



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Carrera Biología



**Análisis Alométrico y Descripción Anatómica del sistema
esquelético del tiburón *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861)
(Chondrichthyes: Carcharhiniformes: Carcharhinidae)**

Tesis que para obtener el título de

Biólogo

Presenta:

Antonio de Jesús Ríos Gómez

No.Cta. 310177931

Director de tesis:

Dr. Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez

2016

Santa Cruz Iztacala, Naucalpan, Estado de México



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.

1. INTRODUCCIÓN

La clase Chondrichthyes es el grupo más antiguo de vertebrados acuáticos mandibulados vivos; es un grupo diverso que incluye aproximadamente de 900 a 1100 especies de tiburones, rayas y quimeras (Wourms y Demski, 1993). Existen alrededor de 375 a 500 especies de tiburones que son asignados en ocho órdenes: Carcharhiniformes (56% de especies), Squaliformes (22%), Orectolobiformes (8%), Lamniformes (4%); el 8% restante lo conforman los órdenes Hexanchiformes, Pristiophoriformes, Squatiniformes y Heterodontiformes (Compagno, 1990; Nelson, 2006). Las rayas o batoideos están conformadas por cinco órdenes que incluyen cerca de 494 a 572 especies. Se encuentran las pertenecientes a Rajiformes (44%), Myliobatiformes (35%), Rhinobatiformes (11%) y Pristiformes (1%) (Compagno, 1990; Nelson, 2006).

Del total de las especies de tiburón conocidas hasta la fecha, 100 han sido reportadas en aguas mexicanas y para 80 especies existen registros de pesca (Mendizabal-Oriza *et al.*, 2006). En México, desde 1981 se tienen registros de pesca comercial de 40 especies en ambos litorales, de las cuales el 75% se capturan frecuentemente y 15 especies de las familias Alopiidae, Carcharhinidae, Squatinidae, Sphyrnidae y Triakidae, son comunes en las capturas de la pesca artesanal (Castillo-Géniz, 1990). La captura promedio de tiburón y cazón en México fue de 25,000 t durante 1999 a 2008, representando el 1.7% de la producción pesquera nacional (SAGARPA, 2008).

La supervivencia de los tiburones a través del tiempo es resultado de una exitosa adaptación al medio, producto de diversas características biológicas, ya que en los últimos 400 millones de años (Carrier *et al.*, 2004), los tiburones han desarrollado una alta diversidad en formas, que los hacen tener distintos tipos de comportamientos y explotar diferentes hábitats (Springer y Gold, 1989).

Desde el punto de vista de su anatomía, los Chondrichthyes son generalmente percibidos como el clado más basal de los vertebrados mandibulados con un esqueleto parcial o totalmente mineralizado y, por tanto, han tenido una gran influencia en los intentos encaminados a determinar las características del esqueleto de los vertebrados primitivos (Donoghue, 2002). Esto ha sido especialmente cierto en el debate sobre la preponderancia de hueso sobre el cartílago, y la evolución del esqueleto dérmico y a pesar de que puede ser uno de los linajes más antiguos existentes de vertebrados, desde hace tiempo se ha reconocido que los Chondrichthyes están muy lejos, tanto temporal como filogenéticamente, de aquellos vertebrados extintos en donde un esqueleto mineralizado evolucionó primero y en donde se establecieron los sistemas de

desarrollo esquelético (Romer, 1942). Este reconocimiento se deriva del descubrimiento que el esqueleto mineralizado surgió primero en los agnatos extintos antes que en los vertebrados mandibulados (Janvier, 1981). El estudio de estos extintos gnatóstomos basales ha revelado que las peculiaridades, como la composición del esqueleto de los embriones de los vertebrados, no corresponden con la suposición de un origen evolutivo gradual durante un prolongado episodio en los comienzos de la filogenia de los vertebrados (Donoghue y Sansom, 2002; Donoghue et al., 2006). Por lo tanto, el esqueleto de los vertebrados puede ser considerado más apropiadamente y con mayor precisión como una serie de sistemas esqueléticos distintos, caracterizados por sus distintos orígenes evolutivos: el esqueleto dérmico, neurocráneo, esplacnocráneo (viscerocráneo), esqueletos apendiculares y axiales (Donoghue y Sansom, 2002).

Un esfuerzo considerable se ha invertido en la comprensión de los principios del desarrollo evolutivo del esqueleto de los vertebrados, pero parece que cada vez estamos más cerca de la comprensión de la condición de donde se originaron los esqueletos de los Chondrichthyes y los osteíctios. En gran parte, esto solo se lograra con un estudio completo del esqueleto de los vertebrados con mandíbulas más basales, los Chondrichthyes, en partículas de las diferentes especies que constituyen al grupo (Downs y Donoghue, 2009).

El sistema esquelético de los Chondrichthyes

De forma simplificada el esqueleto de los Chondrichthyes se puede dividir en tres partes distintas: El esqueleto axial, el esqueleto visceral, y el esqueleto apendicular, los cuales serán discutidos brevemente a continuación. Para comprender las similitudes y diferencias entre los grupos taxonómicos, se deben de considerar las porciones del esqueleto, este proceso simplemente es el que utilizan la mayoría de los anatomistas, morfólogos funcionales, y paleontólogos. Los investigadores pueden comparar estas porciones a través de amplios niveles taxonómicos para comprender mejor la evolución de los Chondrichthyes y cómo ciertas morfologías podrían estar asociadas a ciertas condiciones ecológicas. (Claeson, y Dean, 2011).

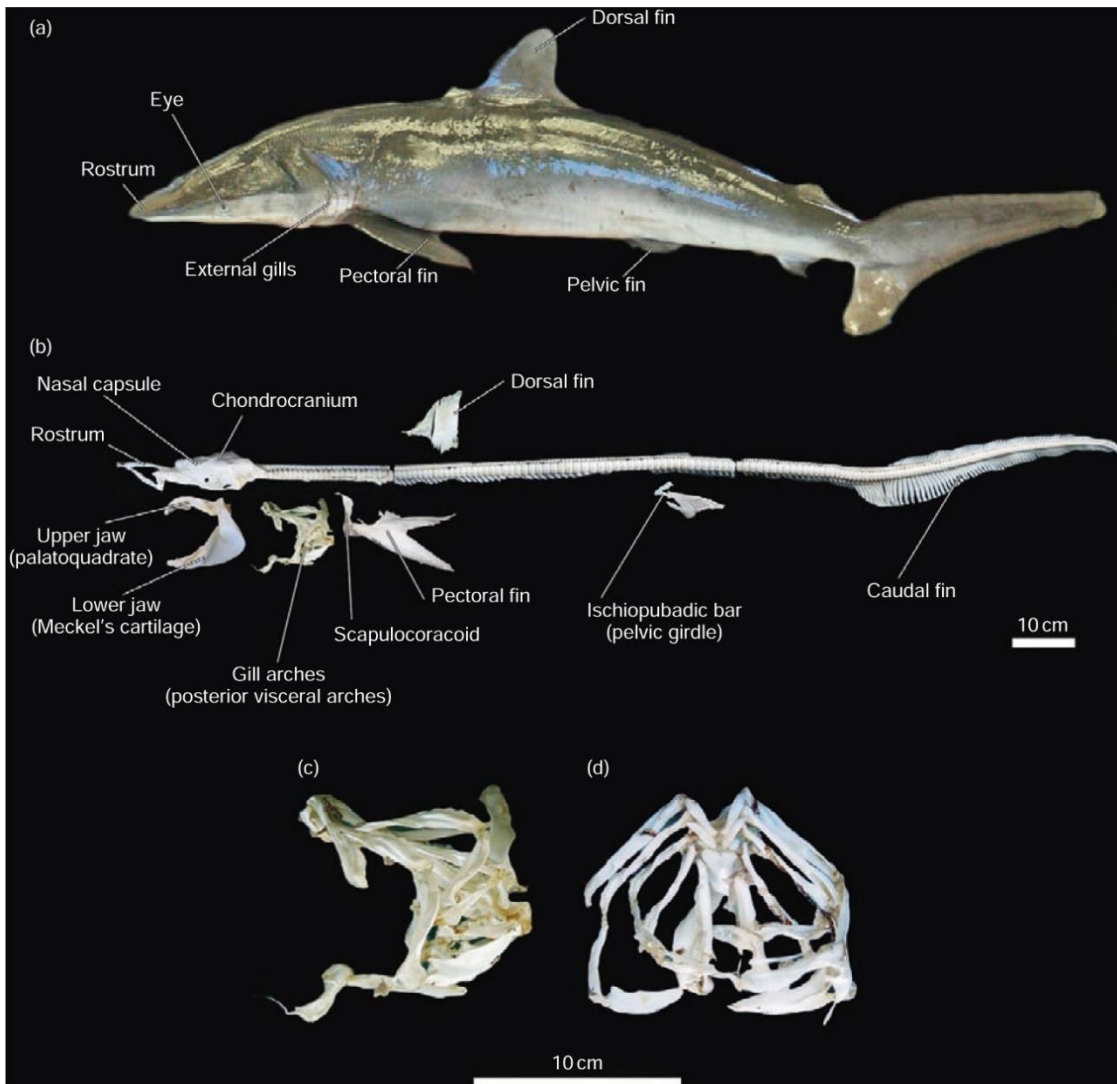


Figura 1. El plan corporal de los tiburones: (a) Anatomía externa del tiburón jaquetón, *Carcharhinus falciformis*, en vista lateral;(b) Anatomía del esqueleto del tiburón jaquetón, *Carcharhinus falciformis*, en vista lateral;(c) Un acercamiento de la canasta branquial en vista lateral; y (d) Un acercamiento de la canasta branquial en vista ventral. El esqueleto fue preparado por la disección y la maceración, se secó antes de montarse. La canasta branquial se colapsó durante el secado y está ligeramente deformada (Claeson, y Dean, 2011).

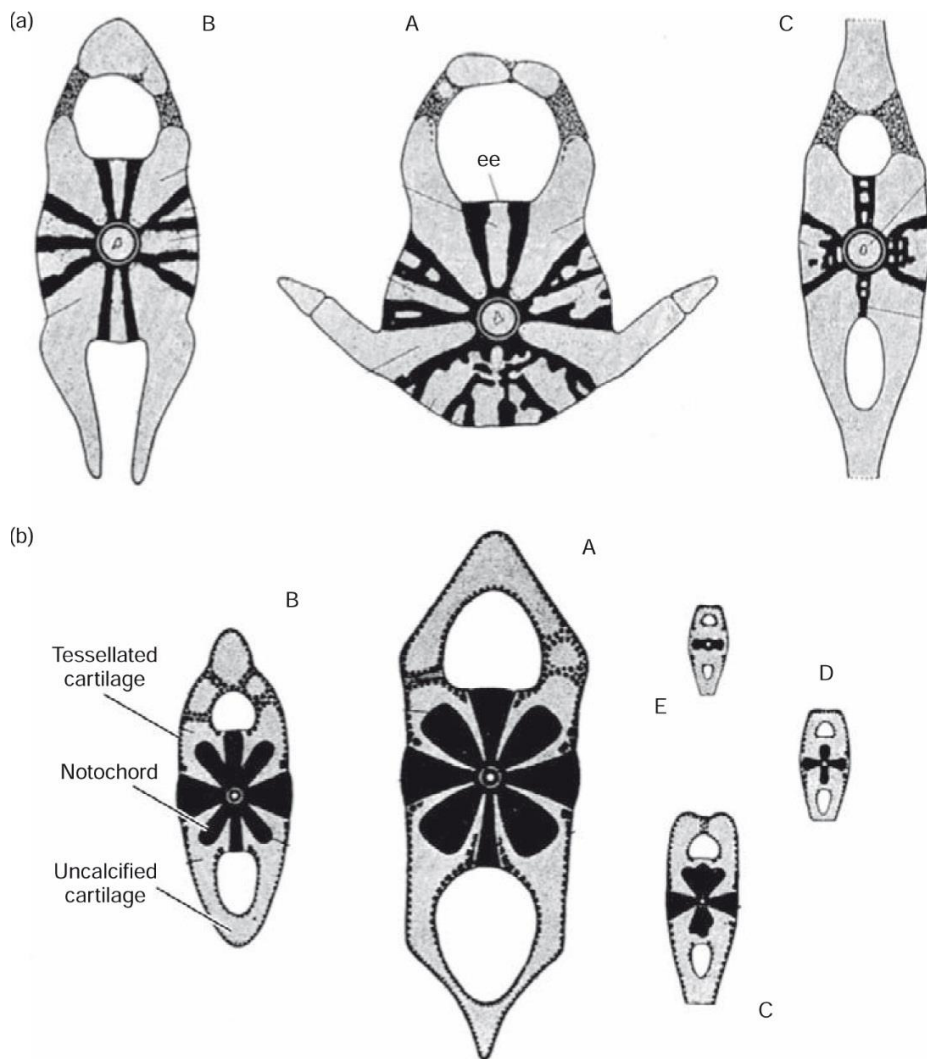


Figura 2. Sección transversal de las vértebras mostrando patrón plegable de notocorda en el centrum: (a) vértebras del tiburón, *Stegostoma tigrinum*, 660 mm longitud (A, vértebra de la región de la cintura escapular; B, vértebra de la región post-cloacal; C, vértebra de región media a lo largo de la aleta caudal); (b) vértebras del batoideo, *Rhinobatos granulatus* (A, vértebra caudal, tomada a poca distancia en frente de la primera aleta dorsal; B, vértebra de la base de la aleta caudal; C, a partir de un medio camino entre la base de la aleta caudal y el extremo caudal de la columna vertebral; D, a medio camino entre C y el extremo posterior de la columna vertebral; e, vértebra, a poca distancia detrás de D). Corteza de cartílago teselado rodea al cartílago no calcificado. La notocorda presenta un patrón como de radios (tiburón) o de trébol (batoideos). Modificado de Ridewood (1921)

Esqueleto axial

El esqueleto axial incluye el cráneo, la columna vertebral, y las costillas. El cráneo de todos los peces cartilaginosos se denomina condrocáneo y es esencialmente una caja cartilaginosa que contiene al cerebro e importantes órganos sensoriales. Aunque el condrocáneo del organismo adulto es una sola pieza de cartílago con regiones claramente definibles, se ensambla muy temprano en el desarrollo embrionario a través de la coalescencia de cartílagos separados.

Las placas embrionarias basales y etmoidales forman la pared anterior y el suelo del condrocáneo; los arcos occipitales forman la pared posterior; y los cartílagos orbitales contribuyen a las paredes laterales del condrocáneo. Aunque el condrocáneo completo varía en tamaño y forma entre las especies, hay regiones generalmente identificables que se conservan a través de los diferentes grupos de Chondrichthyes y se pueden utilizar para hacer comparaciones entre los grupos amplios. Desde la porción más rostral a la caudal, podemos identificar al rostrum, cápsula nasal, proceso anterorbital, región orbitaria, cápsulas óticas y cóndilos occipitales (Claeson, y Dean, 2011) (Figura 3).

En la región etmoidal de los tiburones, un corto y amplio rostrum medial está situado anteromedialmente a las cápsulas nasales pares, proporcionando a muchos tiburones un cuerpo con forma de bala. Las cápsulas nasales son redondas y situadas anteroventralmente. Posterior a las cápsulas nasales se encuentran unas grandes órbitas y las amplias cavidades del condrocáneo que albergan a los ojos. Los límites de la órbita se definen por el proceso anterorbital, la cresta supraorbital, y el proceso de postorbital del condrocáneo. La órbita está abierta ventralmente. El espacio interorbital (el espacio entre los ojos en la superficie dorsal del condrocáneo) es ligeramente más estrecha que la amplia región etmoidea y más o menos del mismo tamaño que la región óptica (Claeson, y Dean, 2011).

Por detrás de la condrocáneo, el resto del esqueleto axial es la columna vertebral, compuesto de vértebras individualizadas. Hay tres segmentos principales de una vértebra en Chondrichthyes: El dorsal, donde están los basidorsales pares (que constituyen los arcos neurales que protegen la médula espinal), El ventral donde están los basiventrales pares (que contribuyen a los arcos hemales que albergan los vasos sanguíneos) y en medio, el centrum. El centro vertebral es una estructura en forma de carrete que actúa como una estructura de soporte de carga primaria y al que se unen los importantes arcos neurales y hemales que protegen los tejidos blandos circundantes. Aunque los arcos están formados de cartílago teselado, como en el resto del esqueleto, el centro está formado por cartílago

areolar; al parecer es el único elemento del esqueleto en donde se encuentra este tejido. El centrum está dispuesto de modo que la porción superior e inferior constituyen las caras rostral y caudal. Numerosos centros entonces se encadenan entre sí para formar la columna vertebral, que se asemeja a muchos carretes de hilo ensartados en una cuerda. En el centro de cada centrum se observan los restos de la notocorda, una barra rígida pero flexible que sirve como base en los embriones de la columna vertebral. Entre los diferentes taxones elasmobranquios, la forma de la notocorda persistente en sección transversal es muy variable en los centros completamente desarrollados, este es resultado del plegamiento diferencial del cartílago areolar que crece alrededor de ella. Esa forma es consistente dentro de ciertos grupos de elasmobranquios y se puede utilizar como diagnóstico para distinguir entre las vértebras de los diferentes grupos (Claeson, y Dean, 2011) (por ejemplo, los de los tiburones y batoideos, Figura 2).

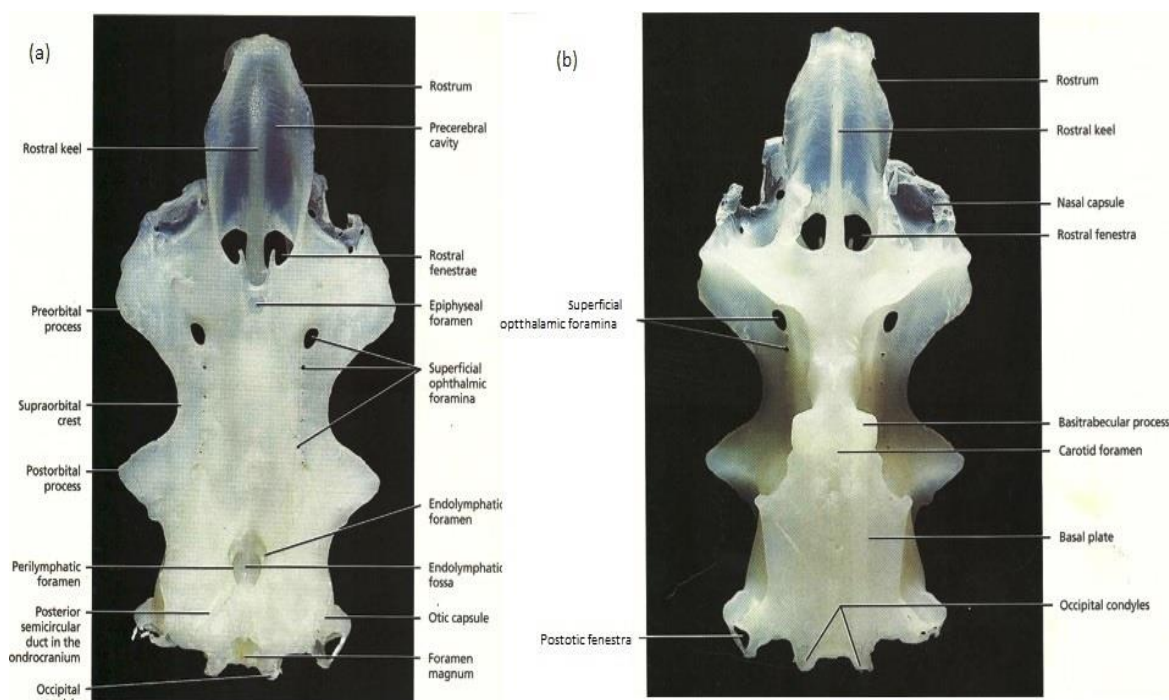


Figura 3. El condrocraqueo de un tiburón, *Squalus sp.*: (a) vista dorsal; (b) vista ventral (Tomado de <https://www.studyblue.com/notes/n/practical-1/deck/13677160>).

