sp.*

Wueringer (2001), comparó las características anatómicas de los mecanorreceptores de la línea lateral de dos especies de batoideos *Rhinobatos typus* y *Aptychotrema rostrata*.

González (2003) llevó a cabo un estudio de anatomía comparada de la superfamilia Myliobatoidea en donde describe la posición de los forámenes de los nervios craneales en el esqueleto del neurocráneo.

Lisney et al., (2006) realizaron una comparación cuantitativa del tamaño relativo del encéfalo y el desarrollo relativo de las cinco principales áreas del cerebro en tiburones y teleósteos pelágicos. El análisis alométrico reveló que el volumen del telencéfalo era mayor en los tiburones y que el cuerpo del cerebelo era más grande y con mayor grado de foliación en estos animales.

Yopak et al. (2007), evaluaron el desarrollo y la organización de las cinco mayores áreas del cerebro (telencéfalo, diencefalo, mesencefalo, cerebelo y la medula) en 40 especies de 20 familias de tiburones y holocefalos (Chondrichthyes). Encontraron que grupos basales tienen cerebros pequeños y bajos índices de foliación.

Lisney et al. (2008), realizaron un estudio de la variación inter específica de las principales áreas del cerebro (telencéfalo, diencefalo, mesencefalo, cerebelo y médula) y el nivel de foliación cerebelar en mas de 20 especies representativas de batoideos.

Guerrero (2008), trabajó con la descripción del encéfalo y pares craneales tres especies de miliobatoideos: *Dasyatis americana*, *Gymnura micrura* y *Urotrygon aspidurus*. Encontró con la descripción morfológica que el encéfalo no ocupa la totalidad de la cápsula neurocraneal, lo cual probó mediante un análisis estadístico

sin embargo, presentan un telencéfalo muy desarrollado, con sus hemisferios fusionados, tractos olfatorios de longitudes muy variables, un diencéfalo y mesencéfalo bien definidos, pero de dimensiones variables entre las especies. Además encontró que el metencéfalo es de gran tamaño en las tres especies, y cubre casi totalmente al mielencéfalo en su región dorsal, pero es una de las estructuras de dimensiones más variables entre las tres especies estudiadas. Además observó que los pares craneales en general guardan la misma disposición y estructuras conocidas.

Yopak. et al. (2008), realizaron un estudio de la morfología de 22 especies de tiburones y holocefalos de aguas profundas, en relación de la filogenia y de la ecología, encontraron que estas especies tienen telencéfalo pequeños y cerebelos con bajos índices de foliación.

Yopak y Frank. (2009), evaluaron la organización y el tamaño del cerebro relacionando la filogenia y la ecología de *Rhincodon typus*, utilizando imágenes de resonancia magnética, en comparación con más de 60 especies de condriictios. Demostraron que *R. typus* tiene un cerebro relativamente pequeño en comparación a su tamaño corporal, posee un diencéfalo relativamente grande y un mesencéfalo reducido. El análisis de conglomerados mostró que hay una convergencia evolutiva con el tiburón peregrino *Cetorhinus maximus*, lo que apoya que la organización del cerebro es similar en especies con tipos de vida similar pero que evolucionaron de manera independiente.

López (2011), realizó un estudio detallado sobre la morfología externa del encéfalo y pares craneales de *Diplobatis ommata*. En su trabajo encontró que tanto el encéfalo, como la inervación de los pares craneales se ven modificados por la presencia de los órganos eléctricos.

Miramontes (2011), describió la morfología del encéfalo de *Aetobatus narinari* y *Rhinoptera steindachneri*, y confirmó que los miliobatidos presentan un alto grado de desarrollo del encéfalo. Además encontró que el encéfalo de *R. steindachneri* está más desarrollado.

Los estudios biológicos de batoideos en México y en el mundo se han enfocado especialmente al estudio descriptivo y la distribución Geográfica, por lo que existe la

necesidad de realizar estudios anatómicos encaminados a entender las relaciones filogenéticas de estos grupos (Castro Aguirre y Espinosa- Pérez, 1996). Además existe poca información cuantitativa acerca de la organización del cerebro y el desarrollo relativo de las principales áreas del cerebro de este grupo. Por lo cual es importante realizar estudios acerca de la morfología del sistema nervioso en batoideos para comprender las relaciones filogenéticas así como las interacciones con su medio y el control de sus poblaciones.

OBJETIVOS

- Describir la anatomía del encéfalo de *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*.
- Realizar un análisis comparativo entre *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*.
- Obtener el índice de foliación del cerebelo de *Rhinobatos lentiginosus* y *Raja texana*.

METODOLOGIA

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se utilizaron dos especies de Batoideos de acuerdo con la clasificación de Nelson (2006).

Clase: Chondrichthyes

Subclase: Elasmobranchii

Superorden: Euselachii

Subdivisión: Batoidea

Orden: Rajiformes.

Familia: Rhinobatidae

Rhinobatos lentiginosus Garman, 1880

Familia: Rajidae

Raja texana Chandler, 1921

Se trabajó con 8 organismos sexualmente maduros de cada especie, los cuales fueron fijados en formol al 4%; la región cefálica fue inyectada con formol.

Se realizaron 2 salidas a las costas del Golfo de México (Figura 2), para recolectar los especímenes de *Raja texana* los cuales fueron obtenidos como fauna de acompañamiento en barcos camaroneros. Los especímenes de *Rhinobatos lentiginosus* fueron recolectados con chinchorro playero para después fijarlos con formol salino en la parte cefálica. Posteriormente fueron transportados al laboratorio para su estudio.

Los organismos se determinaron mediante las claves de Bigelow y Schroeder (1953) y Castro – Aguirre y Espinosa (1996). De cada organismo se registró el sexo, el peso, la longitud total ancho y largo del disco.

Ya determinados los organismos se hizo la disección por medio de la técnica convencional (Walker, 1980) retirando la piel de la parte dorsal y ventral y la musculatura craneal, se efectuó la devastación del neurocráneo, el esqueleto hiobranquial, la sinarcualia y parte de la columna vertebral. Los vasos sanguíneos

y las meninges de cada organismo fueron retirados para el estudio descriptivo. Después de cada disección los organismos fueron fotografiados.

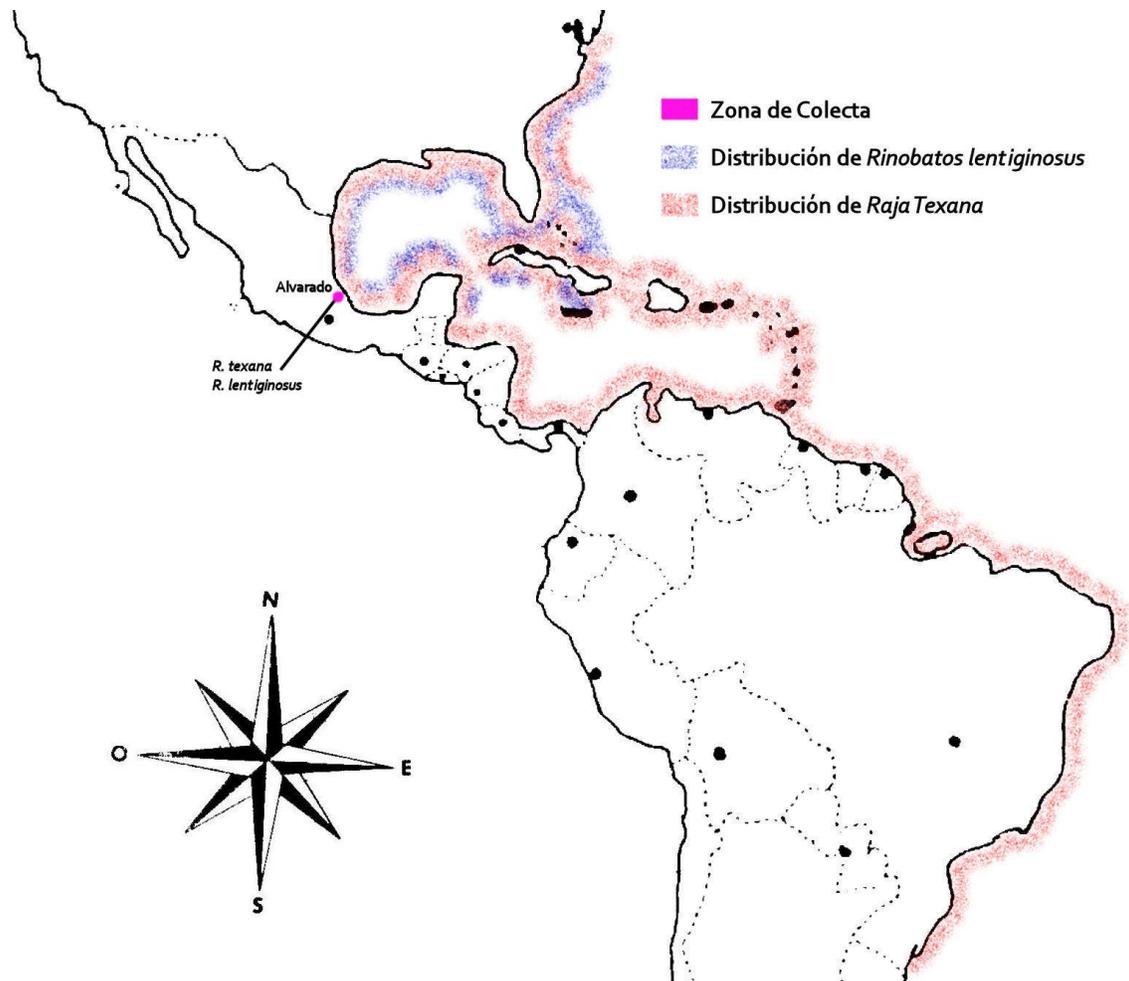


Figura 2. Distribución y zona de colecta de *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*

Se utilizó el método de graduación visual de Yopak et al. (2007), para obtener el grado de foliación del cerebelo de las dos especies.

