



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA.



Facultad de Ciencias Marinas.

“Determinación de edad del Tiburón Dormilón Búfalo (Heterodontus mexicanus), en la parte Norte del Golfo de California por medio de vértebras y espinas dorsales”

Tesis que para obtener el grado de OCEANÓLOGO presenta:

ALFONSO MEDELLÍN ORTIZ.

Director

Dr. Oscar Sosa Nishizaki.

Sinodal

M. en C. José Leonardo Castillo Géniz.

Sinodal

M. en C. Antonio Eliseo Almanza Heredia.

Ensenada, BC. Agosto 2004.

AGRADECIMIENTOS.

Al Doctor Oscar Sosa Nishizaki por darme la oportunidad de participar en el Laboratorio de Ecología Pesquera de CICESE, y ser parte del proyecto: "Biología y pesquería de los elasmobranquios en el Alto Golfo de California" (UCMEXUS-CONACYT-CICESE), así como en "Historias de vida, pesca y conservación de los elasmobranquios que habitan la reserva de la biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado" (SEMARNAT-2002-C01-1129); su tiempo, apoyo, confianza y apreciable amistad.

A los M. en C. Leonardo Castillo Géniz y Juan Carlos Pérez Jiménez, por sus enseñanzas, consejos, regaños, bromas y demás que hicieron más amenas todas las horas de espera en San Felipe y Puerto Peñasco. Como dicen: "Así es la vida del play boy pesquero".

A la M. en C. Carmen Rodríguez Medrano, técnica del laboratorio, por su disposición a enseñarme el uso del equipo, su paciencia, pláticas y amistad.

A Rubén Martínez Rocha por su apoyo y amistad incondicional.

A mis padres Columba Ortiz Arroyo y Alfonso Medellín Pelayo, y mi hermana Blanca, por fomentar siempre mi curiosidad, superación personal y profesional; por su apoyo y cariño incondicionales.

A mis abuelos Blanca Arroyo Porras y Daniel Ortiz Arcos, por su apoyo incondicional en todo momento, desde que recuerdo.

A mis primos Eduardo, Rodrigo y Raymundo por sus ideas, locuras, corduras y travesuras de toda la vida.

A mis amigos, Iván Méndez Loeza, Eduardo Prieto, y Luis E. Flores Viteri, por tantas horas de plática, comidas, estudio, fiestas y salidas.

A Ricardo Mendoza Pamplona, Juan Flores y Luis Malpica, por ser verdaderos compañeros y amigos en la escalada y de mi vida en Ensenada.

A Lizz González Moreno, por todo el tiempo que aguantó mis caras de preocupación, mi neurosis, y mis bromas; por su apoyo y cariño.

RESUMEN.

Se recolectaron 97 organismos del tiburón *Heterodontus mexicanus* (Taylor y Castro – Aguirre, 1972), durante el periodo comprendido entre mayo del 2002 y abril del 2004, a partir de las capturas de la pesca comercial basada en Puerto Peñasco (Son.) y artesanal del puerto de San Felipe, (BC). Poco se conoce acerca de la historia de vida de *Heterodontus mexicanus*. El presente estudio es la primera aproximación a la determinación y validación de la edad, evaluación del crecimiento y biología reproductiva de la especie. La edad se determinó por medio de vértebras de la porción de la columna vertebral por debajo de la primera aleta dorsal y la primera espina dorsal. Se utilizó el Análisis del Incremento Marginal para la validación de la periodicidad de la depositación en las vértebras. Se determinó que la relación radio vertebral – longitud total es de carácter lineal. No se encontraron diferencias significativas entre las regresiones de machos y hembras de la especie (ANCOVA, $P > 0.05$), por lo que se presenta una sola ecuación de regresión ($r^2 = 0.9487$). Se encontró que la relación peso total – longitud total fue: **Peso = $7 \times 10^{-06} \text{LT}^{3.0077}$** , que sugiere un crecimiento isométrico. Utilizando la técnica de tinción con rojo de alizarín y cortes longitudinales de las vértebras, se determinó la edad de 88 organismos por dos lectores. El porcentaje de Error Promedio (APE) por lector fue de 3.6 y 14.6 respectivamente. El Porcentaje de Acuerdo fue de 93.1 para el grupo de edad ± 3 bandas. La edad máxima observada fue de 24 bandas (hembra, 750 mm LT), mientras que la mínima fue de 1 banda (macho, 210 mm LT). Se calcularon los parámetros L_{∞} , k y t_0 de la ecuación de von Bertalanffy por medio del método de Mínimos Cuadrados no Lineales. No existieron diferencias significativas entre las curvas de crecimiento de machos y hembras de *H. mexicanus* (Análisis de la Suma de Cuadrados Residual ($P > 0.05$)), por lo que se calculó la curva de crecimiento para los sexos en conjunto utilizando los parámetros $L_{\infty} = 724 \text{ mm}$, $k = 0.1237$ y $t_0 = -3.712$. Se determinó la talla y edad de madurez para ambos sexos de *H. mexicanus* (540 mm y 8 bandas para hembras, 490 mm y 6 bandas para machos). El 64% de los organismos analizados presentaron un estado avanzado de madurez sexual. Se determinó que, debido a su función y morfología, las espinas dorsales no son estructuras confiables para la determinación de la edad de *H. mexicanus*. Con la actual distribución mensual y número de muestra, no se logró determinar el periodo de formación de una nueva banda de crecimiento.

ÍNDICE.

	PÁGINA.
INTRODUCCIÓN.....	(1)
ANTECEDENTES.....	(3)
DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE (COMPAGNO, 1995).....	(6)
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	(9)
HIPÓTESIS.....	(11)
OBJETIVOS.....	(11)
OBJETIVOS GENERALES.....	(11)
OBJETIVOS PARTICULARES.....	(11)
MATERIAL Y MÉTODOS.....	(12)
TRABAJO DE CAMPO.....	(12)
TRABAJO DE LABORATORIO.....	(14)
ANÁLISIS DE VALIDACIÓN.....	(18)
TRABAJO DE GABINETE.....	(18)
RESULTADOS.....	(21)
EDAD Y CRECIMIENTO.....	(21)
<i>Vértebras</i>	(21)
<i>Espinas Dorsales</i>	(23)
<i>Estructura por Edades</i>	(24)
<i>Incremento Marginal y Análisis del Borde de la Estructura</i>	(25)
<i>Relación Peso Total – Longitud Total</i>	(27)
<i>Precisión en la Determinación de Edad</i>	(28)
<i>Descripción del Crecimiento</i>	(30)
BIOLOGÍA REPRODUCTIVA.....	(31)

<i>Hembras</i>	(31)
<i>Machos</i>	(35)
DISCUSION	(38)
DATOS MORFOLÓGICOS.....	(38)
DETERMINACIÓN DE EDAD.....	(38)
BIOLOGÍA REPRODUCTIVA.....	(41)
CONCLUSIONES	(43)
LITERATURA CITADA Y CONSULTADA	(44)

ÍNDICE DE FIGURAS.

PÁGINA

FIGURA.

1. Hembra y macho de dormilón búfalo (<i>Heterodontus mexicanus</i> : Taylor y Castro-Aguirre, 1972).....	(8)
2. Localización del Área de Estudio.....	(10)
3. Medidas Corporales Utilizadas.....	(13)
4. Sección Longitudinal de una Vértebra.....	(16)
5. Equipo Utilizado en los Cortes.....	(17)
6. Histograma de Frecuencia de Tallas.....	(21)
7. Relación Radio Vertebral – Longitud Total.....	(22)
8. Relación Espinas Dorsales – Vértebras.....	(23)
9. Estructura de Edades.....	(24)
10. Intervalo de Tallas y Edad por sexo.....	(25)
11. Resultado del Análisis de Incremento Marginal.....	(26)
12. Porcentaje de Ocurrencia del tipo de Borde.....	(26)
13. Relación Longitud Total – Peso.....	(28)
14. Curva de Tendencia entre Lectores.....	(29)
15. Curva de Crecimiento de <i>H. mexicanus</i>	(31)
16. Aparato Reproductor: Hembra, 615 mm LT, 1700 g.....	(32)
17. Relación Longitud Total – Diámetro Glándula Oviductal.....	(32)
18. Relación Longitud Total – Diámetro Promedio de Ovocitos.....	(33)
19. Relación Longitud Total – Ancho Promedio de Útero.....	(33)
19a. Aparato Reproductor: Hembra, 580 mm LT, Cápsulas en Útero.....	(34)
20. Porcentaje de Hembras Maduras.....	(34)

21. Aparato Reproductor: Macho, 400 mm LT.....	(35)
22. Relación Longitud Total – Longitud del Clasper.....	(36)
23. Relación Longitud Total – Longitud del Testículo.....	(36)
24. Porcentaje de Machos Maduros.....	(37)

ÍNDICE DE TABLAS.

	PÁGINA
TABLA.	
I. Parámetros de las ecuaciones alométricas.....	(27)
II. Resultados de las pruebas de precisión.....	(29)
III. Porcentaje de Acuerdo (PA).....	(29)
IV. Parámetros de la ecuación de von Bertalanffy.....	(30)
V. Estimaciones de Longevidad.....	(30)

INTRODUCCIÓN.

Los elasmobranquios carecen de estructuras duras (tales como otolitos o huesos) que se utilizan comúnmente en los estudios de determinación de edad de los peces óseos (Cailliet *et al.*, 1986). No obstante, actualmente existe una gran variedad de métodos para poder determinar la edad y el crecimiento de los elasmobranquios. Los más comunes son el análisis de frecuencia de longitudes; los estudios de marcaje y recaptura; el conteo de bandas de crecimiento en las espinas dorsales, para aquellas especies que las poseen, y la lectura de marcas concéntricas formadas en las vértebras (Cailliet *et al.*, 1986). Debido a la comodidad que representa poder extraer solamente una porción de la columna vertebral o una espina, en lugar de coleccionar un organismo completo, la mayor información acerca del crecimiento en los elasmobranquios se ha derivado del conteo de las marcas concéntricas traslucidas y opacas presentes en las espinas y vértebras. Cailliet *et al.* (1983a) definen a estas marcas concéntricas como anillos y bandas, siendo los primeros las marcas concéntricas más delgadas que se observen, mientras que las segundas son las marcas más anchas compuestas por grupos de anillos y en la mayoría de los casos pueden tener un significado anual.

Las técnicas para realzar las bandas existentes en vértebras son variadas. Las más utilizadas son: la tinción con rojo de alizarín (LaMarca, 1966; citado en Cailliet *et al.*, 1983a, Gruber y Stout, 1983), tinción con nitrato de plata (Haskell, 1949; Stevens, 1975; citados en Cailliet *et al.*, 1983a) y radiografías de los centros vertebrales (Urist, 1961; Aesen, 1963; Applegate, 1967 citados en Cailliet *et al.*, 1983a).

El proceso de evaluación de la temporalidad de la depositación de zonas de crecimiento en peces se puede categorizar en términos de **validación** y **verificación**. La verificación se define como la confirmación de una estimación de edad realizando comparaciones entre dos métodos de datado; y la validación es la confirmación del significado temporal de la depositación un incremento en la estructura utilizada; es análogo a una prueba de la exactitud de una estimación de edad por comparaciones con métodos determinados (Cailliet, 1990). Las estimaciones de edad, tasas de crecimiento y longevidad suponen que la formación de anillos de crecimiento son un indicador fiel de la edad (Cailliet y Goldman, 2004). A pesar de lo anterior, pocos de los estudios de edad y crecimiento han validado la periodicidad en la depositación de las bandas en espinas y vértebras (Cailliet *et al.*, 1986b, Cailliet, 1990, Cailliet y Goldman, 2004).

Las técnicas de validación de edad más utilizadas son: experimentos de marcaje por medio de marcas externas, comúnmente colocadas bajo la primera aleta dorsal, junto con la inyección de tetraciclina u oxitetraciclina (Weber y Ridgway, 1962; Simkiss, 1974; Holden y Vince, 1973; Gruber y Stout, 1983 en Cailliet *et al.*, 1983a; Beamish y McFarlane, 1985; Tucker, 1985; Gelsleichter *et al.*, 1999) de forma intramuscular o ínter peritoneal para marcar las estructuras; y el análisis de incremento marginal relativo de la estructura utilizada para la determinación de edad (Cailliet, 1990; Sulikowoski *et al.*, 2003; Loefer *et al.*, 2003; Conrath *et al.*, 2002; Cailliet y Goldman, 2004).

ANTECEDENTES.

Applegate (1962) resalta que sólo 4 familias vivientes de tiburones presentan espinas en la primera aleta dorsal: Heterodontidae, Squalidae, Dalatiidae y Pristiophoridae. De acuerdo con Compagno (1995), son sólo 2 familias las que presentan espinas dorsales como diagnóstica: Heterodontidae y Squalidae. Holden y Meadows (1962), realizaron un estudio de la estructura de la espina del tiburón Mielga (*Squalus acanthias*) en las costas Escocesas y su uso en la determinación de edad. Los autores atribuyeron la variación de la exactitud de la determinación de edad con la segunda espina dorsal a 6 diferentes factores: las marcas de nacimiento, anillos dobles cerca de la punta, erosión basal del esmalte, anillos falsos, anillos dobles cerca de la base y los anillos de nacimiento. Con los datos obtenidos de las espinas calcularon los parámetros L_{∞} , K y t_0 del modelo de Von Bertalanffy para ambos sexos: 797 mm, 0.21 y -2.0 para los machos y 1014 mm, 0.11 y -3.6 para las hembras, respectivamente. Finalmente, concluyeron que la formación de anillos en las espinas es similar a la de los otolitos y es un reflejo de la historia de vida del pez.

Gruber y Stout (1983) realizaron un estudio de edad y crecimiento con el tiburón limón (*Negaprion brevirostris*) utilizando la tinción de vértebras con rojo de alizarín, así como marcaje biológico con tetraciclina en organismos en libertad y mantenidos en cautiverio. Además, probaron diferentes métodos de tinción para las vértebras, concluyendo que los mejores resultados se obtuvieron con el rojo de alizarín; también anotan que la dosis utilizada para marcar a los organismos (de 12.5 mg/kg) no fue suficiente para que se observara la marca producida por la tetraciclina en las vértebras bajo luz ultravioleta.

Tucker (1985) realizó un estudio de validación de edad con tetraciclina para *Squalus acanthias* marcando e inyectando un total de 1723 tiburones. Él encontró que la tetraciclina se depositó en 41 de los organismos recapturados; asimismo confirmó que las bandas translúcidas se forman en verano y que en conjunto con las bandas opacas representan un crecimiento anual.

