

Universidad de Guadalajara

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES



**DETERMINACIÓN DE EDAD Y CRECIMIENTO EN EL TIBURÓN MUSOLA GRIS (*Mustelus lunulatus*
Jordan y Gilbert, 1883) EN LA REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA POR MEDIO DE
ANILLOS VERTEBRALES.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA

MIGUEL ANGEL ESCOBEDO OLVERA
Las Agujas, Zapopan, Jal. Mayo 2006



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias

*Coordinación de Titulación y Carrera de Licenciatura
en Biología*

324/ C. C. BIOLOGÍA

**C. MIGUEL ANGEL ESCOBEDO OLVERA
PRESENTE**

Manifestamos a usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de: **TESIS E INFORMES** opción **TESIS** con el título : “ **Determinación de Edad y Crecimiento del tiburón Musola Gris (*Mustelus lunulatus*, Jordan y Gilbert 1882) en la Región Norte del Golfo de California por medio de Anillos Vertebrales**” para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptado como Director / a de dicho trabajo al **Ocean. ALFONSO MEDELLÍN ORTIZ** y el Asesor / a es: **M en C. MARTÍN PÉREZ PEÑA.**

Sin más por el momento, le envío un caluroso saludo.

ATENTAMENTE
“PIENSA Y TRABAJA”
Las Agujas, Zapopan., 9 de Noviembre del 2005.

DR. CARLOS ÁLVAREZ MOYA
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

DRA. LAURA GUADALUPE MEDINA CEJA
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

C.c.p. Ocean. ALFONSO MEDELLÍN ORTIZ - Director del trabajo

Dr. Carlos Álvarez Moya
Presidente del Comité de Titulación
Carrera de Licenciado en Biología
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Presente.

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad **TESIS E INFORMES**, opción **TESIS** con el título:
“Determinación de Edad y Crecimiento del tiburón *Musola Gris (Mustelus lunulatus, Jordan y Gilbert 1882)* en la Región Norte del Golfo de California por Medio de Anillos Vertebrales” que realizó el pasante **Miguel Angel Escobedo Olvera** con número de código **397266506** consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente
Las Agujas, Zapopan, Jal. a 23 de Mayo de 2006

Ocean. Alfonso Medellín Ortiz
Director de Tesis

M.C. Martín Pérez Peña
Asesor

Nombre completo de los Síndicales asignados por el Comité de Titulación

Firma de aprobado

Fecha de aprobación

Dr. Eduardo Ríos Jara

22 mayo 2006

M.C. Idelfonso Enciso Padilla

Biol. Pesq. Agustín Camacho
Rodríguez

Supl. Biol. Maurilio Soto Espinosa

10 Bo
C
24/05/06

El presente trabajo de Tesis fue realizado dentro del Proyecto:
*“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”*,
desarrollado por el Laboratorio de Ecología Pesquera de CICESE

DEDICATORIAS

A Dios que me dio la vida.

A mi madre que me trajo al mundo.

A mi padre que le ayudo, y es mi ejemplo.

Al Negro, con quien compartí mi niñez y me hizo tío.

Al Leno, que espero de algún modo ser su ejemplo.

Al Habano, que su llegada me dio energía para seguir adelante.

A mi Nena y a mi Padre Juan; a mi Abi y mi abuelo Nacho que me cuidan desde el cielo.

A mis todas mis tías, tíos, primas, primos y sus respectivos chiquillos, por todo su apoyo.

A mis carnales Francisco Luquín, Carlos Ochoa, Marco Parra, Rogelio Loera, Roberto Cortéz, Baldo, Many y Ce. El orden no importa todos ellos saben que son iguales para mi. Por la comprensión, apoyo y mas que nada por levantarme cuando me vieron triste, porque como dice el dicho: pa' todo mal.... Mezcal, pa' todo bien.....también!

AGRADECIMIENTOS

A mi amigo Alfonso Medellín que me tuvo paciencia y dirigió mi trabajo de tesis.

Al Dr. Oscar Sosa Nishizaki por la oportunidad de trabajar en el laboratorio de Ecología Pesquera en CICESE.

A Juan Carlos Pérez, Leonardo Castillo, Carmen Medrano y Julio Palleiro por su apoyo, consejos y facilidades de todo tipo otorgadas para la realización de éste trabajo.

A mi casa de estudios la Universidad de Guadalajara, mi asesor Martín Pérez Peña y sinodales Eduardo Ríos Jara, Idelfonso Enciso Padilla, Maurilio Soto y Agustín Camacho por el apoyo, orientación comentarios para mejorar mi trabajo.

A mis amigos y compañeros Omar Santana, a su esposa Viviana, Ely Cuevas, Iván Méndez, Kary de la Rosa, Nadia, Santa y Jenny. Por los ratos de trabajo pero más por los de fiesta.

A mis amigos de la facultad Alma Ávila, Jhany Salazar, Susana Cruz, Cachy Chávez, Erubey García, Cristian Galván, Alejandro Ramírez, Omar Sepulveda, César Morales, Ricardo Vaca, a todos lo que me faltaron que no por eso son menos importantes, si no que son muchos y ahorita no me acuerdo. Gracias por todo lo bueno y lo malo, cada quien que agarre su parte.

A todas las personas que me dijeron que estaba loco para estudiar tiburones, cosa que ya sabia, pero no por los tiburones... porque hicieron que gustara mas, que me diera cuenta que falta aún mucho por hacer y que éste trabajo solo es el comienzo.

CONTENIDO

Resumen

| | Página |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Antecedentes | 4 |
| 2.1. Descripción de la especie (Compagno, 2004)..... | 7 |
| 3. Descripción del Área de Estudio | 9 |
| 4. Hipótesis | 12 |
| 5. Objetivo General | 13 |
| 6. Objetivos Particulares | 13 |
| 7. Materiales y Métodos | 14 |
| 7.1. Trabajo de Campo..... | 14 |
| 7.2. Trabajo de Laboratorio..... | 15 |
| 7.3. Trabajo de Gabinete..... | 17 |
| 8. Resultados | 19 |
| 8.1. Edad y Crecimiento..... | 22 |
| 8.1.1. Descripción de la columna vertebral..... | 22 |
| 8.1.2. Relación Radio Vertebral – Longitud Total..... | 24 |
| 8.1.3. Relación Peso Total - Longitud Total..... | 25 |
| 8.1.4. Estructura de edades..... | 26 |
| 8.1.5. Incremento Marginal y Análisis del Borde de la Estructura..... | 29 |
| 8.1.6. Precisión en la Determinación de Edad..... | 30 |
| 8.1.7. Descripción del crecimiento..... | 33 |
| 8.1.8. Longevidad..... | 33 |
| 8.1.7. Edad de madurez..... | 33 |
| 9. Discusión | 35 |
| 9.1. Descripción de la columna vertebral..... | 35 |
| 9.2. Relación Radio Vertebral – Longitud Total..... | 35 |

| | Página |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 9.3. Relación Peso Total - Longitud Total..... | 35 |
| 9.4. Estructura de edades..... | 35 |
| 9.5. Incremento Marginal y Análisis del Borde de la Estructura... | 37 |
| 9.6. Precisión en la Determinación de Edad..... | 39 |
| 9.7. Descripción del crecimiento..... | 39 |
| 9.8. Longevidad..... | 40 |
| 9.9. Edad de madurez..... | 41 |
| 10. Conclusiones..... | 42 |
| 11. Literatura Citada..... | 43 |

12. Índice de Tablas

| | Página |
|------------------------------------------------------|--------|
| 1. Parámetros de las ecuaciones alométricas..... | 25 |
| 2. Resultados de las pruebas de precisión..... | 31 |
| 3. Porcentaje de Acuerdo (PA)..... | 31 |
| 4. Parámetros de la ecuación de von Bertalanffy..... | 33 |
| 5. Estimaciones de longevidad..... | 33 |

13. Índice de Figuras

| | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Hembra de Musola Gris..... | 8 |
| 2. Características diagnósticas de la especie..... | 8 |
| 3. Localización del Área de Estudio..... | 11 |
| 4. Sección longitudinal de una Vértebra..... | 17 |
| 5. Histograma de Frecuencia de Tallas..... | 21 |
| 6. Columna vertebral de <i>M. lunulatus</i> | 22 |
| 7. Cortes vertebrales de cada sección de la columna vertebral | 23 |
| 8. Relación Radio Vertebral – Longitud Total..... | 24 |
| 9. Relación Peso Total – Longitud Total..... | 25 |
| 10. Estructura de Edades..... | 26 |
| 11. Patrón de depositación de bandas de crecimiento y borde de la estructura..... | 27 |
| 12. Intervalo de Tallas y Edad por sexo..... | 28 |
| 13. Porcentaje de ocurrencia del tipo de borde | 29 |
| 14. Resultado del Análisis del Incremento Marginal..... | 30 |
| 15. Curva de Tendencia entre Lectores..... | 32 |
| 16. Curva de Crecimiento de <i>M. lunulatus</i> | 34 |

RESUMEN

La edad y los parámetros de crecimiento del cazón musola gris *M. lunulatus* fueron estimados mediante la lectura de patrones de depositación de bandas de crecimiento en 115 cortes vertebrales usando la técnica de tinción con rojo de alizarín. La edad máxima observada fue de 15 bandas (hembra, 1270 mm. LT) y la mínima 1 banda (hembra, 466 mm. LT). Se calcularon los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy por medio del método de Mínimos Cuadrados no Lineales. El análisis de la suma de cuadrados residuales (ARSS) indicó que no existieron diferencias significativas en el crecimiento entre hembras y machos ($P > 0.05$) por lo que se calculó una curva de crecimiento para ambos sexos utilizando los parámetros $L_{\infty} = 1759.98$, $k = 0.0926$ y $t_0 = -2.6833$. Se determinó que la relación radio vertebral – longitud total es de carácter lineal. Mediante el Análisis de Covarianza (ANCOVA) no se encontraron diferencias entre las regresiones de machos y hembras ($P > 0.05$). Por lo que se presenta una sola ecuación $LT = 121.49RV + 271.47$, ($r^2 = 0.8856$). Asimismo el ANCOVA ($P > 0.05$) no encontró diferencias significativas en la relación peso total – longitud total entre sexos por lo que se calculó una regresión conjunta $Peso = 1 \times 10^{06} LT^{3.1699}$, ($r^2 = 0.9755$) que indica un crecimiento isométrico. La precisión y reproducibilidad de lectura de bandas de crecimiento fue medida mediante el Porcentaje de Error Promedio (APE) para 2 lectores siendo **9.992** y **11.10** respectivamente. El Porcentaje de Acuerdo (PA) entre lectores fue de **96.61%** para un intervalo de ± 3 bandas. Mediante el Incremento Marginal Relativo (IMR) no se pudo determinar el periodo de formación de una banda debido a las dificultades relacionadas con el hacinamiento de bandas en el borde vertebral y el número de muestra para los meses de invierno. Las estimaciones de longevidad al 95 y 99% de la L_{∞} calculada para sexos combinados fueron 15 y 22 bandas.

INTRODUCCIÓN

Los tiburones y rayas (subclase Elasmobranchii) forman un grupo de alrededor de 1,100 especies la mayoría marinos (Compagno, 2001). Los tiburones, son descritos como organismos longevos, de lento crecimiento, primera reproducción a edad avanzada y bajas tasas reproductivas, produciendo poca descendencia. (Holden, 1977). La combinación de éstas características biológicas hace que algunas especies de tiburones sean altamente susceptibles a los efectos de la sobreexplotación (Holden, 1977; Bedford, 1987).

Las poblaciones sujetas o no a la pesca están compuestas por individuos con ciclos de vida que consisten en series secuenciales y reconocidos estados de desarrollo los cuales pueden ser descritos por la edad, estadio de vida, tiempo o bien por el tamaño del individuo (Cortés, 2004), por lo que la obtención de datos explícitos de dichos estados de desarrollo son esenciales para el estudio de los efectos de las características de una población en el crecimiento de los individuos (su estructura de edades, composición de tallas, densidad, y mortalidades específicas a un tamaño o edad determinada); (Moulton *et al.*, 1992; Walker *et al.*, 1998).

Para la evaluación de la Dinámica de Poblaciones de tiburones uno de los parámetros importantes para la creación de modelos demográficos es el conocimiento de la edad y crecimiento de la especie en cuestión. Los análisis de frecuencia de longitudes han sido los más comúnmente usados, (Templeman, 1944; Olsen, 1954; Aaesén, 1963; Parker y Stott, 1965; Johnson y Horton, 1972, Sage *et al.*, 1972, Edwards, 1980, Branstetter, 1981, Soldat, 1982; Cailliet *et al.*, 1983b; Taniuchi *et al.*, 1983; Parsons, 1983, 1985; Pratt y Casey, 1983; Natanson *et al.*, 1984; Casey *et al.*, 1985; Nakano, 1985; Kusher, en prep.), estudios de captura-marcaje-recaptura complementados con los análisis de frecuencia de longitudes (Steven, 1936; Kaufman, 1955; Babel, 1967; Davies y Joubert, 1967; Kato y Carvallo, 1967; Wass, 1971, 1973; Holden, 1974; Grant *et al.*, 1979; Thorson y Lacy 1982; Casey *et al.*, 1985; Brown y Gruber, *en prensa.*), los análisis de reemplazo de dientes (Moss 1972; Reif *et al.*, 1978), el uso de caracteres sexuales secundarios (Johnson y Horton, 1972), las tasas

de crecimiento en los embriones (Ketchen, 1972; Holden, 1974; Francis, 1981; Branstetter, 1981; Natanson, 1984).