Este método se basa una escala cuantitativa (1-5) de acuerdo a las circunvoluciones del cerebelo: 1) Sin foliación, superficie cerebelar lisa, con simetría cerebelar. 2) Mínima foliación, surcos pocos profundos que corren paralelos entre si y sin ramificación. 3) Foliación moderada, poco profunda a moderadas con ramificación, cierta asimetría. 4) Muy foliado, surcos moderados o profundos, asimetría moderada. 5) Extremada foliación, surcos muy profundos, asimetría.

La terminología utilizada para la descripción del sistema nervioso fue la utilizada por Seemts (1998) y Walker y Sherman (2001).

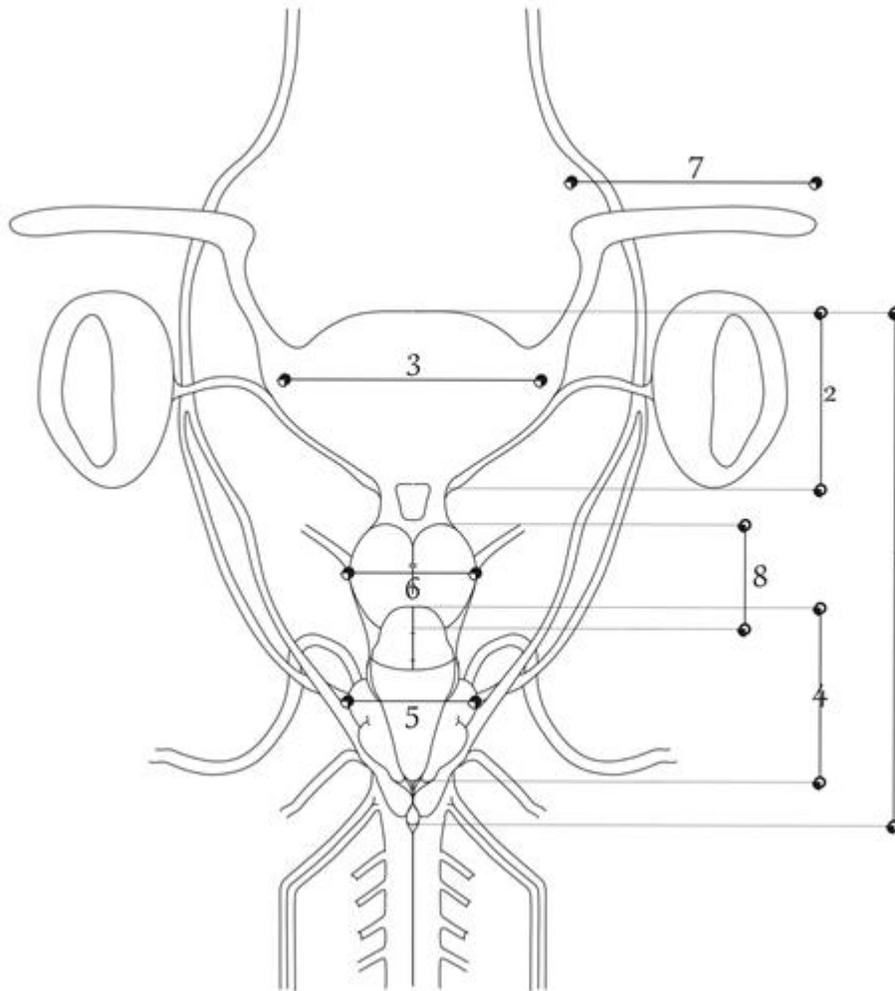


Figura 3. Vista dorsal de *Raja texana*. 1 Longitud patrón; 2, longitud del telencéfalo; 3, anchura máxima del telencéfalo; 4, longitud del cerebelo; 5, anchura máxima del cerebelo; 6, anchura máxima del mesencéfalo; 7, longitud del bulbo olfatorio; 8, longitud del mesencéfalo.

Se obtuvieron las medidas morfométricas (Figura 3): anchura, altura y longitud de las 5 principales áreas del encéfalo (telencéfalo, diencéfalo, mesencéfalo, cerebelo, medula oblongada). Los bulbos olfatorios y los tractos olfatorios se midieron, sin embargo no fueron considerados para el análisis estadístico.

Los datos se estandarizaron para que pudieran ser comparables entre las dos especies utilizando la longitud patrón del encéfalo, por lo que cual fueron expresados en porcentajes con la siguiente formula:

$$\frac{X}{LP} \cdot 100$$

Donde:

X= Medida de la estructura

L.P.= Longitud patrón

Los valores estandarizados fueron analizados mediante una prueba una prueba estadística (prueba de t) buscando diferencias significativas en las cinco áreas principales del encéfalo entre las dos especies.

Raja texana

Descripción general: Disco rómbico 1.2-1.3 tan ancho con respecto al largo, hocico redondeado proyectado hacia la punta, márgenes anteriores débilmente cóncavos, posteriormente salen hacia la punta del hocico. Aletas pectorales continuas a ambos lados de la cabeza. Cola con pliegues laterales los cuales se extienden en toda su longitud. La distancia desde el centro de la cloaca al origen de la primera dorsal es 70 a 80% tan grande como la distancia del hocico a la cloaca; longitud extrema de la cola, desde el centro de la cloaca hasta la punta, es 1,1-1,2 veces mayor que la distancia desde el centro del hocico a la cloaca. Espinas pequeñas, de hasta 150-200 mm de largo; con borde rostral o liso teniendo 2-3 espinas más grandes en frente de la órbita y un detrás de él; 16-17 espinas en la cintura pélvica de la primera aleta: 1-3. Espinas dorsales entre la primera y segunda aleta también una fila irregular de baja a ambos lados de la cola de un poco posterior axilas de las pectorales.

La característica distintiva en *Raja texana* es su patrón de coloración con una mancha oscura visible en forma de ocelo en la parte interna de cada aleta pectoral.

Distribución: Se distribuye Atlántico Centro-Occidental: Florida, EE.UU. y el Golfo de México (Figura 4).



Figura 4 .*Raja texana*.

Rhinobatos lentiginosus

Descripción general: Disco $3/4 - 4/5$ tan ancho como a lo largo y a los límites posteriores de las aletas pectorales en forma de cuña pero con punta redondeada con un ángulo de 50° delante de las orbitas. La cola del centro de la cloaca 1.2-1.4 veces más largo que la distancia del hocico a la cloaca. La punta del hocico tiene espinas que varían en un número de 2 a 7.

Por lo general tienen de 33 a 37 espinas en la espalda a lo largo de la línea media de la región de la nuca a la primera aleta dorsal. Hocico delante de las orbitas alrededor de 4,0 veces más largo que la distancia entre las orbitas de los jóvenes alrededor de 5.0 veces en las hembras grandes, y 4,5 veces en los adultos.

Distribución: En climas subtropicales, desde Carolina del Norte, EE.UU. hasta el norte del Golfo de México hasta llegar a las costas de Yucatán, México (Figura 5).



Figura 5. *Rhinobatos lentiginosus*.

RESULTADOS

Para obtener un mayor grado de confianza tanto cualitativamente y cuantitativamente se realizaron 8 disecciones en cada una de las especies. Se tomaron medidas morfométricas de las principales aéreas del cerebro (telencéfalo, mesencéfalo, cerebelo, medula oblongada y diencefalo).

El análisis estadístico muestra que existen diferencias significativas en las cinco principales áreas del encéfalo (telencéfalo, diencefalo, mesencéfalo, cerebelo, medula oblongada) (Tabla 2).

Descripción del sistema Nervioso

Rhinobatos lentiginosus

En la región dorsal del encéfalo (Figuras 6, 7) son visibles el telencéfalo, mesencéfalo, cerebelo y la medula oblongada, además se observan 8 de los 11 nervios craneales en las dos especies. En la parte ventral (Figuras 9, 10) se encuentra el diencefalo, la hipófisis, el infundíbulo y se observan 9 nervios craneales.

El par craneal I no es visible ya que este se encuentra dentro del bulbo olfatorio, en cuanto al nervio 0 no es visible en ninguna de las vistas, ya que puede estar fusionado con el tracto olfatorio.

El cerebro de *Rhinobatos lentiginosus* es largo y bien desarrollado (Figura 8), ocupa casi en su totalidad la cavidad de la bóveda craneal, tiene simetría bilateral. El telencéfalo (Figura 6, 7) se encuentra bien desarrollado es liso y carece de circunvoluciones, está cubierto por la tela telencefalica; es la parte más anterior del encéfalo, representa el 34.29% (Tabla 1) de la longitud patrón y es fácilmente dividido en tres partes:

- a) Bulbos olfatorios.
- b) Lóbulos olfatorios
- c) Telencéfalo impar.

Los bulbos olfatorios son largos y están bien desarrollados, con forma bulbosa. Se unen a los lóbulos olfatorios por medio de los pedunculos olfatorios, los cuales

son largos y delgados, están compuestos por fibras olfativas secundarias. Los pedúnculos olfatorios presentan un diámetro y longitud variable respecto a la talla de los organismos. Los hemisferios cerebrales presentan una forma bulbosa de aspecto liso sin circunvoluciones, sus tractos olfatorios presentan un diámetro y longitud variable respecto a la talla del organismo.