Arcos viscerales

El esqueleto visceral se encuentra ventral al condrocraqueo, e incluye las mandíbulas (palatocadrado y el cartílago de Meckel), el hioides y los cartílagos de los arcos branquiales. Estas estructuras en conjunto son denominados los arcos viscerales y pueden ser considerados como articulados, semicírculos simétricos de elementos cartilaginosos, dispuestos en una serie rostrocaudal

(anteroposterior), y son el apoyo de las estructuras respiratorias y alimenticias de la cabeza. Las articulaciones de los arcos permiten la expansión y contracción, lo que permite que se lleven a cabo las funciones respiratorias y alimenticias (Claeson, y Dean, 2011).

El arco mandibular (primer arco visceral) que forma la mandíbula de los Chondrichthyes se divide en dos partes: El palatocuadrado (mandíbula) en posición dorsal, y el cartílago de Meckel (maxila) ventralmente. El palatocuadrado y el cartílago de Meckel cambiaron de forma muchas veces durante la evolución de los Chondrichthyes. Esto se correlaciona con un cambio en la forma de la articulación mandibular con el condrocáneo. Los primeros Chondrichthyes del Paleozoico tenían un palatocuadrado masivo que estaba fuertemente unido al condrocáneo y no era móvil. En los Holocéfalos modernos, las mandíbulas también están firmemente unidas, en una condición conocida como holostilica, que dio nombre al grupo. La disposición holostilica en Holocéfalos es una condición convergente con la presentada por los tiburones paleozoicos, y por lo tanto estas características similares, no se derivan de un mismo ancestro común. Este tipo de suspensión mandibular en los tiburones paleozoicos se conoce como autostilica. Conforme los Chondrichthyes evolucionaron, el palatocuadrado estuvo menos articulado con el condrocáneo tendiendo a ser más móvil.

Existe evidencia de que estos cambios se correlacionan con la evolución de la variedad de estilos de alimentación observados en las especies modernas. El arco hioideo (segundo arco visceral) es caudal y está estrechamente asociado con el arco mandibular. También se divide en componentes dorsales y ventrales: El hiomandíbular es el único elemento dorsal y los componentes ventrales son el ceratohial y el basihial; El resto de los arcos viscerales son conocidos colectivamente como arcos branquiales o canasta branquial (Figura 1 (c y d)). Este último descriptor se refiere a la forma en que la serie de arcos en forma de “U” se ajusta. A medida que forman los límites los cartílagos branquiales ventrales, también se forma una estructura que se parece a la caja torácica donde los elementos dorsales convergen y se conectan con los ventrales. Los arcos branquiales son el sistema apoyan a las estructuras blandas que participan en la ventilación de las branquias y en la respiración (Claeson, y Dean, 2011).

En la mayoría de los tiburones modernos, el palatocuadrado se articula con el condrocáneo, pero no con firmeza, una condición llamada hiostilica. Los cartílagos hioideos (hiomandíbular y ceratohial) se articulan al palatocuadrado otorgándole a él y al cartílago de Meckel un suspensorio móvil. El tercer cartílago hioideo, una gran basihial medial, se articula por sus bordes laterales con los extremos distales de los ceratohiales izquierdo y derecho (Claeson, y Dean, 2011).

Con el conocimiento de las disposiciones relativas de las estructuras esqueléticas que soportan a la boca, la faringe y las branquias, ahora podemos comprender la vía general del flujo de agua durante la respiración de un tiburón; esta vía probablemente sea general para la mayoría de los Chondrichthyes; sin embargo, aún no se ha demostrado en quimeras. Los Chondrichthyes extraen el oxígeno cuando absorben agua y la pasan a través de las branquias. El agua entra a la cámara aortobranquial través de las mandíbulas (primer arco visceral) o el espiráculo (delimitada posteriormente por el segundo arco visceral); típicamente el suelo de la cámara genera una presión a través del movimiento del hioides ventral y de los arcos branquiales. Esta agua es empujada o dirigida sobre las branquias, y se intercambian el oxígeno y el dióxido de carbono a través de una red de vasos sanguíneos que se encuentran dentro de los tejidos blandos de las branquias. El agua, a continuación, sin oxígeno, sale de la cámara branquial a través de las aberturas de las hendiduras branquiales (los espacios entre los arcos branquiales). En los tiburones, las hendiduras branquiales son laterales en el cuerpo, mientras que en los batoideos las hendiduras branquiales son ventrales. Las aberturas branquiales en quimera están cubiertas por un opérculo carnoso con una salida posteroventral (Claeson, y Dean, 2011).

Esqueleto apendicular

El esqueleto apendicular incluye a los cartílagos de las aletas pares y las cinturas de las extremidades. En general, los elementos esqueléticos son más pequeños y más flexibles cuanto más distales están en el esqueleto apendicular. Esto se correlaciona con una tendencia a que los elementos proximales estén más involucrados en el apoyo que los elementos más distales del esqueleto apendicular, y a que los elementos distales estén más involucrados en la locomoción (Claeson, y Dean, 2011).

Las cinturas pectoral (extremidad anterior) y pélvica (miembro posterior) son las estructuras de apoyo de las aletas pares. La mayoría de los taxones tienen una cintura pectoral en forma de "U", con cada brazo dorsal de la cintura constituido por el coracoides, la escápula, y la supraescápula. Los coracoides y las escápulas a menudo se fusionan en un escapulocoracoides, un término usado a veces en lugar de cintura escapular. El supraescápula suele ser pequeño y podría estar ausente en algunos grupos. En ciertos Chondrichthyes, la cintura escapular está estrechamente asociada con el esqueleto axial (es decir, los brazos de la cintura se articulan con la columna vertebral). En contraste, la cintura pélvica se compone de una sola barra isquiopubadica, que siempre está completamente libre del esqueleto axial, pero está asociada estrechamente con la cloaca (Claeson, y Dean, 2011).

Las aletas pectorales y pélvicas están asociadas a los márgenes ventrolaterales de sus respectivas cinturas. Los componentes de las aletas, de la zona proximal a la distal, son los cartílagos planos basales pterigiales (de dos a cuatro en la aleta pectoral y dos en la aleta pélvica), los cartílagos radiales en forma de varilla, y los largos y paralelos radios de las aletas denominados ceratotricos. Los cartílagos radiales varían mucho en longitud y número total dependiendo del taxón; por ejemplo, la mayoría de los radios que constituyen las aletas pectorales de los batoideos, tienden a tener un número reducido de ceratotricos; Los radios de las aletas que forman la porción de aleteo articulado y flexible de la aleta se conocen como actinotricos (una derivación de dermatotricos) en los peces con aletas óseas radiadas. En Chondrichthyes, los radios de la aleta se conocen como ceratotricos porque están hechos de elastoidina (no hueso), que tiene las propiedades combinadas del colágeno y la elastina. Los ceratotricos son homólogos a los actinotricos de los peces óseos (Claeson, y Dean, 2011).

La cintura pectoral de tiburones incluye un coracoides fusionado con los cartílagos escapulares (escapulocoracoides) y con los cartílagos supraescapulares. La porción ventromedial del escapulocoracoides es la barra coracoidea. Las proyecciones posterodorsales del proceso escapular van desde el extremo lateral de la barra coracoidea. El límite entre la coracoides y la escápula se produce más o menos donde la porción proximal donde el pterigio basal de la aleta pectoral se articula con el escapulocoracoides. El esqueleto de la aleta pectoral se compone de tres cortos pterigiós basales: el propterigio (más anterior), el mesopterigio (medial) y el metapterigio (más posterior). Los largos cartílagos radiales se extienden desde los extremos distales de los tres pterigioforos basales. Los ceratotricos cartilagosos constituyen la porción más distal de la aleta pectoral (Claeson, y Dean, 2011).

2. ANTECEDENTES

2.1. Estudios alométricos con elasmobranquios.

En 1986 Huges y colaboradores realizaron un estudio con 13 ejemplares de *Scyliorhinus stellaris* con el propósito de obtener las mediciones de todos los parámetros involucrados en la capacidad de difusión en especímenes de diferente tamaño corporal (de 570 a 2615 g), utilizando análisis morfométricos, fijación en parafina. Los ejemplares fueron anestesiados con MS222 y les fue removida la región branquial, los remanentes de la cavidad branquial fueron fijados con fijador de Bouin y los filamentos de las aletas fueron incluidos en parafina. Ellos concluyen que el incremento del área branquial es proporcional a la masa corporal, también se encontró que el grado de contracción en alrededor de 10% de la longitud del filamento, pero debido al aumento de compensación en frecuencia laminar secundaria este no tuvo efecto sobre las estimaciones de superficie Gill, aunque sí afecta a las dimensiones interlaminares.

Filiz y Mater en el 2002 realizaron un estudio preliminar acerca de la relación entre la longitud y el peso de *Heptranchias perlo*, *Scyliorhinus canicula*, *S. stellaris*, *Mustelus mustelus*, *Squalus acanthias*, *Torpedo marmorata*, *Raja miraletus*, *R. clavata*, *R. oxyrinchus*, *R. radula*, *Dasyatis pastinaca*, *Gymnura altavela*, *Myliobatis aquila* provenientes del Norte del Mar Egeo. En todos los ejemplares se midió la longitud total (en cm) y el peso total (en g), las relaciones longitud-peso se llevaron a cabo entre todos los individuos, solo machos y solo hembras, y se llevaron a cabo los análisis alométricos. *S. canicula*, *M. mustelus*, *S. acanthias*, *R. clavata* y *R. miraletus* presentaron un crecimiento alométrico positivo, mientras que *T. marmorata* y *D. pastinaca* presentaron un crecimiento alométrico negativo, aunque se reportan inconsistencias en los resultados debido a la falta de especímenes suficientes, por lo que se recomienda ampliar el área de estudio, aunque este estudio proporcionó información importante acerca de la especies de elasmobranquios de Turquía

En el 2002 Robinson y Motta realizaron un estudio acerca de los patrones de crecimiento y los efectos de la escala en la cinemática de la alimentación del tiburón nodriza. Para esto se utilizaron 12 especímenes de *Ginglymostoma cirratum* para obtener las medidas morfométricas de los músculos de la mandíbula, y otros 20 ejemplares fueron filmados para observar la cinemática implicada en la captura de presas. Los datos obtenidos fueron transformados en logaritmos y se trataron mediante una regresión lineal contra el logaritmo de la longitud total y la longitud de la cabeza, lo cual llevo al resultado de que el crecimiento de la cabeza es isométrico pero no es alométrico respecto al resto del

cuerpo, debido a las relaciones geométricas de la longitud con el área y el volumen.

Lowry y Motta en el 2008 realizaron un estudio acerca de la importancia del crecimiento y el comportamiento de los elasmobranquios y el rendimiento de la succión en la alimentación a lo largo de la ontogenia temprana. Utilizando crías recién nacidas, 12 neonatos de *Triakis semifasciata* y de 6 de *Chiloscyllium plagiosum*. El rendimiento alimenticio se midió mediante dos técnicas diferentes: Presión de succión y movimiento de partículas; Las variables seleccionadas fueron aquellas que presentan una relación relevante con la alimentación como la distancia de ataque, distancia máximo y tiempo de la apertura bucal, tiempo de cierre de mandíbulas, la máxima elevación craneal y sus tiempos de duración e inicio, depresión máxima del hioideo y sus tiempos de duración e inicio, el tiempo de la retracción del hioideo, tiempo de apertura de las branquias, la duración total del ataque, la distancia y duración del movimiento de la presa durante el ataque, velocidad de la presa durante el ataque, distancia que el depredador se movió durante el ataque y la velocidad del depredador durante el ataque, y el índice de presión en la succión. Como resultado de este trabajo se concluye que sin importar el tamaño del espécimen de *C. plagiosum* el subambiente bucal produce una fuerte presión que mejora la ingesta. La máxima presión de este ambiente tiene una alometría negativo en *T. semifasciata*, acompañada de una duración mayor en la apertura de la boca a pesar de tener una tendencia similar en la expansión y sincronización bucal. Mientras que la presión máxima de *C. plagiosum* es isométrica, junto con el inicio más temprano de la depresión del hioides y una alometría positiva respecto al incremento de volumen bucal.

2.2. Estudios de las teselas

En el 1970 Boyne realizo un estudio sobre el desarrollo cronológico y la aparición de los dientes en elasmobranquios, con el propósito de desarrollar un método factible de dosificación optima de drogas para la administración de tetraciclina para el etiquetado del desarrollo óptimo de los dientes en el tiburón limón (*Negaprion brevirostris*). Se utilizaron 8 ejemplares de *Ginglymostoma cirratum* y 8 de *N. brevirostris* con un peso promedio de cuatro kilos, a todos se les anestesió con una solución 1:2000 de metanosulfonato con ethil-m-amino benzoato. Después de la anestesia se les realizó una biopsia de 1 cm en la porción más ancha del arco mandibular y de 2 cm a la derecha de la línea media que se extiende desde la cima de la cresta lingual para incluir toda la lámina dental y el manto gingival lingual que cubre los brotes de dientes inmaduros en desarrollo. La tetraciclina fue administrada mediante una inyección en el canal hemal. Cuatro y siete días después de la administración de la tetraciclina los tiburones fueron

anestesiados de nuevo, para tomar biopsias del arco mandibular opuesto y adyacente a la línea medio, también se tomó sangre del canal hemal. Las biopsias fueron examinadas bajo luz ultravioleta y en la sangre se observó la cantidad y calidad de la tetraciclina mediante fluorescencia y ensayos microbiológicos. Después de dosificar el nivel de tetraciclina que produce fluorescencia se utilizaron 8 ejemplares más de *N. brevirostris* con un peso de entre 3 a 5 kilos, repitiendo el proceso. Dos semanas después los ejemplares fueron sacrificados y fijados en formol para su estudio histológico. En este estudio se obtuvo que la aplicación de tetraciclina induce fluorescencia, puede ser una técnica para el estudio del desarrollo y calcificación de los tejidos duros y de los patrones del surgimiento de los dientes de tiburón. También se encontró que en el tiburón limón los dientes más cercanos a la periferia se exfolian cada 14 días y que el etiquetado con tetraciclina indica que la calcificación de la dentina coronal está situada junto a la cámara pulpal y continúa hasta la raíz, hasta que la maduración de los dientes termina.

Kemp y Westrin (1979) estudian la ultraestructura del cartílago calcificado en el endoesqueleto teselar de tiburones. Se observaron las mandíbulas, arcos branquiales, arcos vertebrales y aletas de *Carcharhinus menisorrh*, *Triaenodon obesus* y *Negaprion brevirostris* mediante microscopia de luz y electrónica. Con la microscopia de luz se encontró que el desarrollo de teselas individuales es periférico en el límite entre el cartílago y el pericondrio, en la zona inferior se componen de cartílago calcificado con condrocitos separados por anillos de Liesegang, mientras que la tapa se compone de tejido calcificado producido de los fibroblastos pericondriales, no se diferencian los condroblastos y se sugiere que los escleroblastos de esta zona sean clasificados como osteoblastos. Mientras que con la microscopia electrónica se observó que las superficies externa e interna de las teselas son diferentes en apariencia, las calciesferitas y los cristales de hidroxiapatita de la capa externa de las teselas son similares a los observados en la superficie de los huesos, mientras que la superficie interna presenta cartílago hialino y predominan las calciesferitas de tamaño variable; También se muestra que la calcificación se encuentra asociada con las fibrillas de colágeno gruesas en el lado exterior de una tesela, pero tales fibrillas están ausentes de la matriz cartilaginosa a lo largo del lado inferior de teselas. Por último se menciona que el cartílago calcificado en el endoesqueleto de los tiburones es una condición primitiva de los vertebrados, mientras que la calcificación teselar es una condición derivada del patrón ancestral que solo ocurre en los condriactios

Peignoux-Deville, Lallier y Vidal (1982) realizaron un estudio acerca de la presencia de tejido óseo en las vértebras de *Scyliorhinus canicula*. Se utilizaron ejemplares de ambos sexos con un peso entre 250 y 500 g, a los cuales se les extirparon muestras de la columna vertebral de las áreas cercanas al hígado y el

ano, posteriormente los organismos fueron fijados y teñidos con fucsina básica al 1% en etanol al 70%, rehidratados en un tren de alcoholes con 1% de fucsina básica, aclarados con tolueno e incrustados en resina sintética para ser observados mediante microradiografía, etiquetado en tetraciclina y microscopia electrónica de transmisión. Se describen las áreas mineralizadas como estrechas bandas continuas rodeadas de pericondrio formadas de condrocitos, los arcos neurales son diferentes ya que la parte superior contiene cartílago hipertrofiado y la inferior está formada de una media luna en forma laminar con osteoblastos y osteocitos; el etiquetado de tetraciclina revelo calcificación globular (con calciesferitas y anillos de Liesegang) y cartílago fuertemente calcificado en el borde inferior del tejido óseo, mientras que la microscopia electrónica de transmisión mostro colágeno del tipo I en el área de la media luna y colágeno tipo II en el cartílago calcificado.

Orvig en 1989 realiza un estudio histológico con ostracodermos, placodermos y elasmobranquios fósiles del Ordovícico con el propósito de estudiar sus tejidos duros. En este estudio se discute la acelularidad de la aspidina y la supuesta relación que se afirmaba existía entre las etapas iniciales de desarrollo entre ese tejido duro y el tipo de dentina adecuada. A juzgar por la histología de los tejidos duros de los astrápidos puede no ser igual que la de los eriptichids (que no pertenecen a los heterostraceos sino a otro grupo de los primeros agnatos, que aún no es bien conocido).

Karatajute-Talimaa en 1998 realizó un estudio acerca de los métodos de determinación de remanentes del exoesqueleto (elementos microméricos) de los vertebrados del Paleozoico temprano (astrápidos, tesakoviaspidos, heterostraceos, telodontos, mongolepidos, condricios y acantodios). Para determinar estos elementos se utilizó su morfología, estructura interna, tipo de tejido en la corona y en la placa basal, el tipo de crecimiento, el sistema de canales vasculares y los cambios ocurridos; en el estudio se concluye que el material de los grupos estudiados es bastante extenso, lo cual dificulta la reconstrucción del exoesqueleto a partir de los elementos microméricos, y es necesario recurrir a fósiles intactos o hacer analogía con las formas actuales para la determinación de los tipos de escamas y escamación.

Dean y Summers (2006) plantean la problemática que existe respecto a la terminología presente en la literatura acerca del esqueleto de los peces condrocitos. Por lo que se propone una nueva clasificación:

- Microestructura (Tipos de calcificación): Aerolar (Denso tejido calcificado en el centro de las vértebras), Prismática (Asociada al pericondrio, refracta la luz) y Globular (Moderadamente bien mineralizada, es tejido a nano escala).

- Mesoestructura (Tesserae): Calcificación globular y prismática en pequeños bloques que forman mosaicos continuos a lado del pericondrio y elementos no calcificados.
- Macroestructura (Tipos de esqueleto): Cartílago vertebral (Puede tener los 3 tipos de calcificación, donde el cartílago aerolar comprime el centro de la vértebra formando un doble cono) y Cartílago teselar (Forma los remanentes del esqueleto axial y apendicular y el mosaico de tesserae, se compone de calcificación globular y prismática).

Dean y colaboradores (2009) utilizaron criogenización, microscopia electrónica, y morfometría de los tesserae y los condrocitos para estudiar el desarrollo del esqueleto teselar en *Urobatris halleri*, usando embriones y ejemplares sub adultos y adultos. La criogenización se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Dean y colaboradores en el 2008. La obtención de los datos morfométricos de los condrocitos y las teselas se llevó a cabo mediante el programa Adobe Photoshop CS3 y fueron analizadas con el programa MATLAB; De acuerdo con este estudio la forma de las teselas se da desde el embrión, y son un importante marcador temporal que coincide con los cambios de distribución y tamaño de los condrocitos, las teselas presentes en la mandíbula de *U. halleri* son principalmente hexagonales aunque los autores señalan la imposibilidad de medir los vértices. Y sostienen que el esqueleto teselar es una solución sencilla para el dilema del crecimiento en un endoesqueleto con mineralización externa y la no remodelación, aunque hay paralelismos con la osificación endocondral.