El conteo de bandas de crecimiento en espinas dorsales ha dado mucha información sobre las especies que las poseen (Kaganovskaia, 1973; Templeman, 1944; Bonham *et al.*, 1949; Holden y Meadows, 1962; Ketchen 1975; Soldat, 1982; Nammack *et al.*, 1985; Beamish y MacFarlane, *en prensa*) desafortunadamente la mayoría de los elasmobranquios carecen de espinas por lo que el uso de la técnica es limitado.

Las bandas concéntricas depositadas en las zonas de crecimiento de los centros vertebrales de los elasmobranquios es una herramienta útil para la determinación de edad. Ridewood (1921) fue el primero en describir esas zonas; Urist (1961) y Applegate (1967) proporcionaron evidencia morfológica que estas zonas son comunes entre tiburones y rayas. Haskel (1949) fue el primero en argumentar que estas zonas podrían ser útiles para la determinación de edad. Los conteos de patrones de bandas opacas y traslúcidas en vértebras, espinas dorsales, espinas caudales y arcos neurales han sido la única manera de obtener información de las tasas de crecimiento de estos peces ya que los elasmobranquios carecen de estructuras duras, como otolitos, escamas y huesos comúnmente usados en estudios de edad y crecimiento de peces óseos (Cailliet *et al.*, 1986)

Las zonas de crecimiento encontradas en las vértebras de los elasmobranquios son el resultado de dos tipos de marcas concéntricas definidas como **anillos** (las marcas más delgadas observadas) y **banda** (marca concéntrica amplia compuesta por **grupos de anillos**); (Cailliet *et al.*, 1986). De esta manera se interpreta que las bandas amplias poseen espacios amplios entre anillos y las bandas delgadas anillos estrechamente espaciados, donde se adjudica que un par anillos podrían tener una depositación anual. Con base en las estimaciones de edad, las tasas de crecimiento y longevidad en los tiburones diversos autores sugieren que los anillos vertebrales son indicadores precisos de edad (Cailliet *et al.*, 1986; Cailliet, 1990; Campana *et al.*, 2002; Natanson *et al.*, 2002).

Para la evaluación de la depositación de marcas y crecimiento, la información ha de ser medida en términos de **verificación** y **validación** donde la verificación es la confirmación de una interpretación numérica (estimado de edad) por comparación con otro método indeterminado que mide la periodicidad temporal de la depositación de bandas. La validación es la confirmación del significado temporal del incremento en crecimiento, análogo a la exactitud con la que se dio una determinación de edad. La validación de edad es la conclusión que cuenta con suficientes hipótesis probadas acerca de la temporalidad en la depositación de bandas que permite una predictibilidad de depositación de bandas para todas las edades (Beamish y McFarlane, 1983b).

Si bien la musola gris *Mustelus lunulatus* es un componente común en la pesquería de la parte Norte del Golfo de California, poco se conoce acerca de la biología de la especie. Los trabajos realizados con el fin de comprender su historia de vida se limitan a hábitos alimentarios (Hemstra, 1969; Méndez, 2004), distribución (Hemstra, 1969; Compagno, 1984) y biología reproductiva (Pérez-Jiménez, *comm. pers.*). El presente trabajo tiene como objetivo aportar una estimación de los parámetros de crecimiento, determinación de edad y aspectos reproductivos del cazón *Mustelus lunulatus* capturado en la región Norte del Golfo de California con el fin de contribuir al conocimiento de su biología.

ANTECEDENTES

Yudin y Cailliet (1990) realizaron estudios de edad y crecimiento usando radiografías vertebrales en *M. henlei* y *M. californicus* en California Central, no encontraron diferencias significativas en el crecimiento entre hembras y machos para ninguna especie comparando las curvas de crecimiento y los parámetros ecuación de von Bertalanffy para ambos sexos de las dos especies, (L_{∞} = 977 mm. LT, k = 0.244 y t_0 = - 1.296 para *M. henlei* y L_{∞} = 1544 mm. LT, k = 0.168 y t_0 = - 1.271, para *M. californicus*). Además concluyen que éstas dos especies tienen características de crecimiento similares encontradas en el género *Mustelus*.

Francis y Francis (1992) realizaron estudios de tasas de crecimiento mediante análisis de frecuencia de longitudes y marcaje de individuos en *M. lenticulatus* en Bahía Pegaso, Nueva Zelanda. Determinaron la edad de madurez (3 a 4 años) y longevidad (al menos 12 años) por éste método, sugiriendo que la tasa de crecimiento de las hembras es mayor que la de los machos por lo tanto alcanzan una mayor LT en esta especie. Concluyen que la edad de madurez y las tasas de crecimiento se ajustan a las estimadas para otras especies el género.

Moulton *et al.* (1992) realizaron estudios de edad y crecimiento de *M. antarcticus* en el sur Australia y estrecho Bass utilizando cortes vertebrales probando varias técnicas para resaltar las bandas de crecimiento, obteniendo mejores resultados con la tinción de rojo de alizarín. Comparando las curvas de crecimiento y los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy generadas por muestras provenientes de dos temporadas de pesca distintas (1973 – 76 y 1986 – 87), concluyen que existieron diferencias significativas en el crecimiento entre machos y hembras. Asimismo las tasas de crecimiento para ambos sexos fueron diferentes en las dos temporadas y las dos áreas de pesca distintas. Concluyen que los parámetros y la curva de crecimiento generada para cada sexo en la temporada 1973 – 76 del estrecho Bass son los que mejor representan a la especie (estrecho Bass, 1973 - 76: hembras L_{∞} = 2019 mm. LT, k = 0.123 y t_0 = -1.55; machos L_{∞} = 1387 mm. LT, k = 0.253 y t_0 = -0.90), debido a que las curvas y los parámetros generados

en la temporada 1986 – 87 en ambas localidades podrían estar distorsionadas por el esfuerzo pesquero a lo largo del tiempo.

Yamaguchi *et al.* (1996) observaron una anualidad en la depositación de anillos examinando radiografías vértebrales en *M. manazo* en aguas de la Bahía de Tokio, Japón. Los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy (hembras: L_{∞} = 1341 mm. LT, k = 0.113 y t_0 = -2.55; machos: L_{∞} = 1241 mm. LT, k = 0.120 y t_0 = -2.59) y las curvas de crecimiento correspondientes indicaron que hasta los 2 años el crecimiento es similar en ambos sexos, pero a partir de esa edad hay un cambio en el crecimiento, reflejándose en una mayor longitud total en las hembras.

Goosen y Smale (1997) en estudios preliminares de edad y crecimiento de *M. mustelus* utilizaron rojo de alizarín en cortes vertebrales. Para la construcción de curvas de crecimiento utilizaron dos métodos: 1) Fabens y 2) von Bertalanffy. No encontraron diferencias significativas entre los parámetros generados por ambos métodos, pero mencionan que la curva de crecimiento y los parámetros que mejor representaron a la especie fueron los provenientes del método de von Bertalanffy (hembras: L_{∞} = 2049 mm. LT, k = 0.06 y t_0 = -3.55; machos: L_{∞} = 1451 mm. LT, k = 0.120 y t_0 = -2.14). Reportaron edad de madurez para ambos sexos (6 a 9 años para machos y 12 a 15 años para hembras).

Yamaguchi *et al.* (1998) en estudios de variación de crecimiento con radiografías de centros vertebrales de *M. manazo* en cinco localidades de Japón y Taiwan, reportaron que no hubo variación estacional en la depositación anual de una banda para los cinco sitios del estudio, Las variaciones ocurrieron en las edades máximas encontradas entre la población ubicada en el extremo norte y el extremo sur del área de estudio (9 y 5 años en machos y 17 y 9 años en hembras, respectivamente). Asimismo reportaron que en éstas dos localidades las hembras son más longevas y grandes que los machos. Reportaron también un crecimiento significativamente diferente entre sexos de dos localidades, manifestaron que el crecimiento de los machos en las cinco localidades fue distinto, mientras que no encontraron diferencias en el crecimiento entre hembras en dos localidades. Los

organismos pertenecientes al norte y al este del área de estudio tuvieron la tendencia de crecer y vivir más que en las demás localidades.

Yamaguchi et al. (1999) determinaron una anualidad en la depositación de anillos de crecimiento por radiografías en centros vertebrales de *M. manazo* en el noreste de Taiwan, siendo el mes de Julio el de formación de una banda. Por medio de retro cálculos combinados con regresiones no lineales generaron los parámetros y la curva de crecimiento de von Bertalanffy. (hembras: L_{∞} = 1137 mm. LT, k = 0.124 y t_0 = -2.78; machos: L_{∞} = 829 mm. LT, k = 0.233 y t_0 = -2.16) Reportaron que hasta la edad 4 el crecimiento es similar en ambos sexos, a partir de ese periodo, las hembras tienden a alcanzar una mayor LT que los machos. La talla y edad de madurez reportada fue de 547 mm. LT y 2 años para machos y 597 mm. LT y 2 años para las hembras.

Conrath y Musick (2002) utilizaron cortes vertebrales impregnados de alcohol para determinar la edad y describir el crecimiento de *M. canis* en el noreste del Océano Atlántico. Mencionan que el periodo de formación de banda de crecimiento ocurre en el mes de abril. Los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy fueron calculados de manera separada para sexos (hembras: L_{∞} = 1235 mm. LT, k = 0.291 y t_0 = -1.94; machos: L_{∞} = 1051 mm. LT, k = 0.439 y t_0 = -1.52). Reportaron que la edad de madurez sexual para machos fue de 2 a 3 años y de 4 a 7 para hembras. Concluyen que los parámetros estimados se encuentran dentro del intervalo de los mismos parámetros calculados para varias especies del género.

No existen antecedentes de trabajos acerca de la edad y crecimiento de *M. lunulatus*.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE (Compagno, 2004)

La musola gris *Mustelus lunulatus* (Jordan y Gilbert, 1883); (Fig. 1). tiene un cuerpo esbelto; cabeza corta, un hocico moderadamente largo formando un ángulo romo en vista lateral. Los ojos son grandes pero de longitud menor a la boca (que es muy larga). Surcos labiales superiores más cortos que los inferiores, dientes molariformes y asimétricos con una cúspide primaria reducida a una punta baja y sin cúspides accesorias, excepto en ejemplares muy jóvenes (Fig. 2). Los bordes posteriores de las aletas dorsales son denticulados, sin ceratotriquios expuestos. La primera aleta dorsal es falciforme, su borde posterior es vertical desde el ápice, el punto medio de su base esta más cercano a las bases de las aletas pectorales que a aquellas de las pélvicas; la segunda aleta dorsal situada claramente por delante del origen de la aleta anal. Las aletas pectorales y pélvicas pequeñas, el espacio anal-caudal mayor que la altura de la segunda dorsal, el lóbulo ventral de la aleta caudal claramente falciforme en adultos. Denticulos dérmicos de la parte lateral del cuerpo acanalados en 2/3 de su longitud. Color gris uniforme en el dorso, el vientre es claro; sin manchas blancas u oscuras ni franjas verticales oscuras.

La talla máxima posiblemente alcanza 1.7 m. de longitud en la especie y particularmente en las hembras, madurando a los 97 cm.; los machos maduran entre 70 y 83 cm. llegando al 1.1 m.; de reproducción vivípara, la talla al nacer entre 32 y 35 cm.

Es una especie abundante pero poco conocida de amplia distribución en mares tropicales, templado-cálidos y fríos, desde aguas someras hasta profundidades moderadas (300 m. o más) que vive sobre el fondo de las plataformas continentales del Pacífico Oriental, incluyendo el Golfo de California, habitando tanto cerca como lejos de la costa.

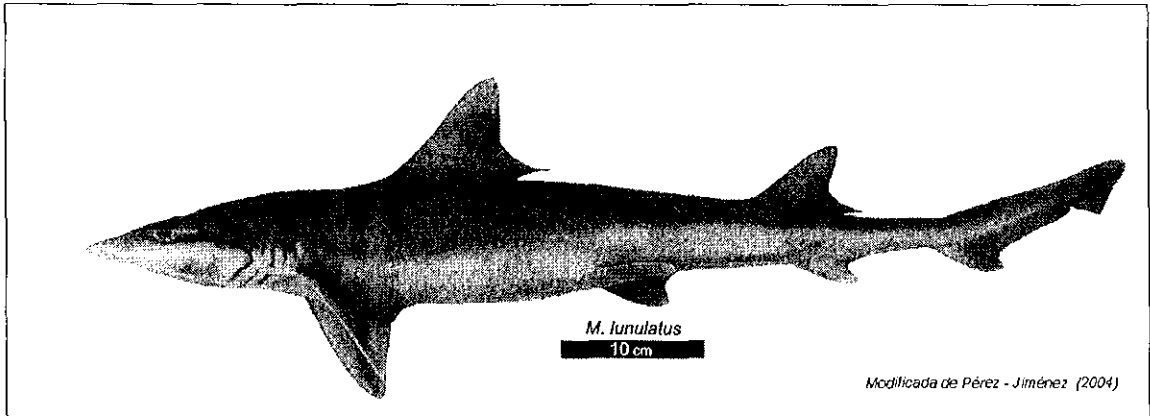


Figura 1. Hembra *M. lunulatus*.