Beamish y McFarlane (1985) validaron la formación de anillos en la segunda espina dorsal del tiburón Mielga (*Squalus acanthias*) de la costa oeste de Canadá utilizando la oxitetraciclina como marcador biológico; encontraron que la depositación de esmalte no es sincrónica con el crecimiento de la espina; además, determinaron que estudios anteriores habían subestimado la edad de esta especie, causando un mal entendimiento de los parámetros importantes de su historia de vida. Posteriormente, McFarlane y Beamish (1987a) reafirmaron las conclusiones de Tucker (1985) y propusieron una modificación al método de la segunda espina dorsal para la determinación de edad de *Squalus acanthias*.

Tanaka (1990) analizó la estructura de la espina dorsal del tiburón de profundidad *Centrophorus acus* en las costas de Japón, y su utilidad en la determinación de edad; encontró que existían más anillos de crecimiento en las capas de dentina interior, comparados con las capas media y externa de la espina. Asimismo encontró similitudes entre las espinas de *Squalus acanthias* y *Centrophorus acus*.

Saunders y McFarlane (1993), utilizando las modificaciones al método de determinación de edad con la segunda espina dorsal propuestas por McFarlane y Beamish (1987a), obtuvieron una L_{∞} de 11494 mm (LT), una K de 0.0437, una t_0 de

-3.557 y una edad de primera madurez de 35.5 años para hembras de *Squalus acanthias* en el estrecho de Georgia, Canadá.

Conrath *et al.* (2002) utilizaron el análisis de incremento marginal relativo (MIA por sus siglas en inglés) para validar la edad del tiburón perro *Mustelus canis* en el Atlántico Noroeste. Ellos reportaron incrementos máximos para vértebras colectadas en marzo (aproximados a 0.8) y observaron una caída pronunciada en dichos incrementos en el mes de mayo (valores cercanos a 0.3); con esto suponen que la formación de la banda ocurre en abril.

McLaughlin y O’Gower (1971) estudiaron la biología de la población del tiburón dormilón *Heterodontus portusjacksoni* en los arrecifes de Australia mediante equipo SCUBA; obtuvieron además, datos de la historia de vida de dichos tiburones manteniendo juveniles y adultos en cautiverio, así como de datos de capturas. Realizaron anotaciones acerca de la historia de vida desde una descripción general del ciclo de vida hasta migraciones, pero no ahondan en determinar la edad por medio de vértebras o espinas de la especie; simplemente se basaron en mediciones de longitud durante un periodo de tiempo (en organismos silvestres marcados).

Guardado-France (1976), en coordinación con el Instituto Nacional de la Pesca (INP), realizaron estudios ecológicos de los tiburones *H. francisci* y *H. mexicanus*, y de las rayas *Rhinobatos productus* y *Narcine entemedor* en Bahía Magdalena (BCS). Para machos y hembras de *H. mexicanus* mediante el cálculo de curvas de biomasa obtuvo una longitud máxima (L_{∞}) de 760 y 850mm, respectivamente. Él no reportó datos de crecimiento de dicha especie debido a problemas con la interpretación de las curvas de

captura. Como parte de sus recomendaciones, menciona realizar estudios de edad y crecimiento mediante vértebras para que dicha estimación sea más válida y puedan ser utilizadas de mejor manera en los planes de manejo para éstas especies de elasmobranquios.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE (Compagno, 1995).

Los tiburones de la Familia Heterodontidae (tiburones dormilones) poseen un cuerpo cilíndrico o levemente comprimido, con cabeza cónica y algo elevada; con 5 pares de aberturas branquiales a cada lado, las últimas tres por encima de las bases de las aletas pectorales. La boca es de tamaño moderado, arqueada y corta, situada muy por delante de los ojos; los dientes se encuentran altamente diferenciados a lo largo de la mandíbula, los anteriores son pequeños y provistos de una cúspide, los posteriores son más grandes, sin cúspide y molariformes; la mandíbula superior no posee pequeños dientes intermedios ni espacio entre los dientes anteriores y postero – laterales. Las especies de éste genero cuentan con dos aletas dorsales, cada una con una fuerte espina; el origen de la primera aleta dorsal está situado por encima de las bases o los bordes internos de las aletas pectorales; cuentan además con aleta anal. Las aletas pectorales son de tamaño moderado y sin lóbulos triangulares anteriores; las aletas pélvicas son moderadamente grandes, y sus bordes internos son continuos con el ano; la aleta caudal con lóbulos de longitud moderada, el ventral más corto que el dorsal. El eje de la columna vertebral se encuentra encorvado hacia adentro del lóbulo dorsal caudal. La válvula intestinal es de tipo espiral. Son tiburones demersales, de movimientos lentos, bastante comunes en aguas templadas cálidas y tropicales (de temperaturas superiores a los 21 °C). Viven por lo general sobre las plataformas continentales e insulares y en las regiones superiores del talud, tanto en el Pacífico occidental y oriental como en el Índico occidental. Pueden encontrarse desde la zona

intermareal hasta 257 m de profundidad, pero la mayoría de las especies viven a menos de 100 m. De acuerdo con los escasos reportes disponibles, los dormilones son activos de noche, nadando y reptando lentamente sobre fondos rocosos cubiertos de algas y sobre sustrato arenoso. Por lo menos algunas especies descansan de día, preferentemente en grietas y cavernas (Compagno, 1995).

El dormilón búfalo (*Heterodontus mexicanus* Taylor y Castro Aguirre, 1972) (Fig.1) posee crestas supraorbitarias bajas, que no terminan abruptamente detrás de los ojos; dientes molariformes en la región posterior de la boca, no redondeados y no muy expandidos, dotados de fuertes crestas mediales. El origen de la primera aleta dorsal está situado por encima de las bases de las aletas pectorales; el ápice de la aleta anal (plegada contra el cuerpo) alcanza el origen ventral de la caudal; la base de la aleta anal está comprendida de 1 a 2 veces en espacio entre el punto de inserción de la aleta y el origen ventral de la caudal. Las cápsulas ovígeras de esta especie poseen un par de gruesos rebordes espirales en T, transversales al eje de la cápsula con 5 vueltas visibles lateralmente, el ápice de la cápsula cuenta con filamentos muy largos. Tienen el cuerpo y aletas de color gris marrón claro y con grandes manchas negras dispersas, de diámetro generalmente igual o mayor que la mitad de la longitud del ojo; en algunos ejemplares se encuentra una franja clara transversal entre las crestas supraorbitarias en el espacio interorbitario (Compagno, 1995).

Se distribuye a lo largo de las costas del Golfo de California, desde la desembocadura del Río Colorado hasta las costas de Perú. Prefieren los fondos rocosos pero se les encuentra de igual manera en planicies arenosas y mantos de algas (de los 2 a los 150 m de profundidad). Se alimentan principalmente de

invertebrados de fondo, especialmente erizos, cangrejos y posiblemente abulones y, en menor grado, de pequeños peces (Compagno, 1995).

Esta especie es de interés mínimo para la pesca; se le captura como fauna de acompañamiento en las pesquerías camaroneras y otras faenas de arrastre en las aguas del Golfo de California; además, son frecuentemente arponeadas por buzos deportivos. Probablemente se utilice para la fabricación de harina, y las espinas dorsales se utilicen para artículos de joyería (Compagno, 1995).

Poco se conoce acerca de la historia de vida de ésta especie, por lo que con el presente estudio se pretende contribuir al conocimiento de la edad y crecimiento de *H. mexicanus*.



Fig.1. Hembra y macho de dormilón búfalo (*Heterodontus mexicanus*, Taylor y Castro-Aguirre, 1972).

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El Golfo de California es una entrada de agua angosta de 1,070 Km. de longitud localizada entre la península de Baja California y la costa de los estados de Sonora y Sinaloa; entre los 25° y 32° N y los 107° y 115° O, con una anchura de 135 Km. aproximadamente (Hernández-Becerril, 1985) (Fig.2).

Desde el punto de vista hidrográfico, el Golfo se ha dividido en cuatro partes: 1) Superior, entre la boca del Río Colorado e Isla Tiburón, que es somera y con fuertes corrientes de marea; 2) el Canal de Ballenas y Cuenca Salsipuedes, entre Baja California y las Islas Ángel de la Guarda y San Lorenzo, con fuerte mezcla por marea; 3) la parte inferior entre Isla Tiburón y una línea entre Cabo San Lucas y Mazatlán con salinidades superficiales altas; y 4) la entrada del Golfo como un área triangular entre Cabo San Lucas, Mazatlán y Cabo Corrientes conocida por una estructura termohalina complicada (Hernández-Becerril, 1985).

El Alto Golfo es somero (<200 m de profundidad) y plano, dominado por sedimentos terrestres. Hacia las islas localizadas en el sur (Isla Tiburón y Ángel de la Guarda) el fondo marino aumenta de profundidad (a más de 3,700 m). Las temperaturas medias son mayormente continentales con un intervalo entre los extremos de 8° y 33 °C (Bizzarro y O'Sullivan, 2000).

El flujo de las corrientes superficiales está altamente correlacionado con los patrones de viento, con direcciones de sureste para primavera e invierno, y noroeste para verano y otoño (Bizzarro y O'Sullivan, 2000).

La migración de especies, incluyendo tiburones pelágicos, está asociada con los patrones de corrientes dominantes. La combinación de las surgencias y el amplio flujo de mareas mezcla los nutrientes en la zona eutrófica, proporcionando una base alimenticia rica para el complejo y diverso ensamble de organismos marinos que habitan ésta región (Bizarro y O'Sullivan, 2000).

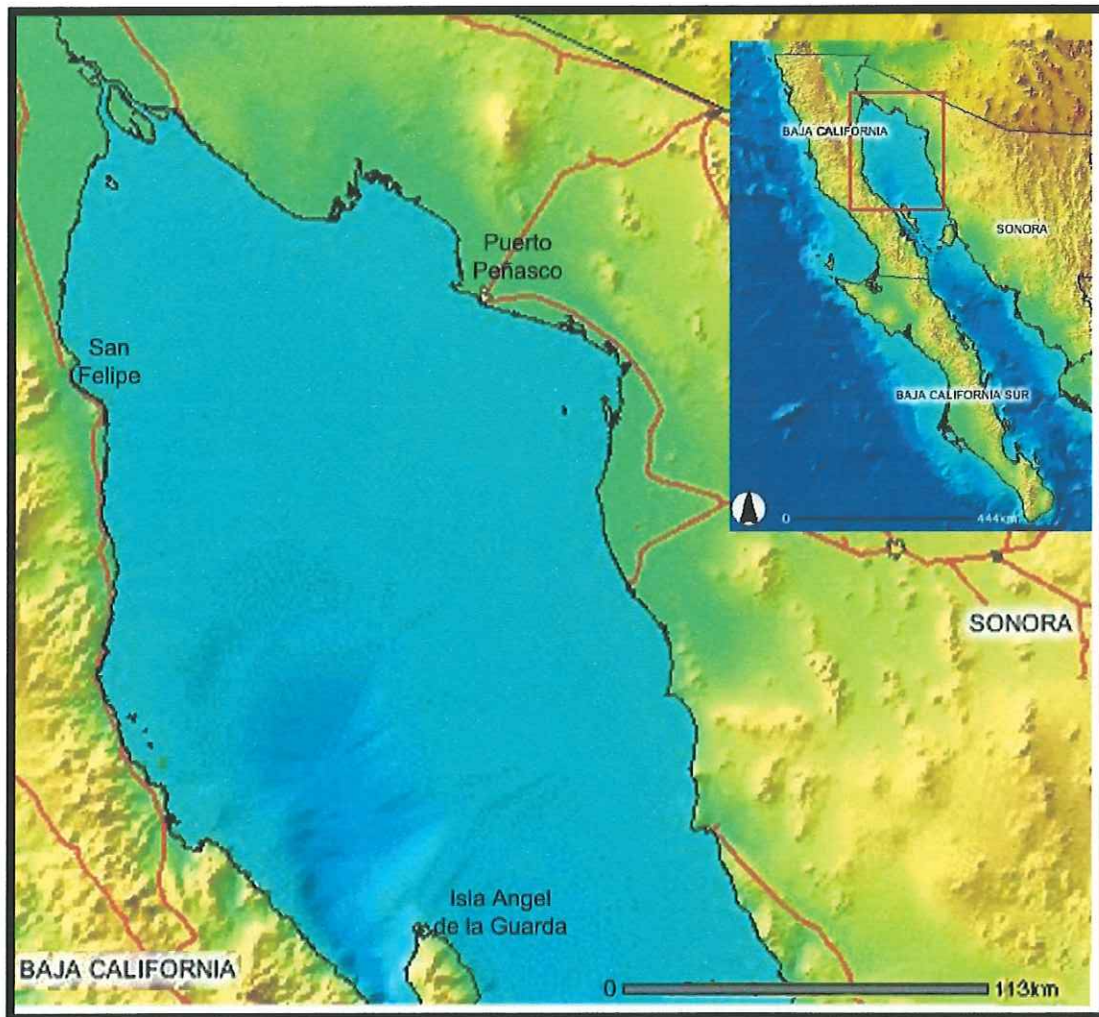


Fig.2. Localización del área de estudio. Modificado de INEGI (2004).

HIPÓTESIS.

Debido a que se pretende realizar el estudio de edad y crecimiento con dos estructuras diferentes y una validación de la depositación de las bandas en dichas estructuras, se presentan las siguientes hipótesis:

- a) Existe una relación entre la edad representada en las vértebras y la representada en las espinas.
- b) La depositación de las bandas en las vértebras y las espinas es anual (bandas opacas depositadas en verano y las translucidas o hialinas en invierno).

OBJETIVO GENERAL.

Determinar la edad y crecimiento de la especie de tiburón *Heterodontus mexicanus* con el fin de contribuir al conocimiento de su historia de vida.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- I. Establecer que sección de columna vertebral se utilizará para la determinación de edad.
- II. Determinar la edad de la especie utilizando las espinas de la primera aleta dorsal y las vértebras.
- III. Validar la depositación de las bandas en espinas y vértebras mediante el incremento marginal de las mismas.
- IV. Obtener la curva de crecimiento de la especie con base en la edad validada.
- V. Evaluar si existe diferencia en el crecimiento de la especie entre sexos.
- VI. Determinar la talla de madurez y primera reproducción.

MATERIAL Y MÉTODOS.

TRABAJO DE CAMPO.

