



---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA  
CARRERA DE BIOLOGIA

Comparación de la distribución de los poros del sistema de Lorenzini en *Sphyrna lewini*, *S. tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae*

TRABAJO DE TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE  
BIOLOGO

PRESENTA  
JOSÉ MIGUEL RANGEL MORALES

DIRECTOR DE TESIS  
M. en C. JORGE RICARDO GERSENOWIES RODRIGUEZ



Tlalnepantla Edo de México 2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Agradecimientos**

Al M. en C. Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez por dirigirme en esta Tesis y por mostrarme que hay que buscar otros caminos cuando parece no haber ninguna salida.

A la bióloga Gabriela Sánchez Fabila pues gracias a su enseñanza pude llegar a conocer a Jorge.

## **Dedicatoria**

A mi madre Guadalupe Porfiria Morales Mar que gracias a su lucha, esfuerzos y determinación tengo lo que tengo, soy lo soy y fortalece lo que seré.

A mi hermano Carlos Raúl por pedirme a este mundo y salvaguardarme en el.

A Miguel Ángel por aportar 23 cromosomas para mi desarrollo.

A Martha Butron Casas por la promesa hecha en mi infancia.

A mi “bailarina cósmica intergaláctica” por anclarme al mundo cuando salgo de su orbita y por hacer mas llevaderos los momentos difíciles con tus danzas y como no esas tus palabras sanadoras.

## Índice de contenido

Resumen	5
1.- Introducción	6
2.- Antecedentes	11
2.1 Ámpulas de Lorenzini	11
2.2 Sistemática	14
2.3 Biología de los organismos	14
2.3.1 <i>Sphyrna lewini</i> (Griffith & Smith, 1834) “cornuda”	14
2.3.2 <i>Sphyrna tiburo</i> (Linnaeus, 1758) “lanetón”	16
2.3.3 <i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (Richardson, 1836) “cazón ley”	17
3.- Hipótesis	18
4.- Objetivos	19
4.1 GENERAL	19
4.2 PARTICULARES	19
5.- Material y Método	20
6.- Resultados	21
6.1 Obtención de las cabezas	21
6.2 Determinación de las áreas	22
6.3 Determinación del número de poros	24
6.4 Análisis estadístico	24
7.- Análisis de Resultados y Discusión	33
7.1 Patrones de distribución	33
7.2 Comparación del número de poros	33
8.- Conclusiones y comentarios	38
9.- Apéndice	39
10. – Bibliografía	40

## Índice de Figuras y gráficos

Figura 1: Ámpula de Lorenzini	9
Figura 2: Grupo de poros supraorbital, bucal, hioideo y mandibular	9
Figura 3: <i>Sphyrna lewini</i> (Griffith & Smith, 1834) “cornuda”	15
Figura 4: <i>Sphyrna tiburo</i> (Linnaeus, 1758) “lanetón”	16
Figura 5: <i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (Richardson, 1836) “cazón ley”	17

Figura 6: Región estudiada	21
Figura 7: Foto de la vista dorsal en <i>Sphyrna tiburo</i>	21
Figura 8: Foto de la vista dorsal en <i>Sphyrna lewini</i>	21
Figura 9: Foto de la vista dorsal en <i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	21
Figura 10: Patrones de distribución de las ámpulas de Lorenzini en la cara dorsal.	22
Figura 11: Patrones de distribución de las ámpulas de Lorenzini en la cara ventral	23
Gráfico 1: Promedio de poros/cm <sup>2</sup> en las áreas dorsales en las tres especies	31
Gráfico 2: Promedio de poros/cm <sup>2</sup> en las áreas ventrales en las tres especies	32

### Índice de tablas

Tabla 1: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> tanto dorsales como ventrales de las tres especies con su desviación estándar (S)	24
Tabla 2: Muestra el análisis de varianza en cada área	25
Tabla 3: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área a1 en las tres especies	25
Tabla 4: Resultados de prueba de Tukey del área a1	25
Tabla 5: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área a2 en las tres especies	26
Tabla 6: Resultados de prueba de Tukey del área a2	26
Tabla 7: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área a3 en las tres especies	26
Tabla 8: Resultados de prueba de Tukey del área a3	26
Tabla 9: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área b en las tres especies	27
Tabla 10: Resultados de prueba de Tukey del área b	27
Tabla 11: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área c en las tres especies	27
Tabla 12: Resultados de prueba de Tukey del área c	27
Tabla 13: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área d en las tres especies	28
Tabla 14: Resultados de prueba de Tukey del área d	28

Tabla 15: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área e en las tres especies	28
Tabla 16: Resultados de prueba de Tukey del área e	28
Tabla 17: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área f en las tres especies	29
Tabla 18: Resultados de prueba de Tukey del área f	29
Tabla 19: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área g en las tres especies	29
Tabla 20: Resultados de prueba de Tukey del área g	29
Tabla 21: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área h en las tres especies	30
Tabla 22: Resultados de prueba de Tukey del área h	30
Tabla 23: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área i en las tres especies	30
Tabla 24: Resultados de prueba de Tukey del área i	30
Tabla 25: Muestra la densidad promedio en Poros/cm <sup>2</sup> del área j en las tres especies	31
Tabla 26: Resultados de prueba de Tukey del área j	31
Tabla 27: Comparación de las áreas. 1= <i>S. lewini</i> , 2= <i>S. tiburo</i> , 3= <i>R. terraenovae</i>	36

## Resumen

En los tiburones el sistema de Lorenzini a través de los poros cefálicos sirve como detector de posibles presas, entonces especies con hábitos de alimentación diferentes deberán presentar una distribución particular de los poros cefálicos. Una electrorrecepción eficiente en los tiburones martillo (familia *Sphyrnidae*) es debido a que su cabeza posee mayor área de distribución, aunque la morfología de la cabeza es evidentemente diferente entre sphyrnidos y sus parientes más cercanos los carcharhinidos. La morfología de la cabeza y la distribución de las ámpulas de Lorenzini fueron comparadas entre un carcharhinido, *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson, 1836), y dos sphyrnidos, *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith) y *S. tiburo* (Linnaeus). Teniendo con una mayor densidad de poros/cm<sup>2</sup> a *Sphyrna lewini* seguida por *Rhizoprionodon terraenovae* y por último *S. tiburo*.

## Abstract

In the sharks the system of Lorenzini through cephalic pores serves like detector of possible prey, then species with different habits of feeding will present a particular distribution of cephalic pores. An efficient electrorrecepción in the sharks hammerhead (*Sphyrnidae* family) is because its head has greater area of distribution, although the morphology of the head is evidently different between *sphyrnidos* and its nearer relatives the *carcharhinidos*. The morphology of the head and the distribution of ámpulas of Lorenzini were compared between *carcharhinido*, *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson, 1836), and two *sphyrnidos*, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith) and *S. tiburo* (Linnaeus). Having with a greater density of pores/cm<sup>2</sup> to *Sphyrna lewini* followed by *Rhizoprionodon terraenovae* and finally *S. tiburo*.

Palabras clave: sistema electrosensorial, ámpulas de Lorenzini, poros cefálicos, *carcharhinido* y *sphyrnido*.

## 1.- Introducción.

En peces los órganos de los sentidos reciben estímulos físicos y químicos del ambiente. Los cambios físicos producidos por el flujo del calor o el tacto son percibidos a través de los receptores cutáneos; los estímulos visuales que implican cambios en la intensidad y calidad de la luz por los ojos; y los acústicos son percibidos a través del oído interno y/o el sistema de la línea lateral. Los estímulos químicos son detectados a través de los órganos del olfato o del gusto (Lagler *et al*, 1977).

El sistema de línea lateral esta compuesto por mecanorreceptores, los cuales presentan poca variación en su estructura entre los distintos grupos taxonómicos; y también por electrorreceptores, los cuales presentan variación considerable. Los electrorreceptores sensitivos ampulares, son en apariencia una condición primitiva solo presente en *Petromizones* y *Chondrichthyes*, pero pudieron ser comunes en agnatos extintos como los *Osteostraceos* y *Galeaspidos* (Gibbs, 2004).

Los tres grupos de peces cartilagosos que comprenden la clase *Chondrichthyes* son los tiburones, rayas y quimeras. Los tiburones y rayas están agrupados en la subclase *Elasmobranchii*. Los miembros fósiles más antiguos de este grupo que se conocen datan del Devónico, hace más de 400 millones de años. Poseen un esqueleto cartilaginoso muchas veces recubierto de hueso pericondrial, el cual es más flexible y ligero. Dependiendo de la especie poseen de 5 a 7 hendiduras branquiales (Hennemann, 2001).

El sentido del gusto en los tiburones y rayas esta formado por botones gustativos, los cuales se encuentran dispersos en la pared de boca y faringe, los cuales detectan las características del alimento capturado (Young, 1985).

Estructuras parecidas a botones gustativos, probablemente también involucrados en la percepción química, se localizan en depresiones de la superficie del cuerpo (Lagler *et al*, 1977).

Los tiburones y rayas poseen criptas sensoriales (cavidades) y papilas entre las escamas placoideas dispuestas en grupos o hileras, usualmente en las regiones anterior y dorsal del cuerpo. Ciertas peculiaridades histológicas de sus células sensitivas sugieren que son receptores gustativos (Lagler *et al*, 1977).



En cuanto a la visión los tiburones poseen ojos con córnea transparente, sin pigmentación. La esclerótica tiene elementos cartilaginosos y también placas calcificadas para su reforzamiento. La esclerótica esta muy vascularizada y tiene una matriz de tejido conectivo fibroso (Lagler *et al*, 1977).