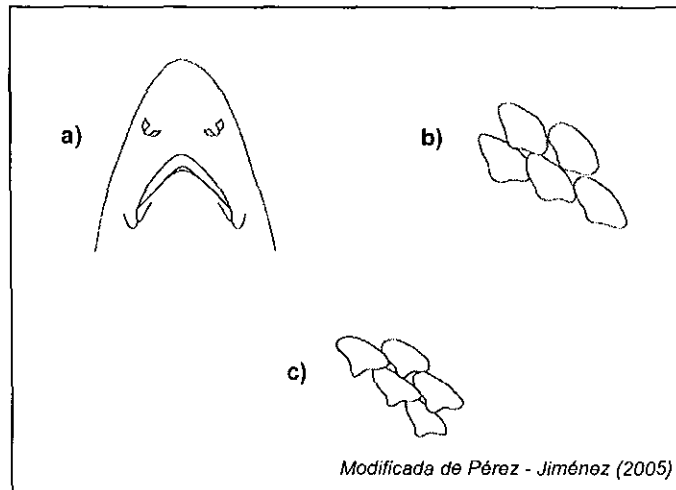


Figura 2. Características diagnosticas de la especie:
a) Surcos labiales; b) dientes y c) denticulos dérmicos.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California representa el 20% de los 10,000 Km. nominales de costas Mexicanas (Lavín, 1997). Se encuentra localizado entre la Península de Baja California y las costas de los estados de Sonora y Sinaloa con coordenadas 25° y 32° N y 107° y 115° O, con una longitud de 1,070 Km. y aproximadamente 135 Km. de anchura (Hernández-Becerril, 1985); (Fig. 3).

De acuerdo con Lavín (1997) el Golfo de California se ha dividido en 5 regiones para su estudio, de acuerdo a su batimetría y las diferencias en los procesos físicos que controlan la circulación y estructura termohalina en cada una de las regiones:

1. Zona de la Boca: Área triangular limitada por las líneas que unen a Cabo San Lucas B.C.S., con Cabo Corrientes Jal., El Dorado Sin., con Cabo San Lucas y la línea de costa entre El Dorado y Cabo Corrientes. Zona muy profunda donde se encuentran varias masas de agua generando una estructura termohalina complicada.
2. Parte Sur: La más extensa, desde la línea de Cabo San Lucas con El Dorado hasta los umbrales de las grandes islas (Tiburón y Ángel de la Guarda) presenta salinidades superficiales altas; la plataforma continental del lado de la península es casi inexistente pero al otro lado es cercana a los 30 Km.
3. Zona entre Islas: Canales estrechos y someros entre Isla Tiburón y Ángel de la Guarda, el Canal de Ballenas y Salsipuedes son muy profundos dando condiciones oceanográficas muy especiales. Con fuerte mezcla por marea, comunicando la parte norte y la parte sur del golfo, el intercambio de agua se da en esta parte tanto por profundidad como por anchura entre la Isla San Lorenzo y San Esteban.
4. Parte Norte: Desde las grandes islas hasta la línea que va desde San Felipe (B.C.) con Puerto Peñasco (Son). Zona mucho más somera alrededor de 200 m. descendiendo a más de 3,700 m. de profundidad, pudiendo considerar la mayoría del fondo marino como parte de la plataforma continental.

5. Alto Golfo: Triángulo con vértices en la desembocadura del Río Colorado, San Felipe y Puerto Peñasco. Zona muy somera principalmente compuesta por sedimentos terrestres; de alrededor de 15 m. de profundidad con fuertes corrientes de marea.

El clima del Alto Golfo de California es de características continentales mas que aquellas oceánicas con intervalos de temperaturas medias entre 8° y 33° (Bizarro y O'Sullivan, 2000). Con rangos de marea de 6.95 m. en San Felipe hasta cerca de los 10 m. en la entrada del Delta del Río Colorado (Gutiérrez y González, 1989).

El flujo de corrientes superficiales está estrechamente correlacionado con los patrones del viento, con direcciones noroeste en verano y otoño y sureste en primavera e invierno (Bizarro y O' Sullivan, 2000).

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

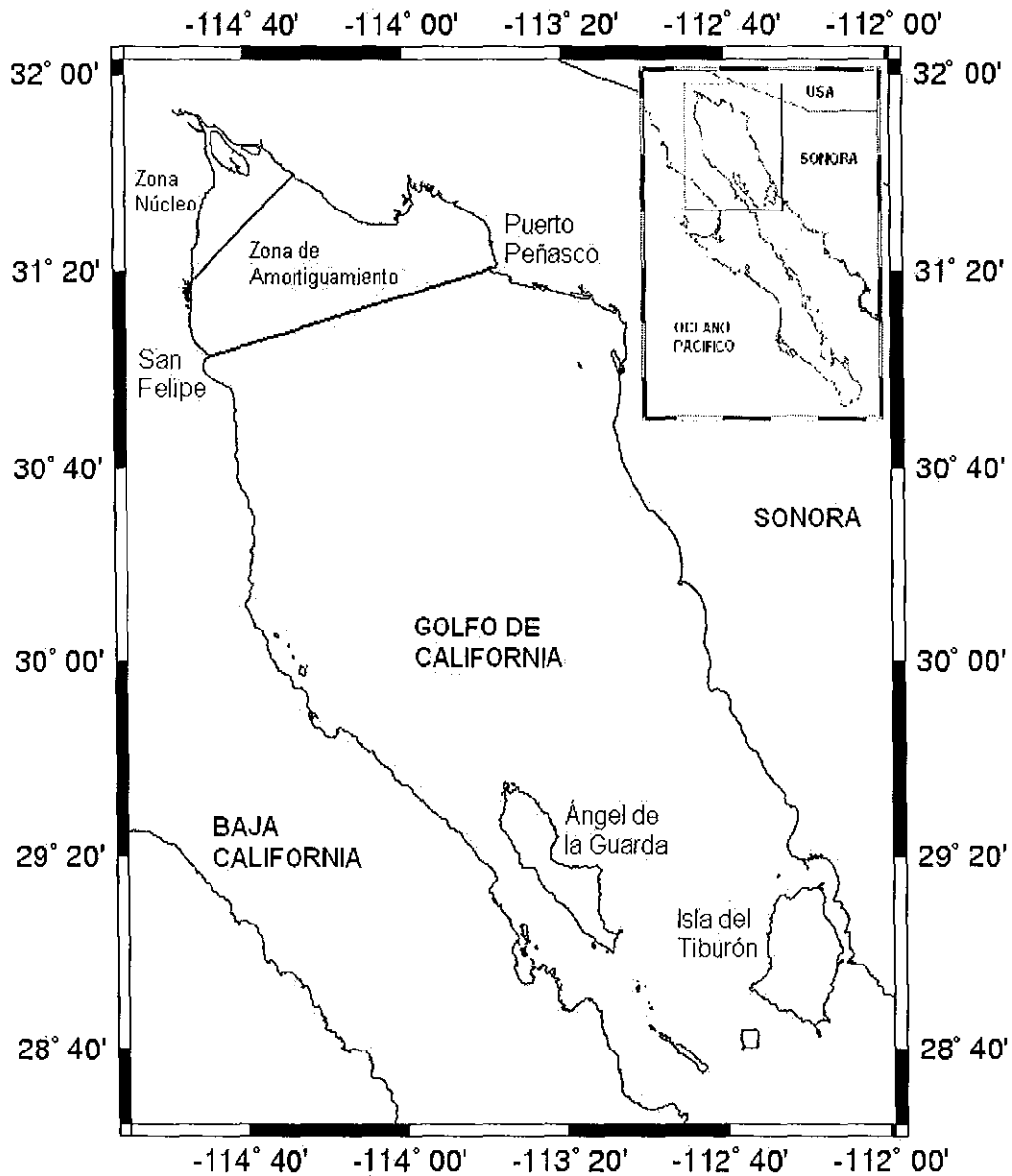


Figura 3. Área de estudio

HIPÓTESIS

Con base en estudios de edad y crecimiento realizados en especies del Género *Mustelus* que indican un crecimiento rápido, madurez sexual temprana, corta longevidad, se presentan las siguientes hipótesis:

1. Las tasas de crecimiento de *M. lunulatus* son similares a otras especies del género.
2. La formación de una banda (anillo opaco y hialino) en los centros vertebrales es anual.
3. Las tasas de crecimiento son iguales para machos y hembras de la especie.
4. *M. lunulatus* alcanza la madurez sexual en un intervalo de edad similar a otras especies del género *Mustelus*.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la edad describir el crecimiento del tiburón *M. lunulatus* con el fin de contribuir al conocimiento de su historia de vida.

OBJETIVOS PARTICULARES

- I. Determinar las tasas de crecimiento de la especie y comparar con otras especies del Género *Mustelus*.
- II. Determinar la periodicidad en la depositación de bandas.
- III. Validar la depositación de bandas por medio del incremento marginal de las estructuras vertebrales.
- IV. Obtener una curva de crecimiento de la especie con base a la edad validada.
- V. Evaluar si existe diferencia en el crecimiento entre sexos.
- VI. Determinar la edad de madurez sexual y de primera reproducción en la especie.



MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajo de Campo

Las muestras provinieron de las salidas de campo de los puertos de San Felipe B.C., y Puerto Peñasco Son., como parte del proyecto "Historias de vida, pesca y conservación de los Elasmobranchios que habitan la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado", desarrollado por el Laboratorio de Ecología Pesquera de CICESE. Se obtuvieron un total de 116 organismos capturados por embarcaciones de pesca comercial y artesanal (68 hembras y 47 machos), en el periodo comprendido entre el 6 de Julio del 2003 al 27 de Abril del 2004. Para la determinación de edad se extrajeron alrededor de 7 vértebras de cada organismo situadas debajo de la primera aleta dorsal (Cailliet, 1983), el aparato digestivo y el aparato reproductor. Las muestras se guardaron en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta donde se anotaron los datos del organismo muestreado, para después conservarlas en hielo y evitar la descomposición (en el caso de estómago) para su posterior procesamiento en el laboratorio en Ensenada. En un formato de campo se anotó la fecha de captura, nombre de la embarcación, arte de pesca utilizado, profundidad y duración del lance, así como la localización aproximada donde fue pescado el organismo, y cuando fueron posibles las coordenadas del lance. Como parte del protocolo de muestreo del laboratorio y de importancia para este trabajo se tomaron las siguientes medidas biológicas:

1. Longitud total del organismo (LT): Distancia en línea recta del hocico hasta la parte distal del lóbulo superior de la aleta caudal.
2. Peso antes de ser eviscerado.

Trabajo de Laboratorio

Para seleccionar las vértebras que serían utilizadas para la determinación de edad se seccionó la columna vertebral completa de 1 organismo y se dividió en 6 secciones: cervical, debajo de la primera aleta dorsal, espacio inter – dorsal, debajo de la segunda aleta dorsal, pedúnculo caudal y caudal. Según Cailliet *et al.* (1983^a). Las mejores vértebras para la determinación de edad son aquellas que presentan un mayor diámetro. Los diámetros se midieron con vernier de extremo a extremo de la vértebra al milímetro más cercano.

Las muestras fueron descongeladas sumergiéndolas en agua corriente aproximadamente durante 1 hora. La separación del tejido conectivo del cuerpo vertebral (incluyendo los arcos neurales y hemales) se realizó de manera manual por medio de un bisturí teniendo cuidado de no dañar la superficie de la vértebra así como sus bordes.

Para comprobar la consistencia y reproducibilidad en la depositación de marcas de crecimiento a lo largo de la columna vertebral, se extrajo la columna completa de un organismo, dividiéndola en seis secciones (cervical, 1era. dorsal, inter - dorsal, 2da. dorsal, pedúnculo caudal y caudal) posteriormente se procesaron y leyeron dos vértebras de cada sección.

Removido en su totalidad el tejido conectivo de las vértebras, se procedió a la tinción con Rojo de Alizarín (LaMarca, 1966) sumergiendo las vértebras en una solución saturada de rojo de alizarín con hidróxido de sodio al 0.1 % (razón 1: 9), durante 1 – 2 minutos. Para eliminar el exceso de alizarín se enjuagaron con agua corriente, después se sumergieron nuevamente en una solución de peróxido de hidrógeno al 3% para eliminar los residuos de alizarín.