Para la recolección de muestras se realizaron salidas de campo a los puertos de San Felipe (BC) y Puerto Peñasco (Son.), como parte de los proyectos "Biología de la Pesquería de Elasmobranquios del Alto Golfo de California", así como "Historias de vida, pesca y conservación de los Elasmobranquios que habitan la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado". Ambos proyectos son desarrollados por el Laboratorio de Ecología Pesquera del CICESE. En algunos casos los organismos se obtuvieron completos de los pescadores, ya que no poseen ningún valor comercial para ellos, y se congelaron hasta su procesamiento en el laboratorio; cuando no fue posible recolectar el organismo completo, se extrajo la porción de vértebras debajo de la primera aleta dorsal, así como la primera espina dorsal, el estómago y el aparato reproductor, anotando en un formato de campo la fecha de captura, nombre de la panga o embarcación que capturó el organismo, profundidad, arte de pesca, duración del lance, una aproximación de la localización donde fue pescado, y de ser posible, las coordenadas donde se realizó el lance. Además se obtuvieron los siguientes datos (Fig.3):

- a) Longitud total (LT): distancia en línea recta del hocico hasta la parte distal del lóbulo superior de la aleta caudal.
- b) Peso antes de ser eviscerado (g).

Para caracterizar el estado reproductivo de los organismos, cuando fue posible se midió la longitud del clasper o myxopterigio y la longitud de los testículos para los machos (Fig. 21); para las hembras, el ancho de las glándulas oviductales, ancho de

útero y diámetro de los ovocitos visibles en el ovario al milímetro más cercano (Fig. 16). Se consideró a las hembras maduras cuando los ovarios eran grandes, los úteros estaban distendidos, las glándulas oviductales bien diferenciadas y si había cápsulas depositadas en los úteros u ovocitos maduros en los ovarios (Castro, 1989). Las hembras eran catalogadas como inmaduras si el ovario no estaba diferenciado del órgano epigonal, los úteros muy delgados y las glándulas oviductales casi indiferenciadas. Se catalogó a los machos como maduros cuando los testículos eran visibles y diferenciados del órgano epigonal, y los claspers además de endurecidos rotaban con facilidad. Los machos inmaduros fueron todos aquellos que no presentaron testículos diferenciados del órgano epigonal, con claspers pequeños que no rotaron (Holden y Riatt, 1975).

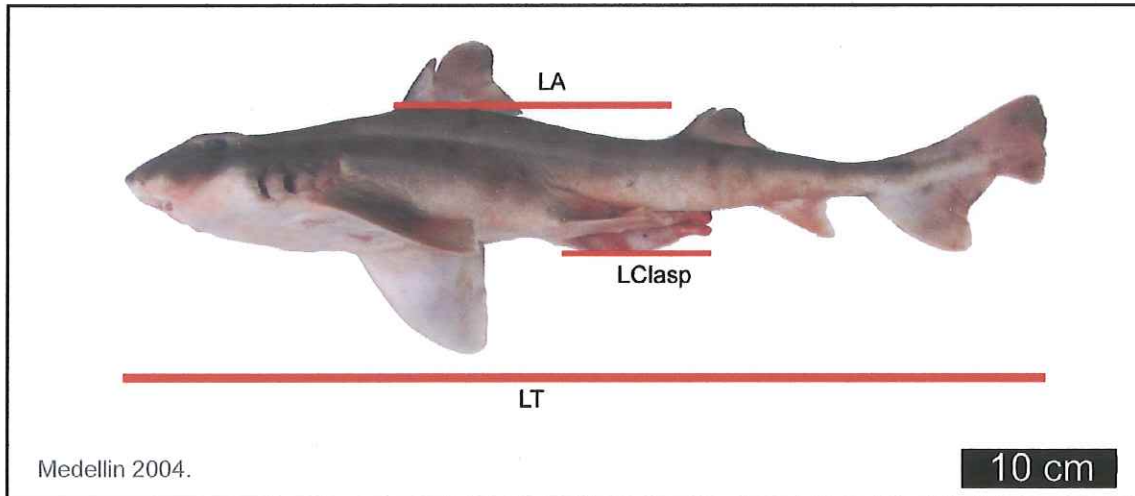


Fig.3. Medidas corporales utilizadas.

TRABAJO DE LABORATORIO.

Para seleccionar a las vértebras que serían utilizadas para la determinación de edad, se separó la columna vertebral completa del resto de carne de 10 organismos, y se dividió en 5 regiones: Cervical, Debajo de la Primera Aleta Dorsal, Pélvica, Pélvica – Segunda dorsal y Precaudal. Debido a que las mejores vértebras para determinación de edad son aquellas con un diámetro mayor (Cailliet *et al.* 1983a), los diámetros de estas vértebras se tomaron al milímetro más cercano con vernier, midiendo de extremo a extremo la vértebra completa. Las secciones Pélvica, Pélvica – Segunda dorsal y Precaudal fueron descartadas debido al tamaño y a la presencia de frecuentes anillos dobles (falsos anillos) que dificultaron su lectura. Se realizó un ANCOVA para probar la diferencia entre la relación de las vértebras cervicales y de la primera aleta dorsal con la longitud total.

Para facilitar la remoción del tejido conectivo de las vértebras y espinas se utilizó un baño de peróxido de hidrógeno al 30% durante 10 minutos, para oxidar la mayor cantidad de tejido posible y reblandecerlo. Después de esto, las vértebras y espinas se enjuagaron en agua corriente y se secaron con papel antes de ser guardadas en alcohol etílico al 70%. El tejido oxidado finalmente fue removido de manera manual con un bisturí, procurando no dañar la superficie y bordes de las vértebras y espinas.

Una vez removido todo el tejido conectivo de las estructuras, se llevó a cabo la tinción con rojo de alizarín (LaMarca, 1966 en Cailliet *et al.*, 1983a; Gruber y Stout 1983). Este método consiste en sumergir las vértebras en una solución saturada de

rojo de alizarín con hidróxido de sodio al 0.1 % (con una razón de 1:9); después, se elimina el exceso de alizarín con agua corriente y se sumergen en una solución de peróxido de hidrógeno al 3 % para eliminar los excesos de alizarín que no se removieron con el agua.

Para evitar la subestimación en los conteos, fue necesario realizar cortes longitudinales de 2 ó 3 vértebras de cada organismo para evitar una subestimación de las bandas depositadas (Fig. 4). Dichos cortes sagitales se llevaron a cabo con una cortadora de baja velocidad ISOMET (Buehler) con navaja de diamante, con un grosor de 0.5 mm, incluyendo dentro del corte la parte central de la vértebra (Fig. 5). Todos los cortes fueron fijados en portaobjetos de vidrio con resina Cytoseal para facilitar su manipulación. Las mediciones de los diámetros se realizaron bajo un microscopio estereoscópico, midiendo desde el foco de la vértebra hasta 3 puntos diferentes: marca de nacimiento, penúltimo anillo formado y borde (Fig. 4).

Teniendo todos los cortes de las vértebras se continuó con la lectura de las bandas concéntricas; para asegurar una buena interpretación al momento de contar las bandas, las vértebras fueron leídas por dos observadores experimentados distintos.

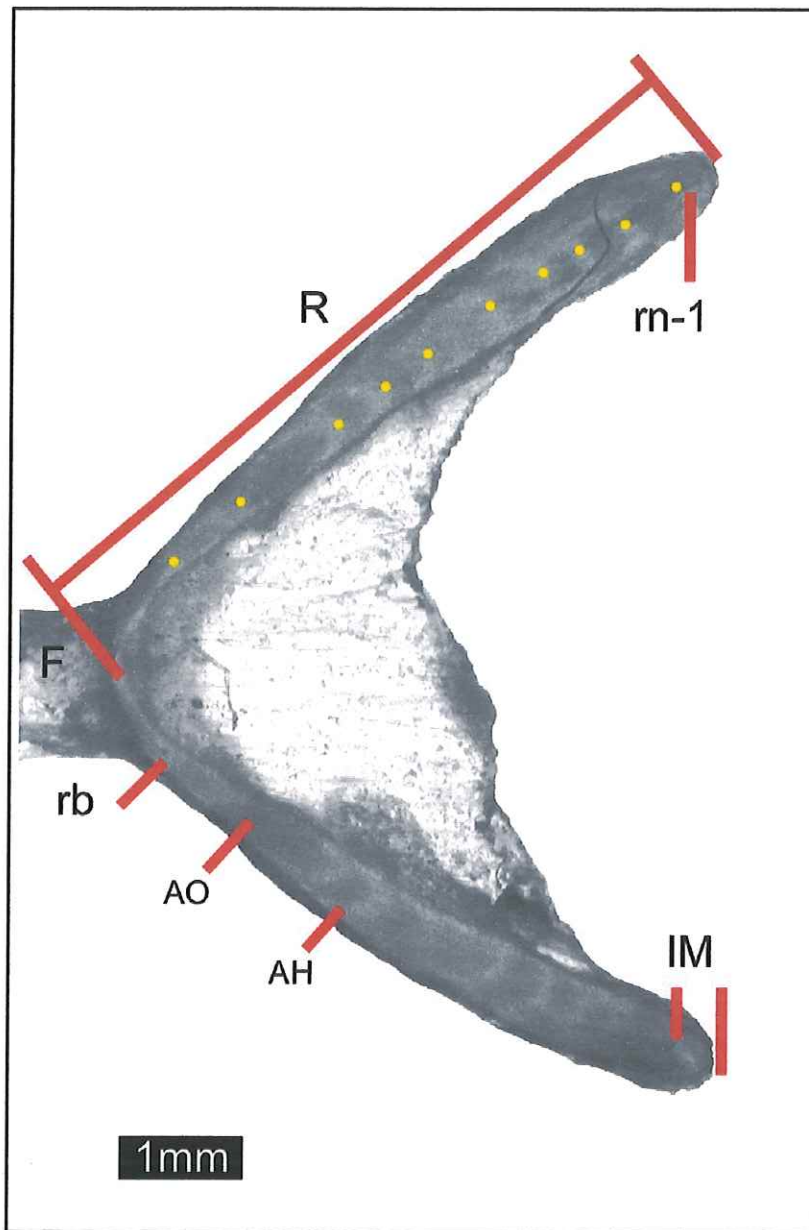


Fig. 4. Sección longitudinal de una vértebra de *H. mexicanus* hembra de 615mm LT con 10 bandas identificables (o), donde: F es el foco, **rb** la distancia de F a la marca de nacimiento, r_{n-1} es la distancia de F al último anillo formado, **R** la distancia de F al margen del *corpus calcareum*, **AO** es el anillo opaco, **AH** es el anillo hialino o Translucido, e **IM** el incremento marginal.

Para la identificación de bandas de crecimiento en las espinas se realizaron cortes longitudinales de cada una de las espinas, procurando mantener la parte posterior de la espina intacta (Fig.5)

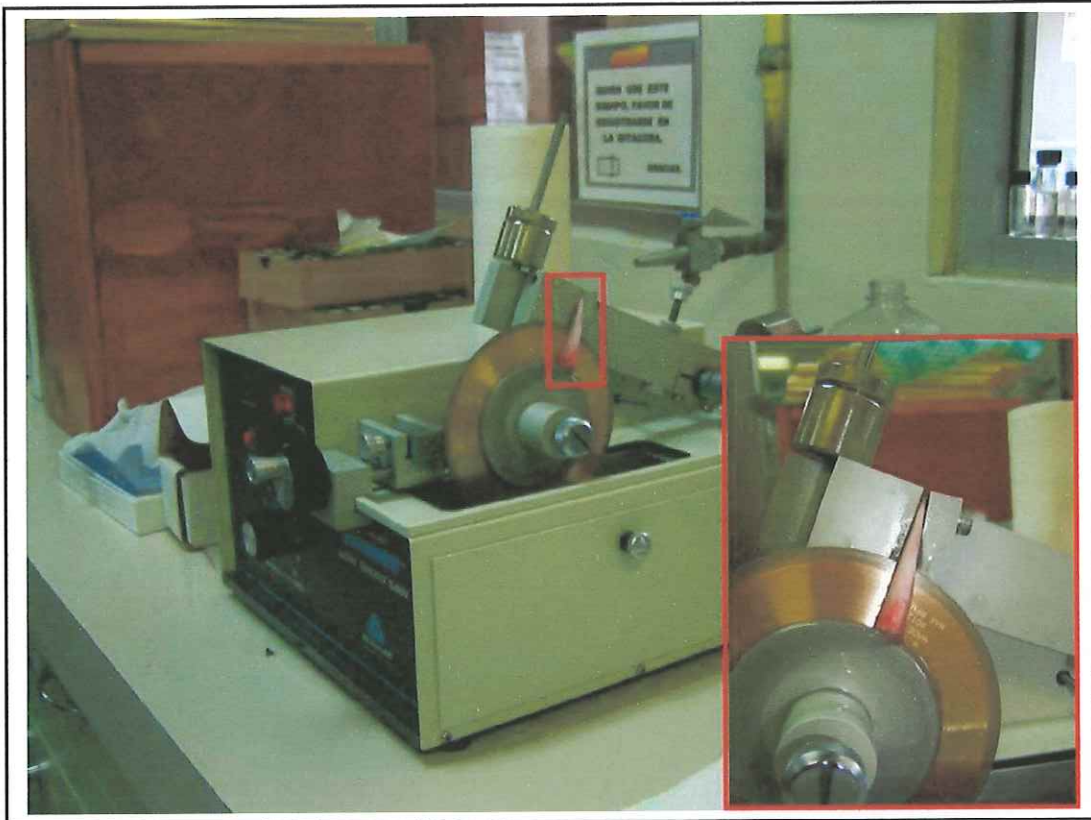


Fig.5. Equipo utilizado para los cortes longitudinales de vértebras y espinas dorsales (se ejemplifica el corte de una espina dorsal).

ANÁLISIS DE VALIDACIÓN.

Para realizar la validación de la periodicidad en la depositación de las bandas en las vértebras, en cada organismo se midió el incremento marginal relativo (IMR) y se clasificó su margen en opaco o hialino. Dicho incremento se obtiene de la división del grosor del margen (IM Fig. 4) y el grosor del último anillo totalmente formado; esta proporción se relacionó con el mes de captura para así poder determinar si la depositación de las bandas y anillos tiene un patrón estacional (Cailliet y Goldman, 2004). Se utilizó una prueba Kruskal - Wallis para comprobar si existen diferencias significativas en el incremento marginal entre meses.

TRABAJO DE GABINETE.

La precisión y reproducibilidad de las lecturas de las vértebras fue comprobada por el método de Porcentaje de Acuerdo (Percent of agreement) (Cailliet y Goldman, 2004), que se obtiene de la siguiente manera:

$$PA = (LI / TL) * 100$$

donde: **LI** es el número de lecturas iguales, y **TL** es el total de lecturas realizadas para cada vértebra. Este porcentaje se calculó entre lectores para cada muestra; además de un análisis de regresión lineal de los conteos entre lectores.