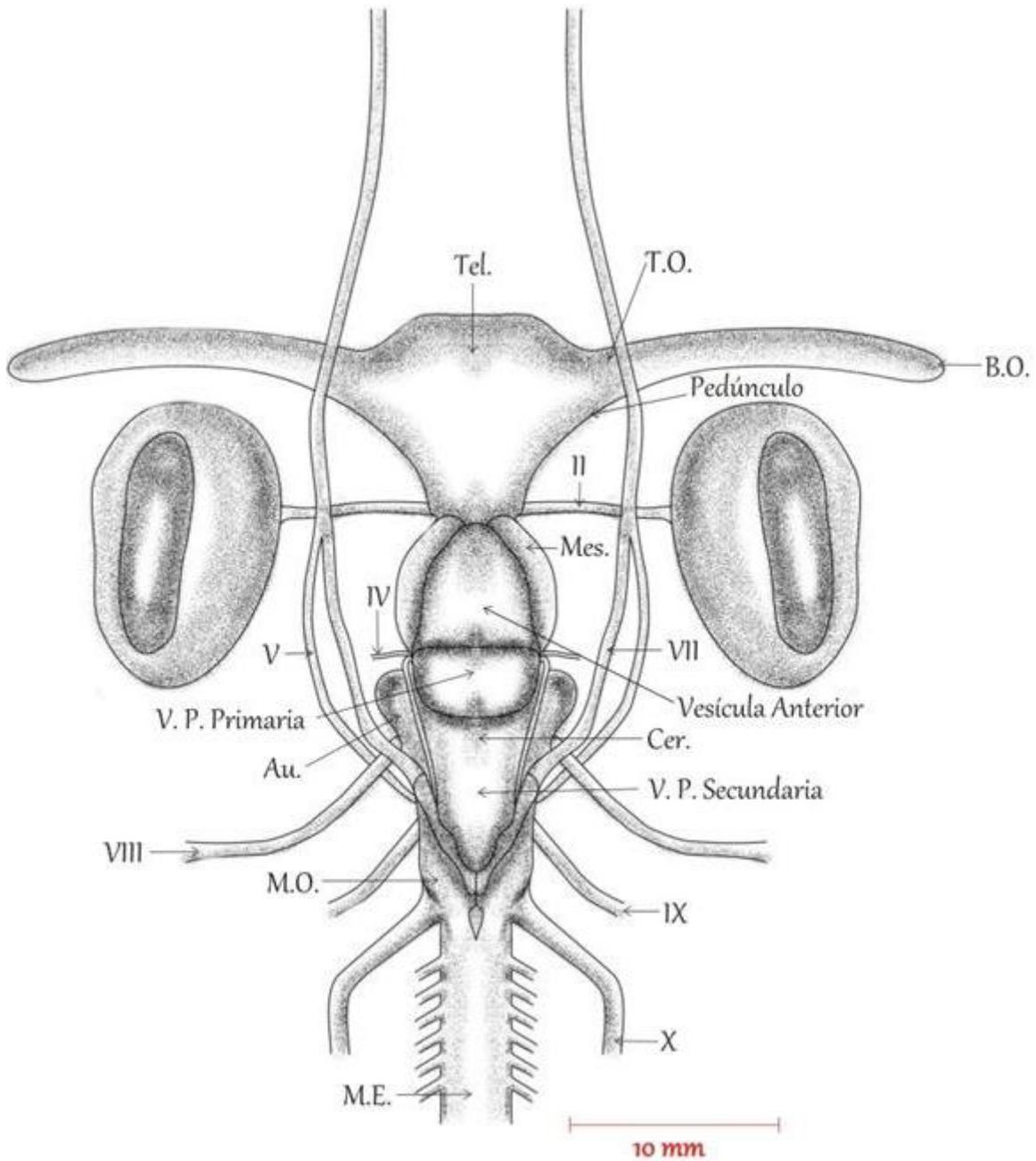


Figura 6. Esquema de la vista dorsal del encéfalo de *Rhinobatos lentiginosus*. Tel, telencéfalo; Cer, cerebelo; M.O, medula oblongada; TO, tracto olfatorio; ME, medula espinal; Au, Aurícula cerebelar; I, olfatorio; II, óptico; IV, troclear; V, trigémino; VI, abductor; VII, facial; VIII, acústico, IX, glossofaríngeo; X, vago.

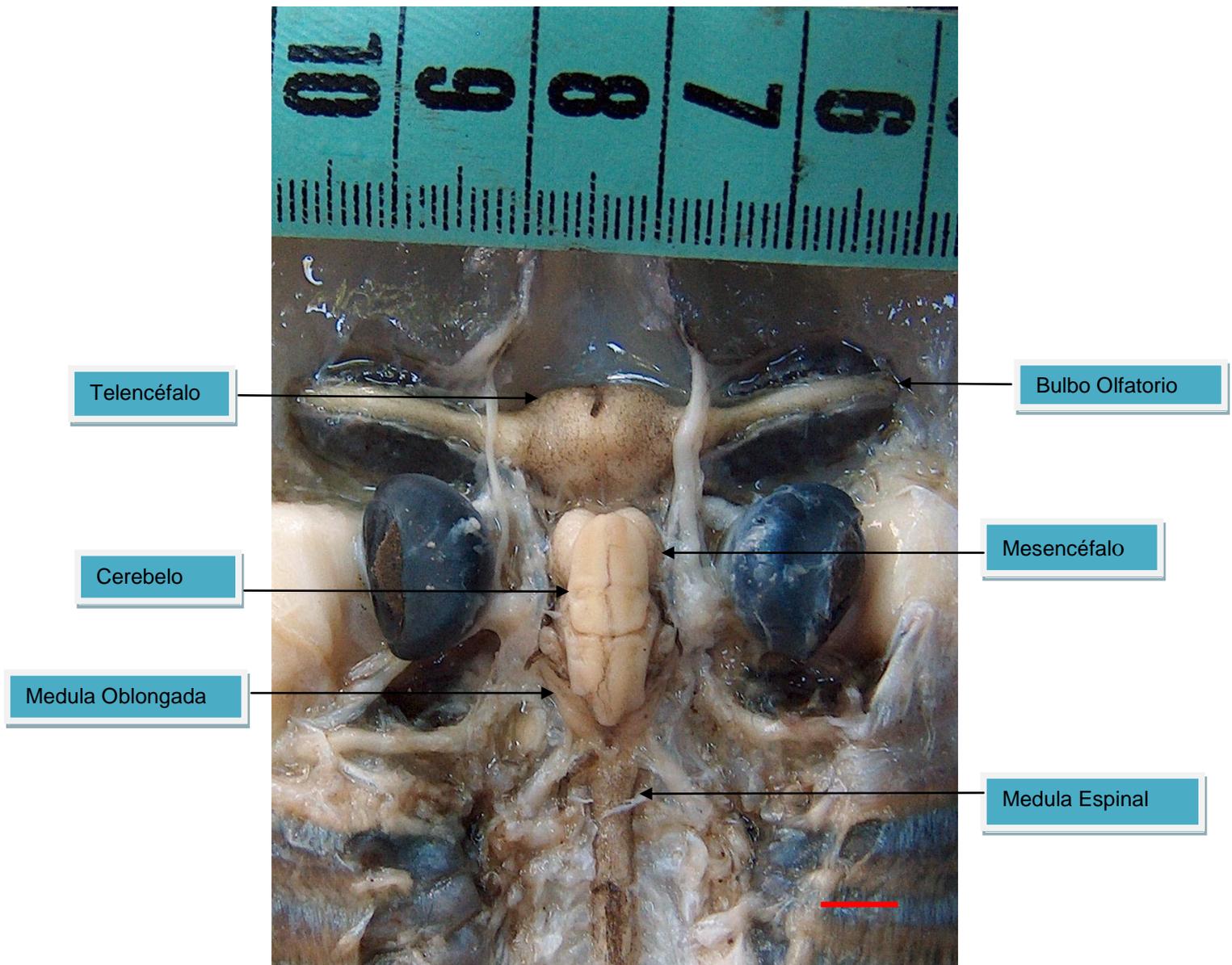


Figura 7. Imagen fotográfica de la vista dorsal del encéfalo de *Rhinobatos lentiginosus*. Escala = 10 mm.

En vista ventral (Figura 9, 10) debajo del mesencéfalo y detrás del telencéfalo se encuentra el diencefalo representando el 16.92% (Tabla 1) de la longitud del encéfalo, el cual se extiende ventralmente al telencéfalo, en esta área se originan los nervios ópticos (par craneal II), los cuales pasan por el foramen del nervio óptico dirigiéndose hacia los glóbulos oculares.

El mesencéfalo (Figura 8) se observa en vista dorsal, se localiza por detrás del telencéfalo, debajo del cerebelo y por encima del diencefalo, está conformado por

el tegumento mesencefálico y tectum mesencefálico. El tectum que forma el techo del mesencéfalo es grande y diferenciado en los lóbulos bilaterales (Figura 8) los cuales están bien desarrollados, son de aspecto liso por lo que carecen de circunvoluciones; el mesencéfalo está dividido por un surco longitudinal que origina los lobulos bilaterales, este representa el 28% (Tabla 1) del encéfalo, en su parte dorsal se origina el nervio troclear (IV) y en su parte ventral se origina el nervio oculomotor (III).

El cerebelo (Figura 6, 7) consiste en un cuerpo central unipareado y dos aurículas, es la parte más grande del encéfalo, representa el 57.39% (Tabla 1) de longitud patrón, tiene simetría bilateral. El corpus cerebelar es la parte principal del cerebelo, es liso y carece de circunvoluciones; de acuerdo con la escala visual de Yopak et al. (2007), presenta un grado de foliación numero 1 (liso carente de circunvoluciones). El cerebelo cubre casi en su totalidad al mesencéfalo, y transversalmente está dividido por un surco profundo que da origen a una vesícula anterior y una vesícula posterior la cual se subdivide en una vesícula primera y secundaria.

A los lados del corpus cerebelar se encuentran las aurículas las cuales se pueden dividir en una hoja cerebelar rostromedial superior y una caudolateral inferior, estas son cortas y presentan circonvoluciones

La medula oblongada (Figura 6, 7) es la parte más caudal del encéfalo, se encuentra detrás del diencefalo y parcialmente está cubierta por el cerebelo, es la segunda estructura mas grande con el 35.40% (Tabla 1) de la longitud patrón. Su borde posterior está delimitado por la fosa romboidea mientras la anterior se delimita por la pared del mesencéfalo. De esta estructura se originan los nervios craneales, trigémino (V), facial (VII), auditivo (VIII) glossofaríngeo (IX) y vago (X).

La medula espinal (Figura, 6, 7) entra por el foramen mágnum, perceptiblemente hacia la medula oblongada en su parte anterior la medula espinal se ensancha, y en su parte posterior se adelgaza.