Posteriormente se efectuaron los cortes longitudinales de una vértebra de cada organismo, en el caso de que no sea posible la lectura se realizó un segundo corte de otra vértebra de la misma muestra. Los cortes fueron realizados con una cortadora de baja velocidad ISOMET (Buehler) con navaja de diamante, cada uno de ellos con un

grosor de 0.5 mm. incluyendo dentro del corte el foco o centro de la vértebra. Con fines manejo todos los cortes se fijaron en un portaobjetos de vidrio con resina Cytoseal ®. Se midió el radio vertebral por medio de un microscopio estereoscópico desde el foco de la vértebra a 3 puntos diferentes: marca de nacimiento, penúltimo anillo formado y borde (Fig. 4)

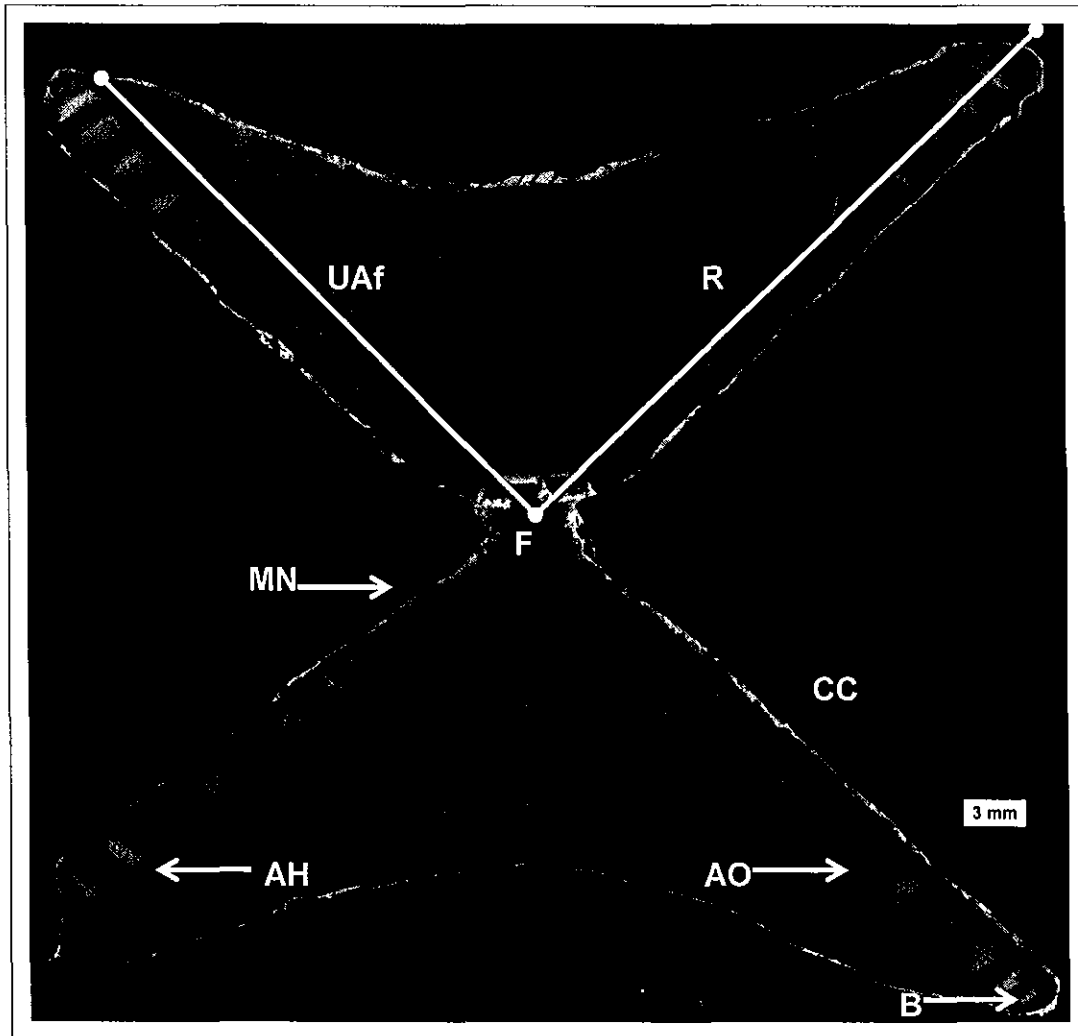


Figura 4. Sección longitudinal de una vértebra de *M. lunulatus*. F: foco; MN: marca de nacimiento R: radio vertebral; CC: corpus calcareum; AH: anillo hialino; AO: anillo opaco; UAf: último anillo formado y B: borde.

Trabajo de Gabinete

Se realizó un Análisis de Covarianza (ANCOVA) para probar si existía diferencia significativa en la relación RV - LT (Radio Vertebral – Longitud Total) entre machos y hembras. El radio vertebral fue medido en plano transversal desde el foco de la vértebra hasta el margen del corpus calcareum. 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.

Las tasas de crecimiento se determinaron mediante la lectura de bandas de crecimiento en vértebras, se contabilizaron las bandas a partir de la marca de nacimiento para la posterior aplicación de modelos de crecimiento. Para asegurar la buena interpretación y evitar un sesgo en el número de bandas contabilizadas, las vértebras fueron leídas de manera aleatoria 3 veces por 2 lectores experimentados distintos.

Para evaluar la precisión en la determinación de edad de cada lector, se aplicó la prueba de Porcentaje de Error Promedio (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. Además se aplicó la modificación al método propuesta por Chang, 1982., calculando 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 por el índice de precisión (**D**) que es el resultado de V/\sqrt{R} .

La precisión y reproducibilidad de las lecturas de las vértebras entre lectores fue comprobada por el Método de Porcentaje de Acuerdo (Percent of Agreement) (Cailliet y Goldman, 2004) que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$PA = (\text{No. de acuerdos} / \text{No. de lecturas}) * 100$$

Para cada muestra además de una regresión lineal de los conteos entre lectores.

Los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy (1938) 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:

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

donde: L_t = longitud pronosticada al tiempo t , L_{∞} = longitud máxima estimada para la especie, e = base del logaritmo natural, k = coeficiente de crecimiento de la especie, t = tiempo, t_0 = el tiempo o edad donde teóricamente la longitud del organismo es cero.

Para la comparación de las curvas de crecimiento entre sexos se utilizó el Análisis de la Suma de Cuadrados Residuales (Análisis of Residual Sum of Squares, **ARSS**) propuesto por Chen (1992), que compara todos los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy comprobando si las curvas de crecimiento son coincidentes (Haddon, 2001).

Para validar la periodicidad y verificar la estacionalidad en la depositación de bandas en las vértebras de cada organismo, se aplicó un análisis del incremento marginal relativo (IMR) clasificando su margen en opaco o hialino. El incremento se obtiene de la división del grosor del margen y el grosor el último anillo totalmente formado (Branstetter y Musick, 1994; Natanson *et al.*, 1995; Wintner *et al.*, 2002). Comparando los valores obtenidos con el mes de captura se determina la periodicidad

de la formación de bandas. Además se utilizó una prueba Kruskal – Wallis para comprobar si existen diferencias significativas en el incremento marginal entre meses.

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 un total de 115 organismos, capturados por embarcaciones de Puerto Peñasco Son. y San Felipe B.C. (68 hembras y 47 machos), en el periodo comprendido del el 6 de Julio del 2003 al 27 de Abril del 2004. Durante este periodo no se recolectaron muestras de los meses de Febrero y Octubre. La longitud total mínima y máxima observada en hembras fue de 466 mm. y 1590 mm., respectivamente. En el caso de los machos la longitud total mínima fue de 495 mm. y la máxima de 1250 mm. (Fig. 5).

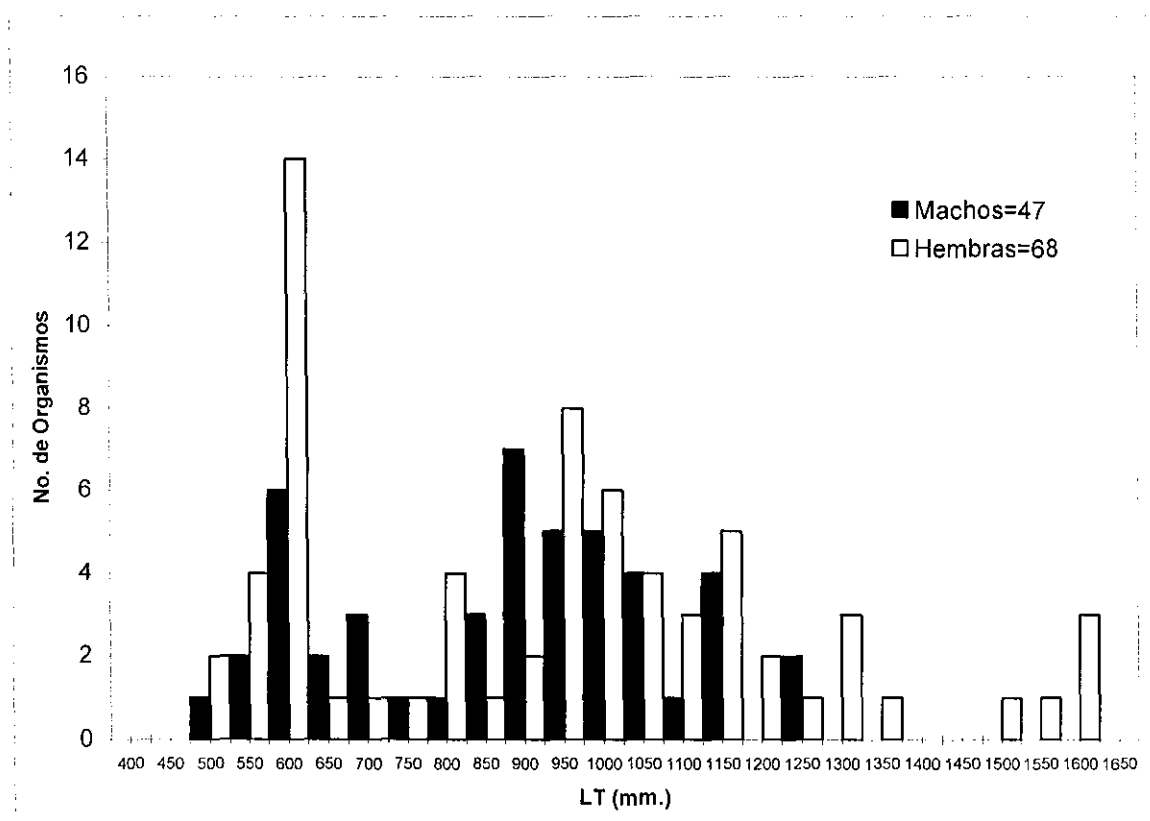


Figura 5. Frecuencia de tallas para hembras y machos de *M. lunulatus*.

EDAD Y CRECIMIENTO

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL

Se observaron 125 vértebras de *M. lunulatus* correspondientes a la columna vertebral completa. Las vértebras son generalmente de forma redonda, ésta forma varía a lo largo de la columna vertebral: 16 vértebras cervicales redondas, 10 vértebras debajo de la 1ra dorsal con tendencia a aplanarse dorso – ventralmente sobre todo las posicionadas al final de la sección, 21 vértebras inter – dorsales con características similares a las anteriores pero volviendo a su forma redonda al acercarse a la 2da dorsal, 14 vértebras redondas debajo de la 2da dorsal, las 16 pertenecientes al pedúnculo caudal son redondas también al igual que las 48 vértebras caudales restantes (Fig. 6). Se observaron 2 estructuras de cada sección y corroboró que existe consistencia y reproducibilidad de la depositación de marcas de crecimiento a lo largo de la columna (Fig. 7). Para fines de procesamiento, manejo y lectura de bandas de crecimiento se eligieron vértebras de la porción debajo de la primera aleta dorsal, ya que son las estructuras de mayor tamaño y por lo tanto facilitan la manipulación y su lectura.

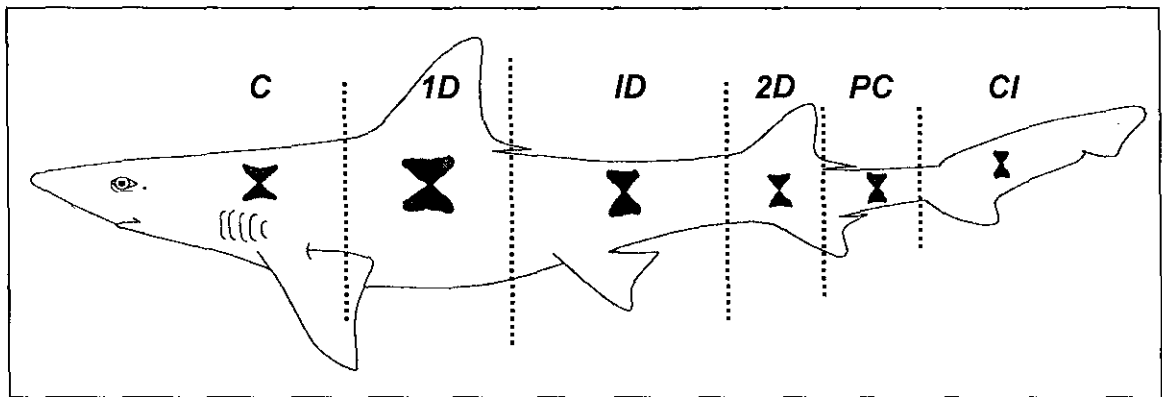


Figura 6. Columna vertebral de *M. lunulatus*. Cada vértebra corresponde a la sección corporal en la que esta ubicada sobre la ilustración (C= Cervical; 1D= Primera dorsal; ID= Inter – dorsal; 2D= Segunda dorsal; PC= Precaudal y CI= Caudal).