Para verificar la precisión de cada lector, se calculó el Porcentaje de Error Promedio (Average Percent Error o APE) (Beamish y Fournier, 1981):

$$APE = 1/R \sum_{i=1}^R (|x_{ij} - x_j|) / x_j$$

donde: **R** es el número de veces que se determinó la edad a cada muestra, x_{ij} es la i -ésima determinación de edad del j -ésimo organismo, y x_j es la edad promedio calculada para el j -ésimo organismo.

Asimismo, se calculó el coeficiente de variación (V) que es la desviación estándar como una fracción de la media expresada como porcentaje y se obtiene del reemplazo de la desviación absoluta promedio de la media aritmética de la edad en la ecuación anterior por la desviación estándar; y el índice de precisión (D) que es el resultado de V/\sqrt{R} (Chang, 1982).

Los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy se calcularon utilizando el método de Mínimos Cuadrados no Lineales descrito por Haddon (2001).

Con los datos de edad para cada longitud se construyó la curva de crecimiento para cada sexo utilizando la ecuación de von Bertalanffy. Dicha ecuación se expresa:

$$l_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

donde: l_t = longitud pronosticada al tiempo t , L_{∞} = longitud máxima pronosticada por la especie, e = base del logaritmo natural, t = tiempo, t_0 = el tiempo en el cual teóricamente el organismo tiene una longitud igual a cero, K = el coeficiente de crecimiento (tasa instantánea) de la especie.

Para la comparación de las curvas de crecimiento entre sexos se utilizó el método de Análisis de la Suma de Cuadrados Residual (Analysis of Residual Sum of Squares, **ARSS**) propuesto por Chen (1992) (citado en Haddon, 2001), que prueba si existen diferencias estadísticamente significativas entre todos los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy, comprobando si las curvas de crecimiento son coincidentes (Haddon, 2001).

Se realizaron análisis de covarianza (ANCOVA) para probar si existe diferencia significativa en la relación radio vertebral - longitud total, al igual que en la relación peso – longitud total entre machos y hembras de la especie. Dichos análisis comparan las pendientes de las regresiones lineales, al igual que su coeficiente de determinación mediante el estadístico F.

La determinación de la talla de madurez se realizó por medio del análisis de porcentaje de organismos maduros e inmaduros por talla para ambos sexos (Liu *et al.*, 1999). Para el cálculo de la longevidad se utilizaron los estimadores $5L_{n2/k}$ y $7L_{n2/k}$ que representan el 95 y 99% de L_{∞} .

RESULTADOS.

Se recolectaron 84 organismos de *H. mexicanus* en los viajes de pesca del barco **Escama VI** con puerto base en Puerto Peñasco, Son., y 13 de las capturas artesanales del puerto de San Felipe, B. C. (47 hembras y 50 machos). Las tallas de los organismos variaron desde los 210 mm LT hasta los 750mm LT (Fig.6).

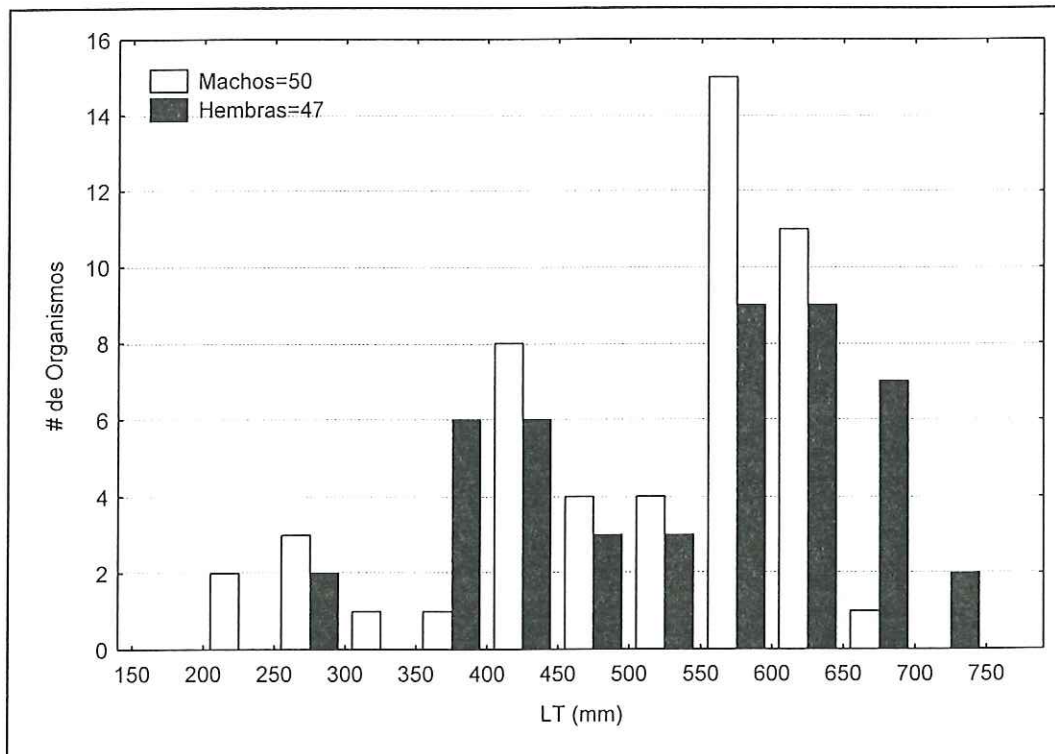


Fig. 6. Frecuencia de tallas para hembras y machos de *H. mexicanus* (n = 97).

EDAD Y CRECIMIENTO.

VÉRTEBRAS.

Se determinó que de las 5 porciones en las que se dividió la columna vertebral de *H. mexicanus*, las vértebras cervicales y las situadas bajo la primera aleta dorsal son las más adecuadas para determinación de edad, por ser las de mayor tamaño y mantener

una buena correlación con la longitud total del organismo (coeficiente de determinación $r^2 = 0.8251$ y 0.9035 respectivamente). El ANCOVA indicó que no hay diferencia significativa entre el diámetro total de las vértebras cervicales y las de la primera aleta dorsal ($F = 1.1339$, $\alpha = 0.05$ y $GL = 17$, $P > 0.05$). Al no existir una diferencia entre sus diámetros, se seleccionaron las vértebras debajo de la primera aleta dorsal por su facilidad de manipulación y tamaño.

Se encontró que la relación entre el radio vertebral R (Fig. 5) y la longitud total es de carácter lineal, representada por la ecuación $LT = 113.66RV + 103.73$ con un coeficiente de determinación (r^2) de 0.9487 ; donde LT es la longitud total y RV el radio vertebral. Con el análisis de covarianza se comprobó que no existe diferencia significativa en la relación radio vertebral – longitud total entre machos y hembras ($F = 0.228$, $\alpha = 0.05$, $GL = 93$, $P > 0.05$), por lo que sólo se calculó una regresión conjunta (Fig. 7).

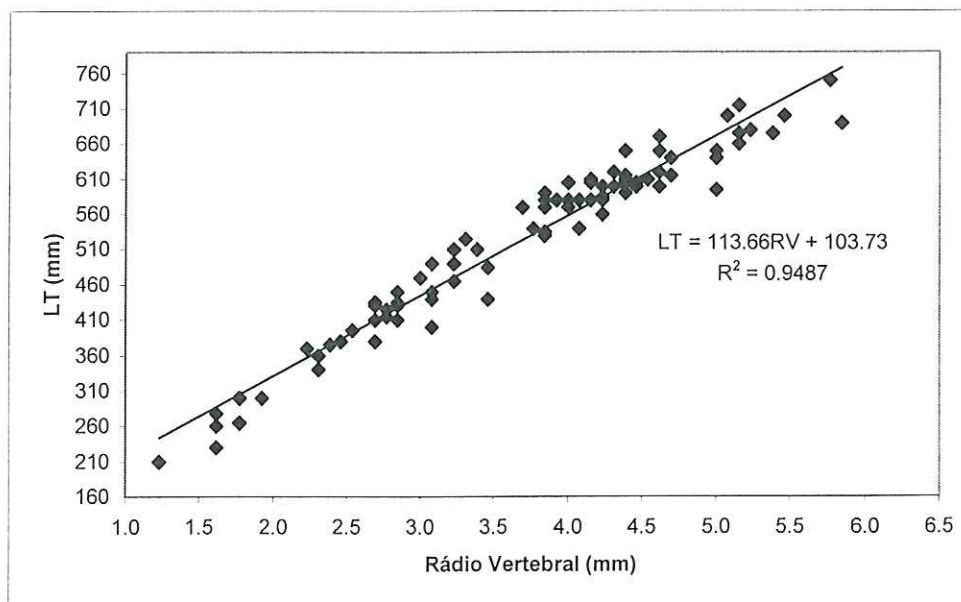


Fig. 7. Relación entre el radio vertebral (R) y longitud total (LT).

ESPINAS DORSALES.

Para determinar si las espinas dorsales son estructuras confiables para la determinación de la edad, se contó el número de bandas depositadas en espinas y se comparó con el número de bandas depositadas en vértebras (Figura 8). En la mayoría de las espinas se ven depositadas un mayor número de bandas que en las vértebras correspondientes a los mismos organismos. Tomando en cuenta la biología del crecimiento de la espina (Maisey, 1979), así como los problemas potenciales en el uso de las espinas dorsales para la determinación de edad discutidos por otros autores (Ej. Holden y Meadows, 1962), se descartó el uso de las espinas dorsales para la determinación de la edad de esta especie.

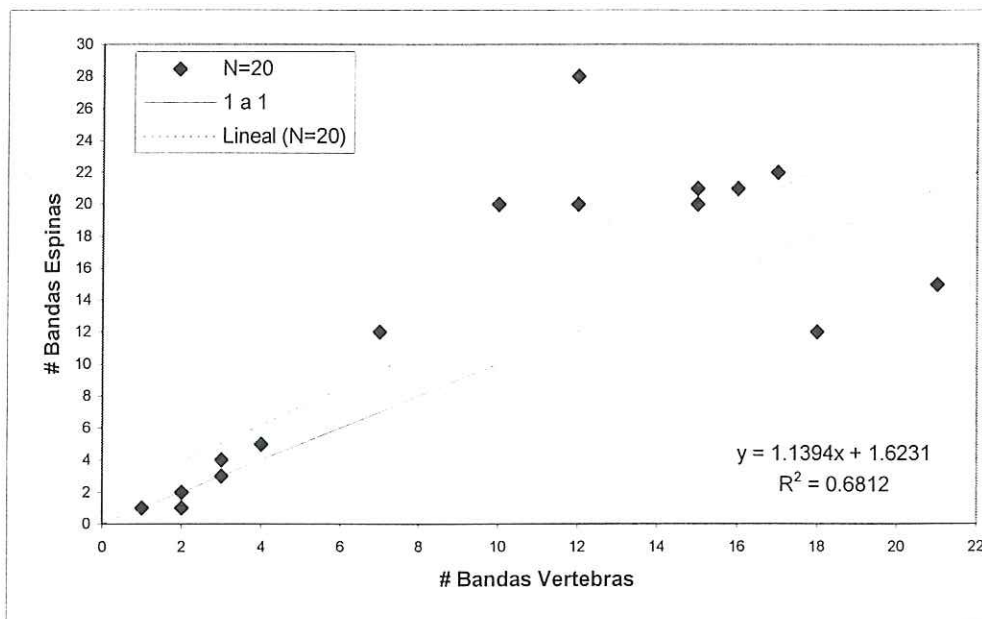


Fig. 8. Relación entre número de bandas observadas en vértebras y espinas dorsales.

ESTRUCTURA POR EDADES.

Se encontró que el 89% de la muestra está dominada por organismos que presentaron de 1 a 15 bandas depositadas; el 11% restante presentó más de 15 bandas. De las 41 hembras analizadas, el 61 % presentó de 1 a 10 bandas, el 29% presentó de 11 a 15 bandas, y en el 10% restante se observaron más de 15 bandas. El 64% de los 47 machos observados presentaron de 6 a 15 bandas, el 23% presentó menos de 5 bandas, y el 13% restante más de 15 (Fig. 9).

El intervalo de tallas para las edades de ambos sexos es similar (± 1 banda y +50 mm para las hembras), siendo 250 y 300 mm la talla de la edad 1 para los machos y hembras respectivamente (Fig. 10).

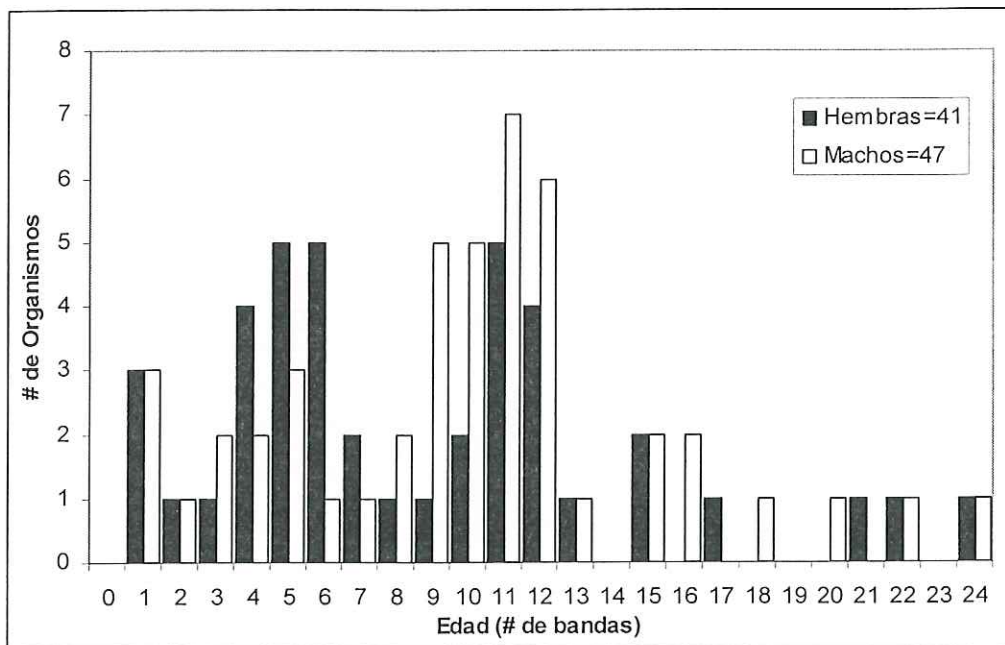


Fig. 9. Estructura de edades para *H. mexicanus*.