2.3. Técnica de transparentación y doble tinción

Wassersug en 1976 presenta una modificación al método de Simon y Van Horn para teñir el esqueleto de especímenes de vertebrados. Esta consiste en fijar a los especímenes colocándolos en 200 ml de formaldehído (formalina) al 10% con 0.1g de carbonato de magnesio durante 2 días. A continuación se procede a desollar y eviscerar al organismo. Posteriormente se lavan los especímenes en agua durante 12 horas y se lavan 2 horas más con agua desionizada. A continuación se elimina el exceso de agua y se coloca el espécimen en una solución (9 mg de azul alciano, 60 ml de etanol absoluto y 40 ml de ácido acético glacial) de 24 a 48 horas. Posteriormente se drena y se seca el organismo para transferirlo a etanol absoluto por 3 o 4 días, cambiando el alcohol diario. A continuación el espécimen se seca y se coloca en una solución (KOH AL 5% a la que se le añaden 3 o 4 cucharaditas de rojo de alizarina S al 0.1% por cada 100 ml) y se deja ahí por 2 días. Inmediatamente el espécimen se transfiere a un tren de glicerina en concentraciones de 25%, 50%, 75% y 100%, estando 1 día en cada concentración. Finalmente el organismo se transfiere a glicerina pura y se le

añaden pequeños cristales de fenol. Este método señala que el cartílago se tiñe de color azul, los huesos de rojo o rosa y los demás tejidos se transparentan.

Dingerkus y Uhler (1977) señalan que el método de Wassersug (1976) es adecuado para organismos pequeños, ya en organismos de mayor tamaño los tejidos se tiñen de azul y es demasiado complicado remover el colorante, por lo que presenta una modificación a la técnica.

- El organismo fresco se fija en formaldehído al 10%.
- El espécimen se lava varias veces con agua destilada por 2 o 3 días, se desuella y eviscera.
- Se pasa directamente a una solución (10 mg de azul alciano 8GN, 80 ml de etanol al 95% y 20 ml de ácido acético glacial) de 24 a 48 horas.
- Se realizan 2 cambios de etanol al 95% cada 2 o 3 horas.
- El espécimen se transfiere a un tren de etanol al 75%, 40% y 15%, todos por 2 o 3 horas.
- El espécimen se transfiere a agua destilada por 2 o 3 horas.
- El espécimen se coloca en una solución enzimática (30 ml de borato de sodio acuoso, 70 ml de agua destilada y 1 g de tripsina), cambiándola cada 2 o 3 días durante 2 o 3 semanas.
- El espécimen se transfiere a una solución acuosa de KOH al 0.5% y se le añade rojo de alizarina S hasta que tenga un color púrpura oscuro y se deja por 24 horas.
- Se transfiere a un tren de KOH-glicerina (3:1, 1:1, 1:3) a glicerina pura. En las primeras dos soluciones se añaden de 3-4 cucharadas de agua oxigenada al 3% por cada 100 ml. El espécimen se mantiene en la solución hasta que los pigmentos oscuros se disuelven.
- El espécimen se coloca en glicerina pura con pequeños cristales de timol.
- Como resultado de esta técnica el cartílago se tiñe de color azul, los huesos de rojo o rosa y los demás tejidos se transparentan; Mientras que la tripsina demostró ser efectiva para limpiar el exceso de tinte azul.

Ho Park y Soo Kim en 1984 proponen una modificación a la metodología de Wassersug (1976) para poder teñir y estudiar embriones y larvas evitando el daño que ocasionado por el desollamiento y la evisceración. Los organismos fueron fijados en formaldehído al 10% por 2 horas. A continuación se remueven los pigmentos poniendo a los especímenes en una solución (5 ml de KOH al 0.5% y 1-3 ml de agua oxigenada al 3%) durante 10 a 20 minutos, es importante lavar el exceso de agua oxigenada con agua simple. Posteriormente los especímenes se tiñen con una solución (azul alciano 8GX al 0.01% disuelto en 60 ml de etanol puro

y 40 ml de ácido acético glacial) durante 2 horas. A continuación los especímenes se deshidratan mediante 2 cambios de etanol puro cada 3 horas. Inmediatamente los especímenes se transfieren a una solución (10 ml de KOH al 5% con 5-10 cucharadas de rojo de alizarina S al 0.01%) durante 1 a 2 horas. Finalmente los especímenes son transferidos directamente a glicerina pura para que se limpien por 2 a 7 días, cambiando la glicerina cada día. Después se mantienen en glicerina pura con pequeños cristales de fenol o timol. Los organismos tratados con este procedimiento presentaron huesos teñidos de color rojo, cartílagos teñidos de azul y tejidos transparentados; Mientras que la remoción de los pigmentos mediante el tratamiento de KOH-Agua oxigenada no causó daños estructurales.

Yamazaki y colaboradores en el 2011 realizaron una modificación a la técnica de tinción diferencial de azul de alciano y rojo de alizarina para evitar la descalcificación del cartílago en los embriones de pollo. Para esto se utilizaron 36 huevos fertilizados de *Gallus gallus* que fueron incubados por 10 días a 39° C y fueron fijados con paraformaldehído al 4% o glutaraldehído al 2.5% en buffer salino de fosfato por una hora a 4° C, mientras otros ejemplares fueron fijados en alcohol al 95% y fueron colocados individualmente en viales de vidrio de 20 ml. Para la fijación se utilizó una modificación de la técnica de Kelly y Bryden en la que los embriones estuvieron 16 horas en la solución de azul de alciano (10 mg de Azul de alciano, 80 ml de etanol al 95% y 20 ml de ácido acético al 99.7%), fueron rehidratados en un tren inverso de alcoholes y se colocaron en la solución de rojo de alizarina (Rojo de alizarina S en KOH al 0.5%) por 24 horas. Después los embriones se maceraron en KOH al 2% por 4 horas y fueron sumergidos en un tren de KOH al 0.5% y glicerina (3:1, 1:1 y 1:3) de 8 a 24 horas por solución. Finalmente los embriones fueron colocados en glicerina pura con cristales de timol y fueron examinados mediante microscopía estereoscópica. La fijación con alcohol se recomienda para fijar el calcio a nivel histoquímico; En resumen con esta metodología se obtuvieron resultados confiables reduciendo la descalcificación producida por el azul de alciano.

2.4. Elementos del esqueleto ocular

Lisney y Colin en el 2007 realizaron un estudio acerca de la variación del tamaño de los ojos en elasmobranchios. Este consistió en medir el diámetro axial del ojo y el tamaño corporal de 32 especies de tiburones y 14 de batoideos, dividiéndolos por orden y familia, procedencia del espécimen, hábitat y hábitos. Una vez obtenidos los datos se transformaron a logaritmos en base 10. A continuación, se utilizó el Modelo de Regresión I LS para calcular los residuos. En este estudio se encontró una variación considerable en el diámetro axial del ojo y el peso corporal de las especies utilizadas, porque los tiburones poseen ojos más grandes que los

batoideos; También se encontró que los ojos de menor tamaño se encontraron en elasmobranchios de hábitos bentónicos y pelágicos poseían ojos de menor tamaño. Lo cual indica una significativa correlación positiva entre el tamaño relativo y el tamaño absoluto del ojo, excepto en los tiburones más grandes donde la correlación es entre los ojos pequeños y el tamaño corporal.

2.5. Estudios sobre *Rhizoprionodon porosus*

En el 2011 Mendoca, Oliveria, Gdig y Foresti realizaron un estudio sobre la fitogeografía y la genética de poblaciones de *R. porosus*, en el que se obtuvo la secuencia nucleotídica a partir de 321 especímenes provenientes de diferentes puntos del Mar Caribe y las costas de Brasil. El análisis de 802 nucleótidos de la región de control del ADN mitocondrial reveló 53 haplotipos distintos. La mayoría de estos haplotipos están restringidos a poblaciones locales con una estructura genética significativa detectada entre las poblaciones generales, y estos datos sugieren una división de 2 poblaciones en el Atlántico occidental, separadas por el Ecuador, lo que indica que la fuerte estructura poblacional en *R. porosus* indica que las poblaciones regionales, si se agotan, no se recuperarán rápidamente a través de la inmigración.

Martínez, Neira y Acero en el 2012 analizaron algunos aspectos biológicos de las especies *R. porosus* y *R. lalandii*. El cual consistió en la captura de 49 individuos de *R. porosus* y 39 de *R. lalandii* en Isla Fuerte, Colombia., a cada individuo se le tomaron las medidas morfométricas establecidas por Compagno (longitud total, longitud estándar, longitud, calcificación y rotabilidad de los claspers y peso total) y el contenido estomacal (los cuales fueron fijados y lavados), para evaluar los hábitos alimenticios y aspectos tróficos de las dos especies se empleó la modificación del índice de categorización de presas (IPC) hecha por Atencio y colaboradores, y el índice de importancia relativa (IIR) de Cortés. Debido al corto tiempo de muestreo no fue posible tener un acercamiento a los períodos reproductivos. 49 % del total de estómagos analizados de *R. porosus* mostró grado de repleción estomacal vacío, 14 % casi vacío, 22 % medio lleno y 14 % lleno, El ítem alimentario más importante para *R. porosus* fue restos de peces óseos y La proporción machos-hembras en las especies de tiburón muestra un evidente sesgo hacia los machos en *R. porosus* y hacia las hembras en *R. lalandii* evidenciando una segregación que puede estar influenciada por fluctuaciones en la disponibilidad de recursos y estadios reproductivos.

En el 2015 “The Online Guide to the Animals of Trinidad and Tobago” realizó una descripción sobre los aspectos físicos de *R. porosus* basada en las claves taxonómicas de Compagno y la IUCN, al igual que su distribución geográfica, hábitat, actividad ecológica, hábitos alimenticios, reproductivos y del desarrollo.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

3.1. *Cazón picudo antillano*.

Clasificación Sistemática de *Rhizoprionodon porosus*, tomada de Compagno y colaboradores, 2006.

Reino	Animalia
Phyllum	Chordata
Clase	Chondrichthyes
Orden	Carcharhiniformes
Familia	Carcharhinidae
Genero	Rhizoprionodon
Especie	<i>R. porosus</i> (Poey, 1861)

Descripción física: Tiburón pequeño de morro largo, pequeño y ampliamente espaciado, sin espiráculos, surcos labiales largos, ojos bastante grandes. Los dientes son aserrados. El color es ligeramente café o café-grisáceo, usualmente con puntas blancas en los lados y puntas de las aletas, es blanco por debajo. El origen la primera aleta dorsal usualmente sobre o ligeramente por detrás de la aleta pectoral con las puntas libres, el origen de la pequeña segunda aleta dorsal está por encima de la línea media y la aleta anal (Figura 4). El tamaño promedio es superior a los 110 cm de longitud total (Compagno et al., 2006).

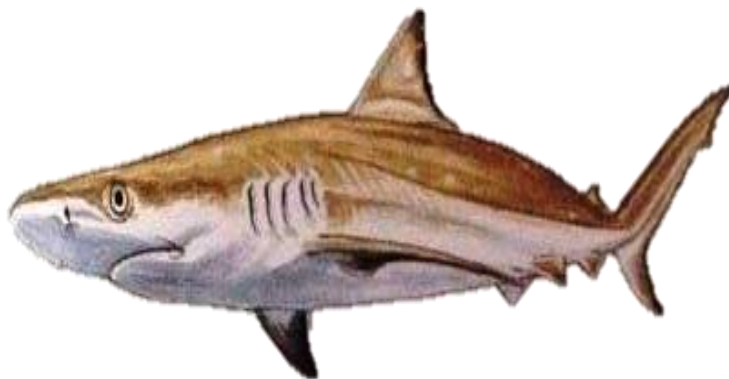


Figura 4. Cazón picudo antillano (Según Compagno *et al.*, 2006).

Habita en aguas tropicales del Atlántico oeste (Caribe y América del Sur), por lo general cerca de la costa en las plataformas continentales e insulares, también en alta mar a 500 m. Es vivíparo, tiene placenta con saco vitelino, tiene de dos a seis crías por camada que nacen en primavera y principios del verano en el sur de Brasil, la gestación dura de 10 a 11 meses. Se alimenta de pequeños peces y

algunos invertebrados. Es muy abundante y no se encuentra en ninguna escala de riesgo de la UICN (Compagno et al., 2006).

3.2. Esqueleto: El esqueleto de esta especie no ha sido descrito, de ahí la importancia del presente trabajo.

4. JUSTIFICACIÓN

El cazón picudo antillano, *Rhizoprionodon porosus* es una especie que se encuentra únicamente en las costas atlánticas del Caribe, Antillas, Centro y Sudamérica. A pesar de ser abundante en su hábitat y de tener una gran importancia comercial dentro de la industria pesquera, no se ha realizado ningún estudio acerca de su sistema esquelético ni de las relaciones alométricas de este.

5. HIPÓTESIS

Al realizar la descripción del cazón picudo antillano (*Rhizoprionodon porosus*) se espera que presente el patrón morfológico propio descrito para elasmobranquios pleurotremados.

6. OBJETIVOS

Objetivos generales:

- Establecer las relaciones alométricas entre las medidas morfométricas de *Rhizoprionodon porosus*.
- Analizar las variaciones regionales del exoesqueleto (densidad de dentículos dérmicos) en *Rhizoprionodon porosus*.
- Realizar una descripción morfológica de los elementos esqueléticos del exoesqueleto, endoesqueleto y esqueleto esclerótico de *Rhizoprionodon porosus*.

Objetivos particulares:

- Analizar las relaciones alométrica de las medidas morfométricas de *Rhizoprionodon porosus*.
- Establecer la relación alométrica de las medidas de los anillos escleróticos en *Rhizoprionodon porosus*.
- Establecer la relación alométrica del número de teselas que forman el cartílago escleral de los ojos de *Rhizoprionodon porosus*.
- Establecer la densidad de los dentículos dérmicos en las distintas regiones y porciones del cuerpo del *Rhizoprionodon porosus*.
- Realizar una descripción de los dentículos dérmicos.
- Realizar una descripción de los elementos del esqueleto ocular.
- Realizar una descripción de los elementos del esqueleto axial.
- Realizar una descripción de los elementos de los arcos viscerales.
- Realizar una descripción de los elementos del esqueleto apendicular.

7. MÉTODO

Se adquirieron 8 especímenes de tiburón, tres hembras y cinco machos,(Figura 5) mediante compra directa en el mercado de La Nueva Viga, Distrito Federal. Dichos organismos fueron conservados en hielo durante su traslado al Laboratorio de Anatomía Animal Comparada de la FES Iztacala, UNAM. Los ejemplares fueron identificados como *Rhizoprionodon porosus* de acuerdo con la clave taxonómica de tiburones de Compagno (2006) y también se tomaron las medidas morfométricas básicas señaladas en esta misma clave, posteriormente fueron fijados en formol al 4% neutralizado con borato de sodio durante 3 días.



Figura 5. Tiburones

Con ayuda del equipo de disección se tomaron muestras de piel en varias regiones, esto es con el fin de analizar el esqueleto dérmico representado por las escamas placoideas, estas regiones se decidieron en base a las regiones reportadas por Sayles y Hershkowitz (1937) (figura 30), las muestras fueron de alrededor de un cm² y se almacenaron en tubos de ensaye. Mientras que los ojos fueron extraídos por medio de un bisturí y tijeras de disección.



Figura 6. Proceso de descamado

Con el fin de lograr un mejor teñido de los elementos endoesqueléticos de los especímenes, estos fueron sometidos a una eliminación de los dentículos dérmicos mediante un Multipro Dremel Modelo 395 (5000-35000rpm) (Figura 6). A partir de este punto las muestras obtenidas siguieron distintos procedimientos.

7.1. Muestras de piel

Las muestras de piel fueron teñidas con una solución de rojo de alizarina "S" al 0.1% en KOH al 4% por dos días, posteriormente se trasladaron una solución de KOH al 8% hasta que fue posible observar a través del tegumento, con ayuda de un microscopio estereoscópico marca Labomed modelo 4Z, las escamas individuales.

Se utilizó un microscopio estereoscópico con cámara digital integrada marca Labomed modelo DV-4, para tomar fotos de cada muestra de piel, se tomaron secciones de 1 mm² y se contó el número de escamas realizando 5 repeticiones por región, con estos datos se obtuvo el promedio que presento como la densidad medida en número de escamas por mm² mediante el programa Adobe Photoshop CC 2015 ®,

Los datos obtenidos se capturaron en el programa Excel ® de Microsoft y se exportaron al programa STATISTICAL versión 10 para verificar la normalidad (en caso de ausencia de comportamiento normal se aplicó la transformación logarítmica) posteriormente los datos normalizados se analizaron utilizando un rmANOVA bifactorial (Porción corporal y Posición) utilizando el software STATISTICAL versión 10. Los resultados se compararon con lo reportado por otros autores.

7.2. Especímenes descamados

Los especímenes fueron sometidos a una doble tinción diferencial con azul de alciano y rojo de alizarina S de acuerdo con una modificación de la técnica de Kelly y Bryden (1983) siguiendo el proceso que se describe a continuación; los especímenes se deshidrataron con un tren de alcohol etílico al 40%, 60%, 80%, 90%, y 100%, permaneciendo 24 hrs en cada concentración. Luego fueron colocados en una solución ácida de azul de alciano para teñir el cartílago (10 mg de azul de alciano disuelto en 80 ml de etanol al 95 % y 20 ml de ácido acético 99.7 %), transcurridas 24 hrs el material se rehidrataron con el tren de alcohol en sentido inverso. Luego se realizó la tinción del tejido calcificado con una solución de 10 mg de rojo de alizarina S por cada litro de agua, por 24 hrs. Posteriormente se realizó una digestión alcalina sumergiendo los especímenes en KOH al 4%, hasta que los especímenes estuvieron traslucidos a contraluz (se colocaron en un negatoscopio para dicha observación). Los especímenes traslucidos se aclararon pasándolos por un tren de glicerina al 40 %, 60%, 80% y 90% por 24 hrs en cada concentración, para finalmente conservarlos en glicerina pura.

Los especímenes descamados ya teñidos y diafanizados fueron fotografiados utilizando una cámara digital Sony Cybershot modelo DSC-HX300, con zoom de 50x y captura de 20.4 megapíxeles. Para describir las estructuras esqueléticas de los especímenes preparados se utilizo la nomenclatura de Kingsley (1907), Wells, (1915) y Griffin (1922) y se compararon con lo reportado por otros autores para especímenes de la misma subclase.

Las medidas de las estructuras esqueléticas teñidas con la tinción se obtuvieron por medio de una cinta métrica y en estructuras muy pequeñas se utilizó un vernier digital marca Autotec de 0,01 mm de precisión. Estas medidas fueron decididas en base a las estructuras esqueléticas observadas y a los requerimientos para el análisis alométricos señalados en los objetivos del presente trabajo.

Los cálculos para la realización del análisis morfométrico y alométrico de los especímenes preparados se realizaron capturando las medidas morfométricas en el programa Excel; a cada uno de los datos se les calculo su logaritmo de base 10 para posteriormente llevar a cabo el análisis de regresión utilizando el programa Statistical versión 10; se aplicaron pruebas de “t” para el coeficiente de regresión para verificar los tipos de alometría de acuerdo al procedimiento descrito por Gershenowies (2007) y se compararon con lo reportado por otros autores.

7.3. Ojos

Los ojos fueron extraídos de los especímenes y se procedió a teñirlos diferencialmente. Para describir los ojos se utilizó un microscopio estereoscópico con cámara digital integrada marca Labomed modelo DV-4, para tomar fotos de cada uno. Con las fotografías se contaron el número de teselas que rodean la pupila capturando las medidas obtenidas en el programa Excel; los datos se exportaron al programa Statistical versión 10 y se obtuvieron las medidas descriptivas básicas, en particular su coeficiente de variación utilizando en software Statistical versión 10, esto es con el fin de determinar si es un carácter cuya distribución es completamente aleatoria, o pertenece al patrón morfológico de la especie y se compararon con lo reportados por otros autores.

8. RESULTADOS

8.1. Medidas morfométricas

A partir de ocho ejemplares de *Rhizoprionodon porosus*, 5 machos y 3 hembras, se obtuvieron las medidas morfométricas, las cuales se muestran en la Tabla A del **Anexo III**. Los análisis alométricos realizados con estas medidas se muestran en la Tabla 1 del **Anexo II**, mientras que la comparación de los coeficientes de alometría de las medidas morfométricas se encuentra en la Tabla del **Anexo III**.

Con las medidas anteriores se analizaron las doscientas veinticinco correlaciones posibles, de las cuales doce fueron estadísticamente significativas (ver Tablas 1A y 1B del **Anexo I**). Así, se realizaron los doce análisis alométricos correspondientes a estas correlaciones; Todos los análisis resultaron ser isométricos, resultado que implica que la morfología de la especie tiende a ser muy constante independiente del tamaño que posea.