La naturaleza brillante de la mayoría de los ojos de los tiburones se debe a cristales de guanina dentro de cromatóforos especializados llamados guanóforos que actúan como material reflectante y constituyen una capa diferenciada dentro de la coroides denominada *tapetum lucidum*, esta sirve para reflejar la mayor cantidad de luz, devolviéndola a la retina (Lagler *et al*, 1977; Young, 1985).

Posee un plexo coroideo que puede penetrar la cámara posterior y proporcionar a la retina los nutrientes necesarios y absorbe impurezas manteniendo el humor acuoso completamente traslúcido (Lagler *et al*, 1977).

El iris contiene los elementos musculares típicos o músculos ciliares, por lo tanto, pueden ajustar la forma de su pupila (Lagler *et al*, 1977).

Su cristalino esta comprimido horizontalmente, es esférico y muy duro efectuando por si solo la refracción (Young, 1985).

La retina contiene solamente bastones. La capa fotorreceptora puede estar oscurecida por los melanoforos que se mueve hacia dentro o hacia fuera en la coroides (Lagler *et al*, 1977).

El olfato se da a través de dos orificios que están usualmente en posición ventral al morro y están divididos por un pliegue cutáneo en una entrada y salida. Comunican al saco nasal que posee gran cantidad de pliegues internos, algunas veces en dirección a la boca se presenta un surco naso-bucal recubierto de piel, permitiendo que el organismo a medida que nada y respira, olfatea y prueba el agua (Lagler *et al*, 1977).

El oído contiene receptores relacionados con: 1) posición, 2) aceleración angular, 3) gravedad y 4) quizá la audición. Existen tres pares de conductos semicirculares, cada uno de ellos con un ámpula en su extremo provista de células ciliadas receptoras, orientados con los planos frontal, sagital y transversal (Young, 1985).

Los órganos del equilibrio y de la audición han sido divididos en un par superior y un par inferior. El par superior está compuesto por los canales semicirculares y

sus ámpulas además de una vesícula en forma de saco, el utrículo. El par inferior, que es la estructura para la recepción del sonido, consta de otras dos vesículas, el sáculo y la cóclea. El conjunto se comporta como un péndulo de torsión muy estabilizado que se mueve cuando se agita el fluido endolinfático (Lagler *et al*, 1977).

El conducto endolinfático comunica el oído interno con el exterior, y permite la entrada de pequeños granos de arena, los cuales se asocian a las máculas lo que les permite funcionar como otolitos. El utrículo es el principal de los receptores implicados en la respuesta para tener una postura adecuada en relación con la gravedad. La cóclea descarga impulsos a una frecuencia máxima cuando la cabeza está en posición normal y por lo tanto parece ser un receptor del nivel relativo de las distintas porciones del cuerpo (Young, 1985).

Los tiburones y rayas usan el sistema de electrorreceptores para detectar campos eléctricos débiles de alrededor de  $5 \text{ } \eta\text{V/cm}$ , con la finalidad de detectar a sus presas (Murray, 1974).

Los núcleos octavolaterales dorsales, estructuras bilaterales de la médula oblongada, son los principales núcleos electrosensoriales en elasmobranquios, y son el sitio de proyección exclusiva de las vías aferentes que transportan la información de los electrorreceptores periféricos (Duman, 1997).

Algunos autores consideran que las ámpulas de Lorenzini de tiburones y rayas, son un componente del sistema de la línea lateral, pudiendo responder a los cambios de temperatura, teniendo un incremento de su actividad durante el enfriamiento y una reducción durante el calentamiento (Young, 1985).

Las ámpulas de Lorenzini (figura 1) son estructuras que poseen una forma más o menos sacular, ubicados principalmente en la región cefálica, donde constituyen varios grupos de poros supraorbital, bucal, hioideo y mandibular (figura 2) teniendo su acceso a través de un canal (Lagler *et al*, 1977).

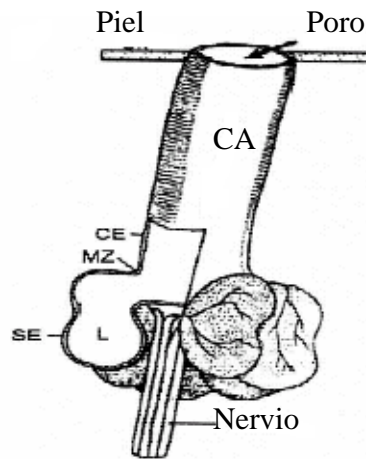


Figura 1: Ámpula de Lorenzini (Sisneros y Tricas, 2002) CA –Canal ampular CE – Canal epitelial MZ – Zona marginal L – Lumen SE – Epitelio sensitivo

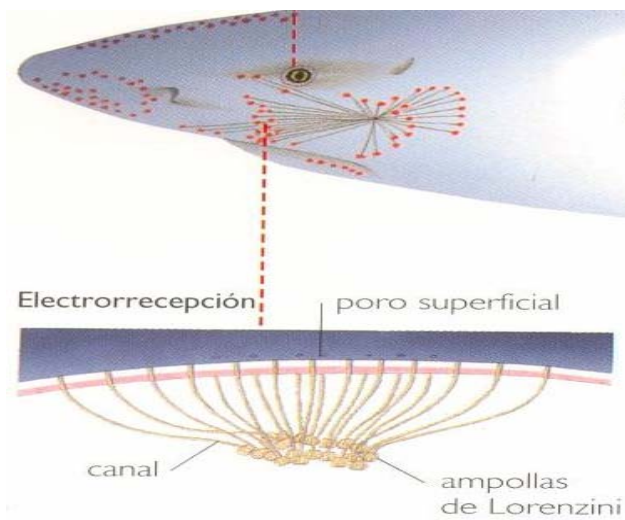


Figura 2: Grupo de poros supraorbital, bucal, hioideo y mandibular. (Tricas *et al*, 1998)

Las paredes del canal contienen grandes células con gran cantidad de mucopolisacárido que constituyen un gel que rellena el canal ampular. La porción basal del canal está constituido por células epiteliales escamosas. Estas células sensitivas están invadidas por ramificaciones del VII par craneal (nervio facial). Los diferentes tipos celulares encontrados en los canales ampulares tienen funciones específicas en los órganos sensoriales (Whitehead, 2002).

Preparaciones aisladas de las ámpulas de Lorenzini producen descargas rítmicas que se incrementan con el frío y se reducen con el calor. También son sensibles a los estímulos mecánicos y eléctricos débiles, así como a los cambios pequeños de salinidad (Lagler *et al*, 1977). Las ámpulas de Lorenzini poseen una mayor sensibilidad relacionada con las diferencias en el potencial eléctrico, como el generado por los movimientos musculares (Lagler *et al*, 1977).

En resumen, los peces cartilagosos están sensorialmente mucho mejor equipados que la mayoría de los vertebrados incluyendo a los humanos. La calidad de sus sentidos es sin duda una de las razones del éxito mostrado por su supervivencia a través de cientos de millones de años.

Hoy en día se conocen aproximadamente unas 1000 especies de peces cartilagosos. Viven en aguas saladas oceánicas; algunas especies penetran en las aguas salobres y en ríos, y solo unas pocas pasan toda su vida en agua dulce. La mayoría de las especies se encuentran en las costas y alrededor de las islas en los mares de aguas templadas (Hennemann, 2001).

Hay también muchas especies que habitan en profundidades de hasta 2000 m o más. (Hennemann, 2001)

## 2.- Antecedentes.

### 2.1 Ámpulas de Lorenzini

El estudio de la electrorecepción comienza con Lorenzini quien en 1678, es el primero en estudiar la ámpula y nos menciona que esta conectada a bombillas llenas de gel que comunican al exterior por poros y un largo canal lleno de gel. El rango de longitud del canal es de 1 a 25 cm y aproximadamente 0.1 cm de diámetro en elasmobranquios marinos. Fue el primero en proponer una función para estos órganos al encontrar un grosor inusual en las paredes del canal.

Posteriormente Metcalf en 1915, describe la histología general del sistema electrorreceptor nos dice que se presentan variaciones en especies de agua dulce, con microámpulas en comparación con las especies marinas que tienen grandes ámpulas de Lorenzini.

Sin embargo fue Kalmijn quien en 1966, demostró por primera vez que los elasmobranquios se orientaban por los campos bioeléctricos de la presa. Este trabajo fue seguido por el de Murray que en 1974, encontró que los tubos más largos de las ámpulas en sphyrnidos les otorgan una mayor sensibilidad a campos eléctricos uniformes pero no necesariamente a campos dipolares. Lo cual fue apoyado por Chu y Wen en 1979, quienes afirmaron que la amplia cabeza de los sphyrnidos les permite poseer tubos de las ámpulas más largos.