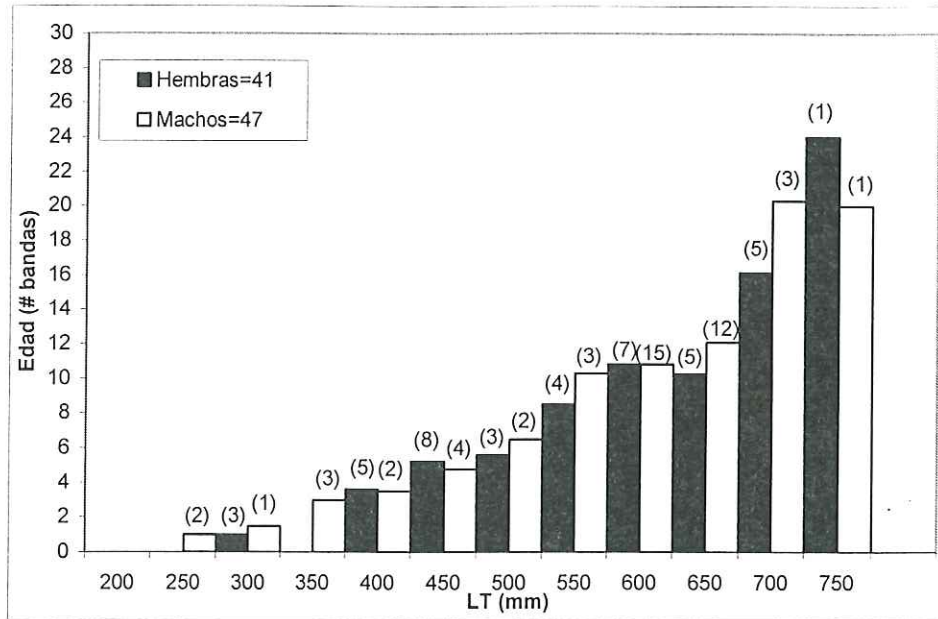


Fig. 10. Intervalo de Tallas y edad por sexo de *H. mexicanus*. Entre paréntesis se muestra el número de organismos para cada sexo.

INCREMENTO MARGINAL Y ANÁLISIS DEL BORDE DE LA ESTRUCTURA.

La prueba de Kruskal-Wallis comprobó que no existe diferencia significativa en el incremento marginal entre los meses ($P > 0.05$, $\chi^2 = 8.830$, $GL = 7$) (Fig. 11). Con la categorización del margen para cada vértebra se obtuvo el porcentaje de ocurrencia con respecto a los meses, observando la predominancia de márgenes translucidos (hialinos) en los meses de febrero (67%), abril (100%), mayo (88%) y noviembre (70%); los márgenes opacos predominan en los meses de marzo (67%), julio (61%), agosto (100%) y septiembre (59%) (Fig. 12).

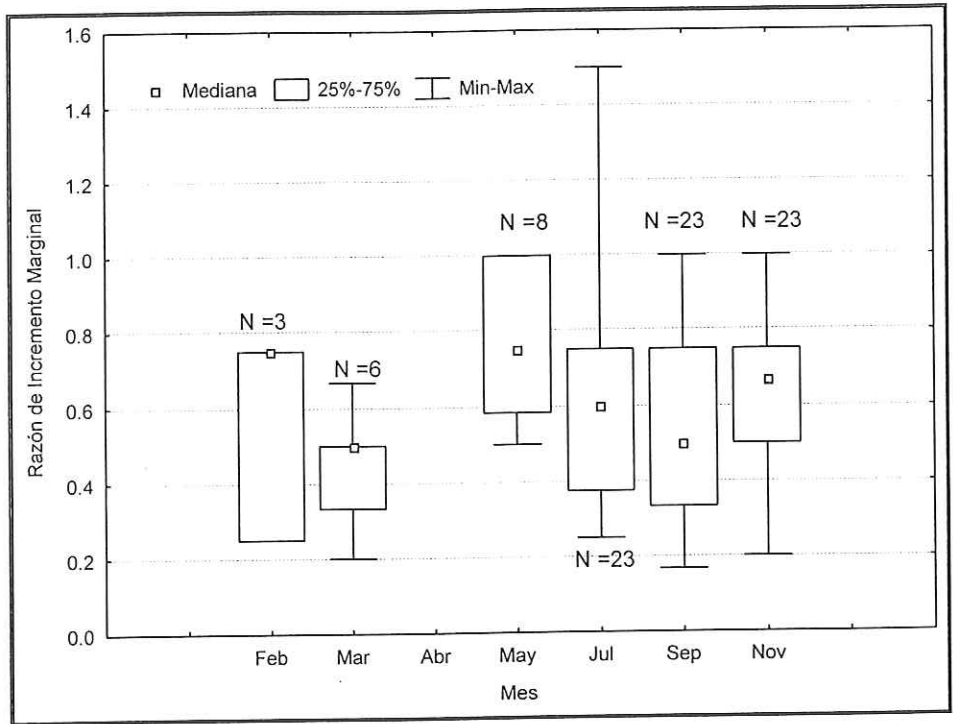


Fig.11.Resultados del análisis del incremento marginal relativo.

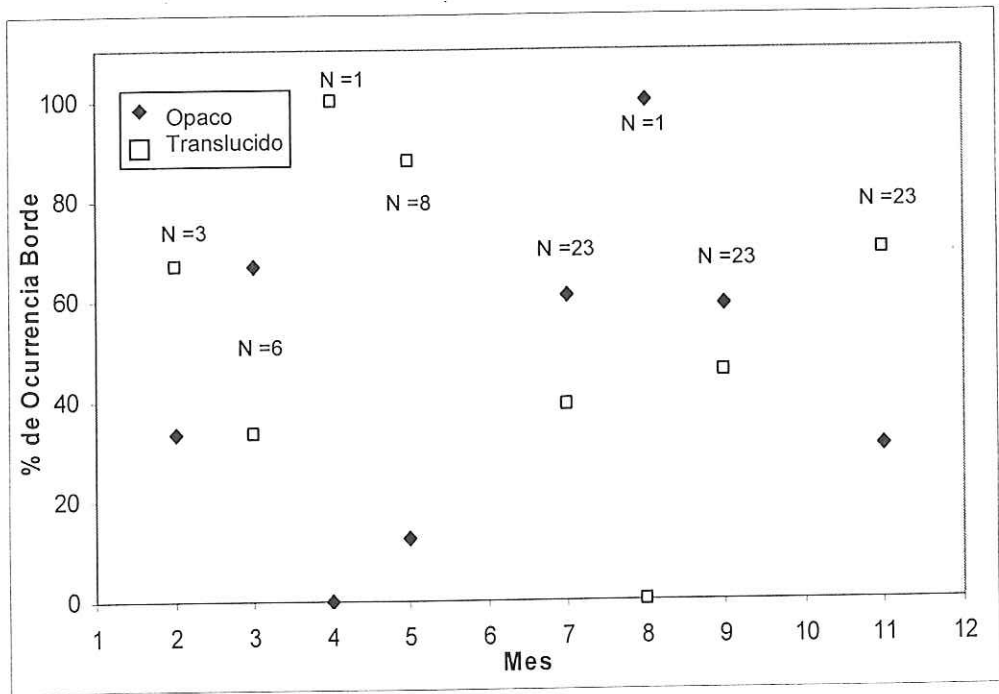


Fig. 12. Porcentaje de ocurrencia del tipo de borde con respecto a los meses.

RELACIÓN PESO TOTAL-LONGITUD TOTAL.

Se obtuvo la relación entre la longitud total y el peso total de los organismos por sexo separados (Tabla I). No obstante, los resultados del ANCOVA comprobó que no existe una diferencia significativa entre sexos en esta relación ($F = 0.017$, $\alpha = 0.05$, $GL = 93$, $P > 0.05$), por lo que se presenta una sola regresión. La ecuación que describe la relación entre la longitud total y el peso de todos los organismos fue de carácter casi cúbico:

$$\text{Peso} = 7 \times 10^{-6} \text{LT}^{3.0077}$$

por lo que se piensa que el crecimiento es isométrico (Fig. 13).

Tabla I. Parámetros de las ecuaciones alométricas (longitud total y peso) para sexos por separado y agrupados ($\text{Peso total} = a \cdot \text{LT}^b$).

Parámetro	a	b	r ²	n
Hembras	2×10^{-6}	3.207	0.9765	50
Machos	2×10^{-5}	2.832	0.9777	47
Agrupados	7×10^{-7}	3.007	0.9697	97

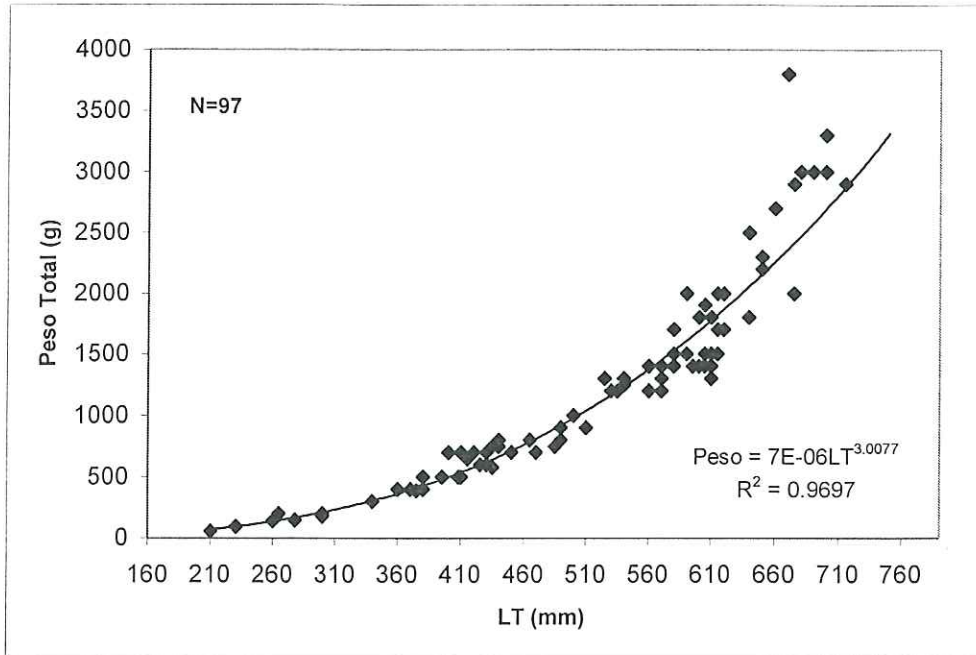


Fig.13. Relación Longitud Total (LT) - Peso.

PRECISIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE EDAD.

Los resultados de la precisión y reproducibilidad de los conteos de bandas en vértebras utilizando el Porcentaje de Error Promedio (APE), el coeficiente de variación (V) y el índice de precisión (D) para cada lector se muestra en la Tabla II. El Porcentaje de acuerdo entre lectores (PA) por grupo de edad se presenta en la Tabla III.

Con los conteos de ambos lectores se calculó una curva de tendencia de las observaciones, descrita por la ecuación de regresión lineal $y = 1.0538x + 1.848$, coeficiente de determinación (r^2) de 0.978 y coeficiente de variación (CV) de 0.20. Esta regresión prueba la precisión entre los lectores (Fig. 14).

Tabla II. Resultados de las pruebas de precisión y reproducibilidad de conteos vertebrales de *H. mexicanus*, por lector (sexos agrupados).

Lector	# de muestras observadas	# de Observaciones por muestra	APE	V	D
1	88	3	3.605	0.0469	0.0271
2	84	3	14.609	0.195	0.1127

Tabla III. Porcentaje de Acuerdo (PA) entre lectores por grupo de edad asignado.

Diferencia de Edad (# bandas)	Frecuencia	Grupo de edad asignado	PA
-4	6		
-3	5		
-2	64	± 1	14.7
-1	6	± 2	87.4
0	6	± 3	93.1
1	1	± 4	100
2	0		
3	0		
4	0		

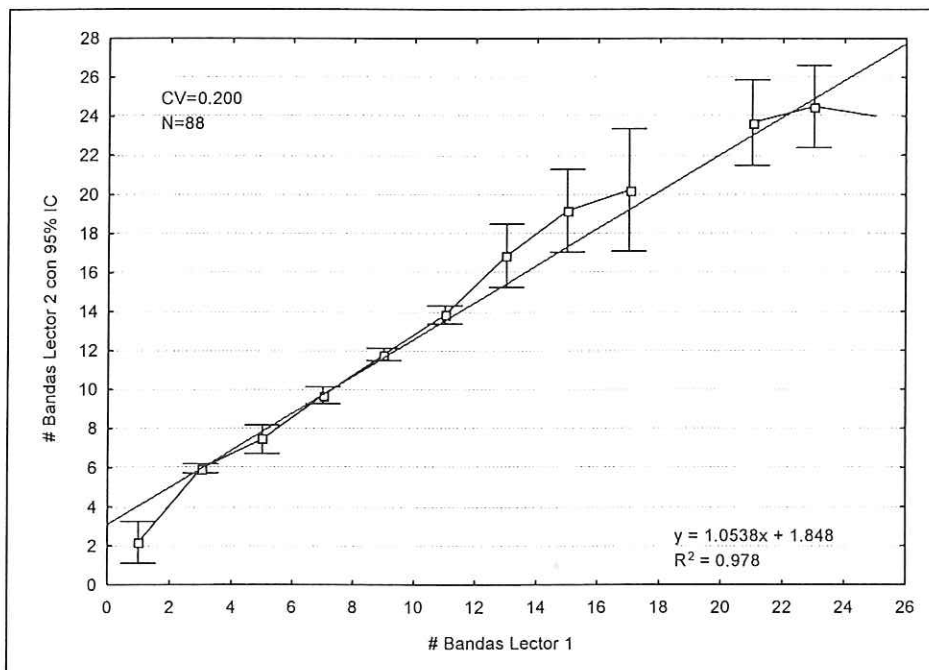


Fig. 14. Curva de tendencia de los conteos entre lectores.

DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO.

Los parámetros L_{∞} , k y t_0 fueron calculados utilizando el método de Mínimos Cuadrados no Lineales, tomando la primera banda como la banda de nacimiento (Clase de edad 0). Suponemos la anualidad de la depositación de bandas de crecimiento de acuerdo con Cailliet y Goldman (2004). Con el Análisis de la Suma de Cuadrados Residual (ARSS) se calcularon los parámetros, así como las curvas de crecimiento para cada sexo (Tabla IV). Sin embargo, el ARSS comprobó que no existe diferencia significativa en el crecimiento entre machos y hembras de *H. mexicanus* ($P > 0.05$, $GL = 31$), por lo que se presenta una sola curva de crecimiento (Fig. 15).

Los resultados de las estimaciones de longevidad para ambos sexos y en conjunto se presentan en la Tabla V.