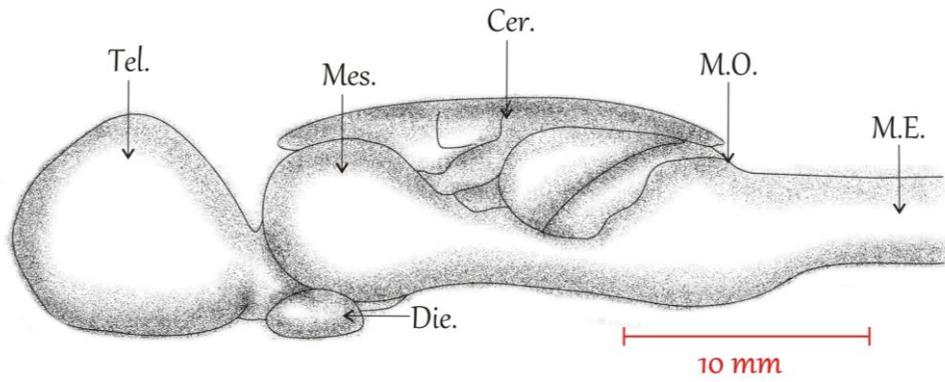


Figura 8. Esquema de la vista lateral del encéfalo de *Rhinobatos lentiginosus*. Tel, telencéfalo; Die, diencefalo; Mes, mesencéfalo; Cer, cerebelo; M.O, medula oblongada; M.E, medula espinal.

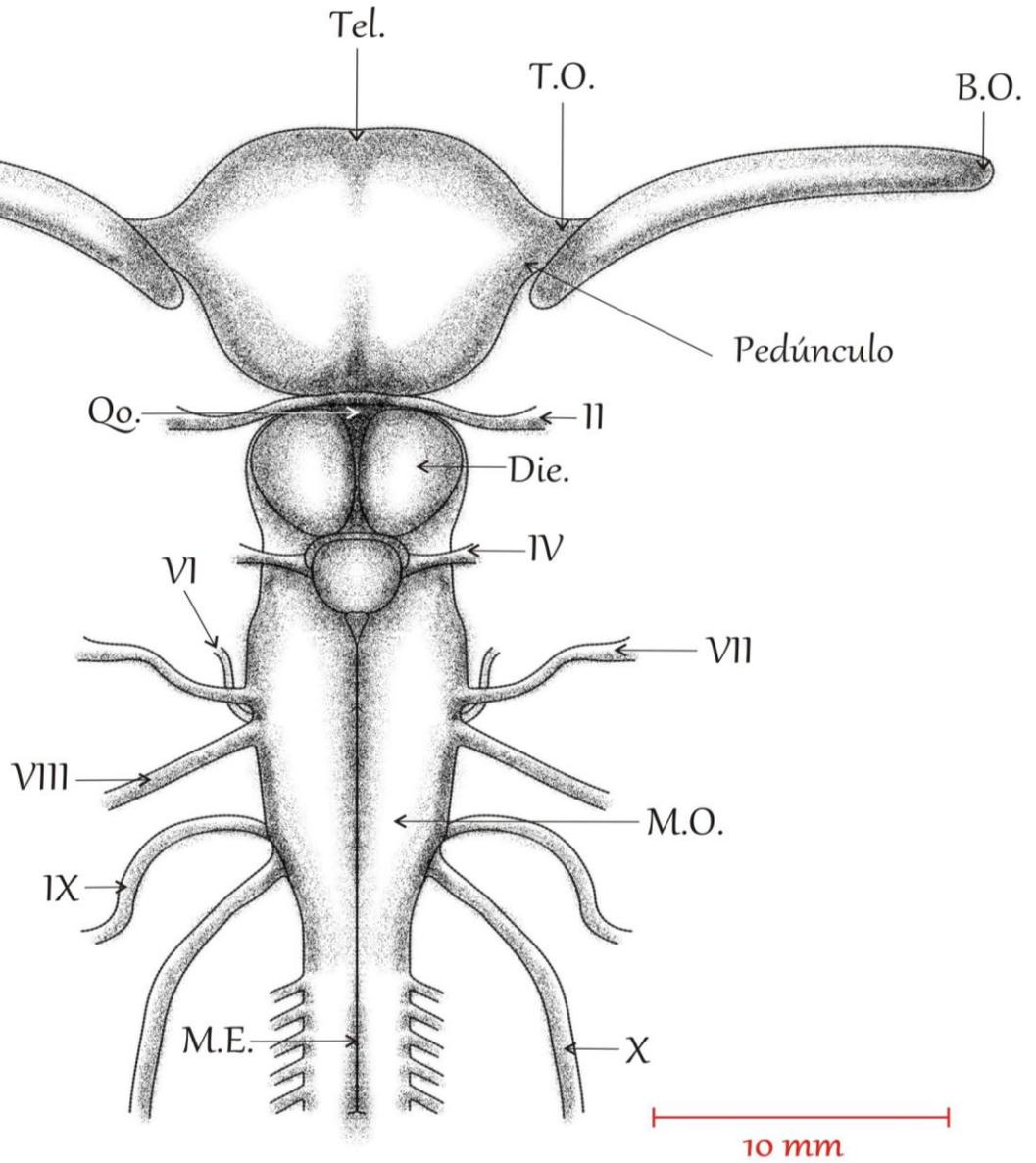


Figura 9. Esquema de la vista ventral del encéfalo de *Rhinobatos lentiginosus*. Tel, telencéfalo; T.O, tracto olfatorio; Die, diencefalo; M.E, medula espinal; Q.O, quiasma óptico; I, olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VI, abductor, VII, facial; VIII, acústico; IX, glossofaríngeo; X, vago.

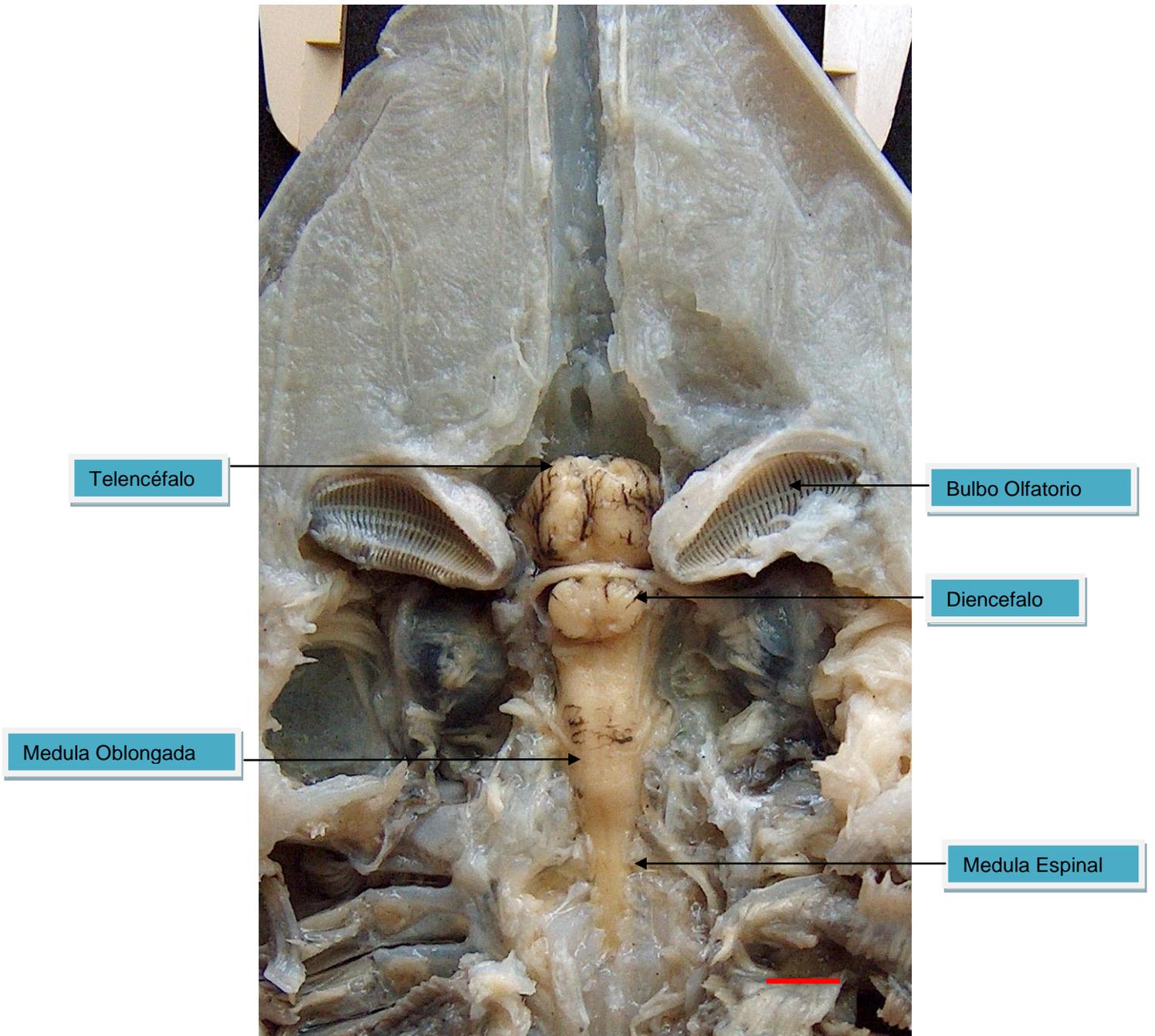


Figura10. Imagen fotográfica de la vista ventral del encéfalo de *Rhinobatos lentiginosus*. Escala = 10 mm.

Porcentajes cerebrales

Medidas	<i>Raja texana</i> n= 8	<i>Rhinobatos</i> n= 8 <i>lentiginosus</i>
Longitud del telencéfalo	33.21%	34.29%
Anchura del telencéfalo	37.08%	37.94%
Longitud del diencéfalo	16.54%	16.92%
Longitud del cerebelo	40.05%	57.39%
Anchura del cerebelo	36.64%	34.93%
Longitud de la primera vesícula	14.17%	34.82%
Longitud de la segunda vesícula	27.11%	24.51%
Longitud del mesencéfalo	24.87%	28%
Anchura del mesencéfalo	28.35%	29.55%
Longitud de la Medula Oblongada	37.90%	35.40%
Anchura de la Medula Oblongada	24.94%	27.06%
Anchura del bulbo olfatorio	69.04%	68.05%

Tabla1. Promedio de las medidas morfométricas del encéfalo de *Rhinobatos lentiginosus* y *Raja texana* expresados en porcentaje de la longitud patrón.