Un estudio más fino fue realizado por Tricas y New en 1998, quienes caracterizaron las propiedades de respuesta de las principales neuronas aferentes electrosensoriales en *Urolophus* a campos cercanos de umbrales débiles. Encontrando que las principales neuronas aferentes pueden codificar gradientes de campo eléctrico máximo de  $\leq 20 \text{ } \eta\text{Vcm}^{-1}$ , ajustados a un frecuencia de 1-2 Hz. Trabajando con otras especies, Cruce y colaboradores en 1999, describieron las proyecciones supraespinales del cerebro pudiendo identificar los núcleos de la formación reticular en *Platyrrhinoidis triseriata* y *Heterodontus francisci*. Identificaron más de 30 núcleos. La formación reticular les fue difícil de analizar porque carece de núcleos diferenciados con una clara reducción en sus funciones. Muchas descripciones de los núcleos cerebrales han enfatizado en los núcleos reticulares y con sus vías con funciones motoras o sensoriales. Para las

descripciones generales de los cerebros de elasmobranquios y sus núcleos, se basaron en los trabajos realizados por Smeets y Nieuwenhuys (1976), Northcutt (1978), y Smeets *et al.* (1983). Las proyecciones supraespinales en tiburones fueron descritas por Smeets y Timerick en 1981.

Ya en el siglo XXI tenemos a Kajiura quien en 2001, comparó la distribución de los poros electrosensoriales en *Sphyrna lewini*, *S. tiburo* y *Carcharhinus plumbeus*. Encontró que *Sphyrna lewini* tuvo una media de  $3067 \pm 158.9$  poros/cm<sup>2</sup>, *Sphyrna tiburo* de  $2028 \pm 96.6$  poros/cm<sup>2</sup> y *Carcharhinus plumbeus* de  $2317 \pm 126.3$  poros/cm<sup>2</sup>. Encontró que la densidad de poros es inversamente proporcional al tamaño del tiburón. También observó que en ambas especies de sphyrnidos había más poros sobre la superficie ventral de la cabeza mientras que las dos especies de carcharhinidos tenían una mayor distribución sobre las superficies dorsal y ventral de la cabeza. Esta diferencia en la distribución de los poros podría relacionarse ecológicamente con los hábitos alimenticios de la especie.

Mientras que Tricas en 2001, demostró que la morfología del ámpula permite la detección de pequeños campos eléctricos producidos por otros organismos también podrían detectar las largas y uniformes líneas del campo magnético de la Tierra.

Posteriormente Brown y colaboradores en 2002, determinaron de qué manera las propiedades eléctricas del gel que llena los canales ampulares en 3 especies de elasmobranquios *Triaenodon obesus*, *Carcharinus melanopterus* y *Carcharodon carcharias* contribuyen al sentido eléctrico. Encontraron que para todas las frecuencias medidas, el gel es altamente polarizable y presenta una constante dieléctrica relativamente grande. El tiempo de relajación del gel resultó ser inusualmente grande (alrededor de 1 ms). Un tiempo de relajación tan largo ayuda a la comunicación inmediata entre la ámpula y el exterior. La resistencia entre el poro y las células sensitivas es alrededor de 5 a 10 kΩ.

Un estudio conductual fue llevado a cabo por Kajiura y Holland en 2002, en donde compararon las reacciones conductuales en carcarinidos y sphyrnidos de tamaños similares a estímulos eléctricos semejantes. Encontraron que ambas especies

detectan y responden a campos eléctricos sumamente débiles ( $<1 \text{ nVcm}^{-1}$ ) presentando una modificación en su conducta durante el estímulo.

Así Whitehead en 2002, estudio la reacción del ámpula de Lorenzini, de un *Carcharhinus leucas* juvenil de agua dulce, a un estímulo eléctrico. Describió que cada ámpula contiene seis sacos alveolares y cada saco contiene cientos de células receptoras. Encontró que en ciertas regiones del canal ampular, de alrededor de  $50 \mu\text{m}$ , tienen invaginaciones en la pared, y estas zonas tienen células epiteliales cuboidales. La unión entre el canal, los sacos alveolares y las regiones de  $50 \mu\text{m}$  de la pared del ámpula, consiste en las células epiteliales cuboidales. Las células receptoras poseen un núcleo central y un disco sencillo de cinocilio que se extiende al lumen del ámpula. Cada célula receptora está rodeada por células de sostén. Los seis sacos alveolares se unen en el centro de cada ámpula en donde se encuentran una serie de células epiteliales escamosas alrededor de las áreas laterales y células epiteliales columnares a lo largo del vértice.

Mientras que Kajjura en 2003, describió y cuantificó las respuestas de orientación a un estímulo eléctrico en tiburones *Sphyrna tiburo* recién nacidos. Encontrando que respondían mordiendo los dipolos eléctricos como si fueran presas naturales, a las 32 hrs después de su nacimiento, aproximadamente un tercio respondió a las 24 hrs sin una previa relación entre los estímulos eléctricos y la comida. Esto lo atribuyó a que poseen un sistema electrosensorial bien desarrollado casi al momento de nacer. que les permite detectar a su presa.

Por último tenemos los trabajos de Brown, Hughes y Russo quienes en 2004 estudiaron la función del gel y de los canales ampulares que lo contienen. Encontraron que un canal lleno de este gel permite un acceso más directo a la ámpula con el que esta asociado el poro. Además en un poro con las dimensiones típicas,  $5 \text{ cm}$  de largo y  $1 \text{ mm}$  de diámetro, tiene una resistencia de  $20 \Omega\text{cm}$ . Observaron que la resistencia eléctrica de poro a poro es independiente de la distancia entre los poros. También encontraron que la resistencia a lo largo del canal es 150 veces más grande que la resistencia de poro a poro. Encontrando

que el gel evita la transferencia rápida de iones, que de darse genera una diferencia de potencial dentro del canal.

## 2.2 Sistemática según Lagler et al, 1977.

Phylum *Chordata*

Subphylum *Vertebrata*

Clase *Chondrichthyes*

Subclase *Elasmobranchii*

Orden *Squaliformes*

Familia *Sphyrnidae*

Especies *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834)

*Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758)

Familia *Carcharhinidae*

Especie *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson, 1836)

## 2.3 Biología de los organismos

### 2.3.1 *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) “cornuda” (Figura 3)

Es el miembro más abundante de la familia, con un tamaño típico de entre 250 y 300 cm con un máximo de 420 cm. Presenta la porción anterior de la cabeza expandida lateralmente en 2 lóbulos cefálicos, dando a la cabeza una forma similar a martillo; se diferencia de las demás especies por tener el borde de ataque de la cabeza ancho y curvado hacia atrás, con una destacada hendidura en el centro y 2 lóbulos más pequeños a cada lado. La forma ancha y aplanada proporciona la fuerza de sustentación durante la natación, aumentando considerablemente la eficiencia hidrodinámica. El incremento de la superficie permite la expansión de muchos sistemas sensoriales importantes. Los ojos y las narinas se sitúan en los extremos de la cabeza; los electrorreceptores y la línea lateral cubren una superficie más amplia (Tricas et al, 1998).

Posee aletas pectorales de pequeñas dimensiones (en parte debido a la forma de la cabeza) con el extremo inferior negro. Las aletas pélvicas no tienen forma de hoz. El dorso es de color gris amarronado u oliváceo y el vientre blanco (Ferrari et al, 2001).



Se distribuye en la mayoría de las aguas tropicales y templadas, en zonas costeras sobre las plataformas continentales e insulares y en mar abierto alejados de la plataforma continental hasta profundidades de 300 m. También se adentran en bahías someras y estuarios (Tricas *et al*, 1998).

Su dieta consiste principalmente de organismos pelágicos como son peces óseos (sardinas, arenques, dorados, escorpiones, meros, anguilas y serpiente), otros tiburones y rayas, calamares, crustáceos y cefalópodos (Hennemann, 2001).

Forman estacionalmente cardúmenes inmensos en el mar de Cortés con fines de apareamiento, pero el número ha ido disminuyendo año con año debido a la intensa pesca comercial, no solo en México, sino en todo el mundo por lo que se considera que es un especie que está gravemente amenazada (Hennemann, 2001).

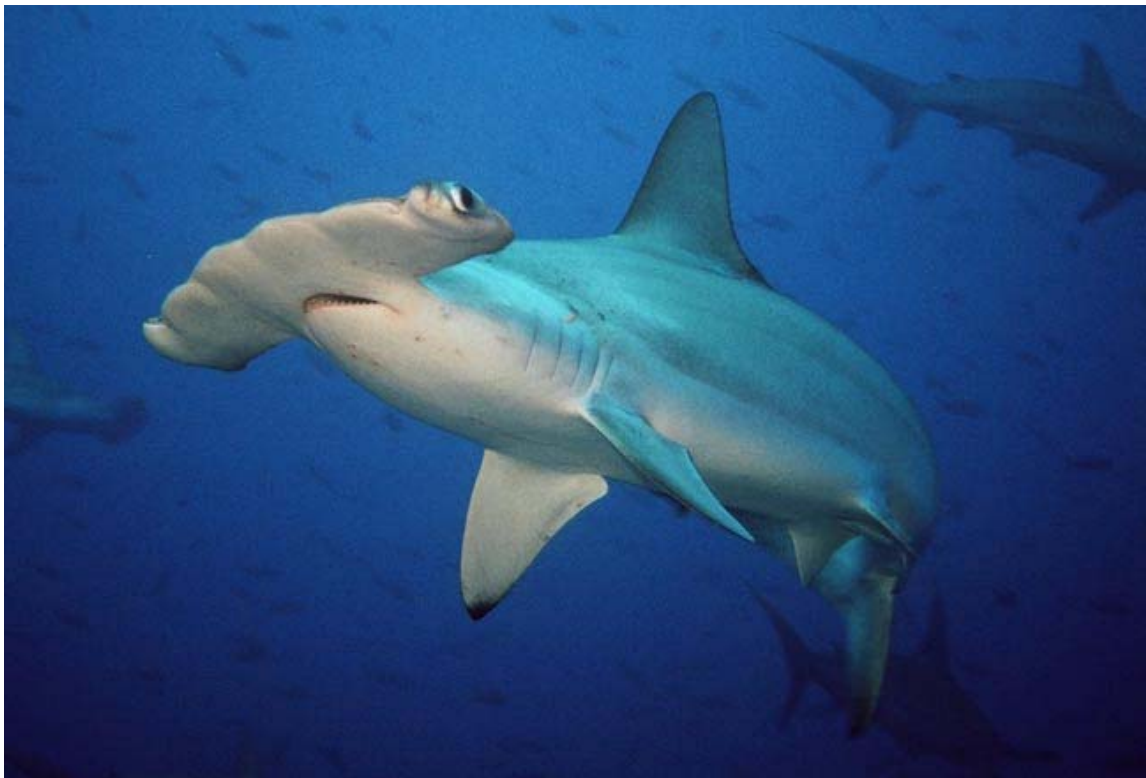


Figura 3: *Sphyrna lewini* (Burns, 2006)