8.2. Exoesqueleto

Las escamas placoideas o dentículos dérmicos que componen el exoesqueleto presentaron tonalidades rojizas y moradas después de la tinción debido a la presencia de calcio.

Mediante un microscopio estereoscópico Labomed modelo DV-4 se puede apreciar que la forma y la densidad de los dentículos dérmicos es diferente a lo largo de las diferentes regiones y posiciones del cuerpo del tiburón.

En la región cefálica (Figuras 7-10) se muestra que las escamas son principalmente circulares, a excepción de la posición ventral donde son mucho más alargadas; en la región interorbital únicamente se tomaron las posiciones dorsal y ventral (Figuras 11 y 12), las escamas de la región post-cefálica son principalmente alargadas, excepto en la posición dorsal (Figuras 13-16); en la región del tronco las escamas son alargadas en las posiciones laterales y circulares en las regiones dorsal y ventral (Figuras 17-20); mientras que en la región caudal (Figuras 21-24) se puede apreciar que las escamas presentan de manera general una forma redondeada.

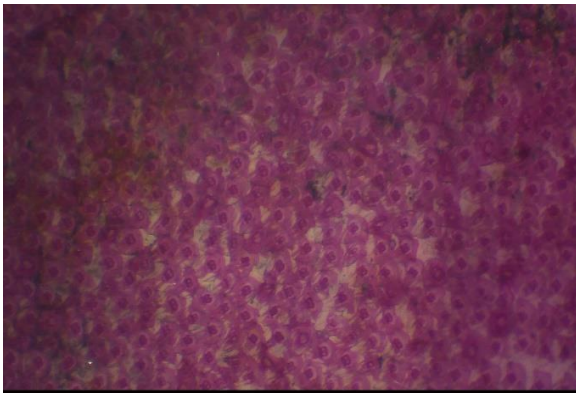


Figura 7.- Dentículos dérmicos de la región cefálica en la posición derecha de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

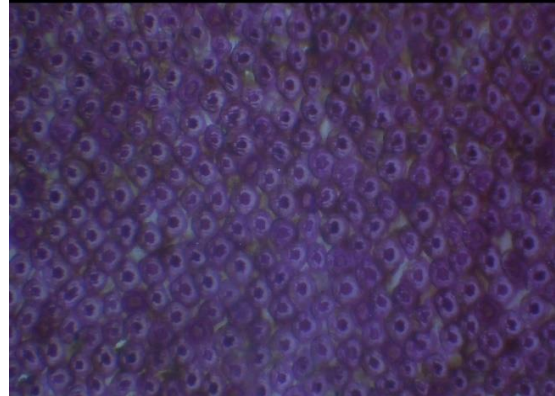


Figura 8.- Dentículos dérmicos de la región cefálica en la posición dorsal de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

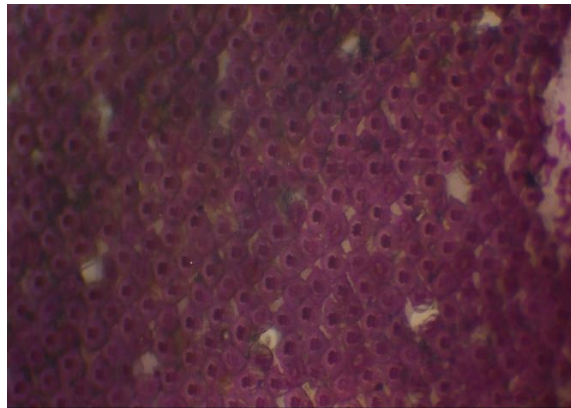


Figura 9. Dentículos dérmicos de la región cefálica en la posición izquierda de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

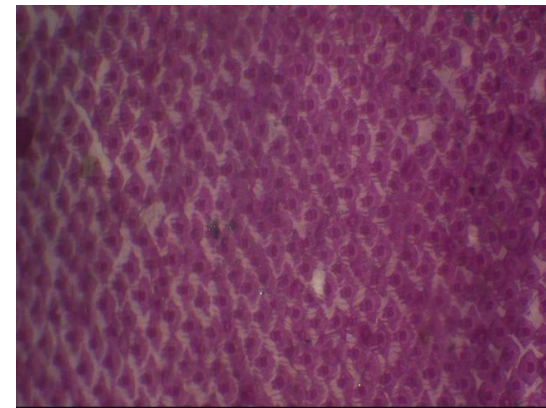


Figura 10. Dentículos dérmicos de la región cefálica en la ventral de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

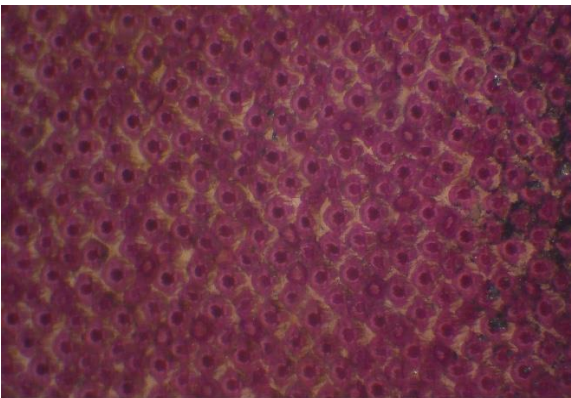


Figura 11. Dentículos dérmicos de la región interorbital en la posición dorsal de *R. porosus* con un zoom de 3 X. Se observa que su forma es similar a la de la región cefálica.

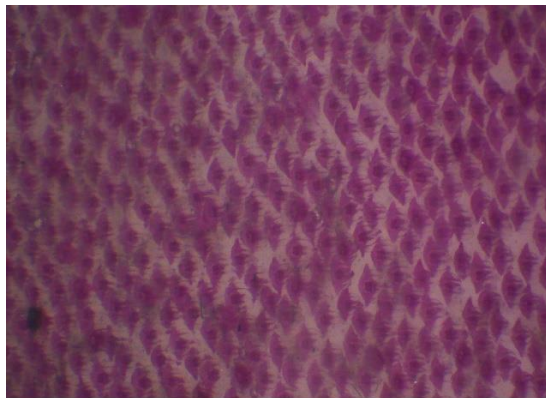


Figura 12. Dentículos dérmicos de la región interorbital en posición ventral de *R. porosus* con un zoom de 3 X. Se aprecia que la forma de las escamas es más alargada.

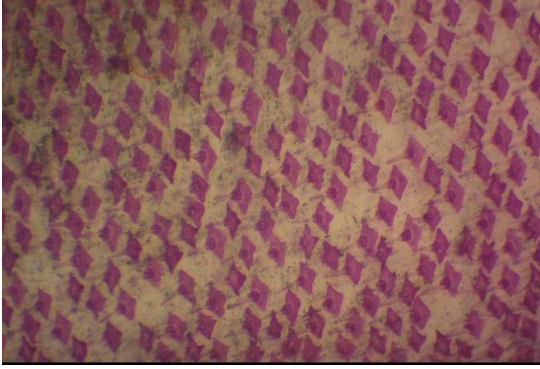


Figura 13. Dentículos dérmicos de la región post-cefálica en posición derecha de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

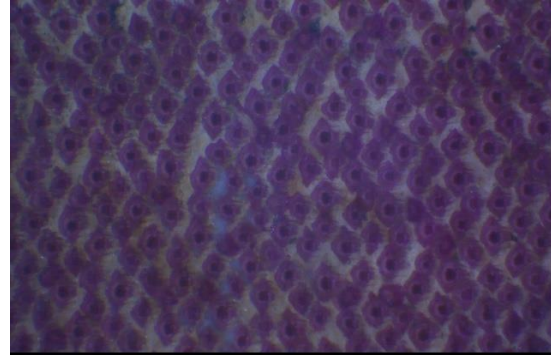


Figura 14. Dentículos dérmicos de la región post-cefálica, posición dorsal de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

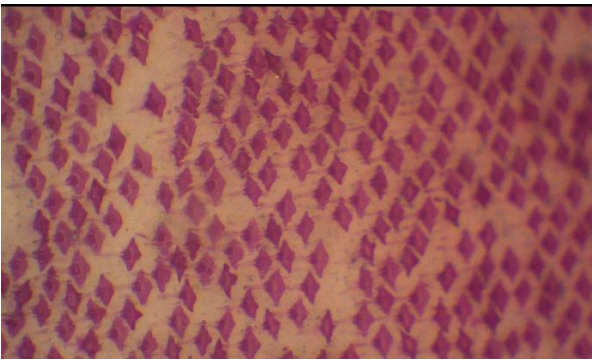


Figura 15. Dentículos dérmicos de la región post-cefálica, posición izquierda de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

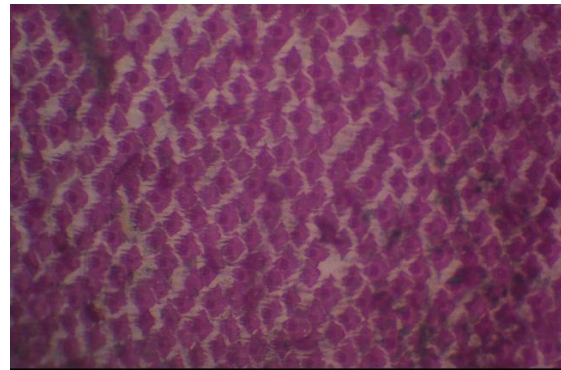


Figura 16. Dentículos dérmicos de la región post-cefálica, posición ventral de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

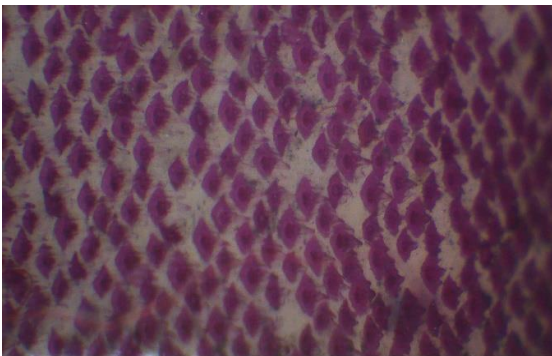


Figura 17. Dentículos dérmicos de la región del tronco en posición derecha de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

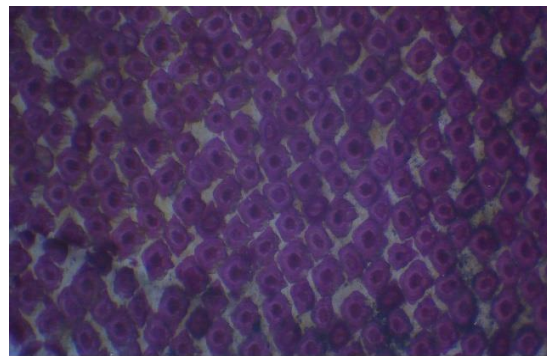


Figura 18. Dentículos dérmicos de la región del tronco en posición dorsal de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

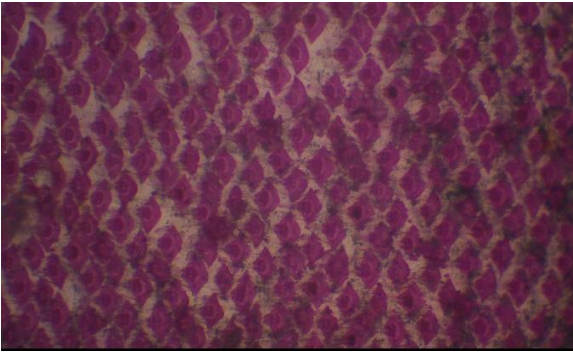


Figura 19. Dentículos dérmicos de la región del tronco en posición izquierda de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

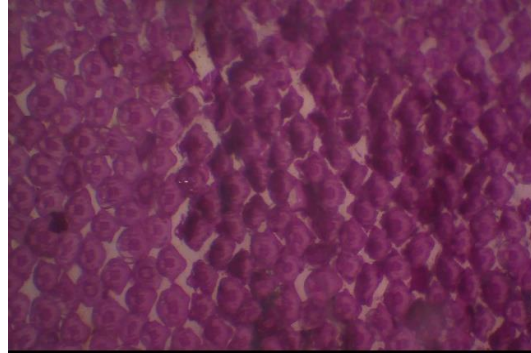


Figura 20. Dentículos dérmicos de la región del tronco en posición ventral de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

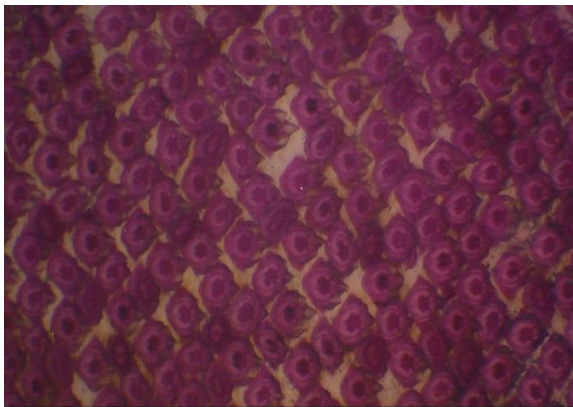


Figura 21. Dentículos dérmicos de la región caudal, posición derecha de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

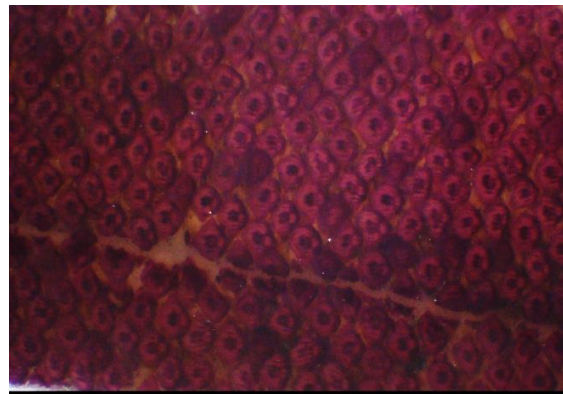


Figura 22. Dentículos dérmicos de la región caudal, posición dorsal de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

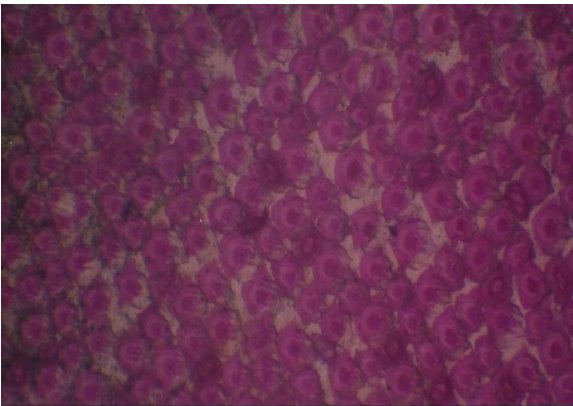


Figura 23. Dentículos dérmicos de la región caudal, posición izquierda de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

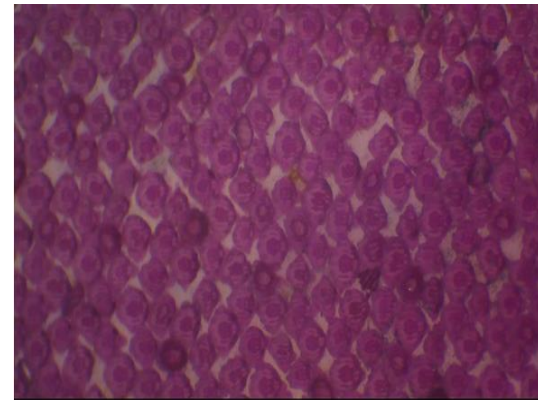


Figura 24. Dentículos dérmicos de la región caudal, posición ventral de *R. porosus* con un zoom de 3 X.

Mediante el uso de estas fotografías se obtuvieron los datos del número de teselas presentes en 1 mm² de cada región y posición en todos los ejemplares, estos

datos se encuentran en la Tabla del Anexo II, estos datos también fueron sometidos a una prueba *rmANOVA*, con el propósito determinar la existencia de diferencias significativa entre las diferentes regiones y posiciones, se encontraron diferencias significativas en el número de escamas placoideas entre las regiones del tronco y la cola así como en la posición ventral (Tablas 1 y 2 del **Anexo IV**).

También se obtuvieron fotografías usando un microscopio óptico Motic SM2-143 con el propósito de observar mejor las diferencias entre las escamas placoideas en las diferentes regiones y posiciones (Figuras 25-29). Las escamas se presentan en 2 patrones: El primero tiene una forma redondeada y sin espinas, y el segunda tiene una forma alargada que tiene 3 espinas.

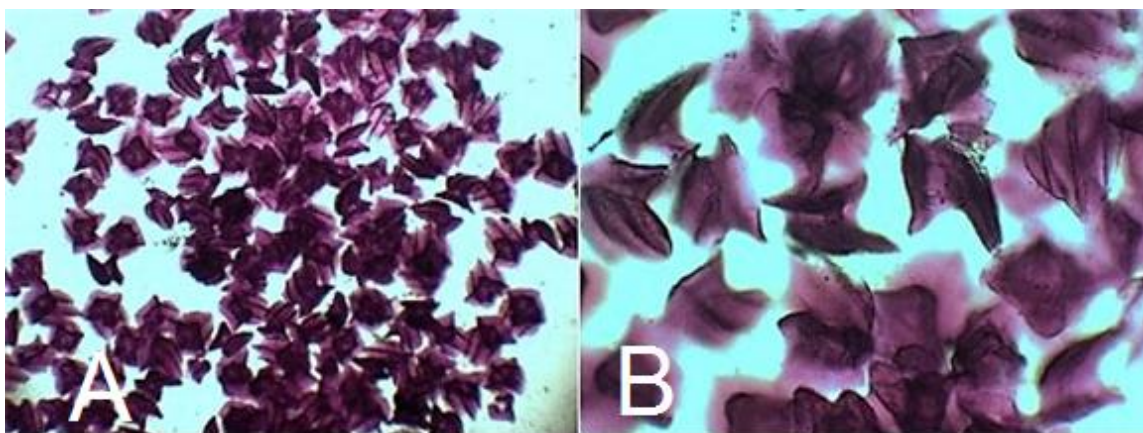


Figura 25. Dentículos dérmicos de la región cefálica de *R. porosus* vistos con un microscopio óptico a un zoom de 4 X (A) Y 10 X (B). Se puede observar que hay diferencias notorias en la forma de las escamas.

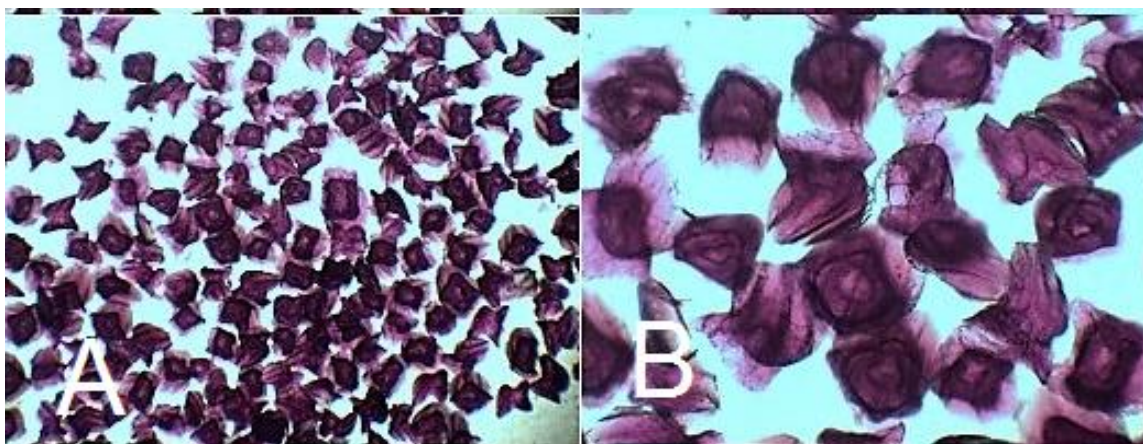


Figura 26. Dentículos dérmicos de la región interorbital de *R. porosus* vistos con un microscopio óptico a un zoom de 4 X (A) Y 10 X (B). Se puede observar que hay diferencias notorias en la forma de las escamas

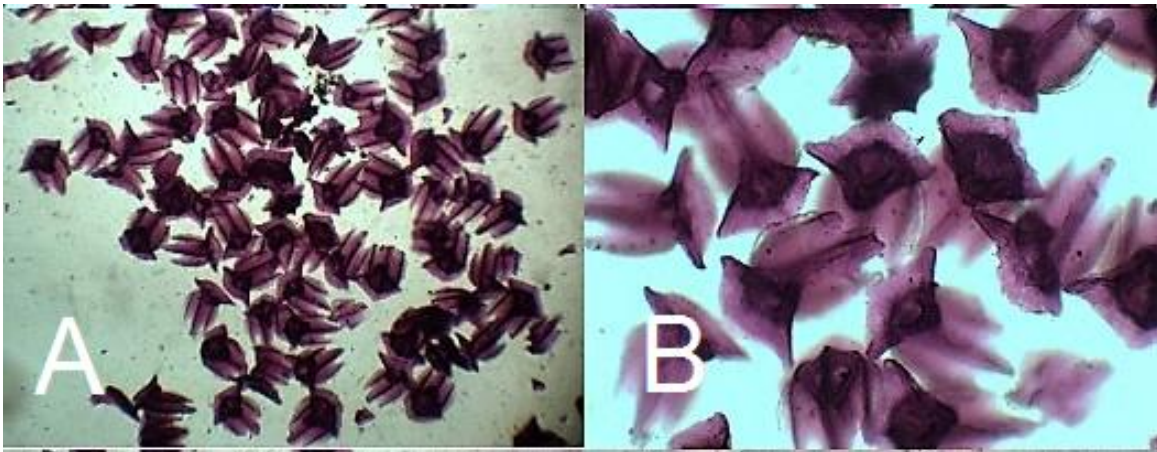


Figura 27. Dentículos dérmicos de la región post-cefálica de *R. porosus* vistos con un microscopio óptico a un zoom de 4 X (A) Y 10 X (B). Se puede observar que hay diferencias notorias en la forma de las escamas.