Raja texana

El cerebro de *Raja texana* es largo y bien desarrollado ocupa casi en su totalidad la cavidad del neurocráneo, tiene simetría bilateral. El telencéfalo (Figuras 11, 12) está bien desarrollado es la parte más anterior del encéfalo representa el 33% (Tabla 2) de la longitud patrón y está dividido en tres partes:

- a) Bulbos olfatorios.
- b) Lóbulos hemisféricos
- c) Telencéfalo impar.

Los bulbos olfatorios son largos y bien desarrollados con forma acuñaada estos se unen a los lóbulos hemisféricos por medio de los pedúnculos olfatorios los cuales son largos y delgados, están compuestos por fibras olfativas secundarias.

Los lóbulos hemisféricos (Figura 11, 12) presentan una forma bulbosa de aspecto liso sin circunvoluciones. El telencéfalo impar es liso con pocas circunvoluciones dorsalmente está cubierto por un techo membranoso la tela telencéfalica.

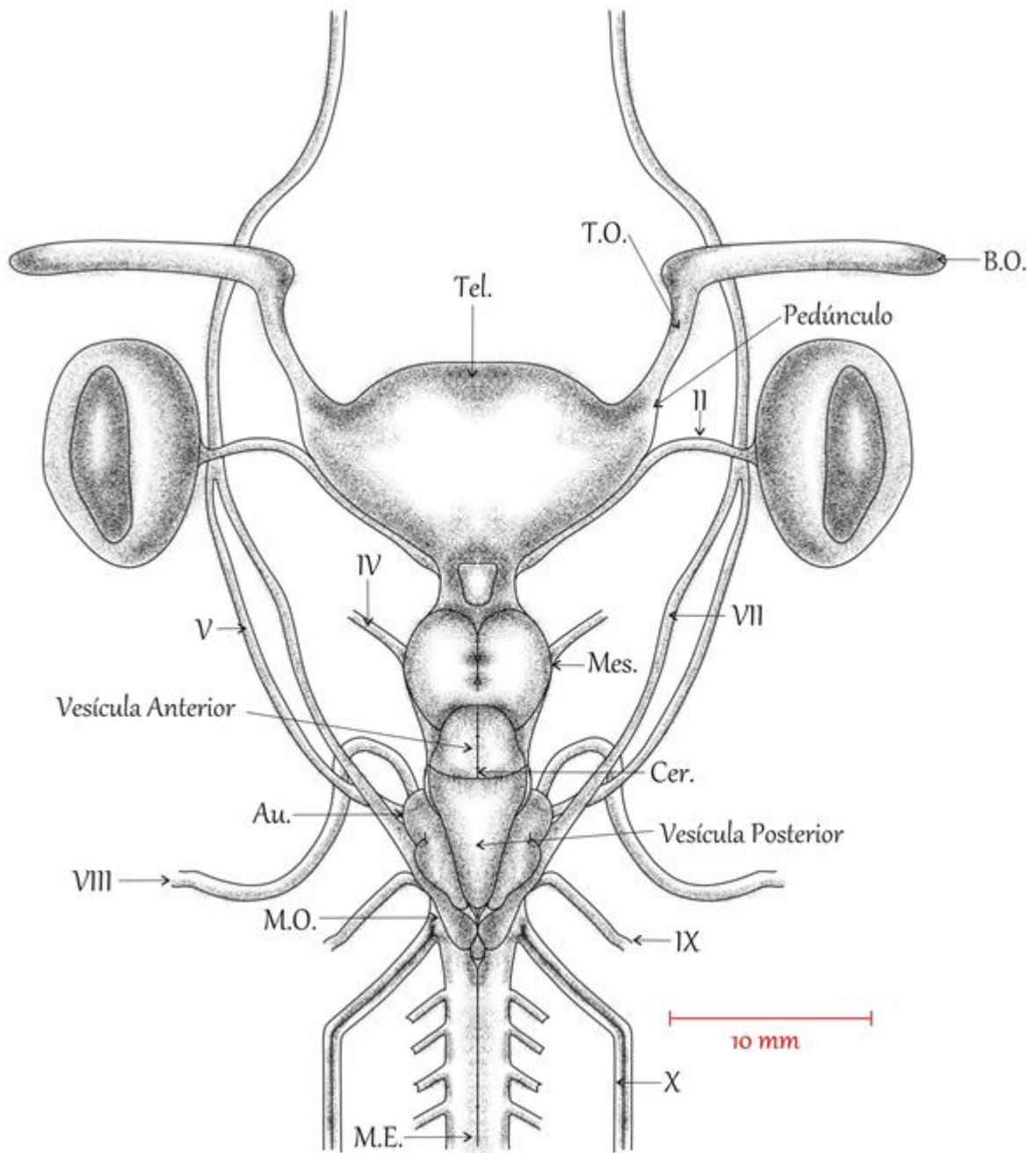


Figura 11.- Esquema de la vista Dorsal del Encéfalo y pares craneales, de *Raja texana*. Tel, telencéfalo; Cer, cerebelo; M.O, medula oblongada; TO, tracto olfatorio; ME, medula espinal; I, olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VI, abductor; VII, facial; VIII, acústico, IX, glossofaríngeo; X, vago.

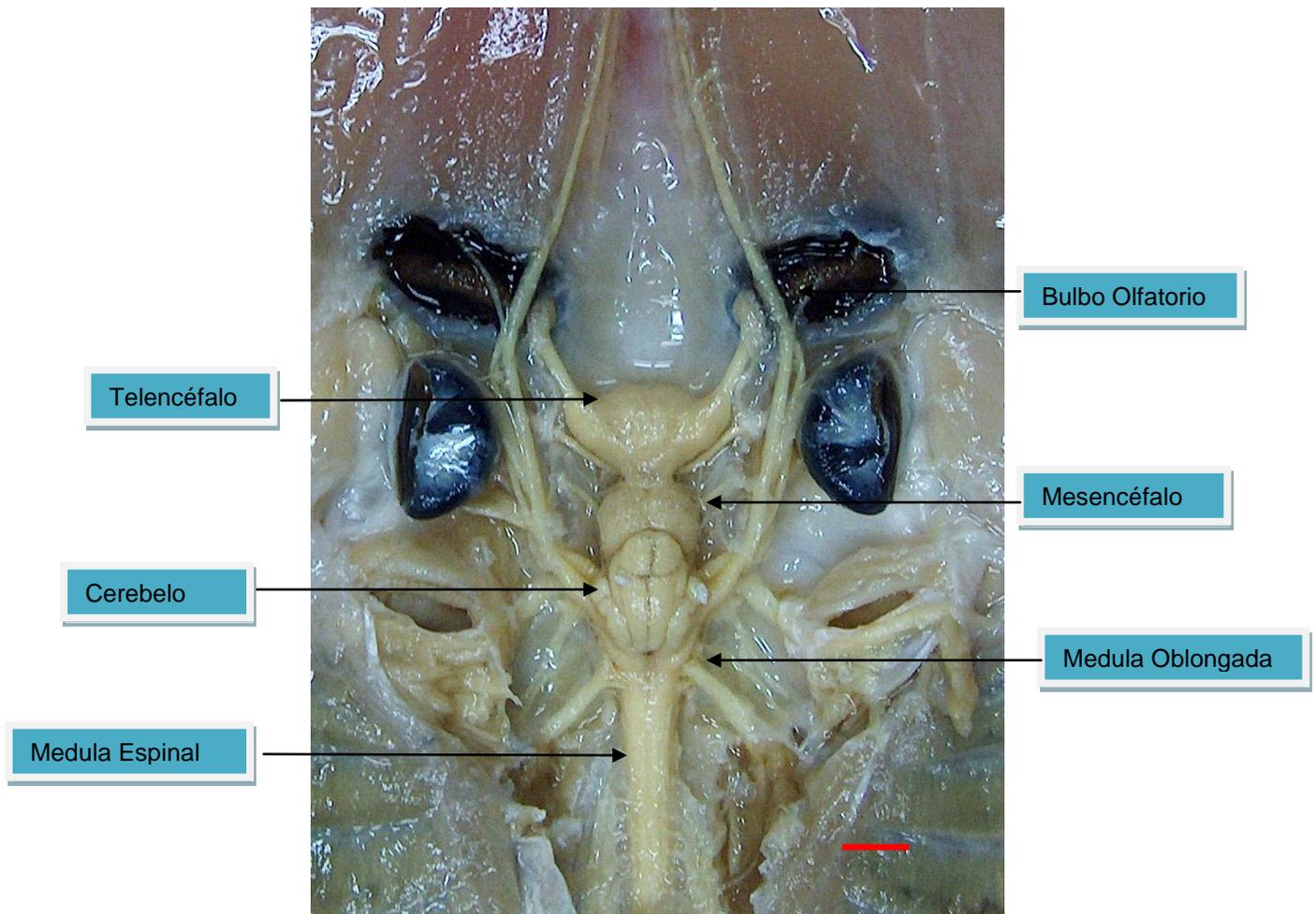


Figura 12. Imagen Fotográfica de la Vista dorsal del encéfalo de *Raja texana*. Escala = 10 mm.

El diencéfalo (Figura 14,15) se compone del lóbulo inferior del infundíbulo el quiasma óptico y la hipófisis, este se extiende ventralmente al telencéfalo, representa el 16.54% de la longitud total del encéfalo (Tabla 1), en esta área del cráneo se origina el nervio óptico (par craneal II), el cual pasa por el foramen del nervio óptico y se dirige hacia los glóbulos oculares.

El mesencéfalo (Figura 11,12) representa el 24.87% (Tabla 1) de la longitud del encéfalo, está conformado por dos lóbulos ópticos bien desarrollados divididos por un surco longitudinal. Se encuentra ligeramente cubierto por el cerebelo, en su parte dorsal se origina el nervio troclear (IV) y en su parte ventral se origina el nervio oculomotor (III).

El cerebelo (Figura 11, 12) es la parte más grande del encéfalo con el 40% (Tabla 2) de la longitud patrón es liso. De acuerdo con la escala visual de Yopak et al., (2007) tiene un grado de foliación 2, cubre parcialmente al mesencéfalo. Transversalmente el cerebelo está dividido por un surco profundo que da origen a dos vesículas primarias la anterior es más pequeña que la posterior. Longitudinalmente el cerebelo está dividido por un surco longitudinal. A los lados se encuentran las aurículas cerebelares las cuales son cortas y presentan circunvoluciones.