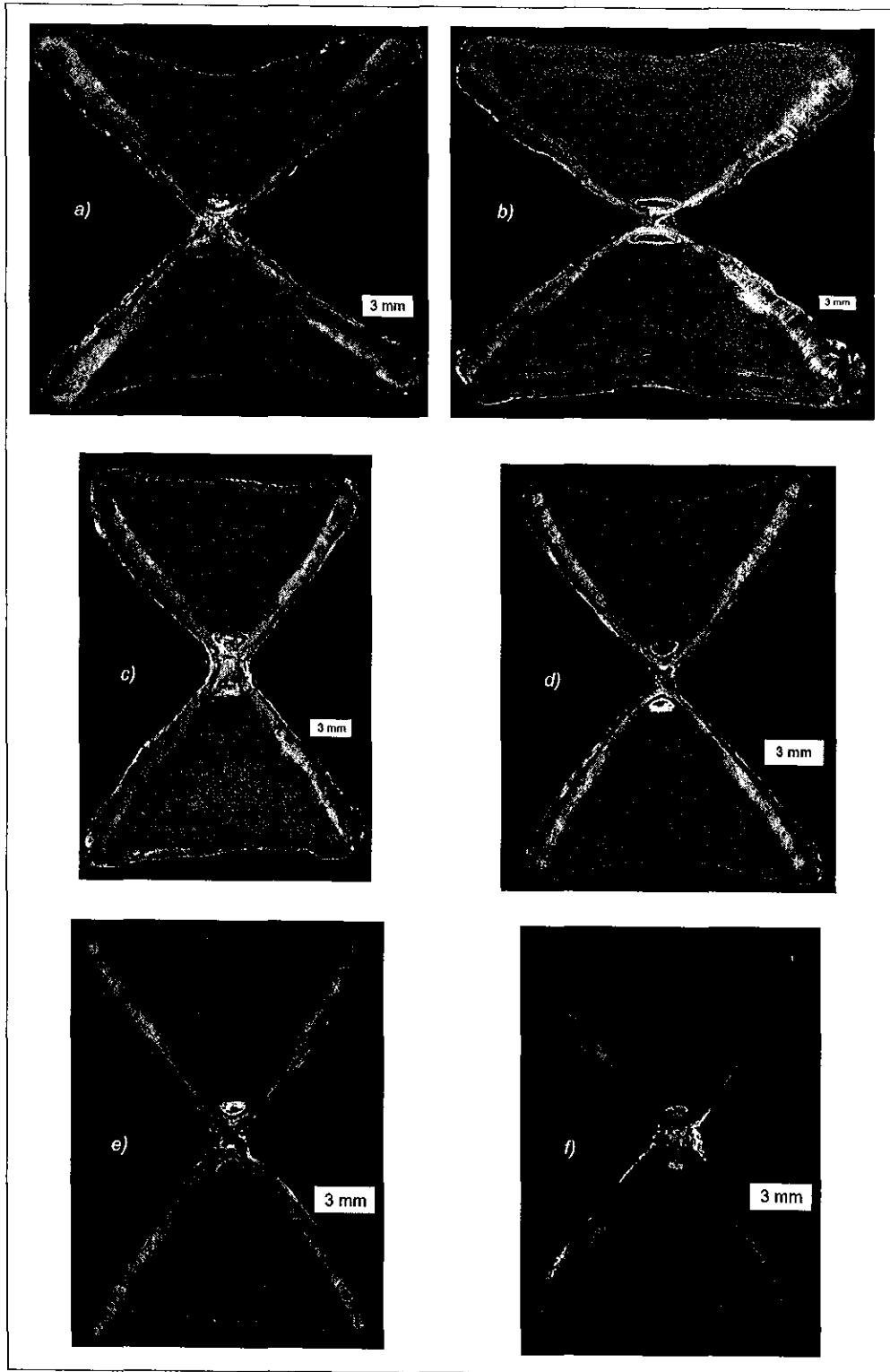


Figura 7. Cortes vertebrales de cada sección de la columna vertebral de *M. lunulatus*.
a) Cervical; b) Primera dorsal; c) Inter - dorsal; d) Segunda dorsal; e) Precaudal y f) Caudal.

RELACIÓN RADIO VERTEBRAL – LONGITUD TOTAL

La relación encontrada fue de carácter lineal y significativa, representada por la ecuación $LT = 121.49RV + 271.47$ ($F_{0.05} = 6.679$, $GL = 113$, $P < 0.001$) con un coeficiente de determinación (r^2) de 0.8856 . Con el análisis de covarianza se comprobó que no existe diferencia significativa en la relación radio vertebral – longitud total entre hembras y machos ($F_{0.05} = 6.679$, $GL = 113$, $P > 0.05$) por lo que se calculó una regresión conjunta. Aún cuando varias muestras pertenecían a la porción cervical de la columna vertebral y el resto correspondían a estructuras situadas debajo de la primera aleta dorsal (Fig. 8).

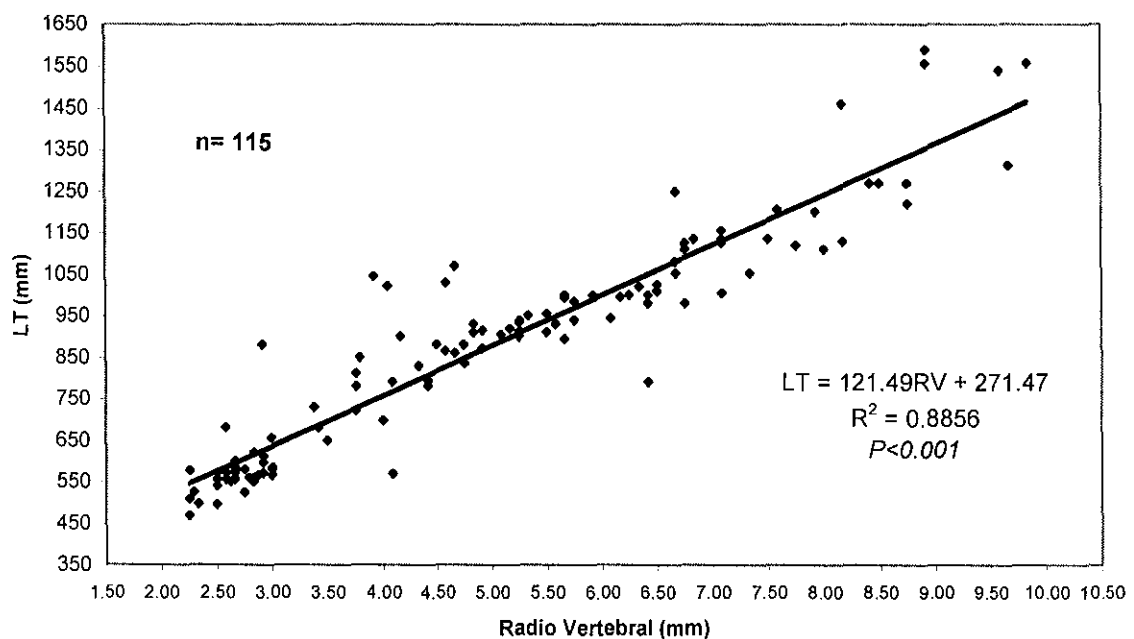


Figura 8. Relación Longitud Total - Radio Vertebral Hembras y Machos
M. lunulatus.

RELACIÓN PESO TOTAL – LONGITUD TOTAL

Se determinó la relación entre Peso Total y Longitud Total de para cada sexo (Tabla 1). Mediante el análisis de covarianza se comprobó que no existió diferencia significativa en la relación peso total – longitud total entre machos y hembras ($F_{0.05} = 1.421$, $GL = 113$, $P > 0.05$) por lo que se calculó una regresión conjunta (Fig. 11). La ecuación que describe esta relación es de carácter casi cubico: $\text{Peso} = 1 \times 10^{-06} \text{LT}^{3.1699}$ con coeficiente de determinación (r^2) de 0.9755 por lo que se piensa que el crecimiento en *M. lunulatus* es isométrico (Fig. 9).

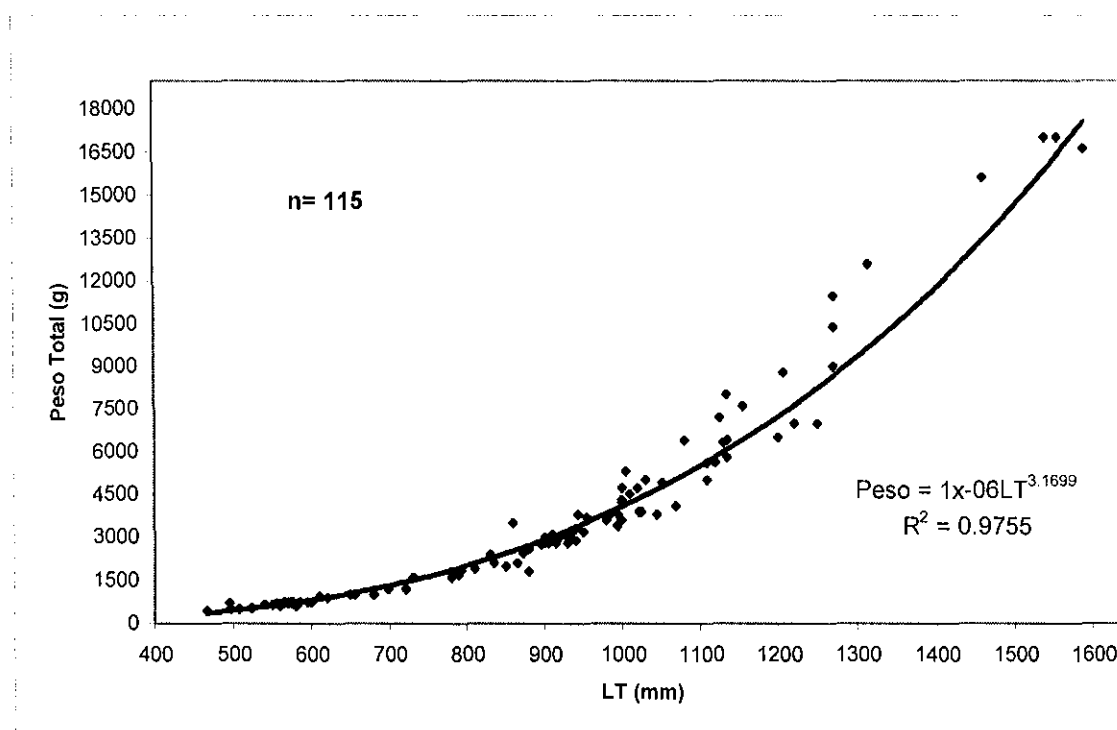


Figura 9. Relación Peso Total – Longitud Total de Hembras y Machos *M. lunulatus*.

Tabla 1. Parámetros de las ecuaciones alométricas (longitud total y peso) para sexos separados y agrupados ($\text{Peso total} = a \cdot \text{LT}^b$).

| Parámetro | a | b | r^2 | n |
|-----------|---------------------|-------|-------|-----|
| Hembras | 1×10^{-06} | 3.198 | 0.987 | 68 |
| Machos | 4×10^{-06} | 2.987 | 0.977 | 47 |
| Agrupados | 1×10^{-06} | 3.169 | 0.975 | 115 |

ESTRUCTURA POR EDADES

Se realizaron conteos de 115 centros vertebrales, las frecuencias observadas del número de bandas estuvo dominada por las categorías 1, 2 y 4, representando el 9.57%, 26.96% y 12.17% de la muestra, respectivamente. Con menor frecuencia se presentaron vértebras con 14 bandas representando 2.61%, 12 y 15 bandas de ambos sexos con 0.87%, respectivamente. No se observaron vértebras con 0 y 11 bandas en este estudio (Fig. 10). En algunas vértebras se observó la formación de bandas de crecimiento con anillos opacos y hialinos delgados, provocando un hacinamiento en las bandas finales (no fue visible un incremento claramente marcado y delimitado entre anillos haciéndolos casi imperceptibles), tendencia que se presentó en organismos que los conteos evidenciaban más de 9 bandas (Fig. 11).

El 73.91% de la muestra estuvo dominado por vértebras con un número igual o menor a 7 bandas; el 26.09% restante correspondió a vértebras que presentaban de 8 a 15 bandas (Fig. 12).

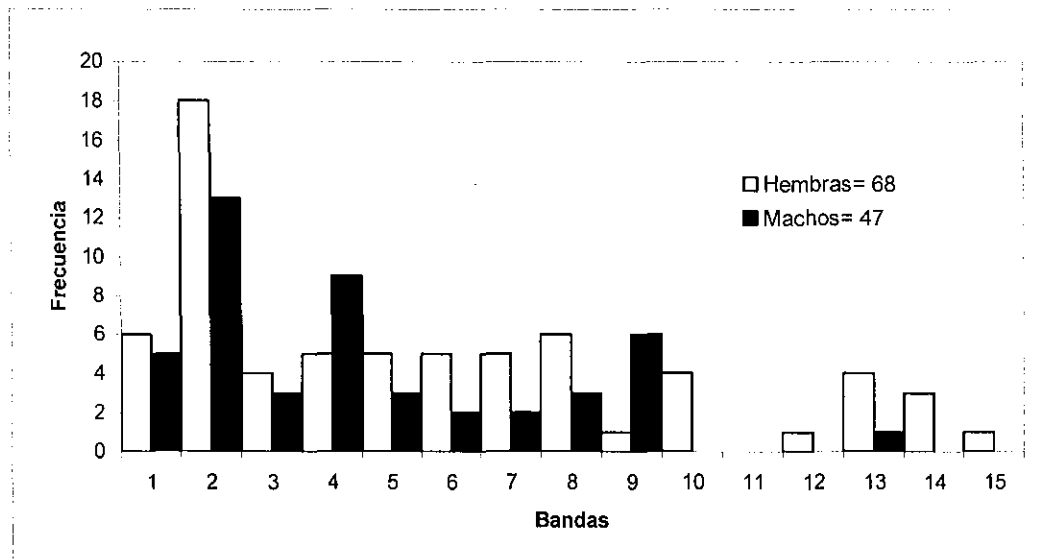


Figura 10. Estructura de edades para *M. lunulatus*.