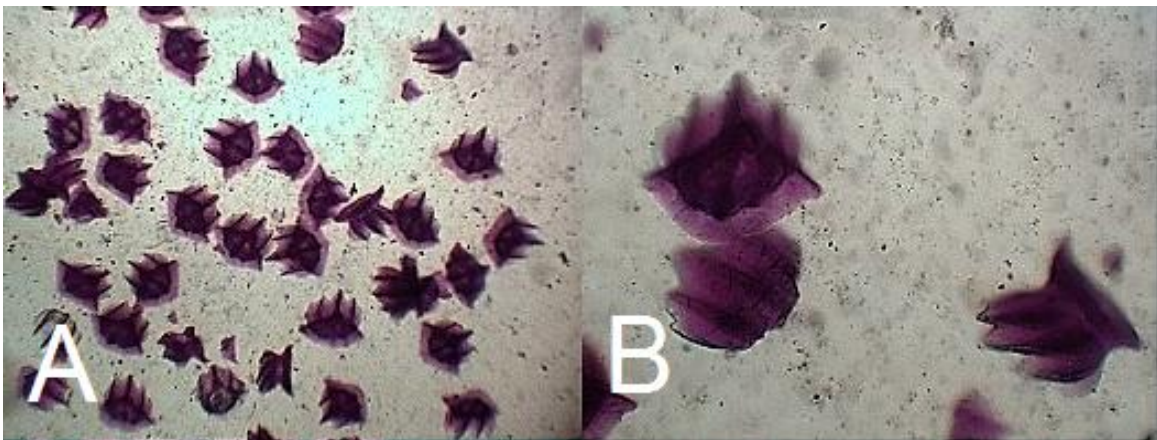


Figura 28. Dentículos dérmicos de la región del tronco de *R. porosus* vistos con un microscopio óptico a un zoom de 4 X (A) Y 10 X (B). Se puede observar que

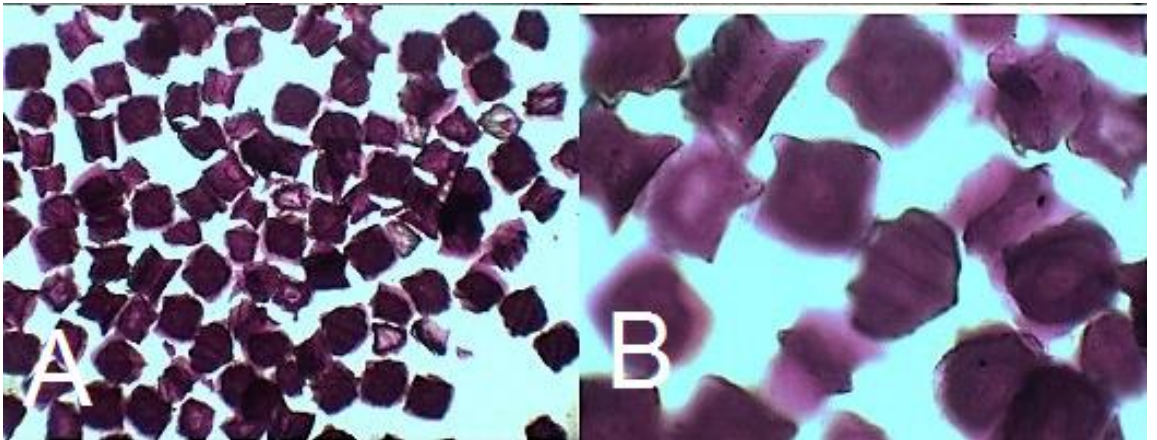


Figura 29. Dentículos dérmicos de la región caudal de *R. porosus* vistos con un microscopio óptico a un zoom de 4 X (A) Y 10 X (B). Se puede observar que hay diferencias notorias en la forma de las escamas.

El cómo se distribuyen la escamas placoideas en base a su forma se presenta en la figura 30

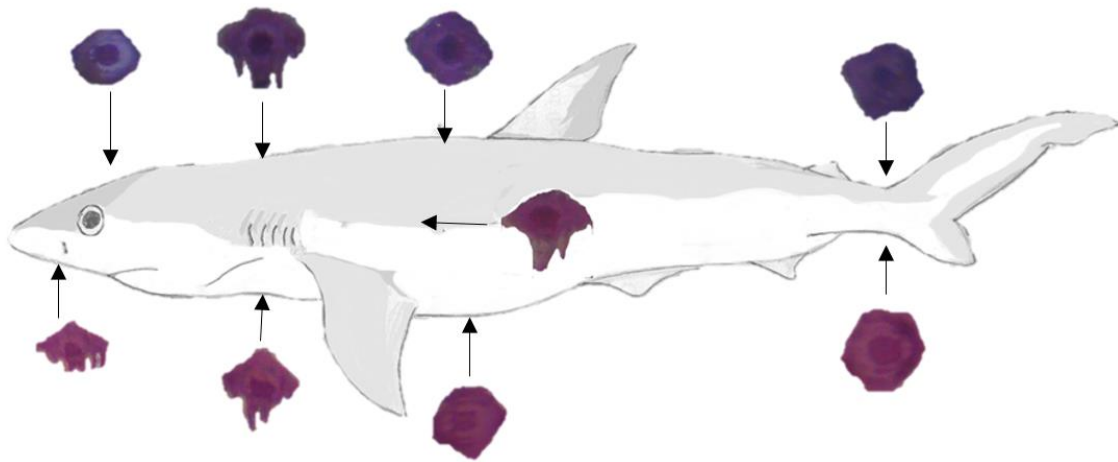


Figura 30. Morfología de las escamas placoideas en *Rhizoprionodon porosus*, donde se observan ligeras diferencias en las escamas placoideas obtenidas de las posiciones señaladas

8.3. Endoesqueleto

8.3.1. Cráneo

- Cráneo (figuras 31 y 32): El cráneo se divide en el condocráneo y el esplacnocráneo. El condocráneo se origina de los cartílagos precordial y paracordial y se encarga de proteger al encéfalo y a los órganos sensoriales, en él se encuentra el rostrum, que se proyecta rostralmente, el cual contiene la cavidad precerebral. El rostrum presenta una estructura trirradiada, compuesta por dos bandas tubulares de cartílago y por la carina rostral con forma apical, lo cual le da un aspecto de abierto lateralmente. También se observan las fosas nasales y el foramen rostral.

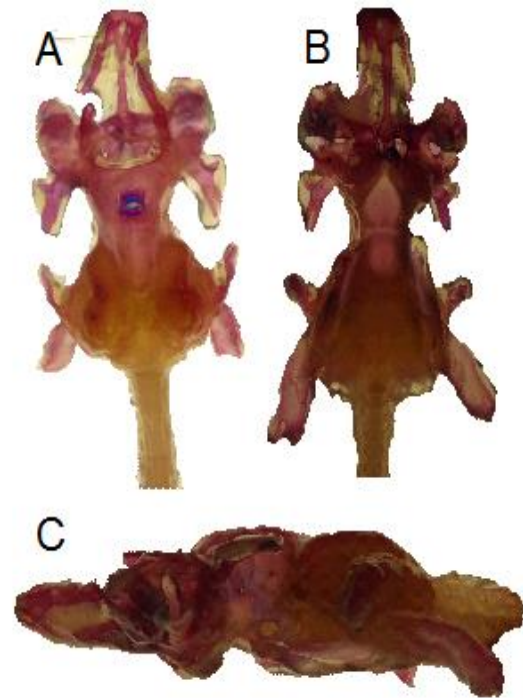


Figura 31. Condocráneo de *Rhizoprionodon porosus*. A. Vista Dorsal, B. Vista Ventral, C. Vista Lateral.

- Se presentan un par de fosas nasales laterales a la base del rostrum y los narinas de cada capsula se encuentran orientadas dorsalmente. Posterior a las capsulas nasales se encuentra la región óptica dónde la órbita no está completamente cerrada, y dorsalmente se encuentra el proceso anterorbital (rostral), la cresta supraorbital (dorsal) y el proceso postorbital, el foramen óptico se encuentra en la pared media de la órbita. En *Rhizoprionodon porosus* se encuentra un gran foramen epifisial en la cresta supraorbital y anterior a la bóveda cerebral; y en la capsula otica se encuentran los conductos hemicirculares (Figura 32).

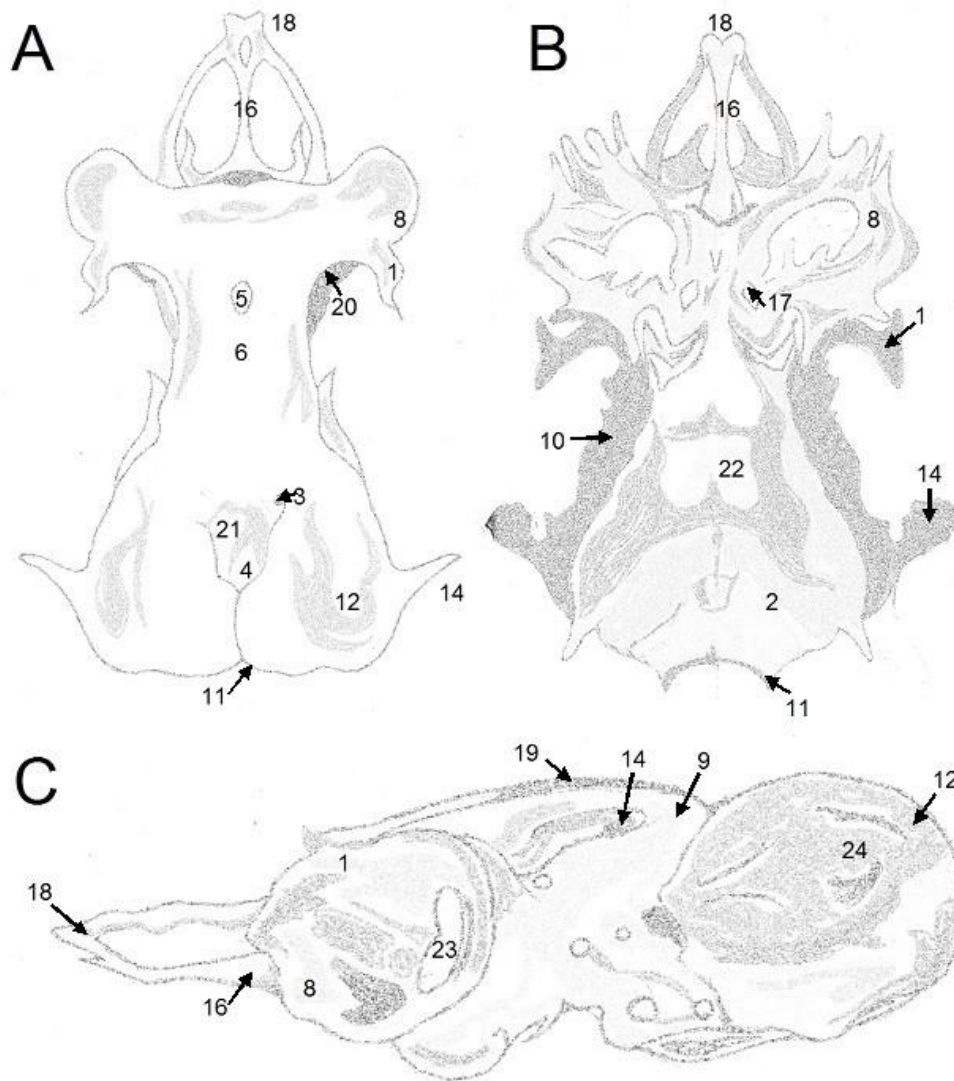


Figura32. Esquema del cráneo de *Rhizoprionodon porosus*. A. Vista dorsal, B. Vista ventral, C. Vista lateral. 1. Proceso anterorbital, 2. Placa basal, 3. Foramen endolinfático, 4. Fosa endolinfática, 5. Foramen epifisial, 6. Narina, 7. Foramen magnum, 8. Cápsula nasal, 9. Bóveda cerebral, 10. Orbita, 11. Cóndilos occipitales, 12. Cápsula otica, 13. Fosa parietal, 14. Proceso postorbital, 15. Cavidad pre cerebral, 16. Quilla rostral, 17. Fenestra rostral, 18. Rostrum, 19. Cresta supraorbital, 20. Borde suborbital, 21. Fosa parietal, 22. Proceso basitrabecular, 23. Foramen óptico, 24. Conductos hemicirculares.

- Esplacnocráneo: El esplacnocráneo está constituido de 7 arcos viscerales: el arco mandibular, el arco hioideo y 5 arcos branquiales. Los dos primeros arcos están modificados para la alimentación y captura de presas, mientras que los arcos branquiales tienen una función de soporte para los septos interbranquiales y la lengua.

El arco mandibular es el más grande y está unido al cráneo mediante el hiomandibular, rostralmente presenta uniones musculares lo cual nos indica una articulación hiostilica. La mandíbula superior está formada por el palatocuadrado y la mandíbula inferior está formada por el cartílago de Meckel. El arco mandibular también le da soporte a los dientes.

El arco hioideo esta modificado para sostener el arco mandibular y para unirlo al cráneo a través del hiomandibular. Los arcos restantes están formados de cartílagos faringobranquial (más dorsal), epibranquial, ceratobranquial, hipobranquial y basibranquial. Además como resultado de la metodología aplicada en este estudio también es posible observar los cartílagos extrabranquiales (Figura 33)



Figura 33. Esplecnocráneo de *Rhizoprionodon porosus*. Se pueden apreciar los cartílagos extrabranquiales.

8.3.2. Esqueleto Axial



Figura 34. Elementos vertebrales de *Rhizoprionodon porosus*. Se pueden apreciar los elementos basiventrales y las costillas en posición ventral.

El esqueleto axial de *R. porosus* está compuesto de la notocorda y la columna vertebral, aunque debido a la metodología empleada no es posible reportar resultados sobre la notocorda. La columna vertebral está formada de un promedio de 120 a 145 vertebras, las cuales no presentan sinarcualias, condición no reportada con anterioridad.

Los elementos basidorsales no tienen un número definido a lo largo de la columna, el cual varía entre 0 y 5 (Figura 34). Estos resultados fueron analizados mediante una ANOVA bifactorial, y para obtener las correlaciones existentes entre el número de elementos basidorsales se realizó una prueba LSD, donde se muestra que la condición de 2 y 3 elementos basidorsales por vertebra es la más significativa. Estos resultados se muestran en la Tabla 2 del **Anexo I**. Hay que señalar que no sigue el patrón reportado para *Squalus acanthias*, en donde se presenta una única baso dorsal unidas con un cartílago intercalar.

Los elementos basidorsales no tienen un número definido a lo largo de la columna, el cual varía entre 0 y 5 (Figura 34). Estos

También se realizó una ANOVA trifactorial con el propósito de comprobar si hay alguna correlación entre el número de los elementos basidorsales por vertebra y la región de la columna. Para esto la columna fue dividida en 3 regiones: la región branquial corresponde a las vértebras ubicadas desde la base del cráneo hasta la cintura pectoral, la región torácica abarca las vértebras que están entre la cintura pectoral y la cintura pélvica., mientras que la región caudal se conforma de las vértebras presentes entre la cintura pectoral y la punta de la cola

En las regiones branquial y caudal las vértebras con 1 y 2 elementos basidorsales por vertebra presentaron el mayor número de correlaciones significativas, mientras que en la región torácica las correlaciones de vértebras con 2, 3 y 4 elementos basidorsales fueron significativas (Tabla 3A, 3B y 3C del **Anexo I**).

Dentro del esqueleto axial, también suele incluirse la aleta caudal ya que incluye elementos pertenecientes a la columna vertebral. La aleta caudal de *R. porosus* es del tipo heterocerca (Figura 35) y en ella se pueden apreciar las vértebras caudales, los pterigóforos radiales, los arcos hemales y la ceratotriquia, esta aleta presenta un pliegue cerca de la punta.



Figura 35. Aleta caudal de *Rhizoprionodon porosus*.

8.3.3. Esqueleto Apendicular

El esqueleto apendicular comprende a las aletas pares (pectoral y pélvica), y a las cinturas que las unen con el resto del cuerpo, y las aletas impares. Las aletas pectorales de *R. porosus* están unidas al cuerpo a través de la cintura pectoral la cual está formada de un cartílago en forma de “U” llamado barra coracoidea, este se asocia a la columna vertebral por medio de tendones que se insertan en el cartílago escapular que se articula a su vez a los procesos dorsales de la barra coracoidea, la zona articular o glenoidea se presenta una ligera depresión en dicha barra. Esta cintura siempre se ubica entre las vértebras 10 y 12 (Figura 36).

De manera similar las aletas pélvicas están unidas al cuerpo mediante una cintura pelvica, la cual se diferencia de la pectoral por estar formada de una barra pubioisquiática, también en forma de “U” cuyo brazos se dirigen en dirección caudal, y el proceso iliaco que se proyecta en dirección dorsal; Las aletas pélvicas presentan el único carácter de dimorfismo sexual en tiburones más común en tiburones, ya que en lo machos el metapterigio sufre una modificación formando una estructura conocida como mixopterigio, gonopterigios o clasper (por su nombre en inglés), la cual le permite sujetar a la hembra en el momento de la copulación (Figura 37).



Figura 36. Aleta y cintura pectoral de una hembra de *Rhizoprionodon porosus*.



Figura 37. Aleta y cintura pélvica de *Rhizoprionodon porosus*. A. Hembra, B. Macho

Las aletas impares presentes en *R. porosus* son 2 aletas dorsales y una aleta anal, estas aletas a diferencia de las aletas pares se unen a la columna vertebral mediante elementos musculares. La 1ª aleta dorsal (Figura 38), la 2ª aleta dorsal y la aleta anal (Figura 39) presentan filamentos cartilagosos que son los que le dan forma, y su principal función es proporcionar estabilidad al tiburón durante el nado.

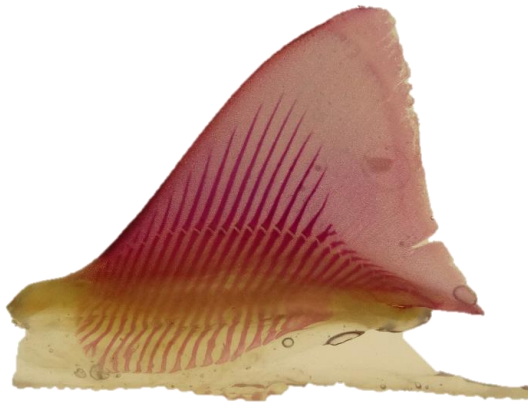


Figura 38. 1ª Aleta Dorsal de *Rhizoprionodon porosus*.