### 2.2.2 *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758) “lanetón” (Figura 4)

Es un pez martillo de pequeño tamaño de entre 80 y 120 cm, con un máximo de 150cm. Se diferencia de las otras especies de la familia por su cabeza lisa, redondeada y en forma de pala. El cuerpo tiene un color pardo grisáceo liso en el dorso que cambia gradualmente a un tono más pálido en el vientre. Las aletas pectorales son cortas y tienen el margen posterior recto. La aleta anal es ligeramente cóncava pero carece de muesca (Tricas *et al*, 1998).

Se distribuye en el Atlántico occidental (de Carolina del Norte hasta Brasil) y el Pacífico oriental (de California a Ecuador). Es abundante en la zona de rompientes, en bahías y estuarios, en arrecifes coralinos y rocosos, y sobre fondos arenosos o fangosos. También se encuentra en las aguas de la plataforma continental hasta unos 80 m de profundidad (Ferrari *et al*, 2001 y Tricas *et al*, 1998).

Se alimenta principalmente de organismos bentónicos como crustáceos y moluscos (cangrejos nadadores, gambas, gambas mantis, mejillones, percebes, isópodos, cefalópodos y pequeños peces (Hennemann, 2001).

Forma grandes bancos que migran a latitudes más cálidas durante el invierno y a otras más frías en verano (Ferrari *et al*, 2001).

Es una especie muy estudiada por su comportamiento migratorio y pequeño tamaño y por su relación con otros individuos de su misma especie (Tricas *et al*, 1998).



Figura 4: *Sphyrna tiburo* (Tricas *et al*, 1998)

### 2.2.3 *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson, 1836) “cazón ley” (Figura 5)

Se trata de un tiburón pequeño e inofensivo con una longitud de entre 80 y 110 cm con un máximo de 120 cm. Posee un morro alargado y parabólico con líneas labiales superiores alargadas y unos ojos relativamente grandes y adyacentes a la punta de la boca. A veces los flancos están salpicados de puntos blancos y las aletas bordeadas de blanco. La primer aleta dorsal es mucho mayor que la segunda, las aletas pectorales son cortas y las pélvicas muy pequeñas. La aleta anal parte del frente del origen de la segunda aleta dorsal y su margen posterior es ligeramente cóncavo o casi recto (Tricas *et al*, 1998 y Ferrari *et al*, 2001).

Están distribuidos por toda la costa norte de América y en el Golfo de México. Es un habitante común de las aguas someras litorales a lo largo de las plataformas continentales e insulares. Frecuenta los lechos de hierba marina, los arrecifes coralinos, estuarios y desembocadura de ríos pues tolera con facilidad salinidad baja pero no penetra demasiado en agua dulce (Tricas *et al*, 1998 y Ferrari *et al*, 2001).

Entre sus presas incluyen organismos de media agua, semipelágicos, como son pequeños peces óseos (arenques, anguilas serpiente, pejerreis, lábridos, pequeños carángidos, roncadore, mojarras, peces rana y lima), calamares, gambas, cangrejos, anélidos y gasterópodos (particularmente sus pies) (Hennemann, 2001).

Esta especie costera es comúnmente pescada para el consumo humano (Tricas *et al*, 1998).



Figura 5: *Rhizoprionodon terraenovae* (Tricas *et al*, 1998)

### 3.- Hipótesis.

Si el sistema de Lorenzini sirve para detectar presas, entonces especies con hábitos de alimentación diferentes deberán presentar a su vez, una distribución diferente de las áreas con poros cefálicos.

## 4.- Objetivos.

### 4.1 GENERAL

Comparar la distribución de poros del sistema de Lorenzini en *Sphyrna lewini*, *S. tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae*.

### 4.2 PARTICULARES

- a) Describir la distribución de poros del sistema de Lorenzini en *Sphyrna lewini*, *S. tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae*.
- b) Regionalizar la distribución de poros del sistema de Lorenzini en *Sphyrna lewini*, *S. tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae*.
- c) Comparar la distribución de los poros entre las tres especies.
- d) Correlacionar los hábitos alimenticios con la distribución de los poros.

## 5.- Material y Método

- 1.- Obtención de los especímenes, de cualquier sexo y edad, en el centro de distribución "La nueva Viga".
- 2.- Traslado de los especímenes al laboratorio de Anatomía Animal Comparada de la UMF, de la FES Iztacala, conservándolos en refrigeración.
- 3.- Identificación de los especímenes con las claves de Espinosa *et. al.*( 2004).
- 4.- Identificación superficial de las áreas con poros de Lorenzini en las caras dorsal y ventral de la región cefálica.
- 5.- Elaboración de un esquema de distribución superficial de las áreas con los poros de Lorenzini.
- 6.- Determinación de la densidad de poros de Lorenzini en número de poros por unidad de área (cm<sup>2</sup>).
- 7.- Comparación en base a la distribución y la densidad de los poros de Lorenzini entre las tres especies estudiadas utilizando el programa *Statistica versión 4.6*.
- 8.- Correlación de la distribución de los poros de Lorenzini con los hábitos alimenticios, entre las tres especies estudiadas.

## 6.- Resultados

### 6.1 Obtención de las cabezas.

Se obtuvieron 30 cabezas de tiburón, 10 de cada especie, utilizando de las branquias hacia adelante (Como se observa en la figura 6,7,8 y 9).

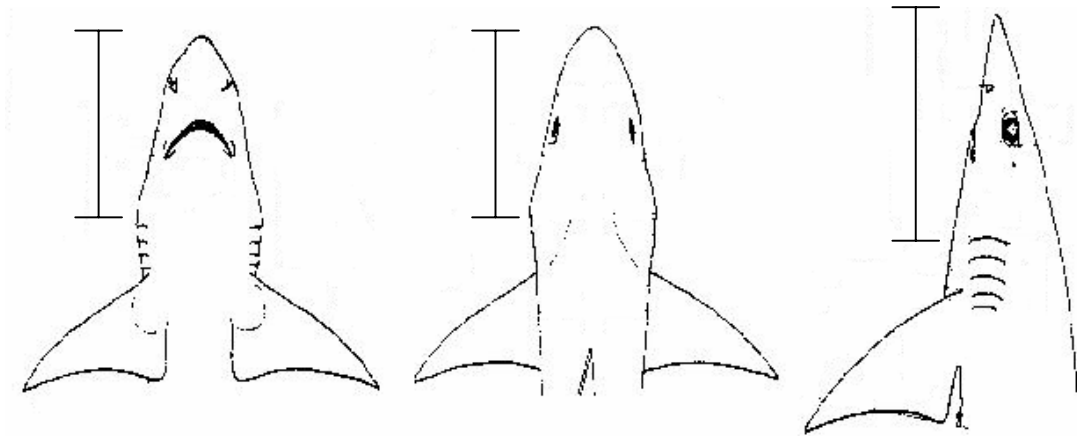


Figura 6: La línea indica la región estudiada, de la primer branquia hacia la parte anterior.

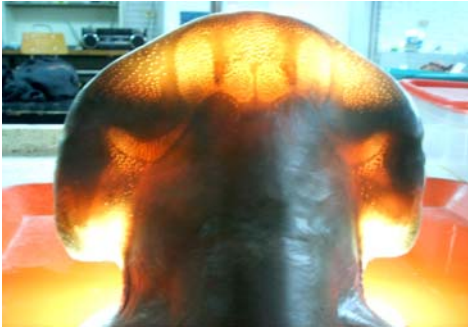


Figura 7: Foto de la vista dorsal en *Sphyrna tiburo*



Figura 8: Foto de la vista dorsal en *Sphyrna lewini*



Figura 9: Foto de la vista dorsal en *Rhizoprionodon terraenovae*

## 6.2 Determinación de las áreas.

Las áreas para realizar los esquemas de la distribución de los poros (Figura 10 y 11) se determinaron de acuerdo a las zonas donde se observaba la mayor densidad de poros, asignándose la nomenclatura de cada zona de acuerdo con Kajiura (2001), en la zona "a" se diferenciaron 2 mas en cada especie por lo que se asigno a1 a2 y a3.