La medula oblongada (Figura 11, 12) es la parte terminal del encéfalo, está representada el 37.90% (Tabla 1) es la parte posterior del cerebro, en su borde posterior se delimita por la fosa romboidea mientras que en la anterior se delimita por las paredes del mesencéfalo, de esta estructura se originan los nervios trigémino (V), facial (VII), auditivo (VIII) glossofaríngeo (IV) y vago (X).

La medula espinal (Figura 11, 12) entra por el foramen mágnum y entra perceptiblemente hacia la medula oblongada en su parte anterior. A la altura de las aletas pectorales se ensancha, y en su parte posterior se adelgaza.

En vista lateral (Figura 13) se observa el telencéfalo, el cerebelo, el mesencéfalo, la medula oblongada y la medula espinal.

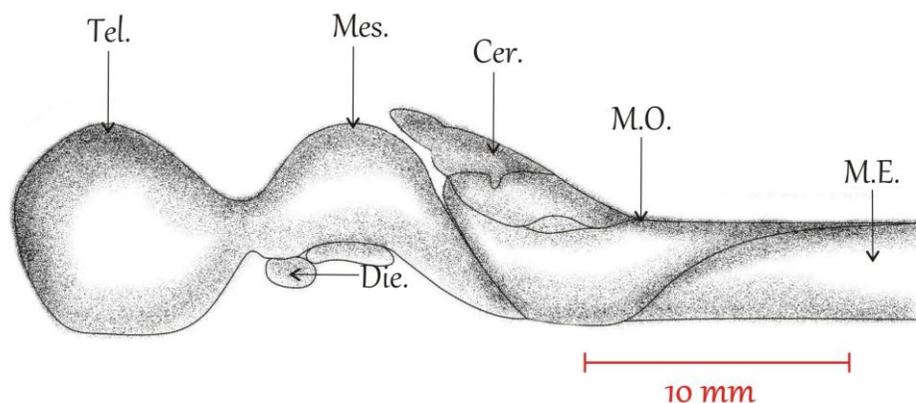


Figura 13. Esquema de la Vista lateral del encéfalo de *Raja texana*. Tel, telencéfalo; Die, diencefalo; Mes, mesencéfalo; Cer, cerebelo; M.O, medula oblongada; M.E, medula espinal.

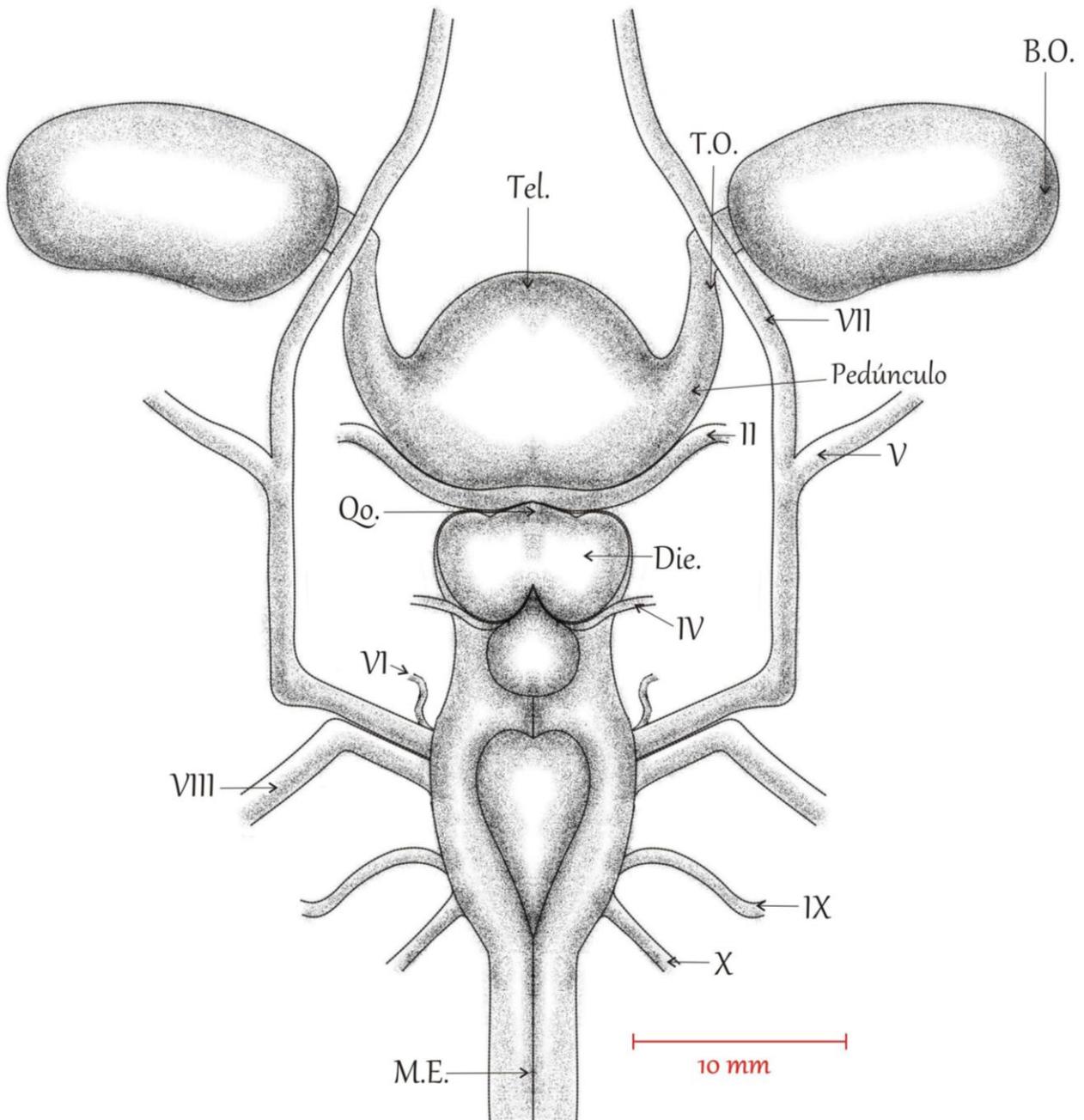


Figura 14. Esquema de la vista Vista ventral del encéfalo de *Raja texana*. Tel, telencéfalo; T.O, tracto olfatorio; Die, diencéfalo; M.E, medula espinal; Q.O, quiasma óptico; I, olfatorio; II, óptico; III, oculomotor; IV, troclear; V, trigémino; VI, abductor, VII, facial; VIII, acústico; IX, glossofaríngeo; X, vago.

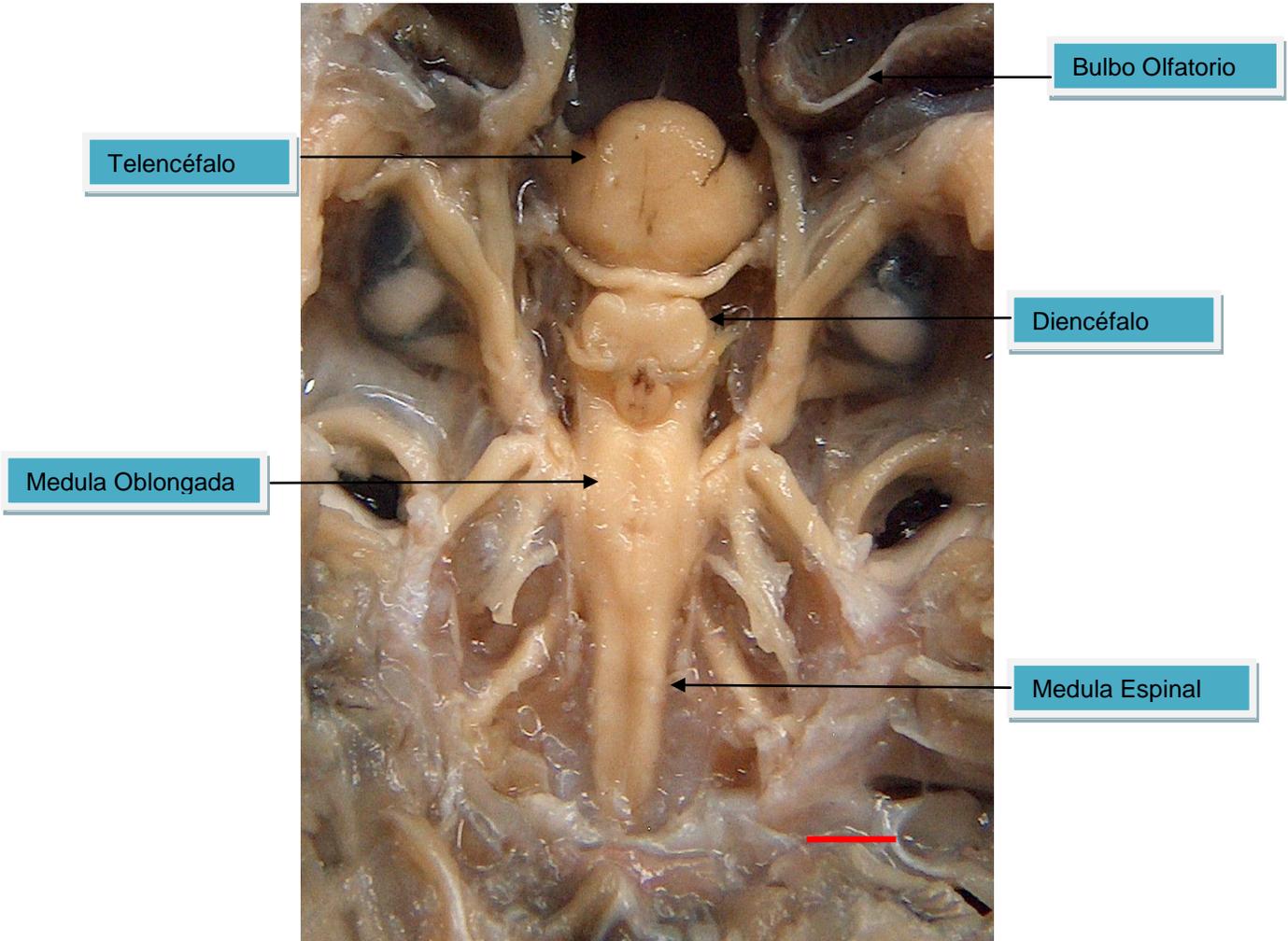


Figura 15. Imagen fotográfica del Encéfalo de *Raja texana*. Escala = 10 mm.