Tabla IV. Valores de los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy derivados del ARSS.

Parámetro	Hembras				Machos				Combinados			
	L_{∞}	k	t_0	n	L_{∞}	k	t_0	n	L_{∞}	k	t_0	n
	752.1	0.1094	-4.397	41	699.3	0.1402	-3.062	47	724.1	0.1237	-3.712	88

Tabla V. Estimaciones de longevidad para sexos separados y en conjunto de *H. mexicanus*.

Estimador	Hembras		Machos		Combinados	
	95%	99%	95%	99%	95%	99%
# bandas	15	20	13	19	14	19

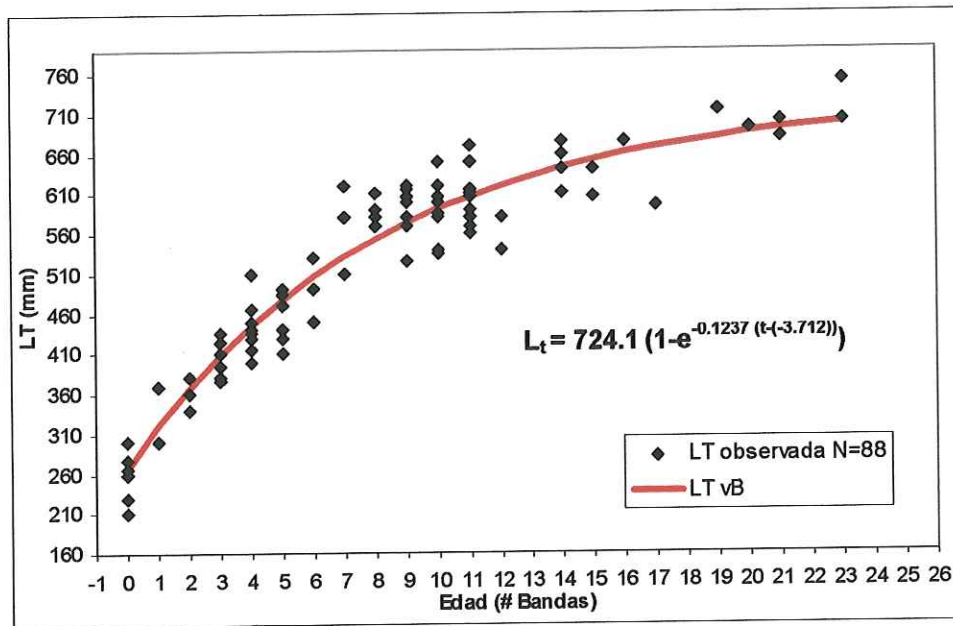


Fig. 15. Curva de crecimiento de von Bertalanffy de *H. mexicanus* derivada del método de regresión no lineal.

BIOLOGÍA REPRODUCTIVA.

HEMBRAS.

Se observó un incremento del diámetro de glándula oviductal (Fig. 17), diámetro de ovocitos (Fig.18) y ancho del útero (Fig. 19) conforme aumenta la longitud total de las hembras. Los puntos (o, □ y Δ) representan a una hembra de 615 mm LT y 1700 g en la que se encontró esperma dentro de la glándula oviductal (Fig. 16). El valor mínimo de diámetro de glándula oviductal (2mm) corresponde a una hembra de 300mm LT, y el máximo (55mm) a una hembra de 580mm LT. Los valores máximos de diámetro de ovocitos (26, 27, y 25mm) se encontraron en hembras con tallas de 640, 660 y 675 mm respectivamente. Los tres valores máximos de ancho de útero (Fig. 19) corresponden a hembras preñadas con cápsulas depositadas en los úteros (Fig. 19a). El mayor porcentaje de hembras inmaduras corresponde a las tallas menores a los 490 mm LT, siendo la talla al 50% de madurez igual a 540 mm LT (Fig.20).

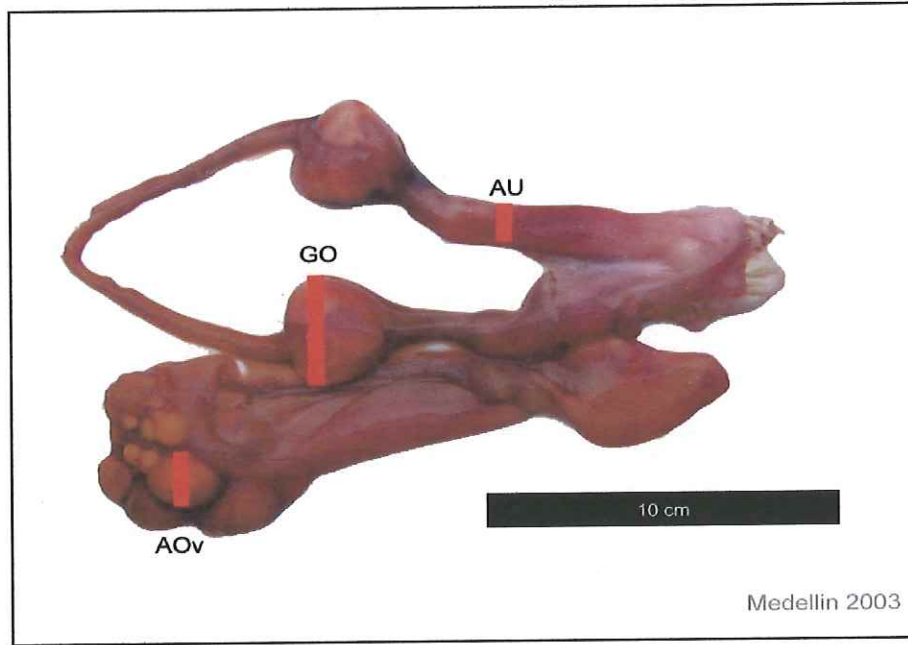


Fig. 16. Aparato Reproductor de una hembra de 615 mm LT y 1700 g de peso. Ovario bien diferenciado (sobre órgano epigonal) con ovocitos maduros (AOv), glándula oviductal (GO) con 32.5mm de ancho y Ancho de útero (AU) de 22.5mm.

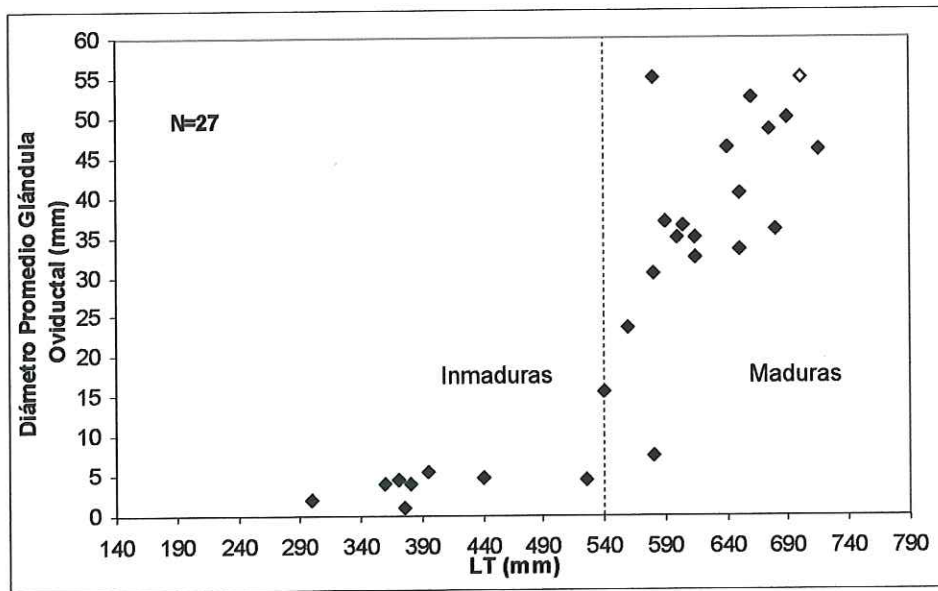


Fig.17. Relación Longitud Total (LT) y Diámetro Promedio de la Glándula oviductal.

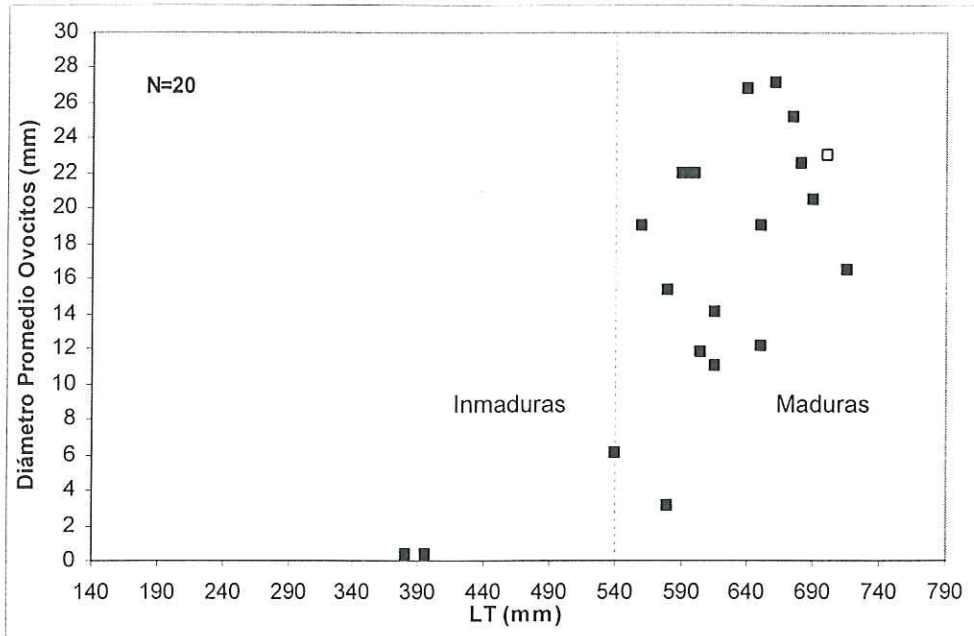


Fig. 18. Relación Longitud Total (LT) y Diámetro Promedio de Ovocitos.

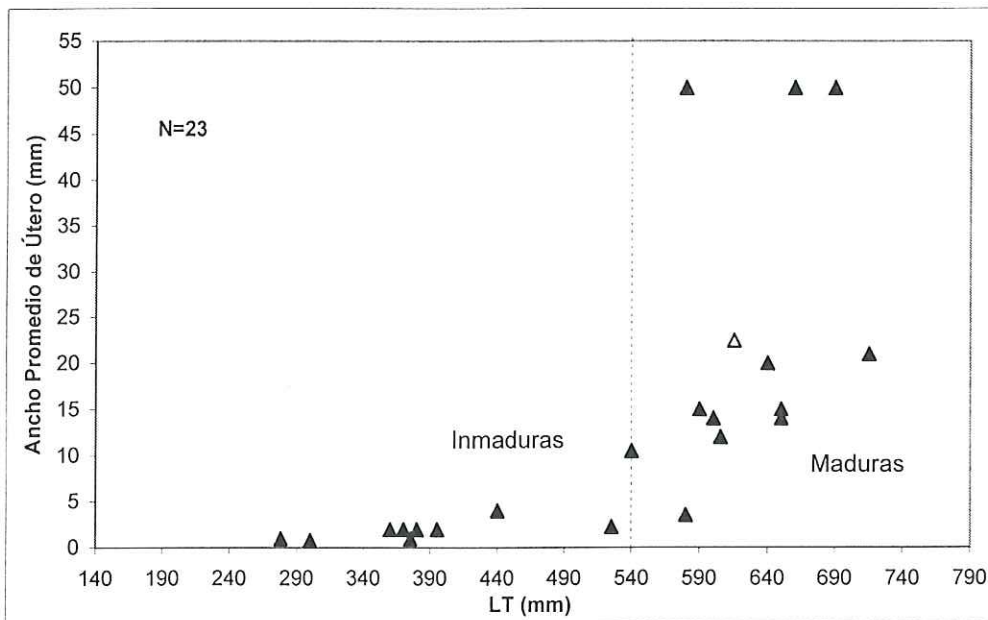


Fig. 19. Relación Longitud Total (LT) y Ancho promedio de útero.

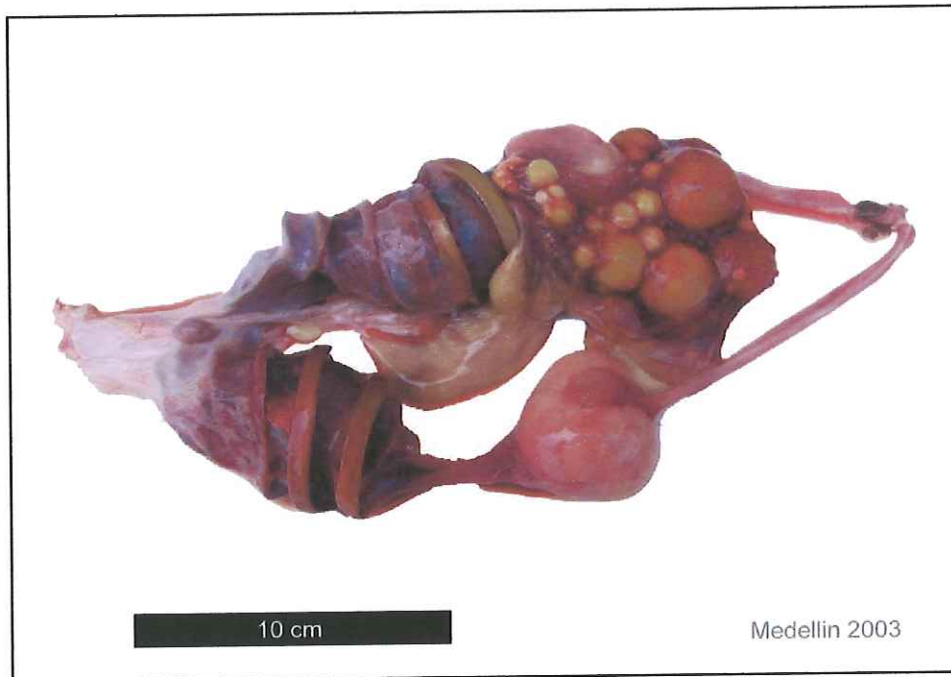


Fig. 19a. Aparato reproductor de una hembra de 580 mm Lt y 1500 g de peso, con cápsulas depositadas en ambos úteros; glándula oviductal de 30.5mm y diámetro promedio de ovocitos de 15.37mm.