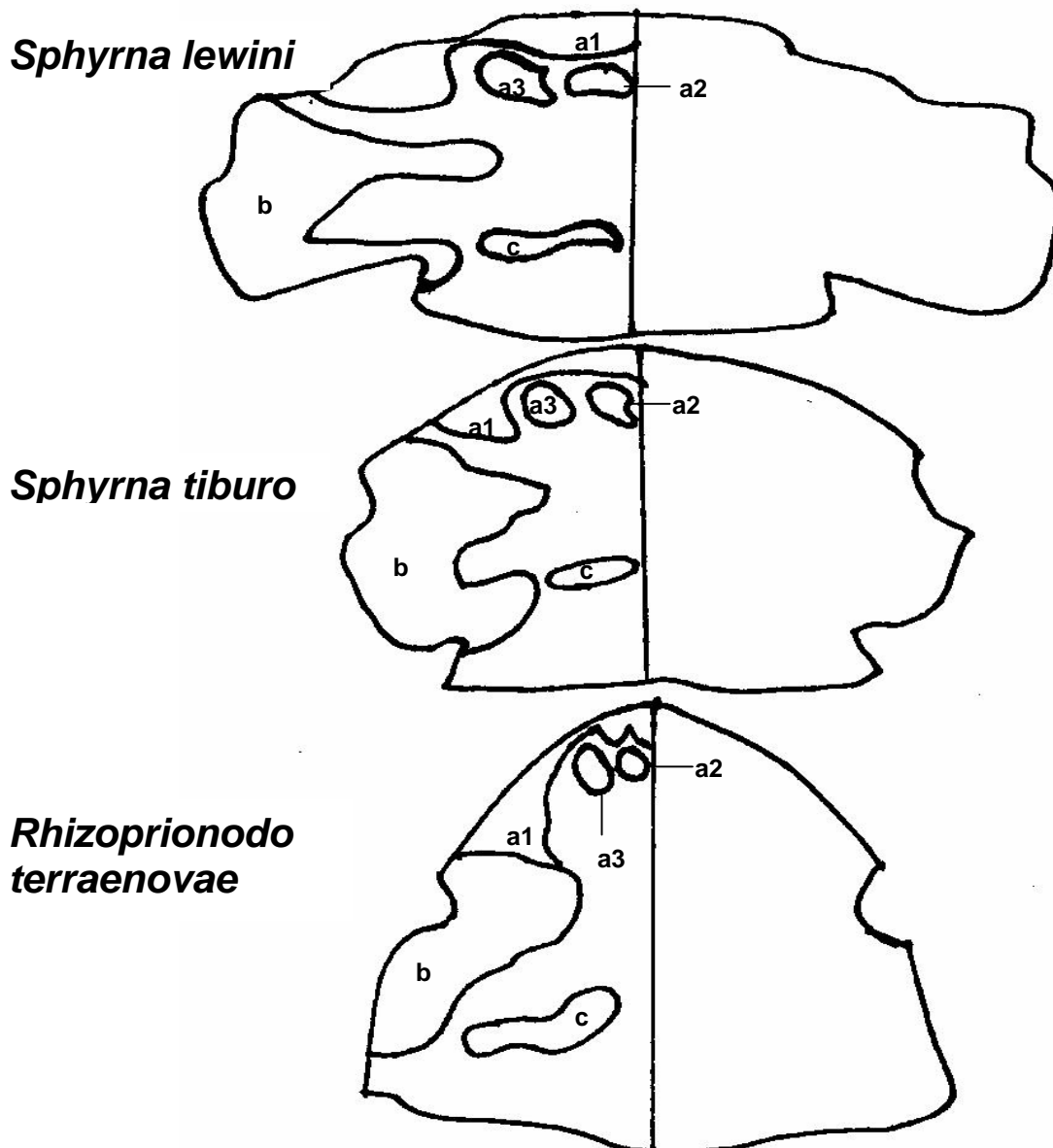


Figura 10: Patrones de distribución de las ámpulas de Lorenzini en la cara dorsal. Los poros ilustrados se subdividieron en 3 zonas (a-c).



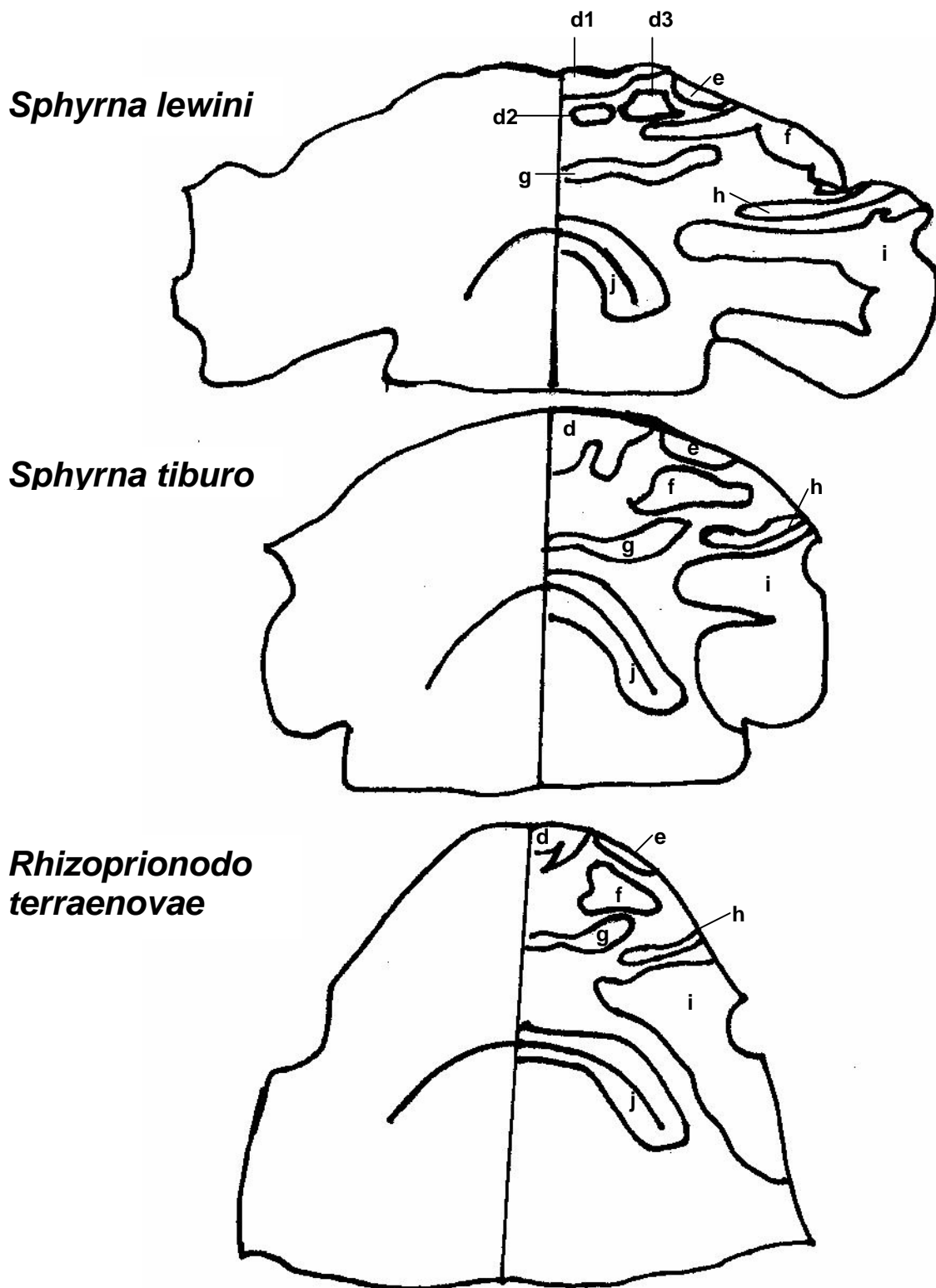


Figura 11: Patrones de distribución de las ámpulas de Lorenzini en la cara ventral. Los poros ilustrados se subdividieron en 7 zonas (d-j).

### 6.3 Determinación del número de poros.

El número de poros se determinó mediante el conteo de los poros presentes en  $1\text{cm}^2$  con 3 repeticiones al azar por especie, espécimen y zona, obteniendo el promedio y la desviación estándar. La densidad de los poros/ $\text{cm}^2$  y su desviación estándar para cada zona se muestra en la tabla 1.

Especie	Áreas dorsales	Poros/ $\text{cm}^2$	S	Áreas ventrales	Poros/ $\text{cm}^2$	S
<i>Sphyrna lewini</i>	a1	91.07	17.01	d1	22.27	5.22
	a2	698	90.02	d2	459.6	88.63
	a3	766.4	124.6	d3	64.8	11.51
	b	401.87	98.62	e	24.4	5.03
	c	34.27	5.69	f	56.54	13.23
				g	58.53	5.46
				h	96.67	19.44
				i	597.9	105.93
				j	710	113.14
	<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	a1	82.67	24.91	d	14.67
a2		338.8	113.18	e	214.27	92.24
a3		309.33	124.67	f	35.2	9.6
b		40.67	15.31	g	47.33	10.8
c		18.67	6.86	h	221.06	82.92
			i	70.67	19.97	
			j	225.33	91.67	
<i>Sphyrna tiburo</i>	a1	59.74	15.42	d	16.13	2.39
	a2	242.34	65.92	e	141.2	28.74
	a3	250.27	48.52	f	26.67	5.48
	b	183.67	29.93	g	26.27	3.83
	c	18.27	4.87	h	108.67	24.92
				i	46.67	12.27
				j	109.47	25.8

Tabla 1: Muestra la densidad promedio en Poros/ $\text{cm}^2$  tanto dorsales como ventrales de las tres especies con su desviación estándar (S).