	<i>Estadístico t</i>	<i>P(T<=t) dos colas</i>
Longitud telencéfalo	-2.888309639	0.011914072 **
Anchura del telencéfalo	-1.403870307	0.182150066 NS
Longitud del diencéfalo	-6.67712235	1.0488E-05 ***
Anchura del diencéfalo	-0.19713165	0.8465578 NS
Longitud del mesencéfalo	-6.16045281	2.4745E-05 ***
Anchura del mesencéfalo	-2.75599323	0.01546193 **
Longitud del cerebelo	-8.39565199	7.7729E-07 ***
Anchura del cerebelo	-0.666220731	0.516098747 NS
Longitud de la medula	-2.94415702	0.01066855 **
Anchura de la medula	-9.56632256	1.6132E-07 ***

Tabla 2. Análisis estadístico (prueba t).

** Muy significativas < muy significativa $p < 0.01$

*** Altamente significativas

Discusión

Raja texana y *Rhinobatos lentiginosus* son dos especies de batoideos que están unidas filogenéticamente, comparten características similares en cuanto al hábitat y su estilo de vida bentónico por lo cual han desarrollado adaptaciones y estrategias para la sobrevivencia a este tipo de medios; las dos especies están relacionadas al sustrato, sin embargo, *Raja texana* se encuentra a mayores profundidades que *Rhinobatos lentiginosus*.

El análisis estadístico (t student), muestra que existen diferencias significativas en las cinco principales áreas del encéfalo $P < 0.05$ (Tabla 2).

En la tabla 3 se muestran las principales diferencias morfológicas que existen en ambas especies.

	<i>Raja texana</i>	<i>Rhinobatos lentiginosus</i>
Telencéfalo	Casi liso con pocas circunvoluciones	Liso
Diencéfalo	Posición ventral (Lóbulos del infundíbulo)	Posición ventral (lóbulos del infundíbulo)
Mesencéfalo	Lóbulos ópticos bien desarrollados	Parcialmente cubierto por el cerebelo, lóbulos ópticos bien desarrollados
Cerebelo	Foliación grado 2	Foliación grado 1
Medula	Cubierta casi en su totalidad por el cerebelo	Cubierta casi en su totalidad por el cerebelo.

Tabla 3. Principales diferencias en las estructuras cerebrales.

El telencéfalo es similar en cuanto a tamaño en ambas especies, representando en promedio el 33.21% para *Raja texana* y 34.24% en *Rhinobatos lentiginosus* (Tabla 2), sin embargo, en *Raja texana* se observaron algunas circunvoluciones

(Tabla 3). El telencéfalo junto con el cerebelo han sido reportados (Smeets, 1988) como las estructuras que presentan mayor variación. *R. texana* y *R. lentiginosus* pertenecen a los subordenes de batoideos menos especializados, por lo que sus telencéfalos son pequeños en comparación a otros elasmobranquios, como los miliobatoideos y carcarinidos, en donde éste representa más del 50% de la longitud total (Yopak et al., 2007; Lisney et al., 2008; Miramontes, 2011). Las especies que tienen telencéfalos grandes tienen un grado mayor de aprendizaje (Yopak et al., 2007), ya que estas especies viven en hábitats más estructurados e incluso algunas especies migran.

El sentido del olfato en *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*, es de suma importancia, ya que viven asociados al bentos, por lo que no es de extrañarse que los bulbos olfatorios estén considerablemente desarrollados, representando en promedio el 69.04% y el 68.05% de la longitud patrón (Tabla 2) para *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*, respectivamente.

El diencefalo es similar en ambas especies, sin embargo, los lóbulos inferiores del infundíbulo se observan completamente separados en *Rhinobatos lentiginosus* (Fig. 9), en tanto que en *Raja texana* (Fig. 14,15) están fusionados. La hipófisis no está tan desarrollada como lo reporta López (2011) para *Diplobatis ommata* (Torpediniformes), en donde ésta se prolonga hasta la región media del diencefalo.

El mesencefalo es similar en las dos especies, representando el 24.87% y el 28% de la longitud patrón (Tabla 2) para *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*, respectivamente. En las dos especies la corteza es de aspecto liso y el surco longitudinal que divide los lóbulos ópticos está bien desarrollado; junto con el diencefalo es una de las estructuras más pequeñas del encéfalo. Dado que el mesencefalo está directamente relacionado con el sentido de la vista, es posible que en estas especies este sentido no sea tan importante.

El cerebelo, con excepción de los lóbulos olfatorios, es la estructura más grande del encéfalo y la que presenta mayor grado de desarrollo en ambas especies. Esta estructura mantiene una simetría bilateral, a diferencia de otras especies, como miliobatidos en donde se pierde (Northcutt, 1977).

De acuerdo con la escala visual de Yopak et al. (2007), se determinó que estas especies tienen bajos índices de foliación. Para *Raja texana* el nivel de foliación fue de 2, esto es casi liso con ligeras circunvoluciones; para *Rhinobatos lentiginosus* fue de 1, esto es completamente liso. Esto concuerda con lo reportado para otras especies de estos grupos. El grado de foliación nos muestra la complejidad del cerebelo, una corteza cerebelar lisa con pocas

circunvoluciones, tiene niveles bajos, en tanto que una corteza con surcos profundos tendrá niveles altos. El grado de foliación que presenta cada organismo está relacionado con el estilo de vida y hábitat de cada especie. Organismos que presentan niveles bajos de foliación en el cerebelo viven en hábitats poco complejos, y una menor actividad natatoria en comparación a otros grupos como los miliobatoideos que suben y bajan constantemente en la columna de agua para la localización, captura de presas y para escapar de sus depredadores. En el caso de los rajoideos y de los rinobatidos viven asociados al sustrato, tienen menor actividad natatoria, y su alimentación se basa en presas que no son tan ágiles. En el caso de *Rhinobatos typus*, que vive asociado a arrecifes de coral, el cual de acuerdo con Lisney et al. (2007), presenta un grado de foliación 2. Por lo que el desarrollo cerebral puede estar relacionado con el estilo de vida de los batoideos.

Estos organismos presentan simetría bilateral a diferencia de sus grupos hermanos los miliobatoideos donde el cerebelo pierde la simetría como en *Dasyatis sabina* debido a la hipertrofia (Puzdrowski y Leonard, 1992), lo que nos indica que *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus* no tienen hipertrofia siendo este un carácter primitivo.

La medula oblongada es una estructura conservadora, es la única estructura donde se observa mayor grado de desarrollo para *Raja texana* con el 37.90%, a diferencia de *Rhinoabtos lentiginosus* con solo 35.40% (Tabla 2).

La disposición, estructura, innervación y trayectoria de los pares craneales es similar a la reportada en las dos especies descritas. El diámetro de los nervios craneales en las dos especies es similar. El nervio 0 se reporta en peces, sin embargo, en ninguna de las disecciones se aprecia este nervio, lo que puede significar que se encuentre fusionado con el tracto olfatorio, tal como lo reporta Hofmann y Meyer (1991) para otros vertebrados.

Raja texana y *Rhinobatos lentiginosus* tienen cerebros con telencéfalos pequeños, cerebelos relativamente grandes, medulas grandes y niveles bajos de foliación lo que concuerda con Yopak et al (2007), para otras especies de estos grupos.

Rhinobatos lentiginosus es la especie que presentó un mayor grado de desarrollo en cuanto a las 5 principales áreas cerebrales con excepción de la medula oblongada, la cual en *Raja texana* mostró un mayor grado de desarrollo. El cerebelo de *Rhinobatos lentiginosus* fue de mayor tamaño, sin embargo, el cerebelo de *Raja texana* presentó un nivel más alto de foliación, y de acuerdo con Northcutt (1977,1989) y Smeets et al., (1998) es más importante la foliación debido al incremento de la hipertrofia que el tamaño de la estructura.

Con base en el registro fósil y con la filogenia propuesta por McEachran y Aschliman (2004) *Raja texana* es un especie más derivada, sin embargo, con base en el grado de desarrollo de las características morfológicas pareciera que en *Rhinobatos lentiginosus* la mayor parte de las áreas del encéfalo son de mayor tamaño (exceptuando a la médula), sin embargo, en este trabajo no se obtuvo la relación peso del cuerpo – peso del encéfalo, la cual podría ser menor en *Rhinobatos lentiginosus*, dado que esta especie presenta muy desarrollada la musculatura de la región caudal, en tanto que en *Raja tejana* está sumamente reducida.

La importancia de estos estudios para la filogenia son muy importantes debido a la falta información de este grupo, sin embargo, es importante realizar estudios sobre nicho ecológico, alimentación, depredación, mecanismos de defensa, para poder establecer como han influido las relaciones ecológicas y evolutivas en el desarrollo del sistema nervioso en estos organismos.

Conclusiones

- ❖ *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus* tienen cerebros con telencéfalos pequeños, cerebelos relativamente grandes y medulas oblongadas grandes.
- ❖ Los lóbulos olfatorios y el cerebelo son las estructuras con más grado de desarrollo en las dos especies.
- ❖ Con base en la morfología externa las estructuras que presentan mayores diferencias son el cerebelo y el diencefalo.
- ❖ El cerebelo y el diencefalo se encuentran más desarrolladas en *Rhinobatos lentiginosus*.
- ❖ El cerebelo de *Raja texana* presenta un grado mayor de foliación.
- ❖ La estructura que es considerada como conservadora en ambas especies es la médula oblongada.
- ❖ La disposición y origen de los pares craneales es similar en *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*.
- ❖ Existen diferencias significativas en las cinco principales áreas del encéfalo, siendo el cerebelo y el diencefalo las estructuras que presentan mayor variabilidad en *Raja texana* y *Rhinobatos lentiginosus*.