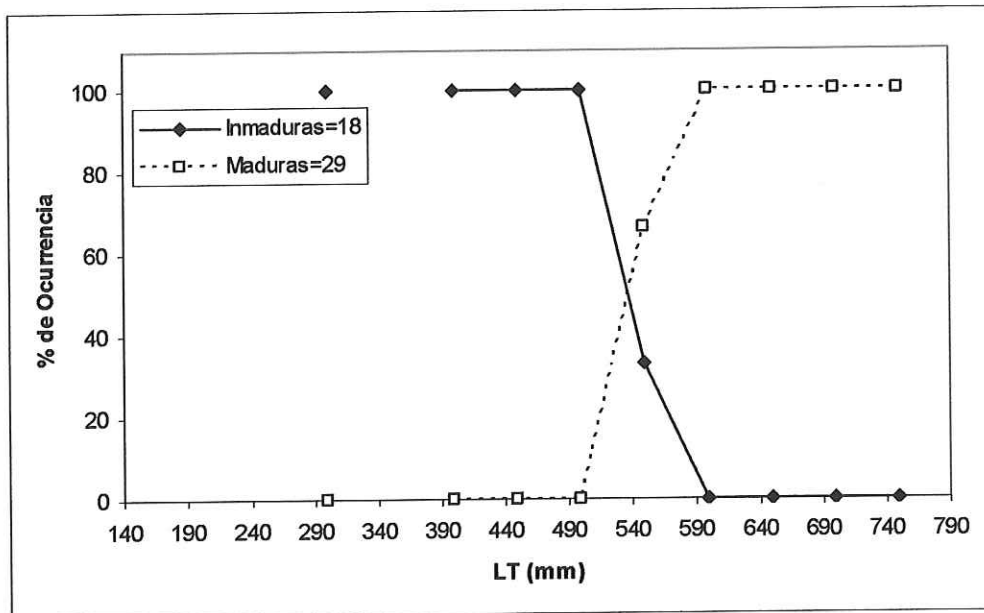


Fig. 20. Porcentaje de ocurrencia de hembras maduras e inmaduras de *H. mexicanus*. El punto de intersección de las líneas indica la talla al 50% de madurez.

MACHOS

Se observó un incremento en el tamaño del clasper y el largo del testículo con el aumento de longitud total en los machos de *H. mexicanus*. Los valores mínimos de longitud de clasper (< 20mm) corresponden a organismos con tallas menores a los 300mm LT; mientras que los valores máximos (> 100mm) corresponden a organismos con tallas que superan los 540mm LT (Fig. 22). De igual manera, los valores mínimos de longitud de testículo (< 25 mm) corresponden a organismos con tallas menores a los 440 mm LT, y los valores máximos (> 100 mm) corresponden a organismos con tallas mayores a los 590mm LT (Fig. 23). El mayor porcentaje de machos maduros de *H. mexicanus* se observa en los organismos mayores a los 500 mm LT, siendo los 490mm LT la talla al 50% de madurez (Fig. 24).

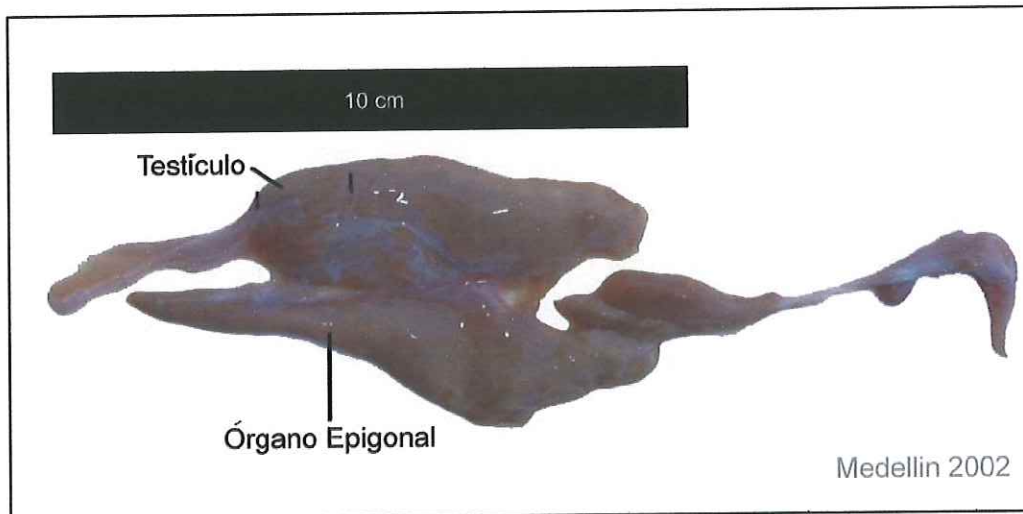


Fig. 21. Aparato Reproductor de un macho de 400 mm LT y 20 mm de longitud de testículo.

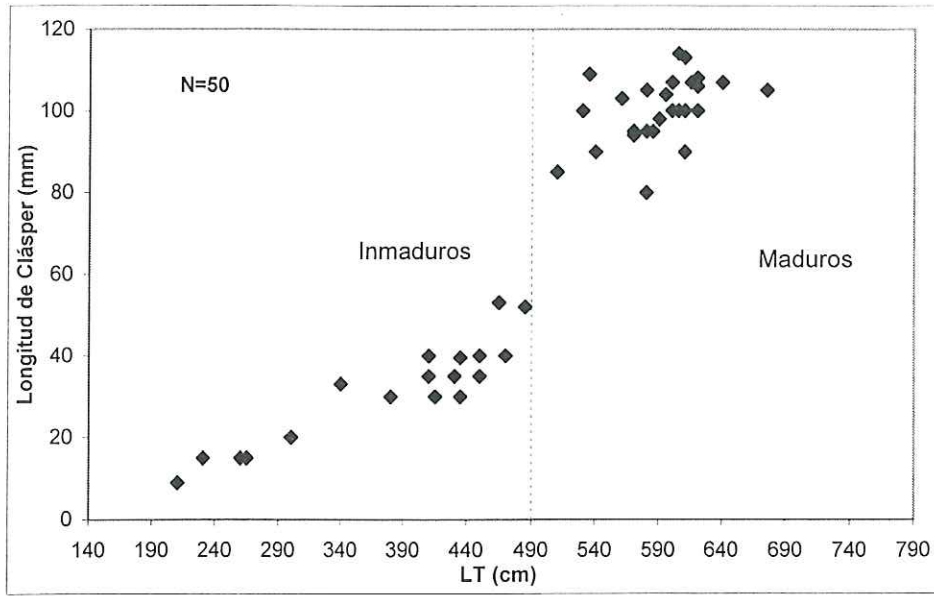


Fig. 22. Relación Longitud Total (LT) y longitud de clasper.

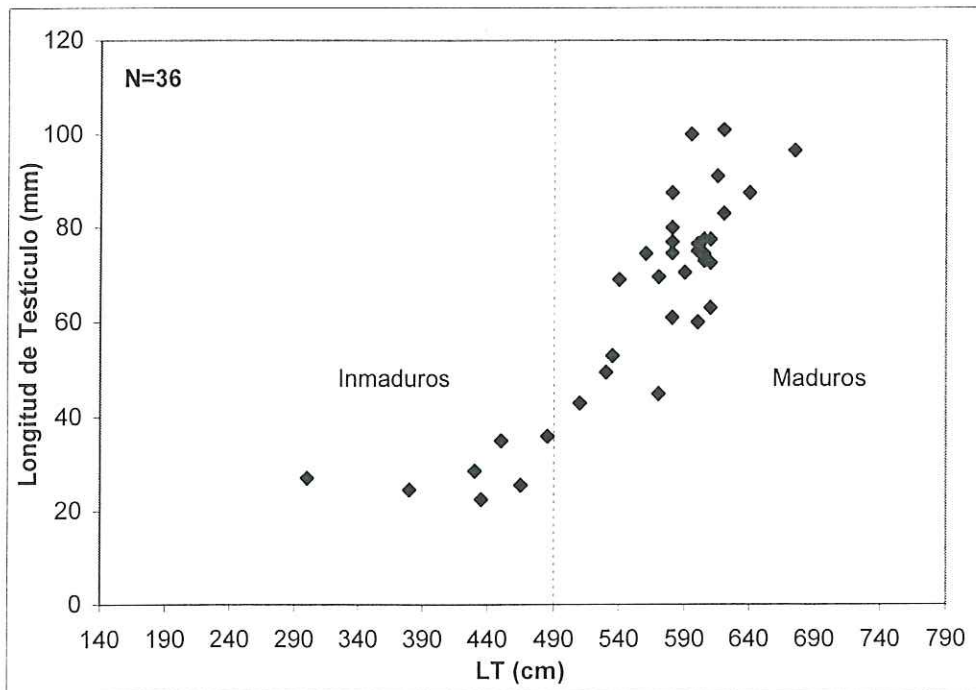


Fig. 23. Relación Longitud Total (LT) y longitud de Testículo.

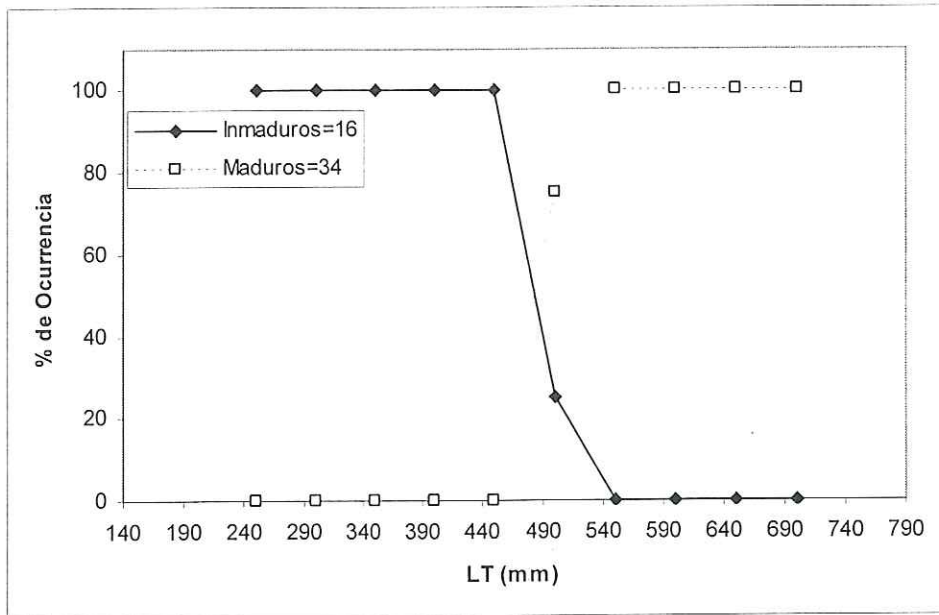


Fig. 24. Porcentaje de ocurrencia de machos maduros e inmaduros de *H. mexicanus*. El punto de intersección de las líneas indica la talla al 50% de madurez.

DISCUSION.

Este es el primer estudio con respecto a edad y crecimiento, así como biología reproductiva de *H. mexicanus*.

DATOS MORFOLÓGICOS.

La relación entre el radio vertebral y la longitud total fue lineal y significativa, lo cual indica que las vértebras crecen proporcionalmente con la longitud total. Asimismo, no existieron diferencias significativas en la relación RV – LT entre sexos de *H. mexicanus*, lo que indica que este crecimiento proporcional es igual entre los sexos.

Al comparar la relación peso total y longitud total entre sexos también se concluyó que la relación de estas dos variables es igual en ambos sexos, por lo que se pudo combinar la información en una sola curva. Debido al valor de su exponencial, la relación entre la longitud total y el peso que combina a ambos sexos fue de carácter isométrico.

DETERMINACIÓN DE EDAD.

Se observó que el número de bandas contadas en espinas es mayor al observado en los cortes de los centros vertebrales. En los Heterodontidos, las espinas tienen funciones de reproducción, defensa y locomoción (Maisey, 1979). A diferencia de las espinas de *Squalus acanthias* (Squalidae) y *H. francisci* (Heterodontidae), las espinas dorsales de *H. mexicanus* carecen de esmalte en su porción apical, por lo que se dificultó la lectura de las bandas de crecimiento y la exponen a mayor desgaste con el paso del tiempo. Además, aunque son histológicamente idénticas, las espinas dorsales se forman mucho antes que los dientes o escamas placoideas (Maisey, 1979), y se mantienen en constante exposición a erosión causando el crecimiento de la espina desde la base y la pérdida de las bandas que se encuentran en la parte apical.

La periodicidad en la formación de una banda de crecimiento es sugerida por una disminución pronunciada en la razón de incremento marginal (Natanson *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 1999; Conrath *et al.*, 2002; Loefer y Sedberry, 2003; Sulikowski *et al.*, 2003; Santana y Lessa, 2004). Los incrementos marginales observados en los centros vertebrales de *H. mexicanus* reflejan una disminución en el mes de marzo, aunque no se cuenta con la información suficiente para determinar si el periodo de formación de una nueva banda de crecimiento sucede durante o alrededor de ése mes. Sin embargo, el porcentaje de ocurrencia del tipo de borde para *H. mexicanus* sugiere la posible formación de 2 bandas de crecimiento por año. No obstante, estos resultados no pueden ser conclusivos ya que éstos pueden deberse a la diferencia de tamaño de muestras entre los meses. Natanson *et al.* (1995) no pudieron llegar a concluir para *C. obscurus* la formación de 2 bandas por año, ya que mencionan que la disminución del incremento marginal no fue tan abrupta como para indicar periodo de formación de anillos debido a la falta de muestras de invierno. En este estudio, no sólo hace falta una mejor muestra para algunas estaciones del año, sino que es necesario aumentar el número de muestra para algunos meses.

No obstante, los incrementos marginales en los elasmobranquios pueden reflejar periodos lentos de depositación de calcio que han sido comprimidos por incrementos formados en periodos de rápida depositación (Gelsleichter, 1998 en Loefer y Sedberry, 2003). Este patrón de depositación puede resultar en la dificultad de observar los incrementos de periodos de poco crecimiento hasta que haya crecido suficiente tejido nuevo para generar el contraste necesario para su identificación confiable (Loefer y Sedberry, 2003).

A medida que se incrementó el número de bandas en las vértebras de *H. mexicanus*, se dificultó la lectura y la medición del incremento marginal. Para algunas especies de elasmobranchios, los estudios de incremento marginal son concluyentes sólo para organismos juveniles, ya que al madurar el crecimiento se reduce dramáticamente y la diferencia entre los anchos de los márgenes se vuelve muy pequeña; por ello los cambios mensuales en el ancho del margen son difíciles de observar (Conrath *et al.*, 2002). Campana (2001) recomienda verificar la periodicidad de los incrementos en todos los grupos de edad. Además, menciona que el análisis de incremento marginal es uno de los métodos de validación de edad más difícil de llevar a cabo; esto es debido a las dificultades técnicas asociadas a la observación de incrementos parciales afectados por refracción variable de luz a través del margen.