### 6.4 Análisis estadístico

Los valores de la densidad promedio por especie y área fueron utilizados para realizar el análisis estadístico utilizando el programa *Statistica versión 4.6*.

El análisis que se efectuó fue ANOVA y la prueba de Tukey obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

Áreas	F	P observada
a1	6.8744	0.003862
a2	68.4870	0.000001
a3	71.6255	0.000001
b	91.4287	0.0000001
c	24.2127	0.000001
d	232.5362	0.001
e	29.3972	0.0000001
f	23.8917	0.000001
g	49.972	0.0000001
h	17.9390	0.000011
i	247.4120	0.001
j	139.2227	0.0000001

Tabla 2: Muestra el análisis de varianza en cada área.

<b>a1</b>	
Especie	Poros/cm <sup>2</sup>
<i>Sphyrna tiburo</i>	59.74
<i>Sphyrna lewini</i>	91.07
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	59.74

Tabla 3: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **a1** en las tres especies.

<b>a1</b>			
Especie	(1)	(2)	(3)
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.003762	0.036762
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.003762		0.607757
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.036762	0.607757	

Tabla 4: Resultados de prueba de Tukey del área **a1**.

<b>a2</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	242.34
<i>Sphyrna lewini</i>	698
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	338.8

Tabla 5: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **a2** en las tres especies.

<b>a2</b>			
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000127	0.065732
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000127		0.000127
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.065732	0.000127	

Tabla 6: Resultados de prueba de Tukey del área **a2**.

<b>a3</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	250.27
<i>Sphyrna lewini</i>	766.4
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	309.33

Tabla 7: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **a3** en las tres especies.

<b>a3</b>			
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000127	0.434335
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000127		0.000127
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.434335	0.000127	

Tabla 8: Resultados de prueba de Tukey del área **a3**.

<b>b</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	183.67
<i>Sphyrna lewini</i>	401.87
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	40.67

Tabla 9: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **b** en las tres especies.

<b>b</b>			
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000127	0.000157
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000127		0.000127
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.000157	0.000127	

Tabla 10: Resultados de prueba de Tukey del área **b**.

<b>c</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	18.27
<i>Sphyrna lewini</i>	34.27
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	18.67

Tabla 11: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **c** en las tres especies.

<b>c</b>			
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000130	0.987347
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000130		0.000131
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.987347	0.000131	

Tabla 12: Resultados de prueba de Tukey del área **c**.

<b>d</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	16.13
<i>Sphyrna lewini d1</i>	22.27
<i>Sphyrna lewini d2</i>	459.6
<i>Sphyrna lewini d3</i>	64.8
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	14.67

Tabla 13: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **d** en las tres especies.

<b>d</b>					
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>	<b>(5)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.997010	0.000134	0.067861	0.999990
<i>Sphyrna lewini d1</i> (2)	0.997010		0.000134	0.142377	0.993093
<i>Sphyrna lewini d2</i> (3)	0.000134	0.000134		0.000134	0.000134
<i>Sphyrna lewini d3</i> (4)	0.067861	0.142377	0.000134		0.056079
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (5)	0.999990	0.993093	0.000134	0.056079	

Tabla 14: Resultados de prueba de Tukey del área **d**.

<b>e</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	141.2
<i>Sphyrna lewini</i>	24.4
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	214.27

Tabla 15: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **e** en las tres especies.

<b>e</b>			
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000323	0.018408
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000323		0.000127
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.018408	0.000127	

Tabla 16: Resultados de prueba de Tukey del área **e**.

f	
Especie	Poros/cm <sup>2</sup>
<i>Sphyrna tiburo</i>	26.67
<i>Sphyrna lewini</i>	56.54
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	35.2

Tabla 17: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área f en las tres especies.

f			
Especie	(1)	(2)	(3)
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000127	0.153383
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000127		0.000264
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.153383	0.000264	

Tabla 18: Resultados de prueba de Tukey del área f.

g	
Especie	Poros/cm <sup>2</sup>
<i>Sphyrna tiburo</i>	26.27
<i>Sphyrna lewini</i>	58.53
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	47.33

Tabla 19: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área g en las tres especies.

g			
Especie	(1)	(2)	(3)
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000127	0.000128
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000127		0.005644
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.000128	0.005644	

Tabla 20: Resultados de prueba de Tukey del área g.

<b>h</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	108.67
<i>Sphyrna lewini</i>	96.67
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	221.06

Tabla 21: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **h** en las tres especies.

<b>h</b>			
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.860483	0.000226
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.860483		0.000149
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.000226	0.000149	

Tabla 22: Resultados de prueba de Tukey del área **h**.

<b>i</b>	
<b>Especie</b>	<b>Poros/cm<sup>2</sup></b>
<i>Sphyrna tiburo</i>	46.67
<i>Sphyrna lewini</i>	597.9
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	70.67

Tabla 23: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área **i** en las tres especies.

<b>i</b>			
<b>Especie</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000127	0.671667
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000127		0.000127
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.671667	0.000127	

Tabla 24: Resultados de prueba de Tukey del área **i**.



j	
Especie	Poros/cm <sup>2</sup>
<i>Sphyrna tiburo</i>	109.47
<i>Sphyrna lewini</i>	710
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	225.33

Tabla 25: Muestra la densidad promedio en Poros/cm<sup>2</sup> del área j en las tres especies.

j			
Especie	(1)	(2)	(3)
<i>Sphyrna tiburo</i> (1)		0.000127	0.014237
<i>Sphyrna lewini</i> (2)	0.000127		0.000127
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (3)	0.014237	0.000127	

Tabla 26: Resultados de prueba de Tukey del área j.

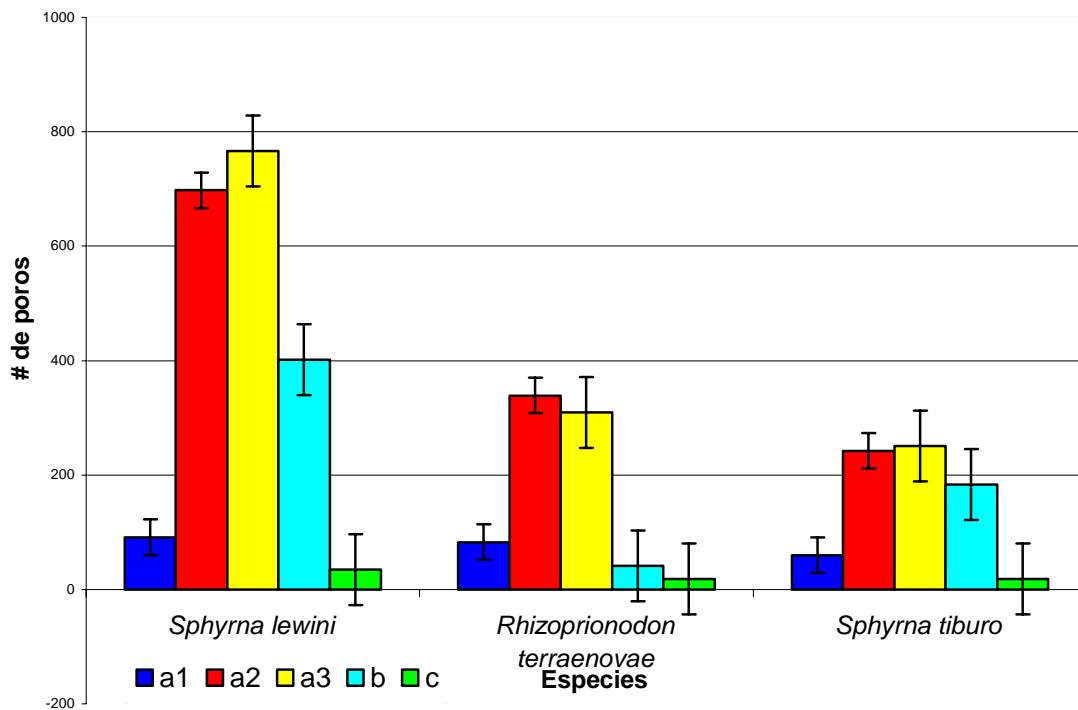


Gráfico 1: Promedio de poros/cm<sup>2</sup> en las áreas dorsales en las tres especies.