ANEXO

Longitud patrón	Variable 1	Variable 2
Media	2.743	2.97225
Varianza	0.093340857	0.014927357
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0.054134107	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-1.970624378	
P(T<=t) una cola	0.034435449	
Valor crítico de t (una cola)	1.761310115	
P(T<=t) dos colas	0.068870898	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144786681	

Tabla. T. t student longitud patrón.

Longitud del cerebelo	Variable 1	Variable 2
Media	1.098625	1.70575
Varianza	0.038257125	0.003577643
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0.020917384	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-8.39565199	
P(T<=t) una cola	3.88645E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1.76130925	
P(T<=t) dos colas	7.7729E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144788596	

Tabla 4. t student Longitud del cerebelo.

Longitud telencéfalo	Variable 1	Variable 2
Media	0.911	1.019125
Varianza	0.008194286	0.003016982
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0.005605634	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-2.888309639	
P(T<=t) una cola	0.005957036	
Valor crítico de t (una cola)	1.761310115	
P(T<=t) dos colas	0.011914072	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144786681	

Tabla 5. t student Longitud del telencéfalo.

Longitud mesencéfalo	Variable 1	Variable 2
Media	0.682125	0.87175
Varianza	0.000646696	0.006933071
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0.003789884	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-6.160452806	
P(T<=t) una cola	1.23725E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.76130925	
P(T<=t) dos colas	2.4745E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144788596	

Tabla 6. t student Longitud del mesencéfalo.

	Variable 1	Variable 2
Media	0.97375	1.064375
Varianza	0.007198214	0.000381696
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0.003789955	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-2.944157018	
P(T<=t) una cola	0.005334277	
Valor crítico de t (una cola)	1.76130925	
P(T<=t) dos colas	0.010668553	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144788596	

Tabla 7. t student Longitud de la medula.

	Variable 1	Variable 2
Media	0.43325	0.5025
Varianza	0.000846786	1.37143E-05
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0.00043025	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-6.677122345	
P(T<=t) una cola	5.24393E-06	
Valor crítico de t (una cola)	1.76130925	
P(T<=t) dos colas	1.04879E-05	
Valor crítico de t (dos colas)		
2.144788596		

Tabla 8. t student Longitud del diencéfalo.

BIBLIOGRAFIA

- Bigelow, H.B. and Schroeder. 1953. Fishes of Western North Atlantic, Part 2. Shaw Fishes, guitarfishes, skates, rays, chimaeroids. Mem. Sears Found. Mar. Res.588p.
- Castro-Aguirre, J.L. y Espinosa-Pérez, H. 1996. Listados Faunísticos de México, VII Catalogo sistemático de las rayas y especies afines de México (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes: Batoideiomorpha). Instituto de Biología, UNAM, México, 75 p.
- Chu, Y. T. Wen MC. 1979. A study of the Lateral line Canals System and That of Lorenzini Ampullae and Tubules of Elasmobranchiate Fishes of China. Shanghai: Academic Press (In Chine with English Abstract).
- Compagno, L.J.V. 1977. Phyletic Relationships of living Sharks And Rays. Amer. Zool., 17:303-322.
- Compango, L. J. V. 1984. FAO Species Catalogue. Sharks of the World. An annotated and elasmobranches: some functional and phylogenetic implications. Fith Congress of European Ichthyologists Proceeding Stockholm.
- Compagno, L.J.V. (1990). Alternative life-history styles of cartilaginous fishes in time and space. Environ Biol Fish 28:33-75.
- Dean, M. N, Bizzarro J. J. Summers AP. 2007. The evolution of cranial design, diet, and feeding mechanisms in batoid fishes. Integr Comp 47: 70 - 78.
- Garman, S. 1913. The Plagiostomia (Sharks, Skates, and Rays) Vol. XXXVI. Cambridge, MA: Harvard College.
- González - Isais, 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, México.
- Guerrero - Avila, C. 2008. Contribución al estudio morfológico del encéfalo y pares craneales en tres especies de Rajiformes (Elasmobranchii:

Myliobatoidei). Tesis (Biología) Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.

- Hart, N.S. Lisney T.J. Collin, S.P. 2006. Visual communication in elasmobranchs, In: Communication in Fishes (Ladich F, Collin SP, Moller P, Kapoor BG, eds), pp 337-392. Enfield, NH: Since Publishers Inc.
- Hofmann, M.H. Meyer D.L. 1992. Peripheral origin of olfactory nerve fibers by-passing the olfactory bulb in *Henopus laevis*. Brain Res 589:161-163.
- Hofmann, M.H. (1999). Nervous System In: Sharks, Skates & Rays: The Biology of Elasmobranch Fishes (Hamlet WC, ed), pp 273-299, Baltimore, MD: John's Hopkins University Press.
- Hueter, R.E. Mann, D.E. Maruska KP, Sisneros JA, Demski LS 2004. Sensory Biology of elasmobranchs. In: Biology of Sharks and Their Relatives (Carrier JC, Musick JA, Heithaus MR, eds), pp 325-368. London, UK: CRC Press.
- Iwaniuk, N.A. Hurd, L.P. 2005. The comparative Morphology of the cerebellum in Caprimulgiform Birds: Evolutionary and Fuctional Implications. Brain Behav Evol 2006;67:53-68.
- Kappers CUA, Huber G.C. Crosby E. 1936. The comparative Anatomy of the Nervous System of Vertebrates, Including Man. New York: Macmillan.
- Kardong, V.K. 1999. Vertebrados, Anatomía Comparada, Función, Evolución. 2 Edición (2001) Mc Graw – Hill Interamericana.
- Kotrschal, K. Palzenberger M. 1992. Neuroecology of cyprinids: comparative, quantitative histology reveals diverse brain patterns. Environ Biol Fish 33:135-152.
- Last, P.R. y J.D. Stevens. 1994. Sharks and Rays of Australia. CSIRO, Australia. 513p.
- Lisney. T.J. Collin S.P, (2006). Brain Morphology in Large pelagic fishes: a comparision between sharks and teleosts.
- Lisney T.J.; Collin S.P.; Montgomery J.C. 2008. Variation in Brain Organization and Cerebellar Foliation in Chondrichthyans (batoids), Brain Behavior and Evolution 72:262-282.

-
- López – Barcenás, R. 2011. Estudio morfológico de la musculatura craneal del cerebro de *Diplobatis ommata* (Elasmobranchii:Narcinidae). Tesis (Biología) Licenciatura. FES Iztacala, UNAM.
 - Mc Eachron, J., y Aschliman N. 2004 Phylogeny of Batoidea. 1-376 En: Carrier, J., Musick J y Heithaus M. (eds). Biology of sharks and their relatives. CRC Press. Florida.
 - Miramontes – Trejo, R. 2011. Contribución al estudio anatómico del encéfalo de *Aetobatus narinari* y *Rhinoptera steindachneri* (Chondrycthes: Myliobatidae). Tesis (Biología) Licenciatura. FES Iztacala, UNAM.
 - Montgomery, J.C. 1988. Sensory physiology. En: Physiology of Elasmobranch Fishes (Shuttleworth T, ed), pp 79-98. Berlin: Springer.
 - Myagkov, N.A. 1991. The brain sizes of living Elasmobranchii as their organization level indicator. I. General Analysis. J Hirnforsch 32:553-561.
 - Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world. 4a ed. John Wiley & Sons. USA 601 p.
 - Nishida, K. 1990. Phylogeny of the suborden Myliobatoidei. Mem. Fac. Fish. Hokkaido Uni., 1-108.
 - Northcutt, R. G. 1977. Elasmobranch central nervous system organization and its possible evolutionary significance. AMER Zool 17:411-429.
 - Northcutt, R. G. 1978. Brain Organization in the cartilaginous fishes. En: Sensory Biology of Sharks, Skates, and Rays (Hodgson ES, Mathewson RF, eds), pp 117-194. Arlington, VA: Office of Naval Research.
 - Northcutt, R. G. (1989). Brain Variation and Phylogenetic Trends in Elasmobranch Fishes. The journal of experimental zoology supplement 2:83-100.
 - Puzdrowski, L.R. Leonard, B.R 1992. Variations in cerebellar morphology of the Atlantic stingray, *Dasyatis sabina* Neuroscience, 135(1992) 196-200.
 - Smeets, W.J. A.J. 1998. Cartilaginous Fishes. En: Smeets W.J.A.J, Nieuwenhuys R. Ten Poekelaar H.J. y Nicholson C. (eds). The central nervous system of vertebrates. Vol I. Springer Verlag. Heidelberg. 551-659.

-
- Striedter, G.F. 2005. Principles of Brain Evolution. Sinauer Associates, INC Publishers. USA.
 - Tricas, C.T; Deacon, K.; Last, P.; McCosker, E.J. Walker, I.T.; Taylor, L. 1997. Sharks and Rays. Weldon Owen, Sydney, 288 pp.
 - Tricas, T.C., Deacon, K., Last, P., McCosker, J.E., Walker, I. y L. Taylor.1998. Tiburones y Rayas. Omega, Barcelona.
 - Walker, W.F.1980. Vertebrate dissection. 6a Ed. Saunders College publishing. U.S.A.
 - Walker, K.B. y Sherman, R. L 2001. Gross Brain Morphology in the yellow stingray, *Urobatis jamaicensis* 64 (4): 246-249.
 - De Winter, W. y Oxnard, C.E 2001. Evolutionary radiations and convergences in the structural organization of mammalian brains. Nature, 409: 710-714.
 - Wueringer, E.B. y Tibbetts R,L 2001. Comparision of the lateral line and ampullary systems of two species sholvenose ray. Reviews in Fish and biology fisheries Vol 18-47:64.
 - Yopak, K.E.; Lisney, J.T.;Collin, P.S.; Montgomery, J.C. 2007. Variation in Brain Organization and Cerebellar Foliation in Cjondrichthyans Sharks and Holocephalans, Brain Behavior and Evolution 69:280-300.
 - Yopak, K. E. Montgomery, C.J. 2008. Brain organization and specialization in deep-sea Chondrichthyans. Brain Behavior and Evololution 69:280-300.
 - Yopak, K. E. Frank RL 2009. Brain size and brain Organization of the Whale Shark, *Rhincodon typus*, Using Magnetic Resonance Imaging. Brain Behaviour and Evolution 74: 121-142.