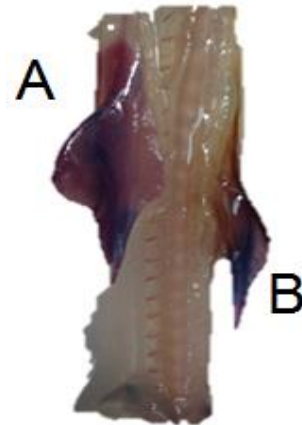


Figura 39. A. 2ª Aleta Dorsal, B. Aleta Anal de *Rhizoprionodon porosus*.

Hay tanto elementos basales (basalias) como elementos radiales (radalias) y siguen el patrón típico reportado para otros tiburones.

8.4. Esqueleto ocular

Los ojos de *R. porosus* presentan un cartílago escleral en forma de taza, sin anillos escleróticos. Esta estructura toma un tono rojizo después de la tinción debido a la presencia de calcio (Figura 40).

El cartílago escleral está cubierto por teselas planas, pero la organización varía según el área del cartílago (Figura 41). Conforme las teselas se encuentran más cerca de la abertura corneal son más grandes y en el límite esclero-corneal estas presentan mayor tamaño y un acomodo en forma de anillo, que tiene la forma semejante a los anillos escleróticos, además, en esta zona el espacio entre las teselas es menor (Figura 42).



Figura 40. Cartílago escleral de *Rhizoprionodon porosus*, esta estructura presenta un tono rojizo debido a la presencia de calcio

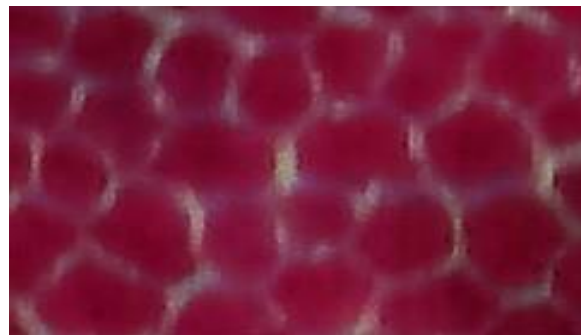


Figura 41. Cartílago escleral de *Rhizoprionodon porosus*, observado a microscopio estereoscópico Motic SM2-143 con un zoom de 3X.



Figura 42. Cartílago escleral de *Rhizoprionodon porosus*, con un zoom de 3X. Se observa el arreglo de las teselas en forma de arco en el límite esclero-corneal.

Para realizar los análisis alométricos correspondientes a *R. porosus* se obtuvieron las medidas del ancho, largo y profundidad del cartílago escleral, así como el diámetro de la abertura corneal (Figura 43).

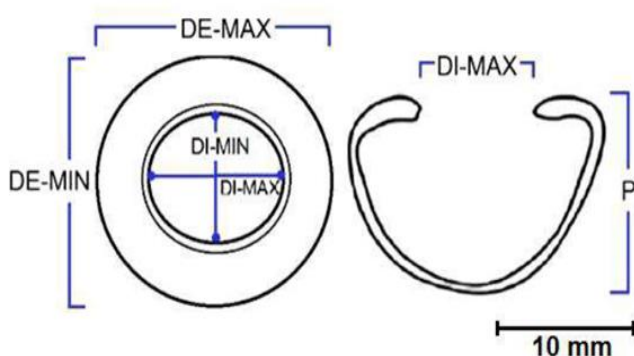


Figura 43. Esquemas de la vista superior (a la izquierda) y lateral (a la derecha) del cartílago escleral de un ojo de tiburón. Diámetro externo máximo (DE-MAX), diámetro externo mínimo (DE-MIN), profundidad (P) de la copa escleral, diámetro interno máximo (DI-MAX) y mínimo (DI-MIN) de la córnea.

Con las medidas anteriores se analizaron las noventa y seis correlaciones posibles para el tiburón. De las cuales solo una resultó ser estadísticamente significativa. Así, se realizó el análisis alométrico de esta correlación, la cual corresponde al diámetro interior mínimo del ojo derecho, el cual resultó ser isométrico. El análisis alométrico se muestra en la Tabla 2 del **Anexo II**.

8.5. Análisis morfométrico

Usando las medidas morfométricas obtenidas de los ocho ejemplares de *R. porosus* (Tabla A del **ANEXO V**) se obtuvieron los diferentes índices morfométricos, para esto cada una de las medidas obtenidas fue dividida entre la

longitud total, para obtener el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de varianza de estos resultados, los cuales se muestran en la Tablas 1A y 1B del **Anexo III**.

El coeficiente de variación que corresponde al valor del índice morfométrico, y para evaluar los índices morfométricos se tomó en cuenta que valores entre 1 y 3 nos hablan de un índice muy consistentes, los valores entre 3.1 y 10 nos dicen que son consistentes, cuando el valor está entre 10.1 y 20 el índice son poco consistentes y los valores mayores a 20 nos hablan de índices no son consistentes (Tabla 2 del **Anexo III**). Los índices consistentes se consideran que definen mejor a la especie.

9. DISCUSIÓN

Rhizoprionodon porosus es una especie de tiburón perteneciente al género *Rhizoprionodon* sobre la cual no hay antecedentes en el estudio de su sistema esquelético, mientras que los pocos estudios existentes referentes a esta especie tienen la finalidad de distinguir diferencias entre sus poblaciones (Mendoza et al., 2011) y las poblaciones de otras especies del mismo género como *R. terranova* (Compagno 1984) y *R. lalandii* (Martínez y colaboradores, 2012)

9.1. Tinción Diferencial

En el presente trabajo se utilizó una modificación a la técnica de Kelly y Bryden (1983) la cual consistió en el descamado del organismo previo al inicio de la tinción, ya que normalmente los elasmobranchios sometidos a procesos de tinción diferencial son desollados debido a que el colorante rojo de alizarina S tiñe los dentículos dérmicos, impidiendo ver el resto del organismo, pero en dicho proceso lo cual también elimina los cartílagos extrabranquiales, estructuras que se observaron con claridad en el presente trabajo.

El cartílago extrabranquial es una estructura perteneciente a la canasta branquial presente en la mayoría de los elasmobranchios, que se desarrolla a partir de una placa de músculo branquial, y separa el interbranquial de los músculos constrictores superficiales (Figura 44), los batoideos y los escualomorfos presentan cartílagos extra-branquiales dorsales y ventrales, mientras que los galeomorfos solo presentan extra-branquiales dorsales (Mallat, 1997)

Mallat (1997) sostiene que los cartílagos extrabranquiales son una estructura con una importante relevancia evolutiva, debido a que el registro fósil indica su presencia en el ancestro de los mandibulados, lo cual permitió la transformación del primer arco branquial en la mandíbula.

La modificación a la técnica de Kelly y Bryden (1983) aplicada en este trabajo, permitió la conservación de los cartílagos extrabranquiales, lo cual incrementa el alcance de los resultados de esta técnica, ya que los demás estructuras óseas y cartilaginosas también se tiñeron de manera adecuada. Por esta razón se recomendaría que esta modificación sea aplicada en más especies de elasmobranchios, con el propósito de poder realizar una descripción más adecuada de la zona branquial de los condriictios modernos y ayudar a conocer los mecanismos que dieron origen a la mandíbula dentro de los primeros gnatóstomos.

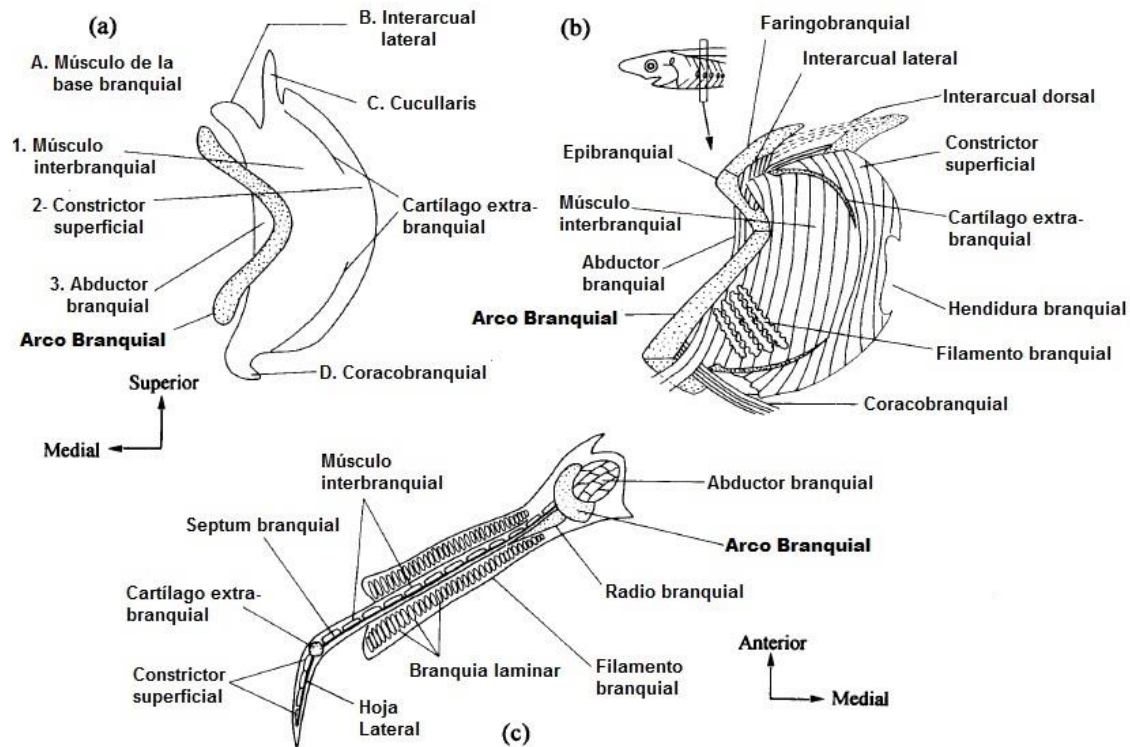


Figura 44. a. Músculos branquiales de la placa embrionaria de tiburón en forma esquemática (lado izquierdo, vista anterior). b. Músculos en el adulto que se desarrollan a partir de una placa de músculo branquial. La pequeña imagen del tiburón anterior proporciona una orientación, aunque cabe destacar que sólo el constrictor superficial se encuentra en la superficie del cuerpo (El músculo interbranquial es más profundo El interarcual dorsal, indicada por líneas de puntos, pertenece a la médula, no al grupo muscular braquial. c. Branquia de tiburón en sección frontal, se muestra la relación entre el interbranquial y los músculos constrictores superficiales al cartilago extra-branquial, el septum y los filamentos branquiales (Mallat, 1997).

9.2. Exoesqueleto

El exoesqueleto de los elasmobranquios está compuesto por los dentículos dérmicos o escamas placoideas, los cuales tienen la función de protección contra los depredadores y ectoparásitos, la reducción de la abrasión mecánica, el alojamiento de los órganos bioluminiscentes y sensoriales, y la reducción de la resistencia al rozamiento (Raschi y Tabit, 1992).

R. porosus es una especie que presenta una diferenciación significativa en la densidad y en la morfología de las escamas placoideas entre las diferentes posiciones (derecha, dorsal, izquierda, ventral) y regiones (cefálica, postcefálica, tronco y cola) corporales: Este resultado concuerda con los obtenidos por Raschi y Tabit en 1992, quienes también reportan la diferencia en la morfología de los dentículos dérmicos en *Heterodontus spp.*

Ellos atribuyen las diferencia en la morfología principalmente a roles defensivos, ya sea contra otros tiburones o contra parásitos, y a factores hidrodinámicos, ya que mencionan la presencia de escamas especializadas en regiones con diferencias en el flujo de agua (cuerpo y órganos sensoriales), lo cual sugiere que estas estructuras están sometidas a presiones de selección.

Aunque Raschi y Tabit (1992) principalmente observaron la morfología de las escamas placoideas presentes en los bordes de las aletas y alrededor de los órganos sensoriales (región cefálica) en ejemplares principalmente de los órdenes Orectolobiformes y Heterodontiformes, los cuales presentan un modo de vida bentónico principalmente.

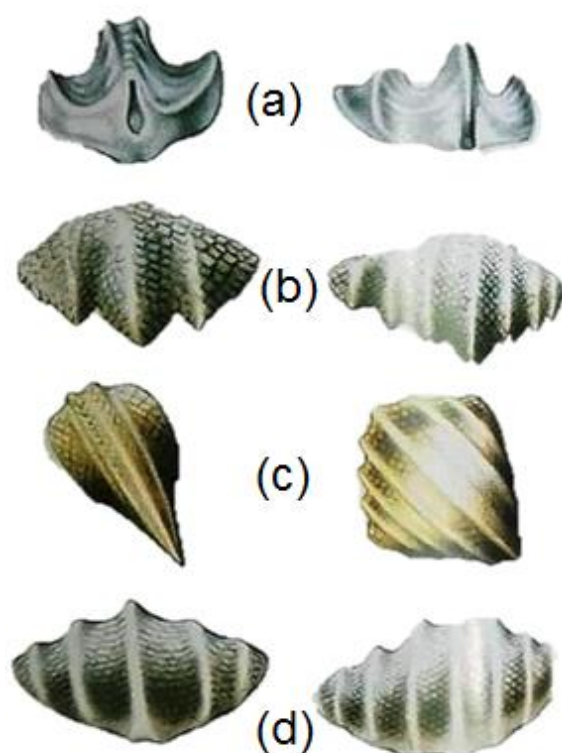


Figura 45. En esta figura se observan las diferencias morfológicas presentadas entre las los machos (lado izquierdo) y hembras (Lado derecho). *Galeocerdo cuvier* (a), *Sphyrna lewini* (b), *Mustelus canis* (c) y *Carcharhinus falciformis* (d). Tomado de Mojeta, 2004.

Mojeta en el 2004 menciona que una comparación entre diversas especies de tiburón indica que los dentículos dérmicos ubicados en los flancos pueden ser clasificados en 3 tipos: lanceoladas con lamina simple, tres puntas y 5 o más laminas. También menciona que al igual que los dientes, los dentículos dérmicos difieren entre las especies reflejando sus modo de vida pudiendo tener funciones defensivas y en algunas especies como el tiburón ballena (*Cephaloscyllium sufflans*) son utilizados como armas.

Aunque Mojeta (2004) también reporta diferencias morfológicas en las escamas placoideas, únicamente las reporta en algunas especies entre machos y hembras (Figura 45). Mientras que en *Rhizoprionodon porosus* no hay diferencias significativas en las escamas placoideas entre machos y hembras.

Además Mojeta (2004) en su ilustración de *Carcharhinus falciformis* obtiene escamas placoideas de las aletas y la cabeza del tiburón (Figura 46) y describe que la forma de los dentículos es prácticamente la misma, salvo ligeras

modificaciones de las escamas de la cabeza, a lo largo del cuerpo del tiburón, el autor atribuye que la forma de las escamas placoideas está diseñada para reducir la fricción en el agua, y que esta condición se acentúa en la parte dorso anterior del cuerpo (Mojeta solo utiliza las posiciones dorsal y ventral).

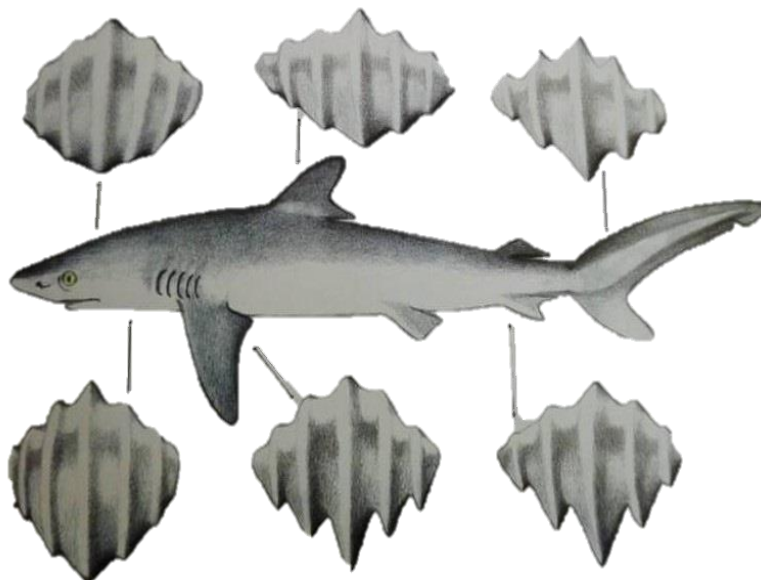


Figura 46. Morfología de las escamas placoideas en *Carcharhinus falciformis*, donde se observan ligeras diferencias en las escamas placoideas obtenidas de las posiciones señaladas (Mojeta, 2004)

Mientras que en la descripción anatómica de *Squalus acanthias* hecha por De Iullis y Pulerà en el 2007, únicamente se reporta en tipo de escamas placoideas obtenidas de la región cefálica, las cuales son similares a las encontradas en *R. porosus* en la misma región (Figura 47).

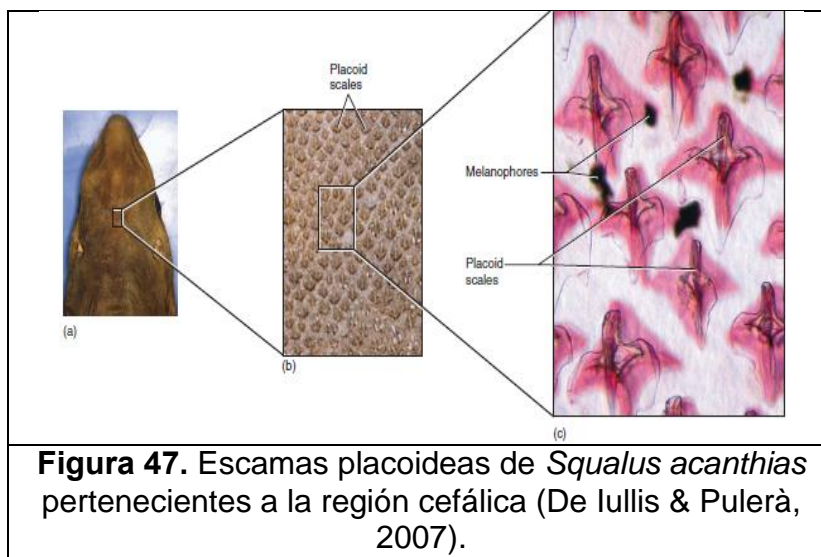


Figura 47. Escamas placoideas de *Squalus acanthias* pertenecientes a la región cefálica (De Iullis & Pulerà, 2007).

9.3. Endoesqueleto

El endoesqueleto de *R. porosus* está formado de cartílago calcificado, debido a que los condrocitos secretan una matriz extracelular rica en proteoglicanos y colágeno tipo II, comparado con el hueso, este cartílago tiene una tasa metabólica mucho menor y no necesita suministro de sangre, aunque este tejido crece muy lento y no es capaz de repararse (Claeson y Dean, 2011)

Claeson y Dean (2011) reportan que el tipo de cartílago es diferente a lo largo del cuerpo, es decir, el cráneo, los arcos viscerales y las aletas están compuestas por cartílago teselar, mientras que la columna vertebral se compone principalmente de cartílago aerolar. Aunque el objetivo de este trabajo no fue determinar el tipo de cartílago presente a lo largo del endoesqueleto, los resultados de la tinción diferencial aplicada a *R. porosus* concuerdan con lo reportado por Claeson y Dean, ya que el colorante rojo de alizarina S reacciona ante la presencia de calcio, y el cráneo y las aletas de *R. porosus* presentaron mayor absorción de este colorante que la columna vertebral.

Comparando el esqueleto de *R. porosus* con el de *Squalus acanthias*, el tiburón modelo en estudios anatómicos, hay varias diferencias.

Referente al condocráneo *S. acanthias* el rostrum se sostiene en una carina ventral y se observa cerrado lateral y ventralmente con dos fisuras rostrales pequeñas (De Iullis y Pulerà, 2007), mientras que en *R. porosus* el rostrum tiene una forma trirradiada de dos bandas tubulares y la quilla rostral, se observa abierto dorsal, lateral y ventralmente, el foramen epifisial es notablemente más grande en *R. porosus* que en *S. acanthias*; la fosa parietal y los conductos hemicirculares presentes en *R. porosus* están ausentes en *S. acanthias*. Vistos lateralmente el cráneo de *R. porosus* es parecido al de *S. acanthias*, excepto por el rostrum abierto, la ausencia del pedicelo óptico y el fuerte desarrollo de los conductos hemicirculares.