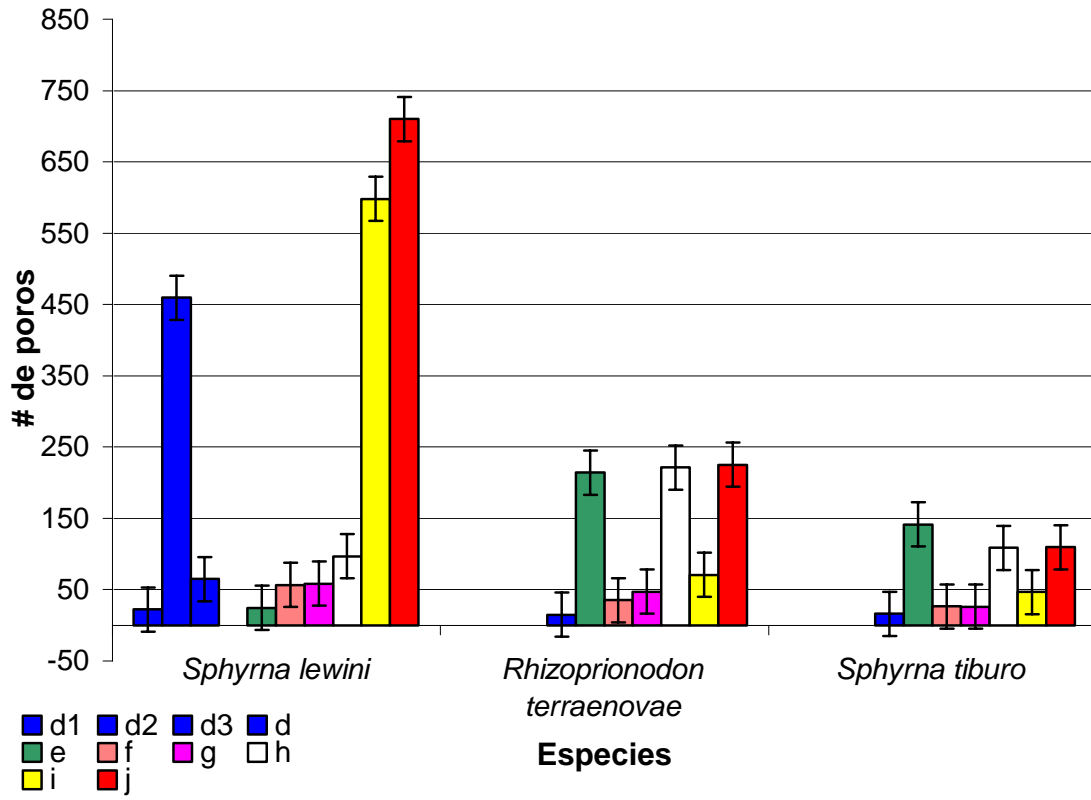


Grafico 2: Promedio de poros/cm<sup>2</sup> en las áreas ventrales en las tres especies.

## 7.- Análisis de Resultados y Discusión.

### 7.1 Patrones de distribución

Se ha encontrado mayor número de zonas en la superficie ventral (d-j) que en la dorsal (a-c) en las tres especies (Figura 10 y 11), pero existe una mayor densidad de poros en la zonas dorsales. La distribución de los poros difiere en las especies, encontrándose que *Sphyrna lewini* presenta mayor densidad promedio seguida por *Rhizoprionodon terraenovae* y por último *Sphyrna tiburo* (Tabla 1). Esto se puede atribuir a la diferente morfología cefálica, al igual que sus hábitos alimenticios.

A diferencia del trabajo realizado por Kajiura (2001) se diferenciaron dos áreas adicionales (a2 y a3) en los patrones de distribución de los poros en la superficie dorsal en las tres especies.

En la superficie ventral solo en *S. lewini* se diferenciaron 2 áreas adicionales (d2 y d3) en los patrones de distribución de poros, en las otras dos especies no hay diferencia con las áreas dadas por Kajiura (2001).

Las áreas de distribución obtenidas concuerdan en general con las obtenidas por Kajiura (2001) teniendo a *S. lewini* con el mayor promedio de poros  $4082 \pm 197.3$  seguido por el carcharhinido con promedio de  $1618 \pm 118.78$ , en este caso *Rhizoprionodon terraenovae*, y por último *Sphyrna tiburo* con un promedio de  $1229 \pm 85.61$ .

Sin embargo, Kajiura consideró que el promedio de densidad de poros posee una mayor eficiencia en la comparación debido a que elimina el efecto de tamaño, consideración que no realiza Kajiura (2001).

### 7.2 Comparación del número de poros.

Al comparar la densidad de poros para el área **a1** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies (  $F = 6.8744$   $p = 0.003862$  ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna tiburo* posee la menor densidad de poros (  $\bar{y}$  *S. tiburo* =  $59.74$  Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.003762$  ) mientras que *Sphyrna lewini* y *Rhizoprionodon terraenovae* tuvieron la mayor

cantidad de poros/cm<sup>2</sup> pero no existieron diferencias significativas entre si (  $\bar{y}$  *S. lewini* = 91.07 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 82.67 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.607757 ).

Al comparar la densidad de poros para el área **a2** se encontró que existen diferencias significativas entre las especies( F = 68.4870 p = 0.000001 ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey encontrándose que *Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros (  $\bar{y}$  *S. lewini* = 698 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.000127 ) que *Sphyrna tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae* en los cuales no se encontraron diferencias significativas entre ellos (  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 242.34 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 338.8 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.065732).

Al comparar la densidad de poros para el área **a3** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies ( F = 71.6255 p = 0.000001 ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini* posee una mayor densidad de poros (  $\bar{y}$  *S. lewini* = 766.4 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.000127 ) que *Sphyrna tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae* no existiendo diferencias significativas entre ellos (  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 250.27 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 309.33 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.434335 ).

Al comparar la densidad de poros para el área **b** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies (F = 91.4287 p = 0.0000001), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros (  $\bar{y}$  *S. lewini* = 401.87 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.000127) que *Sphyrna tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae* no existiendo diferencias significativas entre ellos (  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 183.67 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 40.67 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.000157 ).

Al comparar la densidad de poros para el área **c** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies (F = 24.2127 p = 0.000001), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros (  $\bar{y}$  *S. lewini* = 34.27 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.000130 ) que *Sphyrna tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae* no existiendo diferencias significativas entre ellos (  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 18.27 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 18.67 Poros/cm<sup>2</sup> p = 0.987347 ).

Al comparar la densidad de poros para el área **d** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies ( $F = 232.5362$   $p = 0.001$ ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini d2* posee la mayor densidad de poros ( $\bar{y}$  *S. lewini d2* = 459 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.000134$ ) mientras que *Sphyrna lewini d3*, *Sphyrna lewini d1*, *Sphyrna tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae* no tuvieron diferencias significativas entre si ( $\bar{y}$  *S. lewini d3* = 64.8 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.142377$ ,  $\bar{y}$  *S. lewini d1* = 22.27 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = .997010$ ,  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 16.13 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 14.67 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = .999990$ ).

Al comparar la densidad de poros para el área **e** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies ( $F = 29.3972$   $p = 0.000001$ ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Rhizoprionodon terraenovae* posee la mayor densidad de poros ( $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 214.27 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.018408$ ) seguido por *Sphyrna tiburo* ( $\bar{y}$  *S. tiburo* = 141.2 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = .0000323$ ) y por último *Sphyrna lewini* ( $\bar{y}$  *S. lewini* = 24.4 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.000127$ ).

Al comparar la densidad de poros para el área **f** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies ( $F = 23.8917$   $p = 0.000001$ ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros ( $\bar{y}$  *S. lewini* = 56.54 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.000127$ ) que *Sphyrna tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae* no existiendo diferencias significativas entre si ( $\bar{y}$  *S. tiburo* = 26.67 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 35.2 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.153383$ ).

Al comparar la densidad de poros para el área **g** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies ( $F = 29.3972$   $p = 0.000001$ ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros ( $\bar{y}$  *S. lewini* = 58.53 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.005644$ ) seguido por *Rhizoprionodon terraenovae* ( $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 47.33 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.000128$ ) y por último *Sphyrna tiburo* ( $\bar{y}$  *S. tiburo* = 26.27 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = .000128$ ).

Al comparar la densidad de poros para el área **h** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies (  $F = 17.9390$   $p = 0.000011$  ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Rhizoprionodon terraenovae* posee la mayor densidad de poros (  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 221.06 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.000226$  ) que *Sphyrna tiburo* y *Sphyrna lewini* no existiendo diferencias significativas entre ellos (  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 108.67 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *S. lewini* = 96.67 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.860483$  ).

Al comparar la densidad de poros para el área **i** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies (  $F = 247.4120$   $p = 0.001$  ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros (  $\bar{y}$  *S. lewini* = 597.9 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.000127$  ) que *Sphyrna tiburo* y *Rhizoprionodon terraenovae* no existiendo diferencias significativas entre ellos (  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 46.67 Poros/cm<sup>2</sup> y  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 70.67 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.671667$  ).

Al comparar la densidad de poros para el área **j** se encuentra que existen diferencias significativas entre las especies (  $F = 139.2227$   $p = 0.000001$  ), por lo que se procedió a aplicar la prueba de Tukey en donde se encontró que *Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros (  $\bar{y}$  *S. lewini* = 710 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.000127$  ) seguido por *Rhizoprionodon terraenovae* (  $\bar{y}$  *R. terraenovae* = 225.33 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.014237$  ) y por último *Sphyrna tiburo* (  $\bar{y}$  *S. tiburo* = 109.47 Poros/cm<sup>2</sup>  $p = 0.014237$  ).

Área	Comparación
a1	(1=3) > 2
a2	1 > (2=3)
a3	1 > (2=3)
b	1 > (2=3)
c	1 > (2=3)
d	d2 > (2=3=d1=d3)
e	3 > 2 > 1
f	1 > (2=3)
g	1 > 3 > 2
h	3 > (1=2)
i	1 > (2=3)
j	1 > 3 > 2

Tabla 27: Comparación de las áreas. 1= *S. lewini*, 2= *S. tiburo*, 3= *R. terraenovae*

*Sphyrna lewini* posee la mayor densidad de poros/cm<sup>2</sup> en casi todas las áreas dorsales y ventrales de distribución de las ámpulas de Lorenzini, siendo el mayor en las cinco áreas dorsales, en las que solo en uno comparte con *R. terraenovae*, y en cinco de las siete ventrales, en las que solo en uno es el menor. Los poros cubren una superficie más amplia ajustándose a la ancha y aplanada cabeza; esto le permite tener mayor sensibilidad a los impulsos eléctricos generados por presas potenciales, por lo que se alimenta tanto en la zona pelágica como en la bentónica de presas como son peces óseos (sardinias y arenques), otros elasmobranquios, crustáceos y cefalópodos, que a diferencia de las presas de la misma zona de las cuales se alimentan *R. terraenovae* y *S. tiburo*, estas son más rápidas.