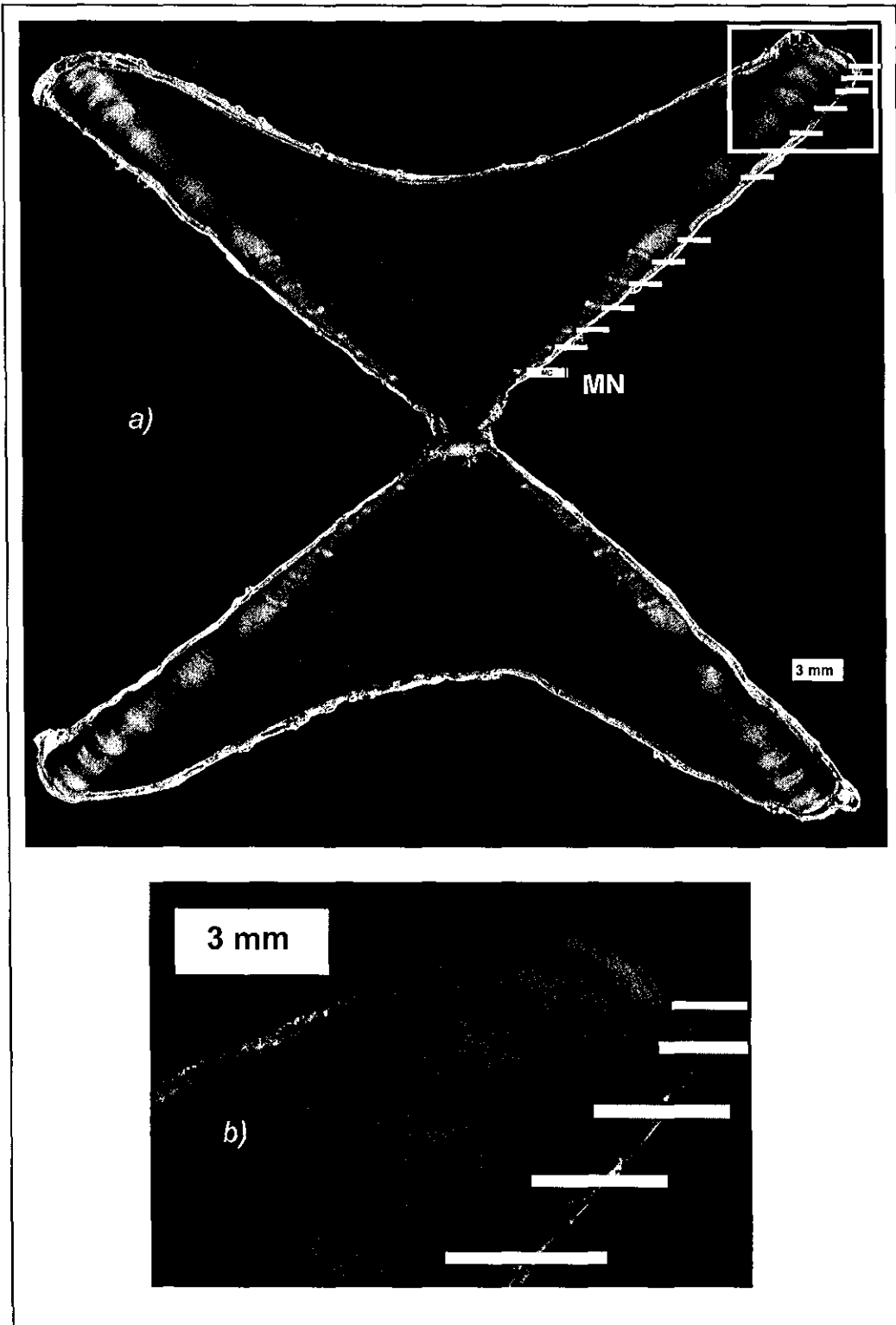


Figura 11. a) Corte vertebral de *M. lunulatus* con marca de nacimiento (MN) + 12 bandas y b) hacinamiento de bandas cercanas al borde.

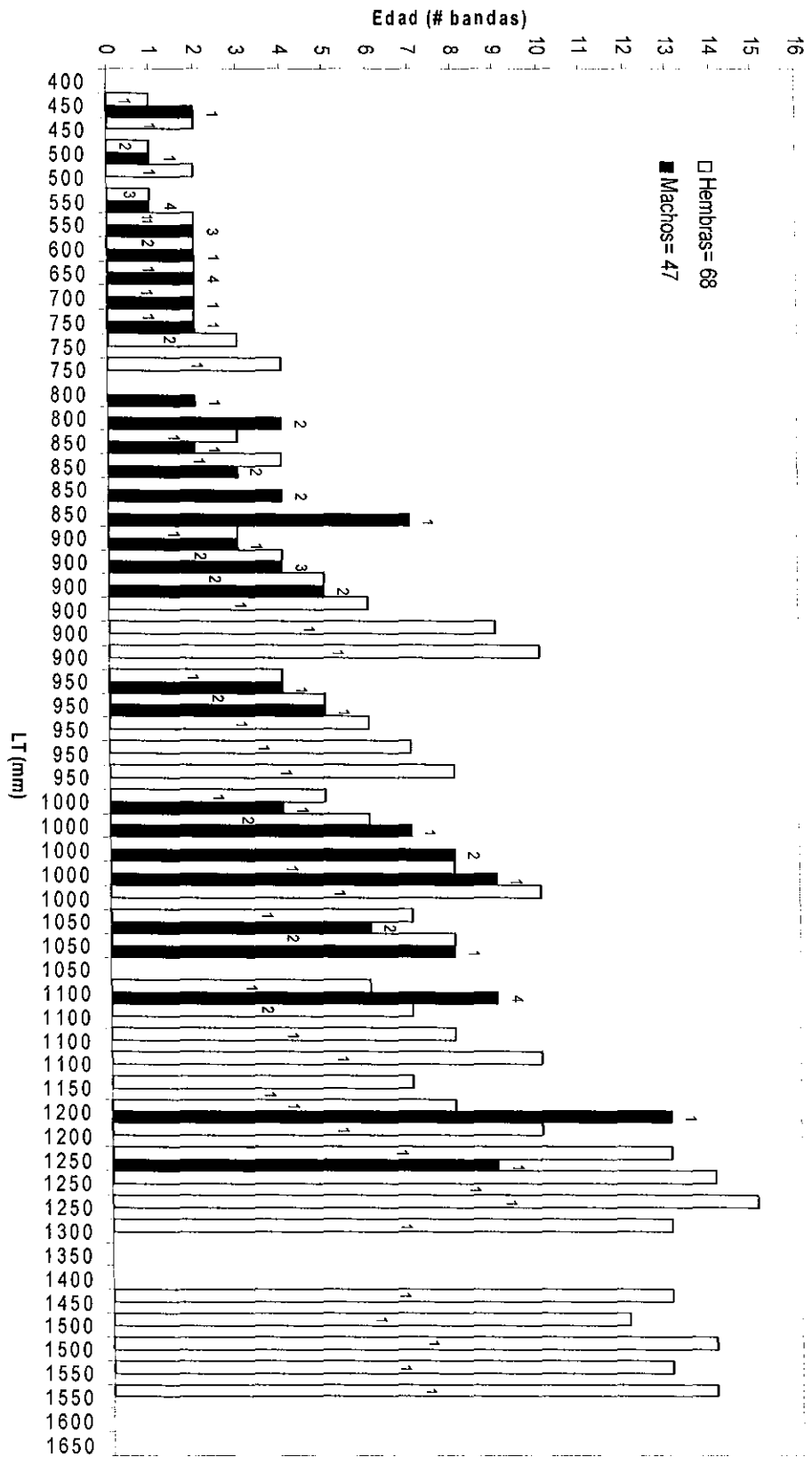


Figura 12. Intervalo de tallas y edad para hembras y machos de *M. lunulatus*. Dentro de la columna se indica el número de organismos para las hembras y sobre la columna el valor correspondiente para los machos.

INCREMENTO MARGINAL RELATIVO

Mediante la categorización del borde y la medición del grosor del anillo en formación, se correlacionó con la fecha de captura del organismo para probar la hipótesis de la formación anual de 1 banda en la estructura vertebral. Se observó una predominancia del borde hialino con porcentajes altos ocurrencia para los meses de Septiembre y Marzo (62.96% y 88.89%, respectivamente). Así mismo los valores de ocurrencia más altos para el anillo opaco lo encontramos para los meses de Junio (57.14%) y Agosto (52.38%) (Fig. 13). La prueba Kruskal – Wallis comprobó que no existieron diferencias significativas en el incremento entre meses ($\chi^2= 10.89$, $P= 0.2828$, $GL= 9$); (Fig. 14).

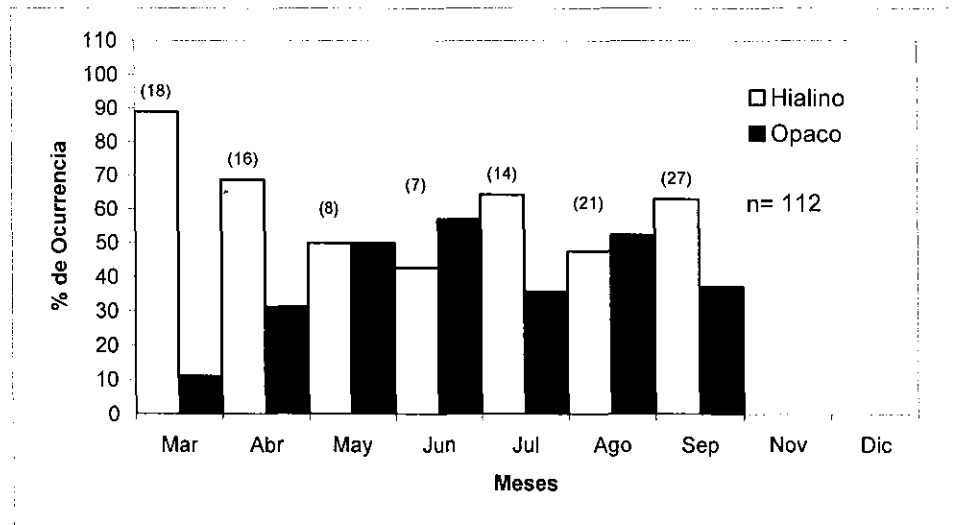


Figura 13. Porcentaje de ocurrencia del tipo de borde con respecto a los meses. Sobre la columna se indica el valor correspondiente al número de muestras analizadas para ambos bordes.

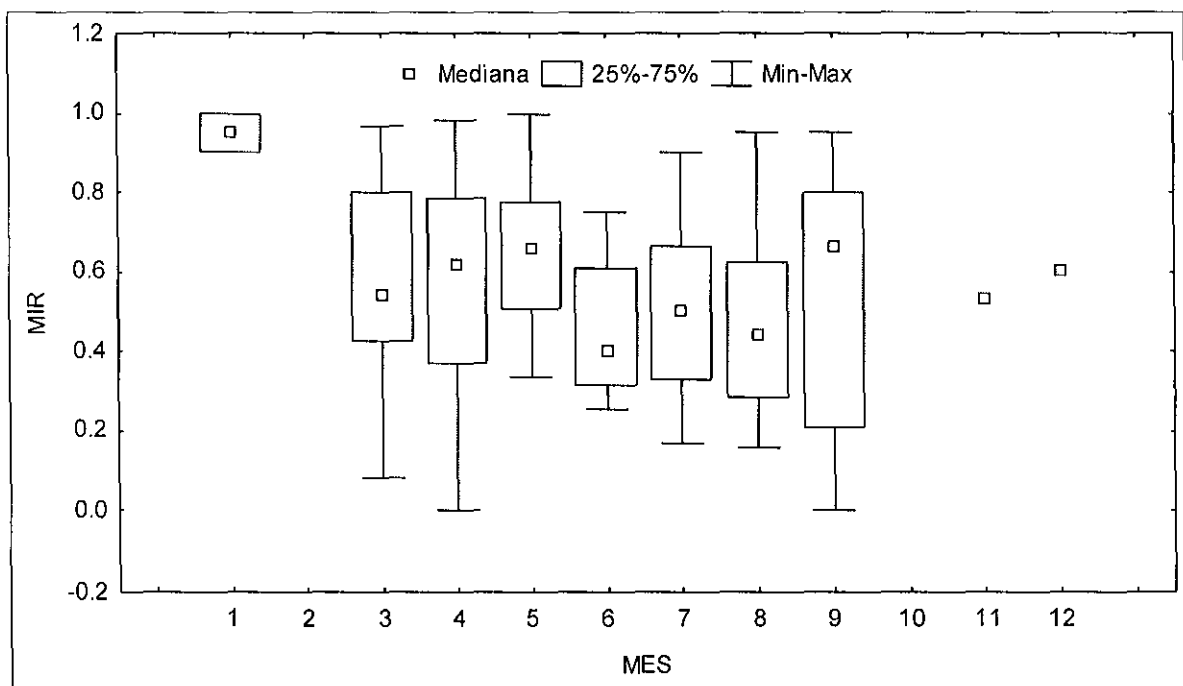


Figura 14. Resultados del análisis del incremento marginal relativo. Kruskal – Wallis ($\chi^2 = 10.89$, $P = 0.2828$, $GL = 9$).

PRECISIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE EDAD

La reproducibilidad y precisión de los conteos de bandas de crecimiento en las vértebras de *M. lunulatus* fue medida en ambos lectores utilizando el Porcentaje de Error Promedio (APE), el coeficiente de variación (V) y el índice de precisión (D). Para el lector 1 los valores fueron los siguientes: APE= **9.992**, V= **0.13** y D= **0.0583**; el lector 2 APE= **11.10**, V= **0.1406**, D= **0.0811** (Tabla 2). Siendo el primer lector más preciso, consistente y con menor variación en sus lecturas (Fig. 15). El Porcentaje de acuerdo (PA) para ambos lectores fue de 96.61% en ± 3 bandas (Tabla 3).

Tabla 2. Resultados de las pruebas de precisión y reproducibilidad de conteos vertebrales en *M. lunulatus*, por lector (sexos agrupados).

| Lector | # de muestras observadas | # de observaciones por muestra | APE | V | D |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|---------------|
| 1 | 115 | 3 | 9.992 | 0.1303 | 0.0583 |
| 2 | 115 | 3 | 11.10 | 0.14060 | 0.0811 |

Tabla 3. Porcentaje de Acuerdo (PA) entre lectores por grupo de edad asignado.

| Diferencia de Edad (# de bandas) | Frecuencia | Grupo de Edad Asignado | PA |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------|
| -4 | 1 | | |
| -3 | 6 | | |
| -2 | 9 | | |
| -1 | 18 | ± 1 | 33.89 |
| 0 | 50 | ± 2 | 48.30 |
| 1 | 22 | ± 3 | 96.61 |
| 2 | 8 | | |
| 3 | 1 | | |
| 4 | 1 | | |

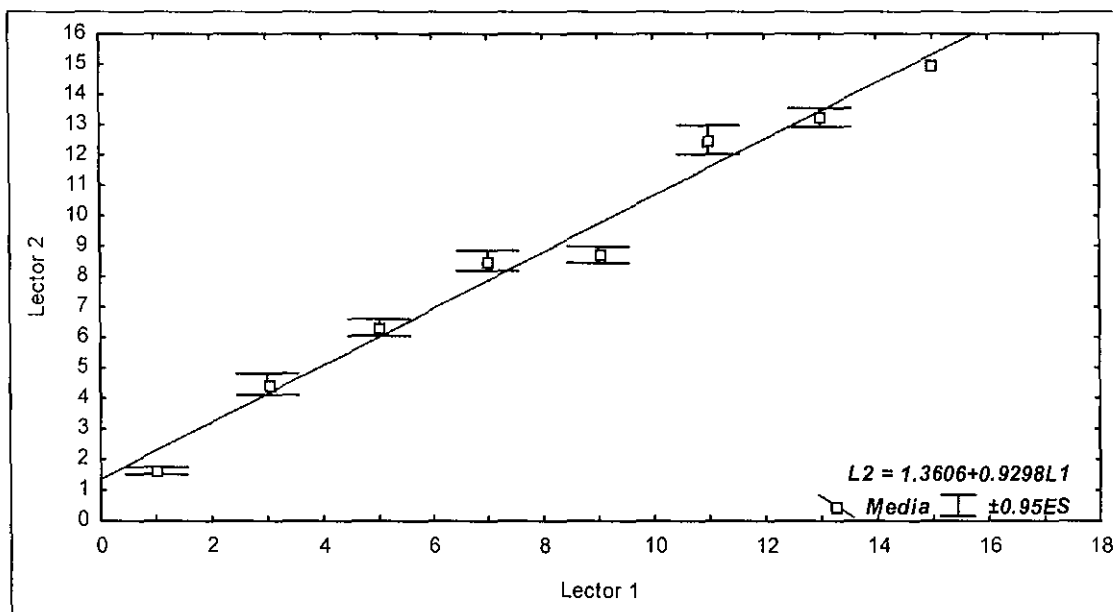


Figura 15. Curva de tendencia del Lector 1 ($L1$) contra el Lector 2 ($L2$), al 95 % de confiabilidad del Error Estándar (ES).

DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO

Los parámetros de crecimiento L_{∞} , k y t_0 fueron calculados utilizando el método de mínimos cuadrados no lineales, tomando el primer anillo como *anillo de nacimiento* (Clase de edad 0). Suponemos la anualidad de la depositación de bandas de crecimiento de acuerdo a estudios realizados en el género (Tanaka y Mizue (1979); Yudin y Cailliet (1990); Moulton *et. al* (1992); Francis y Francis (1992) en Conrath (2002); Yamaguchi *et. al* (1996); Conrath y Musick (2002) y Cailliet y Goldman (2004)). Con el Análisis de la Suma de Cuadrados Residuales (ARSS) se calcularon los parámetros así como las curvas de crecimiento para cada sexo (Tabla 4). Sin embargo, el ARSS comprobó que no existe diferencia significativa en el crecimiento entre machos y hembras de *M. lunulatus* ($F_{0.05} = 2.5447$, $GL = 23$, $P > 0.05$), por lo que se presenta una sola curva de crecimiento (Fig. 16).

Las estimaciones de longevidad al 95 y 99% de la L_{∞} calculada para hembras fueron de 18 y 22 bandas respectivamente; en los machos de 13 y 18 bandas al 95 y 99% de la L_{∞} , respectivamente. Para sexos combinados las estimaciones de longevidad al 95 y 99% de L_{∞} fueron 15 y 22 bandas, respectivamente (Tabla 5).

La talla de madurez sexual reportada (Pérez – Jiménez, 2006) para ambos sexos 890 a 1070 mm. LT. En este estudio dicha talla correspondió de 2 a 4 bandas.

Tabla 4. 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 |
| | 1848.5 | 0.0874 | -2.6563 | 68 | 1339.63 | 0.1602 | -2.0000 | 47 | 1759.98 | 0.0926 | -2.6833 | 115 |

Tabla 5. Estimaciones de longevidad para sexos separados y en conjunto de *M. lunulatus*.

| Estimador | Hembras | | Machos | | Combinados | |
|-------------|---------|-----|--------|-----|------------|-----|
| | 95% | 99% | 95% | 99% | 95% | 99% |
| # de Bandas | 16 | 22 | 13 | 18 | 15 | 22 |

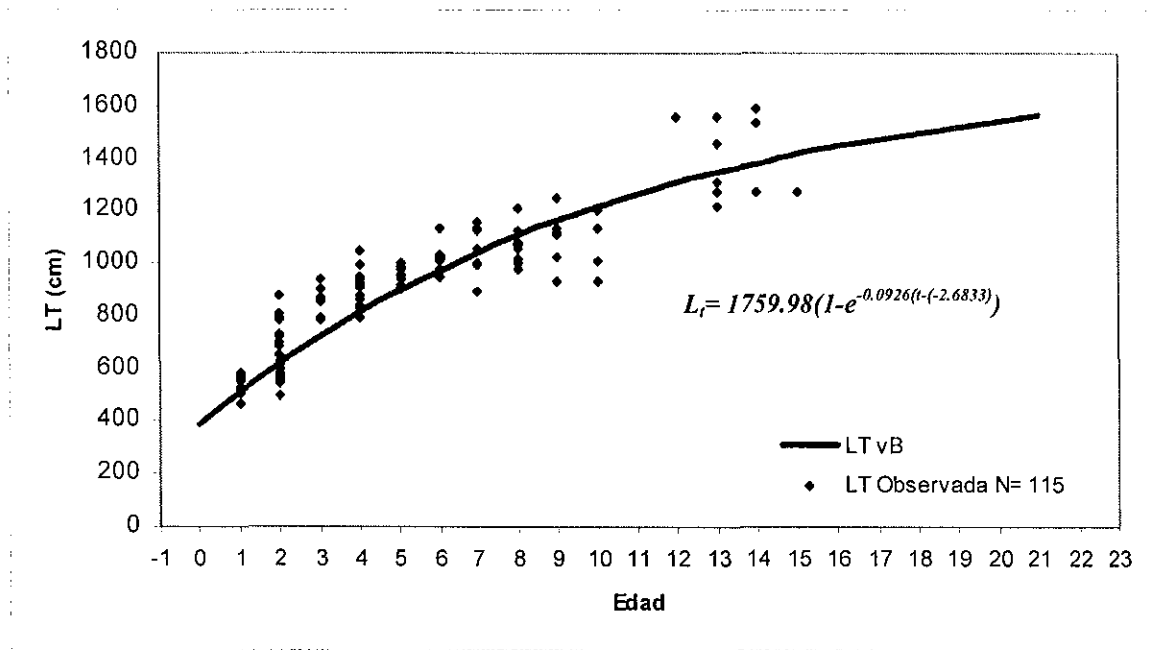


Figura 16. Curva de crecimiento de von Bertalanffy de *M. lunulatus* derivada del método de regresión no lineal.

DISCUSIÓN

El presente estudio es el primero de Edad y Crecimiento de *M. lunulatus*.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL

El número de vértebras precaudales encontradas en *M. lunulatus* (77) se encuentra dentro del intervalo reportado para la especie (74 – 82) por Pérez-Jiménez (2006).

Se encontró una variación en la forma de las vértebras según la posición donde ésta se ubicaba dentro de la columna vertebral. De acuerdo con Compagno (1999) la columna vertebral en los elasmobranchios puede ser dividida en 3 regiones de acuerdo a la morfología de las vértebras que la componen: 1) Vértebras monospondilas de la cabeza branquial y el tronco; 2) Vértebras diplospondilas precaudales y 3) Vértebras diplospondilas caudales; la transición de una vértebra monospondila a otra diplospondila en la mayoría de tiburones y rayas se caracteriza por una repentina disminución de la longitud vertebral.

Al igual que en *M. lunulatus*, Medellín – Ortiz (2004) encontró consistencia y reproducibilidad en la depositación de marcas de crecimiento en 5 secciones de la columna vertebral (Cervical, Debajo de la Primera Aleta Dorsal, Pélvica, Pélvica – Segunda Dorsal y Precaudal) de *Heterodontus mexicanus*. Natanson y Cailliet (1990) no encontraron consistencia y reproducibilidad en los patrones de depositación de bandas en *Squatina californica* a lo largo de varias columnas vertebrales.

En *M. lunulatus* las vértebras con diámetro mayor las encontramos debajo de la primera aleta dorsal del organismo. De acuerdo con Cailliet (1983a) las vértebras situadas debajo de la primera aleta dorsal son las más adecuadas para la determinación de edad por ser las más grandes y por la tanto facilitar su lectura.

RELACIÓN RADIO VERTEBRAL – LONGITUD TOTAL

El crecimiento proporcional de la vértebra respecto al crecimiento somático en *M. lunulatus* nos dice que la estructura es apropiada para su uso en la determinación de edad y tasas de crecimiento del organismo, por guardar una relación estrecha entre estas dos variables. Este tipo de análisis ha sido efectuado en varias especies del género como: *M. canis* (Conrath *et. al*, 2002), *M. manazo* (Yamaguchi *et. al*, 1996; 1998; 1999), *M. californicus* y *M. henlei* (Yudin y Cailliet, 1990) con resultados similares.

RELACIÓN PESO TOTAL – LONGITUD TOTAL

En *M. lunulatus* se encontró una relación estrecha entre estas dos variables. En estudios de edad y variación del crecimiento en *M. manazo*, (Yamaguchi *et. al*, 1998) reportaron esta misma relación en 5 localidades de Japón, los parámetros calculados de las ecuaciones alométricas (peso total – longitud total) para sexos combinados sugieren un crecimiento isométrico con ecuaciones de carácter casi cúbicas en las 5 localidades. En *Carcharhinus leucas* se reportaron resultados similares, Wintner *et. al* (2002).

ESTRUCTURA DE EDADES

El intervalo de talla para un número específico de bandas no fue consistente para todas las edades, existió un traslape intervalos de talla (en intervalos de 499 mm.) para un mismo número de bandas. En hembras ésta variación fue notoria en organismos que presentaban ± 2 bandas (450 – 799 mm. LT), ± 10 bandas (900 – 1249 mm. LT), ± 13 bandas (1250 – 1599 mm. LT) y ± 14 bandas (1250 – 1599 mm. LT). En los machos tal fenómeno se presentó en organismos con ± 2 bandas (450 – 899 mm. LT), ± 5 bandas (850 – 1049 mm. LT) y ± 9 bandas (1050 – 1299 mm. LT). Por otro lado el traslape observado de edades para un mismo intervalo de talla a partir de los 900 – 1200 mm.

LT fue de 3 a 13 bandas (para ambos sexos). Moulton *et. al* (1992) reportaron una variación similar para hembras de *M. antarcticus* en edades 2 a 11 (por lo menos de 200 mm. LT en el intervalo de talla) entre organismos más pequeño y más grande encontrado para un mismo grupo de edad; la variación más evidente fue en edades 5 y 7 con intervalos desde 700 – 1399 mm. LT y 900 – 1599 mm. LT, respectivamente. Para los machos la variación más evidente se presentó en organismos que presentaban el mismo número de bandas (5 y 7) con intervalos de 800 – 1399 mm. LT y 900 - > 1400 mm. LT, respectivamente. De manera similar que en *M. lunulatus*, el traslape de edades observado para un mismo intervalo de tallas en *M. antarcticus* fue de 3 a 12 bandas (1200 – 1299 mm. LT) para ambos sexos. Yudin y Cailliet (1990), reportaron una variación para hembras de *M. henlei* en todas las edades (por lo menos de 50 mm. LT) entre los organismos más pequeño y más grande encontrado para un mismo grupo de edad; la variación más evidente fue en edades 3 y 9 con intervalos desde 90 mm. LT (en edad 3) hasta los 149 mm. (en edad 5); en los machos la variación más evidente se presentó también en organismos que presentaron el mismo número de bandas (edades 2 y 3) con 93 mm. y 136 mm. LT, respectivamente. Yudin y Cailliet (1990) reportaron también una variación en hembras de *M. californicus* de edad 2 (136 mm. LT) y edad 8 (178 mm. LT). Los valores mínimos de variación en un mismo grupo de edad para machos fue de 13 mm. LT. en edad 13 y el máximo de 73 mm. LT. en edad 1.