Los arcos viscerales de *R. porosus* concuerdan con la descripción de los arcos viscerales de *S. acanthias* realizada por De Iullis y Pulerà en el 2007, excepto por que estos autores no reportan la presencia de los cartílagos extrabranquiales en *S. acanthias*.

De Iullis y Pulerà no reportan la presencia de elementos basidorsales ni basiventrals en la vertebras de *S. acanthias*, aunque si hacen la diferenciación entre vertebras troncales y caudales.

La aleta dorsal anterior de *R. porosus* no presenta espinas ni pterigoforos basales, lo cual difiere de lo reportado para *S. acanthias* por De Iullis y Pulerà. Sin embargo las aletas dorsal posterior, pectorales y pélvicas son similares a las de *S.*

acanthias, a excepción de que *R. porosus* tiene un pronunciado borde cerca de la punta de la aleta caudal y a la presencia de una aleta anal.

9.4. Esqueleto Ocular

R. porosus es una especie con ojos relativamente grandes para su tamaño debido a la importancia que tiene la visión, ya que ojos de mayor tamaño permiten incrementar la resolución y sensibilidad óptica (Land y Nilsson, 2012), siendo este tiburón de hábitos pelágicos (Compagno, 1990) para poder aprovechar la luz disponible para buscar su alimento.

En tiburones el grado de endurecimiento en la copa escleral se correlaciona con su nivel de actividad (Pilgrim y Franz-Odenaal, 2009), los tiburones más activos nadan más rápido y requieren mayor rigidez escleral que las especies bentónica (Franz-Odenaal, 2008).

Respecto a las relaciones alométricas en los ojos de *R. porosus*, la única relación significativa se encontró entre el diámetro máximo y el diámetro mínimo del ojo derecho y resultó ser isométrica, lo cual indica que existe un crecimiento proporcional en el ojo derecho. Este resultado difiere de los reportados por Negrete en el 2015 para *Carcharhinus limbatus* y *Sphryna lewini*, ya que ella reporta un gran número de correlaciones entre ambos ojos, las cuales muestran crecimientos de tipo isométrico y alométrico negativo en el cartílago escleral.

9.5. Análisis morfométrico

R. porosus es descrita como una especie pequeña y esbelta (Compagno, 2007; Ebert y Fowler, 2015). Debido a los diversos estudios para diferenciar a esta especie de otras de su género (Compagno 1984; Martínez *et al.*, 2012) en este trabajo se obtuvieron los índices morfométricos de *R. porosus* a partir de las medidas morfométricas de los ejemplares estudiados con el propósito de establecer parámetros que ayuden a la correcta clasificación taxonómica de la especie.

Como ya se mencionó anteriormente el coeficiente de varianza corresponde al valor del índice morfométrico, el cual entre menos valor tenga es más representativo de la especie y es mejor emplearlo, en otras palabras el índice morfométrico nos permite observar cuales son las estructuras corporales que están más sujetas a presiones de selección natural (a valores más grandes la presión de selección es menor) y nos facilitan la correcta identificación de la especie.

Los índices de la longitud furcal, la longitud de la cabeza y la longitud de la cola resultaron ser los mejores índices con valores de 1.3104, 2.7224 y 2.7947

respectivamente; la longitud del tronco, la longitud precaudal, longitud del rostro, la longitud del pedúnculo caudal, el diámetro del ojo derecho y del ojo izquierdo son buenos índices; mientras que los peores índices fueron las longitudes de la base de las dos aletas dorsales y la aleta caudal.

10. CONCLUSIONES

Se realizó la descripción morfológica de los elementos esqueléticos del exoesqueleto, endoesqueleto y esqueleto ocular de *Rhizoprionodon porosus*.

Se establecieron las relaciones alométricas de las medidas morfométricas, la densidad de los dentículos dérmicos y los elementos escleróticos (cartilago escleral y anillos escleróticos) presentes en *R. porosus*.

Rhizoprionodon porosus presento un crecimiento de tipo isométrico en todas las medidas morfométricas estadísticamente significativas, es decir, que las longitudes total, furcal, de la cabeza, la cola y precaudal crecen a la misma velocidad.

Los dentículos dérmicos de *R. porosus* presentaron una diferencia significativa tanto en su morfología como en su densidad a lo largo de las diferentes áreas y regiones del cuerpo.

Las escamas de las regiones cefálica y postcefálica presentan un mayor número de pequeñas escamas de forma alargada con 3 puntas, mientras que en las regiones del cuerpo y la cola el número de escamas se reduce y tienen una forma redondeada y mayor tamaño.

La densidad de dentículos dérmicos en las regiones del tronco y cola, y en la posición ventral presentan diferencias significativas, estas posiblemente se relacionen con sus hábitos locomotores.

El condocráneo de *R. porosus* solo difiere del de *Squalus acanthias*, en la forma abierta y trirradiada del rostrum. Y en el esplecnocráneo la única diferencia radica en la presencia de los cartílagos extrabranquiales.

Los elementos vertebrales de *R. porosus* no presentan un número fijo de elementos basidorsales por vertebra, y tampoco presentan sinarcualias.

Los elementos del esqueleto apendicular de *R. porosus*, únicamente difieren del de *S. acanthias* por la presencia de la aleta anal y la ausencia de espinas en la aleta dorsal anterior.

El diámetro mínimo del cartilago escleral de *R. porosus* presento un crecimiento isométrico, siendo la única correlación estadísticamente significativa encontrada en el cartilago escleral.

La longitud furcal, la longitud de la cabeza y la longitud de la cola de *R. porosus* son los mejores índices morfométricos de esta especie.

11. LITERATURA CITADA

- Boyne, P. J. (1970). Study of the chronologic development and eruption of teeth in elasmobranchs. *Journal of Dental Research*, 49(3), 556-560.
- Carrier J. C, Musick JA, & Heithaus M- R; 2004; *Biology of Sharks and Their Relatives*; CRC Press, 596pp
- Castillo-Géniz, J.L. 1990. Contribución al conocimiento de la biología y pesquería del cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882) del surde Sinaloa, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 128 p.
- Claeson, K. M., & Dean, M. N. (2011) *Cartilaginous Fish Skeletal Anatomy*. In Anthony P. Farrell (Editor) *Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment: Volume 1. The senses, supporting tissues, reproduction, and behavior*. Elsevier Inc. USA. 419-427.
- Compagno, L. J. V. 1984. *FAO species catalogue. Vol. 4. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes*. *FAO Fish.Synop.*, (125)Vol.4,Pt.2:251-655.
- Compagno, L. J. V. 1990. Alternative life-history styles of cartilaginous fishes in time and space. *Environ. Biol. Fish.* 28:33-75.
- Compagno L., Dando M. y Fowler S. 2006. *Sharks of the World*. Princeton University Press. E.U. 319-320 pp.
- De Iullis, G. & Pulerà, D. *The Dissection of Vertebrates: a Laboratory Manual*. Londres, Academic Press, 2007. pp.27-35.
- Dean, M. N., & Summers, A. P. (2006). Mineralized cartilage in the skeleton of chondrichthyan fishes. *Zoology*, 109(2), 164-168.
- Dean, M. N., Mull, C. G., Gorb, S. N., & Summers, A. P. (2009). Ontogeny of the tessellated skeleton: insight from the skeletal growth of the round stingray *Urobatis halleri*. *Journal of Anatomy*, 215(3), 227-239.
- Dingerkus, G., & Uhler, L. D. (1977). Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain technology*, 52(4), 229-232.
- Donoghue P. C. J. 2002. Evolution of development of vertebrate teeth and scales: An unravelling concepts, regulatory theories and homologies. *Paleobiology* 28:474–507.
- Donoghue P. C. J., & Sansom I. J. 2002. Origin and early evolution of vertebrate skeletonization. *Microsc Res Tech* 59:352–372.
- Donoghue P. C. J., Sansom I. J., & Downs J. P. 2006. Early evolution of vertebrate skeletal tissues and cellular interactions, and the canalization of skeletal development. *J Exp Zool B Mol Dev Evol* 306B:278–294.
- Downs, J. P., & Donoghue, P. C. 2009. Skeletal histology of *Bothriolepis canadensis* (Placodermi, Antiarchi) and evolution of the skeleton at the origin of jawed vertebrates. *Journal of Morphology*, 270(11), 1364-1380.

- Ebert D. A. Fowler S. 2015. A pocket guide to Sharks of the World. Princeton University Press. E.U. 212-213 pp.
- Ebert, D. A., & Stehmann, M. F. 2013. Sharks, batoids and chimaeras of the North Atlantic. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 537 p.
- Filiz, H., & Mater, S. (2002). A Preliminary Study on Length-Weight Relationships for Seven Elasmobranch Species from North Aegean Sea, Turkey. *Su Ürünleri Dergisi*, 19(3).
- Franz-Odenaal, T. A. 2008. Scleral ossicles of Teleostei: Evolutionary and developmental trends. *The Anatomical Record*, 291: 161-168,
- Gersenowies, R. J. R. (2007). Alometría, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Iztacala, México, 57- 92 pp.
- Griffin, L. 1922 A guide for the dissection of the dogfish (*Squalus acanthias*). Portland, Or. USA. 40p.
- Hughes, G. M., Perry, S. F., & Piiper, J. (1986). Morphometry of the gills of the elasmobranch *Scyliorhinus stellaris* in relation to body size. *Journal of experimental biology*, 121(1), 27-42.
- Janvier P. 1981. The phylogeny of the Craniata, with particular reference to the significance of fossil “agnathans”. *J Vertebrate Paleontol* 1:121–159.
- Kelly, W. L. & Bryden, M. M. (1983). A modified differential stain for cartilage and bone in whole mount preparations of mammalian fetuses and small vertebrates. *Bio tech Histochem*, 58 (3): 131-134.
- Kemp, N. E., & Westrin, S. K. (1979). Ultrastructure of calcified cartilage in the endoskeletal tesserae of sharks. *Journal of Morphology*, 160(1), 75-101.
- Kingsley, J. S. 1907 The Dogfish (*acanthias*) an Elasmobranch. *Guides for Vertebrates Dissection*. Henry Holt and Company. USA. 50p.
- Land M. F., Nilsson D. E. 2012. *Animal Eyes*. 2ª edición, Oxford Animal Biology Series, UNA. 47-119 pp.
- Lisney, T. J., & Collin, S. P. (2007). Relative eye size in elasmobranchs. *Brain, behavior and evolution*, 69(4), 266-279.
- Lowry, D., & Motta, P. J. (2008). Relative importance of growth and behaviour to elasmobranch suction-feeding performance over early ontogeny. *Journal of The Royal Society Interface*, 5(23), 641-652.
- Mallatt, J. 1997. Shark pharyngeal muscles and early vertebrate evolution.- *Actu Zoologica (Stockholm)* 78: 279-294.
- Marouani, S., Chaâba, R., Kadri, H., Saidi, B., Bouain, A., Maltagliati, F., & Nejmeddine Bradai, M. (2011). Taxonomic research on *Squalus megalops* (Macleay, 1881) and *Squalus blainvillei* (Risso, 1827) (Chondrichthyes: Squalidae) in Tunisian waters (central Mediterranean Sea). *Scientia Marina*, 76(1), 97-109.

- Mendizabal-Oriza, D., R. Vélez-Marín, J.F. Márquez-Farías & S.R. Soriano-Velásquez. 2006. La pesquería oceánica de tiburones del Pacífico, 325-364. En: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. INP-SEMARNAP, 544 p.
- Mojeta A. 2004. Underwater World: Sharks. White Star Guides. 46-49 pp.
- Negrete G. M. 2015. Comparación morfológica de los elementos esqueléticos escleróticos en los ojos de distintos grupos de vertebrados. Tesis de Licenciatura. UNAM. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. 102 pp
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 601 p.
- Ørvig, T. (1989). Histologic studies of ostracoderms, placoderms and fossil elasmobranchs. 6. Hard tissues of Ordovician vertebrates. *Zoologica Scripta*, 18(3), 427-446.
- Park, E. H., & Kim, D. S. (1984). A procedure for staining cartilage and bone of whole vertebrate larvae while rendering all other tissues transparent. *Stain Technology*, 59(5), 269-272.
- Peignoux-Deville, J., Lallier, F., & Vidal, B. (1982). Evidence for the presence of osseous tissue in dogfish vertebrae. *Cell and tissue research*, 222(3), 605-614.
- Pilgrim B. Franz-Odenaal T. A. 2009. A comparative study of the ocular skeleton of fossil and modern chondrichthyans. *Journal of Anatomy*, 214:848-858.
- Robinson M. P., & Motta, P. J. (2002). Patterns of growth and the effects of scale on the feeding kinematics of the nurse shark (*Ginglymostoma cirratum*). *Journal of Zoology*, 256(4), 449-462.
- Raschi W, Tabit C. 1992. Functional Aspects of Placoid Scales: A Review and Update. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* **43**:123-47
- Romer AS. 1942. Cartilage and embryonic adaptation. *Am Nat* 76:394-404.
- SAGARPA. 2008. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 212 p.
- Springer V. G., & Gold J. P; 1989; Sharks in questions (The Smithsonian answerbook). 187pp.
- Sayles, L. P., & Hershkowitz, S. G. 1937. Placoid scale types and their distribution in *Squalus acanthias*. *Biological Bulletin*, 51-66.
- Wassersug, R. J. (1976). A procedure for differential staining of cartilage and bone in whole formalin-fixed vertebrates. *Stain Technology*, 51(2), 131-134.
- Wells, G. A. 1915. The skull of *Acanthias*. Tesis de Maestría de la University of Illinois Urbana-Champaign, USA. 78p.

- Wourms, J.P., & Demski, L.S. 1993. The reproduction and development of sharks, skates, rays, and rattfishes: Introduction, history, overview, and future prospects. *Environ. Biol. Fish.*, 38, 7- 21.
- Yamazaki, Y., Yuguchi, M., Kubota, S., & Isokawa, K. (2011). Whole-mount bone and cartilage staining of chick embryos with minimal decalcification. *Biotechnic & Histochemistry*, 86(5), 351-358.

ANEXO I. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Las tablas muestran el coeficiente de cada relación (r) y su valor de significancia (p); si $p < 0.05$ la probabilidad es significativa, si $p > 0.05$ se considera como no significativa (relación no alométrica).

Tabla 1A. Correlación de las medidas morfológicas de *Rhizoprionodon porosus*.

	Longitud Total (cm)	Longitud Furcal (cm)	Longitud Cabeza (cm)	Longitud Tronco (cm)	Longitud Cola (cm)	Longitud Precaudal (cm)	Longitud Rostro (cm)
Longitud Total (cm)	1.0000	.9860	.9346	.3881	.9612	.7128	.5782
	p= ---	p=.000	p=.001	p=.342	p=.000	p=.047	p=.133
Longitud Furcal (cm)	.9860	1.0000	.9222	.3519	.9612	.7721	.5610
	p=.000	p= ---	p=.001	p=.393	p=.000	p=.025	p=.148
Longitud Cabeza (cm)	.9346	.9222	1.0000	.5177	.9306	.7426	.6795
	p=.001	p=.001	p= ---	p=.189	p=.001	p=.035	p=.064
Longitud Tronco (cm)	.3881	.3519	.5177	1.0000	.2742	.2520	-.0009
	p=.342	p=.393	p=.189	p= ---	p=.511	p=.547	p=.998
Longitud Cola (cm)	.9612	.9612	.9306	.2742	1.0000	.7931	.6204
	p=.000	p=.000	p=.001	p=.511	p= ---	p=.019	p=.101
Longitud Precaudal (cm)	.7128	.7721	.7426	.2520	.7931	1.0000	.6261
	p=.047	p=.025	p=.035	p=.547	p=.019	p= ---	p=.097
Longitud Rostro (cm)	.5782	.5610	.6795	-.0009	.6204	.6261	1.0000
	p=.133	p=.148	p=.064	p=.998	p=.101	p=.097	p= ---
Longitud Pedúnculo Caudal (cm)	.6030	.6604	.7679	.3886	.6976	.7048	.4352
	p=.114	p=.075	p=.026	p=.341	p=.054	p=.051	p=.281
Longitud Base Aleta Caudal (cm)	.4110	.3674	.5370	-.0380	.4792	.3363	.6941
	p=.312	p=.371	p=.170	p=.929	p=.230	p=.415	p=.056
Longitud Base Aleta Dorsal (cm)	-.2730	-.2204	-.3101	.2901	-.3282	-.0744	-.4991
	p=.513	p=.600	p=.455	p=.486	p=.427	p=.861	p=.208
2da Longitud Base Aleta Dorsal (cm)	.4676	.4246	.5591	.0531	.5137	.3589	.5852
	p=.243	p=.294	p=.150	p=.901	p=.193	p=.383	p=.127
Longitud Base Aleta Pectoral (cm)	.5672	.5522	.6011	.0404	.6311	.5467	.5413
	p=.143	p=.156	p=.115	p=.924	p=.093	p=.161	p=.166
Largo Ojo (cm)	.2391	.1013	.2298	.6175	.1340	-.0655	-.0524
	p=.568	p=.811	p=.584	p=.103	p=.752	p=.878	p=.902
Diámetro Ojo Derecho	.1862	.1286	.4734	.5348	.1729	.1609	.5788
	p=.659	p=.762	p=.236	p=.172	p=.682	p=.704	p=.133
Diámetro Ojo	.5080	.3876	.5635	.5989	.4249	.2387	.4708

Izquierdo

p=.199

p=.343

p=.146

p=.117

p=.294

p=.569

p=.239

Tabla 1B. Correlación de las medidas morfológicas de *Rhizoprionodon porosus*.

Longitud Pedúnculo Caudal (cm)	Longitud Base Aleta Caudal (cm)	Longitud Base Aleta Dorsal (cm)	2da Longitud Base Aleta Dorsal (cm)	Longitud Base Aleta Pectoral (cm)	Largo Ojo (cm)	Diámetro Ojo Derecho	Diámetro Ojo Izquierdo
.6030	.4110	-.2730	.4676	.5672	.2391	.1862	.5080
p=.114	p=.312	p=.513	p=.243	p=.143	p=.568	p=.659	p=.199
.6604	.3674	-.2204	.4246	.5522	.1013	.1286	.3876
p=.075	p=.371	p=.600	p=.294	p=.156	p=.811	p=.762	p=.343
.7679	.5370	-.3101	.5591	.6011	.2298	.4734	.5635
p=.026	p=.170	p=.455	p=.150	p=.115	p=.584	p=.236	p=.146
.3886	-.0380	.2901	.0531	.0404	.6175	.5348	.5989
p=.341	p=.929	p=.486	p=.901	p=.924	p=.103	p=.172	p=.117
.6976	.4792	-.3282	.5137	.6311	.1340	.1729	.4249
p=.054	p=.230	p=.427	p=.193	p=.093	p=.752	p=.682	p=.294
.7048	.3363	-.0744	.3589	.5467	-.0655	.1609	.2387
p=.051	p=.415	p=.861	p=.383	p=.161	p=.878	p=.704	p=.569
.4352	.6941	-.4991	.5852	.5413	-.0524	.5788	.4708
p=.281	p=.056	p=.208	p=.127	p=.166	p=.902	p=.133	p=.239
1.0000	.5724	-.3480	.6126	.6825	-.1085	.3245	.0389
p=---	p=.138	p=.398	p=.106	p=.062	p=.798	p=.433	p=.927
.5724	1.0000	-.9270	.9746	.8891	.1062	.4041	.2113
p=.138	p=---	p=.001	p=.000	p=.003	p=.802	p=.321	p=.615
-.3480	-.9270	1.0000	-.9126	-.8182	-.0451	-.1341	-.0255
p=.398	p=.001	p=---	p=.002	p=.013	p=.916	p=.751	p=.952
.6126	.9746	-.9126	1.0000	.9516	.1993	.2965	.1912
p=.106	p=.000	p=.002	p=---	p=.000	p=.636	p=.476	p=.650
.6825	.8891	-.8182	.9516	1.0000	.1506	.0998	.1089
p=.062	p=.003	p=.013	p=.000	p=---	p=.722	p=.814	p=.797
-.1085	.1062	-.0451	.1993	.1506	1.0000	.2834	.7631
p=.798	p=.802	p=.916	p=.636	p=.722	p=---	p=.496	p=.028
.3245	.4041	-.1341	.2965	.0998	.2834	1.0000	.6543
p=.433	p=.321	p=.751	p=.476	p=.814	p=.496	p=---	p=.078
.0389	.2113	-.0255	.1912	.1089	.7631	.6543	1.0000
p=.927	p=.615	p=.952	p=.650	p=.797	p=.028	p=.078	p=---

Tabla 2. Correlación del número de elementos basidorsales en la columna vertebral de *Rhizoprionodon porosus*.