De acuerdo con Beamish y Fournier (1981), de un conjunto de observaciones de edad para una especie en particular, se considera más precisa la que tenga los valores más pequeños de **APE**, **V**, y **D**. De igual manera, se considera que un lector es más preciso que otro con valores mayores. Chang (1982) menciona que, el uso del coeficiente de variación y el índice de precisión tiene como beneficios que la varianza es mejor estimador que la diferencia absoluta, debido a que es un estimador consistente y sin sesgos; añade que el índice de precisión (D) puede ser utilizado para calcular el error de determinación de edad para cada observación.

Las observaciones entre lectores estuvieron sesgadas hacia las ± 3 bandas. El porcentaje de acuerdo (PA) varía ampliamente entre especies, así como entre edades de la misma especie (Beamish y Fournier, 1981; Cailliet y Goldman, 2004). Por su

parte, Cailliet y Goldman (2004) señalan que, existe validez al usar el porcentaje de acuerdo para hacer comparaciones entre lectores.

La diferencia entre L_{∞} de machos y hembras es de 85.7 mm; a pesar de esto, no existieron diferencias significativas en las curvas de crecimiento entre machos y hembras de la especie. McLaughlin y O'Gower (1971) anotan que las hembras de *H. portusjacksoni* son más grandes que los machos por aproximadamente 25 cm. La existencia de diferencias estadísticamente significativas no implica necesariamente que existan diferencias biológicas significativas (Yoccoz, 1991 en Natanson *et al.*, 1995).

Contrastando los valores de k obtenidos del presente estudio, con los obtenidos para otras especies de tiburones y rayas (en Cailliet y Goldman, 2004), se observa que *H. mexicanus* presenta la característica de los elasmobranquios de una tasa de crecimiento lenta. Los valores negativos de t_0 para *H. mexicanus* son grandes. Este fenómeno puede ser atribuido a la falta de organismos pequeños o cercanos a la talla de nacimiento en la muestra (Liu *et al.*, 1999).

BIOLOGÍA REPRODUCTIVA.

Se observó que las diferencias entre tallas y edades de madurez entre machos y hembras de *H. mexicanus* es de 50 mm y 2 bandas (490 y 540 mm LT, 6 y 8 bandas respectivamente). Sin embargo, con los datos actuales, se determinó que no existen diferencias significativas entre sexos. McLaughlin y O'Gower (1971) mencionan que, la edad madurez sexual para los machos y hembras de *H. portusjacksoni* es de 8 a 10 y de 11 a 14 años respectivamente. Además, mencionan que los Heterodontidos

parecen poseer bajas tasas de crecimiento e inmadurez prolongada. Éste puede ser el caso para *H. mexicanus*.

Natanson *et al.* (1995) señalan que, las hembras de *C. obscurus* alcanzan tamaños mayores que los machos, y puede deberse a que el crecimiento en los machos se vea disminuido después de la madurez, o a que los machos viven menos tiempo que las hembras.

Aumentando el número de muestras, las hembras de *H. mexicanus* pueden ser caracterizadas de acuerdo con Hazin *et al.* (2002), quienes catalogan a las hembras de *Carcharhinus acronotus* en seis estados, basándose en el desarrollo de la glándula oviductal, ovarios y úteros: 1) Juveniles, con órganos sexuales no desarrollados; 2) Pre ovulación, con ovarios relativamente grandes y sin ovocitos depositados en los úteros; 3) Ovulando, con ovocitos depositados en los úteros y ovocitos maduros en el ovario; 4) Grávidas, cuando la ovulación estuviese completa; 5) Post parto, cuando presentan características similares a las hembras grávidas, pero con úteros flácidos y poco distendidos; y 6) En reposo, con ovarios bien desarrollados pero con ovocitos inmaduros.

CONCLUSIONES.

No es recomendable el uso de espinas dorsales para la determinación de edad de *H. mexicanus*, debido a su función en la especie y a las características morfológicas de las espinas. Las vértebras de la porción localizada debajo de la primera aleta dorsal son una estructura confiable para la determinación de edad de la especie.

Se analizaron 88 cortes vertebrales de *H. mexicanus*, con un intervalo de tallas de 210 y 750 mm LT, a quienes se les determinaron edades de 1 a 24 bandas.

No se logró determinar el periodo de formación de una nueva banda de crecimiento debido al número de muestras por mes. A pesar de esto, se recomienda el uso del método del Análisis de Incremento Marginal como herramienta útil para la validación de la edad de *H. mexicanus*.

Se obtuvieron los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy que describen el crecimiento de *H. mexicanus*. No se encontraron diferencias significativas entre las curvas de crecimiento de hembras y machos de la especie; se piensa que estas diferencias, si existen, podrían hacerse visibles ampliando el intervalo de tallas, así como el número de muestra.

El 62 y 68% de las hembras y machos de *H. mexicanus* analizados presentaron un estado avanzado madurez sexual, con intervalo de tallas de 550 a 750 mm para hembras y 500 a 715 mm para machos; los intervalos de edad para estos organismos fueron de 9 a 24 bandas para las hembras, y de 10 a 20 bandas para los machos.

LITERATURA CITADA Y CONSULTADA.

Álvarez Borrego, S., R.A. Shwartzlose, 1979. Masas de Agua en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* (6): 43 – 63

Applegate, S.P. 1962. A survey of Shark Hard Parts. En *Sharks, Skates and Rays*. Gilbert, P.W, Mathewson, R.F. y Rall, D.P. (Eds). 1962. The Johns Hopkins Press. Baltimore, Maryland. 624 pp.

Beamish, R.J. y D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 982 – 983

Beamish, R.J., y G.A. McFarlane, 1985. Annulus Development on the Second Dorsal Spine of the spiny dogfish (*Squalus acanthias*) and its validity for age determination. *Can.J.Fish.aquat.Sci.* 42(11):1799 – 1805

Bizzarro, J.J., y J.B. O'Sullivan., 2000. Site Description for the Gulf of California. Annual Meeting of the American Elasmobranch Society. La Paz, Baja California. 2000.

Buckmeier, D.L., 2002. Assessment of reader accuracy and recommendations to reduce subjectivity in age estimation. *Fisheries*. Vol. 7, No. 11. pp. 10 – 14

Cailliet, G.M., R.L. L.K. Martin, D. Kusher, P. Wolf y B.A. Welden., 1983a. Technics for Enhancing Vertebral Bands in Age Estimation of California Elasmobranchs. NOAA Tech. Rep. NMFS, 8: 157 - 165

Cailliet, G.M., M.S. Love y A.W. Ebeling., 1986. *FISHES A Field and Laboratory Manual on Their Structure, Identification, and Natural History*. Wadsworth, Inc. Belmont, California. 194 pp.

Cailliet, G.M., R.L. Radtke y B.A. Welden, 1986. Elasmobranch Age Determination and Verification: A Review. In *Indo – Pacific Fish Biology: Proceedings of*

the Second International Conference on Indo – Pacific Fishes, edited by T. Uyeno, R. Arai, T. Taniuchi and K. Matsuura. pp. 345 – 360. Ichthyological Society of Japan. Tokyo.

Cailliet, G.M., 1990. Elasmobranch Age determination and verification: an updated review, en *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics, and the Status of the Fisheries*, W.S. Pratt, Jr., S.H. Gruber, y T. Taniuchi, Eds., NOAA Tech. Rep. 90:157-165.

Cailliet, G.M., y K.J. Goldman, 2004. Age Determination and Validation in Chondrichthyan Fishes. En *Biology of Sharks and Their Relatives*. Carrier, J.C., J.A. Musick, y M.R. Heithaus, Eds. CRC Press, 2004. Florida, EU. 596 pp.

Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* (2001) 59, 197 – 242

Castro, J. I. (1989). The biology of the golden hammerhead, *Sphyrna tudes*, off Trinidad. *Environmental Biology of Fishes*, 24(1):3-11.

Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1208 – 1210

Compagno, L.J.V., 1995. FAO. Guía para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca: Pacífico Centro – Oriental. Volumen II. P. 692 – 695.

Conrath, C.L., J. Gelsleichter y J.A. Musick, 2002. Age and Growth of the smooth dogfish (*Mustelus canis*) in the northwest Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 100: 674 – 682

Daniel, J.F. 1914. The Anatomy of *Heterodontus francisci*. I. The Exoskeleton. *Univ. Cal. Pub. Zool.* Vol. 13, No. 6, Pp. 147 – 166, más 8 – 9, 4 Figuras con texto.

Daniel, J.F. 1915. The Anatomy of *Heterodontus francisci*. II. The Endoskeleton. *J. Morph.* 26: 447 – 493

Gallagher, M. y C.P. Nolan. 1999. A novel method for estimation of age and growth in rajids using caudal thorns. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1590 – 1599

Gelsleichter, J., E. Cortés, C.A. Manire, R.E. Hueter, J.A. Musick., 1998. Evaluation of toxicity of Oxytetracycline on growth of captive nurse sharks, *Ginglymostoma cirratum*. *Fishery Bulletin* 96: 624 – 627.

Guardado France, V. M., 1976. Estudios ecológicos de Elasmobranquios en la Zona de Bahía Magdalena, BC Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, BC.

Gruber, S.H. y R.G. Stout., 1983. Biological Materials for Study of Age and Growth in a Tropical Marine Elasmobranch, the Lemon Shark, *Negaprion brevirostris* (Poey). En Prince E.D., y Pulos, L.M. (Eds), 1983. NOAA Technical Report NMFS8. Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks. Miami, Florida. 193 – 205

Haddon, M. 2001. Modeling and Quantitative Methods in Fisheries. Chapman & Hall/ CRC Press. Florida, E.U. 406 pp.

Hazin, F. H. V., P. G. Oliveira y M.K. Broadhurst. 2002. Reproduction of the black nose shark (*Carcharhinus acronotus*) in the coastal waters off northeastern Brazil. *Fish. Bull.* 100: 143 – 148

Hernández Becerril, D.U., 1985. Estructura del fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas* II (2): 23-38 (16)

Holden, M.J., P.S. Meadows. 1962. The Structure of the Spine of the Spur dogfish (*Squalus acanthias* L.) and its use for age determination. *J.mar.biol.Ass.UK.* 42:179 – 197

Holden, M. J. and D. F. S. Raitt. (1975). Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. 'Documento Técnico de Pesca, FAO 115', 211 pp.

Liu, K.M., C.T. Chen, T.H. Liao, y S.J. Joung. 1999. Age, growth and reproduction of the pelagic thresher shark, *Alopias pelagicus* in the Northwestern Pacific. *Copeia* 1999(1): 68 – 74

Loefer, J.K. y G.R. Sedberry. 2003. Life history of the Atlantic sharpnose shark (*Rizoprionodon terranove*) (Richardson, 1836) off the southeastern United States. *Fish. Bull.* 101: 75 – 88

Maisey, J.G. 1979. Finspine morphogenesis in squalid and heterodontid sharks. *Zool. J. Linn. Soc.* 66: 161 – 183

McFarlane, G.A. y R.J. Beamish., 1987a. Validation of the dorsal Spine method for Age Determination of spiny dogfish. In *Age and Growth of Fish.* Summerfelt, R.C. and G.E. Hall (Eds), Ames. Awes. Iowa; State University Press. 287 – 300

McFarlane, G.A. y R.J. Beamish., 1987b. Selection of Dosages of Oxytetracycline for Age Validation Studies. *Can.J.Fish.aquat.Sci.* 44: 905 – 909

McLaughlin, R.H., y A.K. O'Gower., 1971. Life History and Underwater Studies of a Heterodont Shark. *Ecological Monographs.* Vol. 41, No. 4. 271 – 289

Nammack, M.F., J.A. Musick y J.A. Colvocoresses, 1985. Life History of spiny dogfish off the northeastern United States. *Trans. Am. Fish. Soc.* 114: 367 – 376

Natanson, L.J., J.G. Casey, y N.E. Kohler. 1995. Age and Growth estimates for the dusky shark, *Carcharhinus obscurus*, in the western North Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 93: 116 – 126

Neer, J.A. y G.M. Cailliet. 2001. Aspects of the Life History of the Pacific Electric Ray, *Torpedo californica* (Ayres). *Copeia.* (3), Pp. 842 – 847

Prager, M.H., S.B. Saila y C.W. Recksiek. 1987. FISHPARM: a microcomputer program for parameter estimation of nonlinear models in fishery science, second edition. Old Dominion University Oceanography Technical Report 87 – 10.

Santana, F.M. y R. Lessa. 2004. Age determination and growth of the night shark (*Carcharhinus signatus*) off the northeastern Brazilian coast. Fish. Bull. 102: 156 – 167

Saunders, M.W., y G.A. McFarlane., 1993. Age and Length at Maturity of the spiny dogfish *Squalus acanthias*, in the Strait of Georgia, British Colombia. Canada. Environ. Biol. Fishes. 38: 49 – 57

Sulikowski, J.A., M.D. Morin, S.H. Suk y W.H. Howell. 2003. Age and growth estimates of the winter skate (*Leucoraja ocellata*) in the western Gulf of Maine. Fish. Bull. 101: 405 – 413

Tanaka, S., 1990. The Structure of the Dorsal Spine of the Deep Sea Squaloid Shark *Centrophorus acus* and its Utility for Age Determination. Nippon Suisan Gakkaishi. 56(6): 903 – 909

Taniuchi, T. y H. Tachikawa. 1999. Geographical variation in age and growth of *Squalus mitsukurii* (ELASMOBRANCHII: SQUALIDAE) in the North Pacific. Proc. 5th Indo-Pac. Fish Conf., Nouméa, 1997. Séret B. y J. Y. Sire, Eds. Paris: Soc. Fr. Ichtyol., 1999: 321 – 328

Timmons, M y R.N. Bray. 1997. Age, growth, and sexual maturity of shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus* (Ayres). Fish. Bull. 95: 349 – 359

Tucker, R. 1985. Age Validation Studies on the Spines of the spurdog (*Squalus acanthias*) using tetracycline. J. Mar. Biol. Ass. UK. 65: 641 – 651

Wang, Y.G., y D.A. Milton. 2000. On comparison of growth curves: How do we test whether growth rates differ? Fish. Bull. 98: 874 – 880

Watson, G., y M.J. Smale., 1999. Age and Growth of the Shortnose spiny dogfish *Squalus megalophs* from the Alghulas Bank, South Africa. S. Afr. J. mar. Sci. 21: 9 – 18

Zar, J.H. 1999. Bioestatistical Analysis. Cuarta Edición. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, EU. 929 pp.