*Rhizoprionodon terraenovae* es en cuatro de las cinco áreas de distribución dorsales estadísticamente igual a *S. tiburo*, con excepción de un área que es igual a *S. lewini*, presentando la mayor densidad de poros/cm<sup>2</sup>. En dos de las siete áreas de distribución ventrales es el mayor, en tres es estadísticamente igual a *S. tiburo* y en las dos restantes es intermedio entre *S. tiburo* y *S. lewini*. Pero su dieta es más parecida a la de *S. lewini* que a la de *S. tiburo*, es decir, se alimenta de presas pelágicas de media agua pero también algunas bentónicas.

La especie que en ninguna de las áreas de distribución presenta la mayor densidad de poros/cm<sup>2</sup> es *Sphyrna tiburo*, como se mencionó anteriormente en cuatro de las cinco áreas de distribución dorsales y en tres de las siete áreas ventrales es estadísticamente igual a *R. terraenovae*. Solamente en un área ventral es igual a *S. lewini* y en una intermedia entre *R. terraenovae* y *S. lewini* en todas las demás es menor. Por lo que es más semejante a *R. terraenovae* que a *S. lewini*, alimentándose principalmente en fondos arenosos y fangosos de presas principalmente bentónicas, como son cangrejos nadadores, gambas y gambas mantis, mejillones y cefalópodos.

## 8.- Conclusiones y comentarios.

En base a lo anterior se concluye que en las especies estudiadas existe una clara correlación entre los hábitos alimenticios y la densidad de poros no existiendo a su vez una semejanza en la distribución de las áreas de poros cefálicos. En este estudio se encontró que solamente el área "d" de los patrones de distribución de los poros en *S. lewini* se dividió en 3 (d1, d2 y d3), a diferencia de las otras especies en las que se encontró solamente "d".

Los organismos que poseen una dieta pelágica o semipelágica (*S. lewini* y *R. terraenovae*) presentan una mayor densidad promedio de poros que los organismo con dieta bentónica (*Sphyrna tiburo*).

La modificación cefálica del grupo de los sphyrnidos conlleva a una mayor área de distribución de los poros pero no necesariamente a una mayor densidad de estos.

La densidad de los poros es inversamente proporcional al tamaño, teniendo así una mayor densidad de poros en crías que en adultos. El número de poros no aumenta solo se incrementa su área de distribución. Esto podría explicar los hábitos alimenticios bentónicos que presentan los tiburones en sus primeras etapas de crecimiento.

En este estudio se incluyeron tanto crías, adultos, machos y hembras de las tres especies, haría falta realizar un estudio considerando el tamaño del organismo, el sexo y otro sobre la relación entre la densidad de poros y la efectividad al cazar.



## 9.- Apéndices

### 1. Prueba de Tukey. (Daniel, 2001)

El procedimiento de comparación múltiple desarrollado por Tukey se utiliza frecuentemente para probar la hipótesis nula respecto a la igualdad de todos los posibles parámetros de medias del tratamiento cuando todas las muestras son del mismo tamaño. Cuando se utiliza esta prueba, se elige un nivel global de significación de  $\alpha$ . La probabilidad es  $\alpha$ , entonces, que uno o más de las hipótesis nulas es falsa.

La prueba de Tukey, que generalmente se conoce como prueba DVS (diferencia verdaderamente significativa), utiliza un solo valor contra el que se comparan todas las diferencias. Este valor, llamado DVS, se obtiene mediante

$$DVS = q_{\alpha, k, N-k} \sqrt{\frac{CM_{residual}}{n}}$$

donde  $\alpha$  es el nivel de significación elegido,  $k$  es el número de medias en el experimento,  $N$  es el total de observaciones en el experimento,  $n$  es el número de observaciones en un tratamiento, ECM es el error o el cuadrado medio dentro de los grupos de la tabla ANOVA, y  $q$ , que se obtiene de la tabla H del apéndice I con  $\alpha$ ,  $k$  y  $N-k$ .

Se calculan todas las diferencias posibles entre los pares de medias y cualquier diferencia que proporcione un valor absoluto que exceda la DVS se considera significativo.

## 10. - Bibliografía

- Brown B. R., M. E. Hughes y C. Russo. 2004. Infrastructure in the Electric Sense: Admittance Data from Shark Hydrogels. **J. Comp. Physiol A**: 1-14pp.
- Brown B. R., J. C. Hutchison, M. E. Hughes, D. R. Kellogg y R. W. Murray. 2002. Electrical characterization of gel collected from shark electrosensors. **Physical Review E**, 65(061903): 1-5pp.
- Burns T. 2006. <http://www.elasmodiver.com/scalloped%20hammerhead.htm>
- Cruce W. L.R., S. Stuesse y G. Northcutt. 1999. Brainstem neurons with descending projections to the spinal cord of two elasmobranch fishes: Thornback Guitarfish, *Platyrrhinoidis triseriata*, and Horn Shark, *Heterodontus francisci*. **The Journal of comparative Neurology** 403: 534-560pp.
- Chu Y. T. y Wen M. C. 1979. A Study of the Lateral-Line Canal System and that of Lorenzini Ampulla and Tubules of Elasmobranchiate Fishes of China. **Monograph of Fishes of China**, 2.
- Duman C. H. 1997. Short-latency interneurons in the dorsal nucleus of the little skate, *Raja erinacea*. **Brain Research** 771: 80–88pp.
- Espinosa P. H., J. L. Castro-Aguirre y C. L. Huidobro. 2004. **IX Catálogo sistemático de tiburones (Elasmobranchii: Selachimorpha)**. Instituto de Biología UNAM. 134pp.
- Ferrari A. A., Ferrari M. y Oldani R. 2001. Todo escualos. Grijalbo. 188,189, 191 pp
- Gibbs M. A. 2004. Lateral Line Receptors: Where Do They Come from Developmentally and Where Is Our Research Going?. **Brain behavior evolutions**, 64: 163-181pp.
- Hennemann M. R. 2001. **Guía de tiburones y rayas del mundo**. Grupo Editorial M&G Difusión. 7-9 pp.
- Kalmijn A. 1966. Electro-perception in sharks and rays. **Nature**, 212: 1232–1233pp.

- Kajiura S. M. 2001. Head morphology and electrosensory pore distribution of carcharhinid and sphyrnid sharks. **Environmental Biology of Fishes**, 61: 125-133pp.
- Kajiura S. M. 2003. Electroreception in neonatal bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo*. **Marine Biology**, 143: 603–611pp.
- Kajiura S. M. y K. N. Holland. 2002. Electroreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks. **The Journal of Experimental Biology**, 205: 3609-3621pp.
- Lagler K. F., J. E. Bardach, R. R. Miller, D. R. May Passino. 1977. **Ictiología**. AGT Editor. 342-371pp.
- Lorenzini S. 1678. Osservazioni intorno alle torpedini. **Lorenzini, Firenze**. 24-25 pp. (translation from the Italian by Waltman B., 1966)
- Metcalf H.E. 1915. The ampulla of Lorenzini in *Acanthais vulgaris*. **Trans. Amer. Micro. Soc**, 34: 131–148pp.
- Murray R. W. 1974. The ampullae of Lorenzini. Electroreceptors and Other Specialized Receptors in Lower Vertebrates. **Handbook of Sensory Physiology**, 3: 125-145pp.
- Northcutt RG. 1978. Brain organization in the cartilaginous fishes. **Sensory Biology of Sharks, Skates, and Rays**. 154: 117–193pp.
- Sisneros J. A. y Tricas T. C. 2002. Neuroethology and life history adaptations of the elasmobranch electric sense. **Journal of Physiology**, 96: 379–389pp.
- Smeets WJAJ, Nieuwenhuys R. 1976. Topological analysis of the brain stem of the sharks *Squalus acanthias* and *Scyliorhinus canicula*. **J Comp Neurol** 165: 333–368pp.
- Smeets WJAJ, Nieuwenhuys R, Roberts BL. 1983. The Central Nervous System of Cartilaginous Fishes. Structure and Functional Correlations. New York: Springer-Verlag.
- Smeets WJAJ, Timerick SJ. 1981. Cells of origin of two pathways descending to the spinal cord in two chondrichthyans, the shark *Scyliorhinus canicula* and the ray *Raja clavata*. **J Comp Neurol** 202: 473–491pp.

- Tricas T. C. y New J. G. 1998. Sensitivity and response dynamics of elasmobranch electrosensory primary afferent neurons to near threshold fields. **J Comp Physiol A**, 182: 89-101pp.
- Tricas T. C., Deacon K., Last P., McCosker J. E., Walker T. I. y Taylor L. 1998. Tiburones y rayas. Ediciones Omega. 188 pp.
- Tricas T. C. 2001. The neuroecology of the elasmobranch electrosensory world: why peripheral morphology shapes behavior. **Environmental Biology of Fishes**, 60:77-92pp.
- Whitehead D. L. 2002. Ampullary organs and electroreception in freshwater *Carcharhinus leucas*. **Journal of Physiology** 96: 391–395pp.
- Young J. Z., 1985. **La vida de los vertebrados**. Ediciones Omega. 153-156pp.