	0	1	2	3	4	5
0		0.101427	0.00	0.000556	0.548150	0.126792
	0.101427		0.00	0.059312	0.296232	0.001858
1	0.000000	0.000000		0.000000	0.000000	0.000000
	0.000556	0.059312	0.00		0.003832	0.000001
2	0.548150	0.296232	0.00	0.003832		0.034509
	0.126792	0.001858	0.00	0.000001	0.034509	
3		0.101427	0.00	0.000556	0.548150	0.126792
	0.101427		0.00	0.059312	0.296232	0.001858
4	0.000000	0.000000		0.000000	0.000000	0.000000
	0.000556	0.059312	0.00		0.003832	0.000001
5	0.548150	0.296232	0.00	0.003832		0.034509
	0.126792	0.001858	0.00	0.000001	0.034509	

Tabla 3A. Correlación del número de elementos basidorsales por región vertebral

Región	# de Basidorsales	0	1	2	3	4	5
Región Branquial	0		0.042257	0.000000	1.000000	1.000000	1.000000
	1	0.042257		0.000000	0.042257	0.042257	0.042257
	2	0.000000	0.000000		0.000000	0.000000	0.000000
	3	1.000000	0.042257	0.000000		1.000000	1.000000
	4	1.000000	0.042257	0.000000	1.000000		1.000000
	5	1.000000	0.042257	0.000000	1.000000	1.000000	
Región Torácica	0	1.000000	0.042257	0.000000	1.000000	1.000000	1.000000
	1	1.000000	0.042257	0.000000	1.000000	1.000000	1.000000
	2	0.000002	0.003803	0.000000	0.000002	0.000002	0.000002
	3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	4	0.000055	0.034045	0.000000	0.000055	0.000055	0.000055
	5	0.496571	0.172550	0.000000	0.496571	0.496571	0.496571
Región Caudal	0	0.000545	0.134282	0.000000	0.000545	0.000545	0.000545
	1	0.000029	0.022512	0.000000	0.000029	0.000029	0.000029
	2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	3	0.078622	0.780173	0.000000	0.078622	0.078622	0.078622
	4	0.686005	0.101853	0.000000	0.686005	0.686005	0.686005
	5	0.828835	0.068717	0.000000	0.828835	0.828835	0.828835

Tabla 3B. Correlación del número de elementos basidorsales por región vertebral

Región	# de Basidorsales	0	1	2	3	4	5
Región Branquial	0	1.000000	1.000000	0.000002	0.000000	0.000055	0.496571
	1	0.042257	0.042257	0.003803	0.000000	0.034045	0.172550
	2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	3	1.000000	1.000000	0.000002	0.000000	0.000055	0.496571
	4	1.000000	1.000000	0.000002	0.000000	0.000055	0.496571
	5	1.000000	1.000000	0.000002	0.000000	0.000055	0.496571
Región Torácica	0		1.000000	0.000002	0.000000	0.000055	0.496571
	1	1.000000		0.000002	0.000000	0.000055	0.496571
	2	0.000002	0.000002		0.004042	0.418965	0.000033
	3	0.000000	0.000000	0.004042		0.000287	0.000000
	4	0.000055	0.000055	0.418965	0.000287		0.000633
	5	0.496571	0.496571	0.000033	0.000000	0.000633	
Región Caudal	0	0.000545	0.000545	0.150126	0.000027	0.524781	0.004770
	1	0.000029	0.000029	0.521399	0.000515	0.866872	0.000356
	2	0.000000	0.000000	0.013788	0.665085	0.001248	0.000000
	3	0.078622	0.078622	0.001600	0.000000	0.016896	0.276669
	4	0.686005	0.686005	0.000011	0.000000	0.000242	0.782441
	5	0.828835	0.828835	0.000005	0.000000	0.000123	0.642524

Tabla 3C. Correlación del número de elementos basidorsales por región vertebral

Región	# de Basidorsales	0	1	2	3	4	5
Región Branquial	0	0.000545	0.000029	0.000000	0.078622	0.686005	0.828835
	1	0.134282	0.022512	0.000000	0.780173	0.101853	0.068717
	2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	3	0.000545	0.000029	0.000000	0.078622	0.686005	0.828835
	4	0.000545	0.000029	0.000000	0.078622	0.686005	0.828835
	5	0.000545	0.000029	0.000000	0.078622	0.686005	0.828835
Región Torácica	0	0.000545	0.000029	0.000000	0.078622	0.686005	0.828835
	1	0.000545	0.000029	0.000000	0.078622	0.686005	0.828835
	2	0.150126	0.521399	0.013788	0.001600	0.000011	0.000005
	3	0.000027	0.000515	0.665085	0.000000	0.000000	0.000000
	4	0.524781	0.866872	0.001248	0.016896	0.000242	0.000123
	5	0.004770	0.000356	0.000000	0.276669	0.782441	0.642524
Región Caudal	0		0.421957	0.000138	0.076492	0.002055	0.001123
	1	0.421957		0.002133	0.010783	0.000132	0.000066
	2	0.000138	0.002133		0.000000	0.000000	0.000000
	3	0.076492	0.010783	0.000000		0.173470	0.121960
	4	0.002055	0.000132	0.000000	0.173470		0.850719
	5	0.001123	0.000066	0.000000	0.121960	0.850719	

Tabla 4. Correlación de las medidas del cartílago escleral y el número de teselas en el ojo derecho de *Rhizoprionodon porosus*.

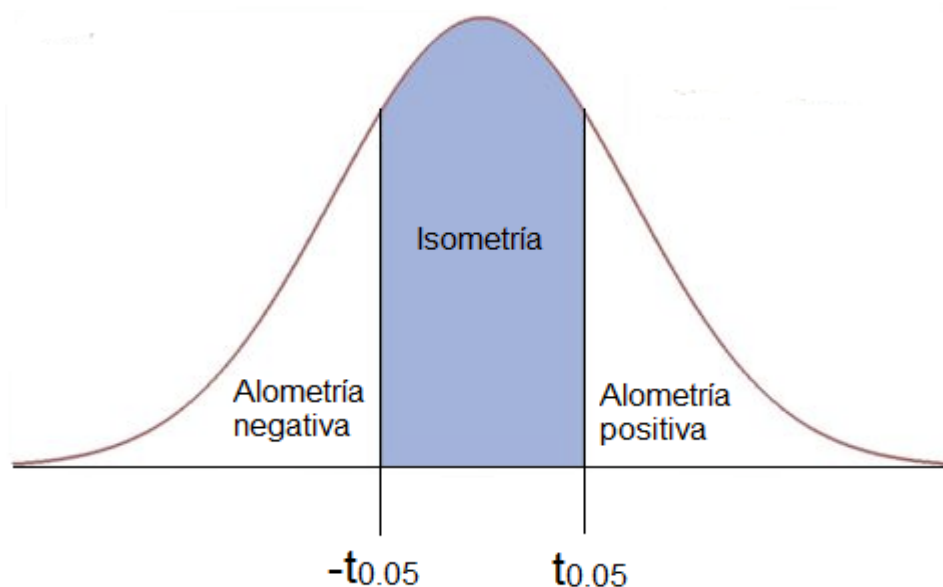
	DI-MAX	DI-MIN	DE-MAX	DE-MIN	P	T
DI-MAX	1,0000	,7774	,1162	-,0194	,6443	,0823
	p= ---	p=,023	p=,784	p=,964	p=,085	p=,846
DI-MIN	,7774	1,0000	-,1747	-,3627	,3065	,0600
	p=,023	p= ---	p=,679	p=,377	p=,460	p=,888
DE-MAX	,1162	-,1747	1,0000	,3896	,0892	,3427
	p=,784	p=,679	p= ---	p=,340	p=,834	p=,406
DE-MIN	-,0194	-,3627	,3896	1,0000	-,2622	,0725
	p=,964	p=,377	p=,340	p= ---	p=,530	p=,865
P	,6443	,3065	,0892	-,2622	1,0000	,2351
	p=,085	p=,460	p=,834	p=,530	p= ---	p=,575
T	,0823	,0600	,3427	,0725	,2351	1,0000
	p=,846	p=,888	p=,406	p=,865	p=,575	p= ---

Tabla 5. Correlación de las medidas del cartílago escleral y el número de teselas en el ojo izquierdo de *Rhizoprionodon porosus*.

	DI-MAX	DI-MIN	DE-MAX	DE-MIN	P	T
DI-MAX	1,0000	,2064	-,6168	-,0081	-,0678	-,1319
	p= ---	p=,624	p=,103	p=,985	p=,873	p=,756
DI-MIN	,2064	1,0000	,0234	,2819	,5489	,1416
	p=,624	p= ---	p=,956	p=,499	p=,159	p=,738
DE-MAX	-,6168	,0234	1,0000	,6690	,4468	,2448
	p=,103	p=,956	p= ---	p=,070	p=,267	p=,559
DE-MIN	-,0081	,2819	,6690	1,0000	,5447	,4962
	p=,985	p=,499	p=,070	p= ---	p=,163	p=,211
P	-,0678	,5489	,4468	,5447	1,0000	,1604
	p=,873	p=,159	p=,267	p=,163	p= ---	p=,704
T	-,1319	,1416	,2448	,4962	,1604	1,0000
	p=,756	p=,738	p=,559	p=,211	p=,704	p= ---

ANEXO II. ANÁLISIS ALOMÉTRICOS

Para establecer el tipo de alometría se realizó una prueba de hipótesis estadística donde se obtuvo el valor de “t teórica” ($t_{0.05}$) como referencia para comparar con la “t calculada” (Tcal). Si el valor de Tcal es mayor que el de $t_{0.05}$ y se encuentra del lado negativo del eje “X”, fuera del área bajo la curva, se considera que es alometría positiva. Si Tcal, es mayor que $t_{0.05}$ y se encuentra del lado positivo del eje “X” fuera del área bajo la curva, se considera como alometría negativa; mientras que si Tcal se encuentra entre los valores de $t_{0.05}$, debajo del área bajo la curva se considera isometría; por último, si se presenta alometría negativa, pero el coeficiente de alometría (pendiente) es negativo, se presenta relación del tipo inversa.



A continuación se presentan los estadísticos y los símbolos utilizados para los análisis alométricos:

α : Coeficiente de alometría, recta de regresión que indica la velocidad de crecimiento de la proporción.

b: Factor de condición.

r: Coeficiente de la relación.

$t_{0.05}$: “t” teórica que indica el límite para una significancia de 0.05

Tcal: “t” calculada que permite saber el tipo de alometría presentada.

Tabla 1. Análisis alométricos de las medidas morfológicas de *Rhizoprionodon porosus*.

RELACIÓN MEDIDAS	ANÁLISIS ALOMÉTRICO	CONCLUSIÓN
L. Total vs L. Furcal $\alpha = 0.924087526$ $b = 1.0008364$ $r = 0.985987507$	$-t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.157377694 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. Cabeza $\alpha = 0.902011512$ $b = 0.64033888$ $r = 0.934592016$	$-t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.016537138 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. Cola $\alpha = 1.167732024$ $b = 0.576111953$ $r = 0.961187551$	$-t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = -0.022881867 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. Precaudal $\alpha = 0.933650008$ $b = 0.628768613$ $r = 0.712796656$	$-t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.010757581 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. Rostro $\alpha = 0.204707752$ $b = 1.291022235$ $r = 0.578150635$	$-t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.234224147 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. Ped. Caudal $\alpha = 0.797382581$ $b = 0.77382891$ $r = 0.602993395$	$-t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.059447742 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. B. Aleta Caudal $\alpha = 1.098962754$ $b = 0.224843676$ $r = 0.410998503$	$t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = -0.004988676 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. B. Aleta Dorsal $\alpha = -1.487408768$ $b = 20.78284628$ $r = -0.27300589$	$t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.061673339 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. B. 2ª Aleta Dorsal $\alpha = 3.577240493$ $b = 0.002914401$ $r = 0.467606718$	$t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = -0.033209954 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs L. B. Aleta Pectoral $\alpha = 1.278417189$ $b = 0.168215555$ $r = 0.567202824$	$t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = -0.011750287 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs Largo Ojo $\alpha = 0.333560675$ $b = 0.514896189$ $r = 0.239145034$	$t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.075529067 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs D. Ojo Der. $\alpha = 0.117761368$ $b = 1.86192191$ $r = 0.186179324$	$t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.106770875 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico
L. Total vs D. Ojo Izq. $\alpha = 0.279537309$ $b = 1.408657222$ $r = 0.507966055$	$t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = 0.158183624 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico

Tabla 2. Análisis alométrico de las medidas del cartílago escleral y en el ojo derecho de *Rhizoprionodon porosus*.

RELACIÓN MEDIDAS	ANÁLISIS ALOMÉTRICO	CONCLUSIÓN
DI-MAX vs DI-MIN $\alpha = 1.101969318$ $b = 0.890096334$ $r = 0.777371216$	$-t_{0.05} = -2.4469 < T_{cal} = -0.118293017 < t_{0.05} = 2.4469$	Isométrico

ANEXO III. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Tabla 1A. Índices morfométricos de las medidas morfológicas de *Rhizoprionodon porosus*.

	L. Furcal	L. Cabeza	L. Tronco	L. Cola	L. Precaudal	L. Rostro	L. Ped. Caudal
1	0.73694779	0.24899598	0.21485944	0.5502008	0.26305221	0.08232932	0.27108434
2	0.75291375	0.25874126	0.28671329	0.52680653	0.28438228	0.09090909	0.28904429
3	0.73231358	0.24665392	0.24091778	0.55258126	0.26003824	0.07648184	0.24665392
4	0.73202614	0.23965142	0.24836601	0.50544662	0.23529412	0.08496732	0.22004357
5	0.75599129	0.24183007	0.23093682	0.53376906	0.25054466	0.08278867	0.26579521
6	0.74883721	0.24883721	0.22093023	0.54186047	0.26976744	0.09302326	0.24883721
7	0.75243665	0.24366472	0.2202729	0.53606238	0.28070175	0.07992203	0.24951267
8	0.74946004	0.23758099	0.22462203	0.54211663	0.28941685	0.08423326	0.2462203

Tabla 1B. Índices morfométricos de las medidas morfológicas de *Rhizoprionodon porosus*.

L. B. Aleta Caudal	L. B. Aleta Dorsal	L. B. 2da Aleta Dorsal	L. B. Aleta Pectoral	Largo Ojo	D. Ojo Derecho	D. Ojo Izquierdo
0.07228916	0.02610442	0.1124498	0.06626506	0.01606426	0.13574297	0.13032129
0.04895105	0.11188811	0.02797203	0.04895105	0.01864802	0.16153846	0.1495338
0.04206501	0.08030593	0.02676864	0.04397706	0.01720841	0.13126195	0.13260038
0.04357298	0.08061002	0.02396514	0.04357298	0.01960784	0.14335512	0.14586057
0.04139434	0.08496732	0.02178649	0.04575163	0.01525054	0.13431373	0.13115468
0.04883721	0.08372093	0.02093023	0.04418605	0.01627907	0.15465116	0.14813953
0.04288499	0.08187135	0.02534113	0.04483431	0.01364522	0.13060429	0.12631579
0.04319654	0.08855292	0.02591793	0.05183585	0.01727862	0.13142549	0.1362851

Tabla 2. Valores y clasificación de los Índices morfométricos de *Rhizoprionodon porosus*.

Índice	Valor del Índice	Clasificación del Índice
L. Furcal	1.310403218	Muy Consistente
L. Cabeza	2.722357145	Muy Consistente
L. Tronco	9.907497469	Consistente
L. Cola	2.794650746	Muy Consistente
L. Precaudal	6.855520399	Consistente
L. Rostro	6.443225253	Consistente
L. Ped. Caudal	8.088932157	Consistente
L. B. Aleta Caudal	21.45362346	No Consistente
L. B. Aleta Dorsal	30.1107206	No Consistente
L. B. 2ª Aleta Dorsal	87.33504509	No Consistente

L. B. Aleta Pectoral	15.74377278	Poco Consistente
Largo Ojo	11.2477127	Poco Consistente
D. Ojo Der.	8.418506631	Consistente
D. Ojo Izq.	6.563049724	Consistente

ANEXO VI. PRUEBAS LSD

Tabla 1. Prueba LSD aplicada a la proporción de escamas placoideas en las diferentes regiones del cuerpo

	REGIÓN	{1} - 43,1122	{2} - 41,3619	{3} - 33,5612	{4} - 30,1438
1	Cefálica		0,253938	0,000001	0,000000
2	Postcefálica	0,253938		0,000009	0,000000
3	Tronco	0,000001	0,000009		0,005212
4	Caudal	0,000000	0,000000	0,005212	

Tabla 2. Prueba LSD aplicada a la proporción de escamas placoideas en las diferentes posiciones del cuerpo

	POSICIÓN	{1} - 35,4405	{2} - 35,9253	{3} - 35,3021	{4} - 40,2439
1	Derecha		0,531300	0,852772	0,000006
2	Dorsal	0,531300		0,418963	0,000026
3	Izquierda	0,852772	0,418963		0,000004
4	Ventral	0,000006	0,000026	0,000004	

ANEXO V. MEDIDAS OBTENIDAS

Tabla A. Medidas morfométricas básicas de los ejemplares de *Rhizoprionodon porosus*.

Tipo de Medida	Tiburón 1	Tiburón 2	Tiburón 3	Tiburón 4	Tiburón 5	Tiburón 6	Tiburón 7	Tiburón 8
Longitud Total (cm)	49.8	42.9	52.3	45.9	45.9	43	51.3	46.3
Longitud Furcal (cm)	36.7	32.3	38.3	33.6	34.7	32.2	38.6	34.7
Longitud Cabeza (cm)	12.4	11.1	12.9	11	11.1	10.7	12.5	11
Longitud Tronco (cm)	10.7	12.3	12.6	11.4	10.6	9.5	11.3	10.4
Longitud Cola (cm)	27.4	22.6	28.9	23.2	24.5	23.3	27.5	25.1
Longitud Precaudal (cm)	13.1	12.2	13.6	10.8	11.5	11.6	14.4	13.4
Longitud Rostro (cm)	4.1	3.9	4	3.9	3.8	4	4.1	3.9
Longitud Pedúnculo Caudal (cm)	13.5	12.4	12.9	10.1	12.2	10.7	12.8	11.4
Longitud Base Aleta Caudal (cm)	3.6	2.1	2.2	2	1.9	2.1	2.2	2
Longitud Base Aleta Dorsal (cm)	1.3	4.8	4.2	3.7	3.9	3.6	4.2	4.1
Longitud 2da Base Aleta Dorsal (cm)	5.6	1.2	1.4	1.1	1	0.9	1.3	1.2
Longitud Base Aleta Pectoral (cm)	3.3	2.1	2.3	2	2.1	1.9	2.3	2.4
Largo Ojo (cm)	0.8	0.8	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.8
Sexo	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Macho	Macho	Hembra	Macho

Tabla B. Medidas obtenidas del cartílago escleral de *Rhizoprionodon porosus*

	Ojo Derecho						Ojo Izquierdo					
	DI-MAX	DI-MIN	DE-MAX	DE-MIN	P	T	DI-MAX	DI-MIN	DE-MAX	DE-MIN	P	T
1	6.85	6.67	15.52	10.67	10.46	38	6.71	6.27	14.4	11.01	10.41	39

2	7.16	6.7	14.87	13.16	10.31	35	6.87	5.96	14.88	9.88	9.7	27
3	7.21	6.52	17.77	15.7	10.46	41	7.07	6.8	15.79	15.52	11.53	38
4	6.81	6.35	15.92	14.93	9.51	32	6.94	6.45	15.01	13.52	9.54	34
5	6.35	5.98	16.06	14.26	9.11	38	6.32	5.72	16.8	14.46	10.33	35
6	6.79	6.51	15.2	14.55	9.28	39	7.2	5.54	14.58	12.8	8.96	38
7	6.91	6.49	15.15	15.06	10.38	39	6.77	6.19	16.25	15.25	11.81	40
8	6.54	5.63	15.82	14.77	10.18	37	6.53	6.09	15.94	12.4	9.16	43