INCREMENTO MARGINAL RELATIVO

Con la categorización y medición del borde de 112 cortes vertebrales de *M. lunulatus* se observó una tendencia de formación del anillo hialino para el mes de Marzo; la alta ocurrencia de márgenes opacos para los meses de Junio y Agosto sugiere la formación este anillo para estos meses. De acuerdo con Campana (2001), el uso del análisis de incremento marginal relativo y el análisis del borde en conjunto, correlacionados con la fecha de captura del organismo, debería existir una tendencia sinusoidal con dos picos de frecuencia en la ocurrencia de los dos tipos de bordes, concluyendo en un ciclo por año expresado en la presencia de una banda en organismos en los que se supone la estacionalidad anual en la depositación de bandas.

El periodo de muestreo de *M. lunulatus* comprende 3 años, y al menos 2 ciclos (años) son necesarios para detectar esta estacionalidad (Campana, 2001).

En cortes vertebrales de *M. lunulatus* donde el organismo presentaba un número de bandas superior a 9, se presentó una marcada dificultad en el establecimiento de los límites de una banda, por lo tanto la medición del incremento del margen o borde vertebral. Al no presentarse una disminución dramática en la presencia de un tipo de borde y por consiguiente la frecuencia de aparición de otro, el incremento no reflejó una razón de crecimiento marcado con respecto a la banda anterior. Francis y Francis (1992) no pudieron validar edad por el elevado número de bandas y el hacinamiento de las mismas encontradas en cortes vertebrales de *M. mustelus*. Wintner *et. al* (2002) encontró una tendencia similar en el incremento marginal de *Carcharhinus leucas* donde tampoco fue posible validar la edad debido a dicho fenómeno. Campana (2001) menciona que el IMR es uno de los análisis de validación más difíciles de llevar a cabo, debido a las dificultades técnicas asociadas a ver un incremento parcial afectado por la refracción variable de la luz a través del borde así, como la reflexión de la luz provocada por la superficie curvada del borde. Añade que cambios en la estacionalidad de depositación de un incremento relacionados con la edad contribuyen a la dificultad de realizar éste análisis, las diferencias entre los patrones de depositación de una edad a otra tampoco pueden ser explicadas por este método.

PRECISIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE EDAD

La interpretación numérica de bandas de crecimiento envuelve un elemento de subjetividad individual para cada lector que puede resultar en una estimación incorrecta de edad para la especie en cuestión. Beamish y Fournier (1981) evalúan esta precisión de un conjunto de estimaciones por dos lectores, considerando que uno es más preciso cuando obtiene valores más pequeños de *APE*, *V* y *D* y menos preciso a valores mayores. Chang (1982) señala las ventajas del uso del coeficiente de variación y el índice de precisión indicando que la varianza es un mejor estimador que la diferencia absoluta, debido a que es un estimador consistente y sin sesgos. Añade que el índice de precisión puede ser utilizado para calcular el error de determinación de edad para cada lectura de la muestra.

En *M. lunulatus* las lecturas estuvieron sesgadas hacia ± 3 bandas. Según Beamish y Fournier (1981) el porcentaje de acuerdo (PA) de una edad asignada a determinada estructura entre lectores varía ampliamente entre especies y entre edades de la misma especie. Por otro lado Cailliet y Goldman (2004) señalan que es válido el uso del porcentaje de acuerdo para hacer comparaciones entre lectores.

DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO

Los parámetros de crecimiento generados por la ecuación de von Bertalanffy para *M. lunulatus* concuerdan con los valores calculados por diferentes métodos para varias especies del género *Mustelus*. El valor de la tasa de crecimiento intrínseco (k) para ambos sexos de *M. lunulatus* (0.0926) se encuentra dentro de los valores mínimos y máximos calculados para varias especies del género, que van desde 0.06 para las hembras de *M. mustelus* (Goosen y Smale 1997 en Conrath *et al.* 2002) a 0.695 para los machos de *M. manazo* (Tanaka y Mizue, 1979), debido a esta característica varios autores han definido que las especies del género *Mustelus* tienen un crecimiento rápido, comparado con el resto de las especies de tiburones.

La longitud asintótica (L_{∞}) de *M. lunulatus* es mayor a la reportada tanto en hembras como en machos por Compagno (2004), (1700 mm. LT para las hembras y 1100 en machos) y concuerda también con los valores estimados para el género, de 977 mm. LT para *M. henlei* (Yudin y Cailliet, 1990), a 2336 mm. LT en hembras de *M. antarcticus* (Moulton *et al.*, 1992). La L_{∞} de *M. lunulatus* es de las mayores calculadas para las especies del género, sólo *M. mustelus* (Goosen y Smale (1997) en Conrath *et al.* 2002) y *M. antarcticus* (Moulton *et al.*, 1992) alcanzan longitudes totales mayores en ambos sexos.

Las hembras de *M. lunulatus* crecen más lento, alcanzan una mayor LT y son más longevas que los machos. Resultados anteriores han sido encontrados estudios del género *Mustelus* (Tanaka y Mizue, 1979; Yudin y Cailliet, 1990; Francis y Francis, 1992, en Conrath *et. al* 2002; Yamaguchi *et. al*, 1996; Goosen y Smale 1997 en Conrath *et. al* 2002; Conrath y Musick 2002).

LONGEVIDAD

En el presente estudio la estimación de longevidad para *M. lunulatus* fue de 22 bandas. Sin embargo el mayor número de bandas observadas fue 15, que cae dentro del intervalo de edades mínimas y máximas calculadas para especies del género *Mustelus*: 9 bandas en *M. californicus* (Yudin y Cailliet, 1990) y 16 bandas en *M. antarcticus* (Moulton *et al.*, 1992).

EDAD DE MADUREZ

No existe edad de madurez reportada para *M. lunulatus*; en el presente trabajo se observó un intervalo de talla de madurez de 895 a 935 mm. LT para ambos sexos lo que correspondió de 2 a 4 bandas. Pérez – Jiménez (2006) para la misma especie reportó tallas de madurez para ambos sexos de 890 a 1070 mm. LT. En estudios realizados en el género existe la tendencia de 1 a 5 bandas (*M. asterias* 2 bandas, Quignard y Capape (1972); *M. mediterraneus*, 1 a 2 bandas, Capape y Quignard (1977); *M. lenticulatus*, 2 a 4 bandas, Teshima *et. al* (1978); en Francis, 1981); *M. manazo*, 2 a 3 bandas, Tanaka y Mizue (1979); *M. californicus*, 1 a 4 bandas, Yudin y Cailliet (1990); *M. henlei*, 1 a 4 bandas, Yudin y Cailliet (1990); *M. lenticulatus* 3 a 4, y 5 bandas en 2 localidades diferentes, Francis y Francis (1992); *M. canis* 3 a 5 bandas, Conrath y Musick (2002). Solo Goosen y Smale (1997) en Conrath *et al.* 2002) reportan un número de bandas mayor (6 a 15) para *M.canis*.

CONCLUSIONES

Se verifico que la depositación de bandas de crecimiento a lo largo de la columna vertebral es consistente, no obstante se recomienda el uso de las vértebras situadas por debajo de la primera aleta dorsal para la determinación de edad de la especie debido a la relación estrecha que guarda con el crecimiento somático del organismo

Se analizaron 115 cortes vertebrales de *M. lunulatus* con un intervalo de tallas de 466 a 1590 mm. LT, a quienes se les determinaron edades de 1 a 15 bandas.

Los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy calculados para la especie concuerdan con los reportados para el género *Mustelus*. No se encontraron diferencias significativas en el crecimiento entre hembras y machos, para corroborar lo anterior se recomienda ampliar el intervalo de tallas y el número de muestra.

No se pudo determinar el periodo de formación de una banda de crecimiento debido al número de muestras para los meses de invierno (Noviembre – Febrero). Sin embargo se recomienda el uso de IMR para la validación de edad en *M. lunulatus*. Además se recomienda aumentar el número de muestra por mes para determinar el periodo de formación.

La edad de madurez sexual para ambos sexos fue de 2 a 4 bandas. Los intervalos de talla de madurez para hembras fueron de 930 a 950 mm. LT y para machos de 895 a 940 mm. LT.

LITERATURA CITADA

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

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

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

Beamish, R.J. y G.A. McFarlane., 1983a. The Forgotten Requirement for Age Validation in Fisheries Biology. *Transactions of the American Fisheries Society* 112(6): 735 – 743 p.

Beamish, R.J. y G.A. McFarlane., 1985b. 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 p.

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

Buckmeier, D.L., 2002 Assesment of Reader Accuracy an Recommendations to Reduce the Subjectivity in Age Estimations. *Fisheries*. Vol. 7, No. 11. 10 – 14 p.

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 or California Elasmobranchs. NOAA Tech. Rep. NMFS, 8: 157 – 165 p.

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 p.

Cailliet, G.M., R.L. Radtke y B.A. Welden., 1986. Elasmobranch Age Determination an Verification: A Review. En *Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes*. 345 – 360 p.

Cailliet, G.M., 1990. Elasmobranch Age Determination an Verification: An Update Review. *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 p.

Cailliet, G.M., K.G. Yudin, S. Tanaka y T. Taniuchi., 1990. Growth Characteristics of Two Populations of *Mustelus manazo* from Japan Based upon Cross-Readings of Vertebral Bands. 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: 167 – 176 p.

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

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 p.

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

Compagno, L.J.V., 1995. FAO. Guía para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca: Pacífico Centro – Oriental. Volumen II. 730 – 743 p.

Compagno, L.J.V., 1999. Endoskeleton. Hamlett, W. C. *Sharks, Skates and Rays: The Biology of Elasmobranch Fishes*. 1999. 69 – 92 p.

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 pp.

Cortés, E., 2004. Life Story Patterns, Demography, and Populations Dynamics. En *Biology of Sharks and their Relatives*. Carrier, J.C., J.A. Musick, y M.R. Heithaus, Eds. CRC Press, 2004. Florida, EU. 449 – 469 p.

Francis, M.P. 1981. Von Bertalanffy Growth Rates in Species of *Mustelus* (Elasmobranchii: Triakidae). *Copeia* 1981(1). 189 – 192 pp.

Goldman, K.J. 2004. Age and Growth. *Elasmobranch Fisheries Management Techniques*, 2004. IUCN, APEC, VIMS., 97 – 132 p.

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). 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 p.

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

Heemstra, P.C., 1997. A Review of the Smooth-Hound Sharks (Genus *Mustelus*, Family Triakidae) of the Western Atlantic Ocean, with Descriptions of Two New Species and A New Subspecies. *Bulletin of Marine Science*, 1997 60(3): 894 – 928 p.

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

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 p.

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

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

Medellín-Ortiz, A. 2004. Determinación de Edad y Crecimiento del tiburón dormilón bufalo (*Heterodontus mexicanus*) en la parte Norte del Golfo de California por medio de anillos vertebrales y espinas dorsales. Tesis de Licenciatura. UABC. 78 p.

Moulton, P.L., T.I. Walker y S.R. Saddler., 1992. Age and Growth of Gummy Shark, *Mustelus antarcticus* Günther, and School Shark, *Galeorhinus galeus* (Linnaeus), from Southern Australian Waters. En *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*; 43 1241 – 1267 pp.

Natanson, L.J. y G.M. Cailliet., 1990. Vertebral Growth Zone Deposition in Pacific Angel Sharks. *Copeia* 1990(4): 1133 – 1145 p.

Pérez-Jiménez, J.C. 2005. Taxonomía de tiburones del género *Mustelus* que habitan la región Norte del Golfo de California. Tesis Doctoral. CICESE. 69 p.

Wintner, S. B., N. Kistnasamy y B. Everett. 2002. Age and growth estimates for the zambesi shark, *Carcharhinus leucas*, from the east coast of South Africa. *Mar. Freshwat. Res.* 53:557-566 p.

Yamaguchi, A., S.Y. Huang, C. Chen y T. Taniuchi., 1997. Age and Growth of the starspotted smooth-hound *Mustelus manazo* (Chondrichthies: Triakidae) in the waters of North-Eastern Taiwan. *Paris: Soc. Fr. Ichtyol.*, 1999: 505 – 513 p.

Yamaguchi, A., T. Taniuchi. y M. Shimizu., 1998. Geographic Variation in Growth of the Starspotted Dogfish *Mustelus manazo* from Five Localities in Japan and Taiwan. *Fisheries Sciences* 64(5): 732 – 739 p.

Yudin, K.G. y G.M. Cailliet., 1990. Age an Growth of the Gray Smoothhound, *Mustelus californicus*, and the Brown Smoothhound, *M. henlei*, Sharks from Central California. *Copeia* 1999(1): 191 – 204 pp.

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