



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**EDAD Y CRECIMIENTO DEL MARLIN RAYADO,**  
*Kajikia audax* (PHILIPPI, 1887) EN LA COSTA DE  
**MAZATLÁN, SIN., MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN  
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA**

**BIÓL. GRISELMA GUADALUPE RUBIO CASTRO**

**LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2011**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 21 del mes de Septiembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**“EDAD Y CRECIMIENTO DEL MARLIN RAYADO, *Kajikia audax***  
**(PHILIPPI, 1887) EN LA COSTA DE MAZATLÁN, SIN., MÉXICO”**

Presentada por el alumno:

**RUBIO**  
Apellido paterno

**CASTRO**  
materno

**GRISSELMA GUADALUPE**  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	9	0	1	5	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ**  
Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
**MC. FELIPE NERI MELO BARRERA**  
Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. LEONARDO ANDRÉS ABITA CÁRDENAS**

\_\_\_\_\_  
**DR. ROBERTO FÉLIX URAGA**

\_\_\_\_\_  
**DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS**

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

\_\_\_\_\_  
**DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE**



**IPN**  
**CICIMAR**  
**DIRECCION**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 17 del mes Noviembre del año 2010  
el (la) que suscribe BIOL. GRISELMA GUADALUPE RUBIO CASTRO alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro A090151 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS  
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:  
DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ y MC. FELIPE NERI MELO BARRERA  
y cede los derechos del trabajo titulado:

"EDAD Y CRECIMIENTO DEL MARLIN RAYADO *Kajikia audax*  
(PHILIPPI, 1887) EN LA COSTA DE MAZATLÁN, SIN., MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: griselma\_rubio@hotmail.com - cquinone@ipn.mx - fmelo@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIOL. GRISELMA GUADALUPE RUBIO CASTRO

*nombre y firma*

## *Dedicatoria*

*A mi esposo Cristhian por su apoyo, amor y comprensión, por todas esas noches de desvelo juntos, gracias copo ¡Te amo!*

*A mis hijos Cristhian y Abel, por recordarme cada día que son el mejor regalado que dios me ha dado.*

*A mis padres Rafael Rubio y Teresa Castro por estar siempre a mi lado apoyando cada paso que doy, gracias padres ¡Los quiero!*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) del Instituto Politécnico Nacional por los apoyos económicos brindados, que me permitieron realizar mis estudios de maestría.

A mis directores de tesis, Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez y M.C. Felipe Neri Melo Barrera por su valioso apoyo durante el desarrollo de mi trabajo de tesis y por su amistad.

A los miembros del comité Dr. Roberto Félix Uraga, Dr. Rogelio González Armas y Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo y por sus atinadas sugerencias para el mejoramiento del mismo.

Al C.P. Humberto Ceseña Amador, por ser tan amable y estar siempre pendiente de los tramites administrativos.

A mis compañeros del Laboratorio de dinámica de poblaciones del CICIMAR, por los momentos tan agradables compartidos.

## ÍNDICE

	Página
Lista de figuras	I
Lista de tablas	III
Glosario	IV
Resumen	V
Abstract	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. OBJETIVOS	8
5. MATERIAL Y MÉTODOS	9
5.1. Muestreo	9
5.2. Estructura de tallas	11
5.3. Relación peso-longitud	11
5.4. Relación longitud mandibular-radio total de la espina	12
5.5. Determinación de edad	14
5.6. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento	15
5.7. Crecimiento individual	16
5.8. Estructura por edades	18
6. RESULTADOS	19
6.1. Muestreo	19
6.2. Estructura de tallas	20
6.3. Relación peso-longitud	22
6.4. Relación longitud mandibular-radio total de la espina	23
6.5. Determinación de edad	25
6.6. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento	27
6.7. Crecimiento individual	28
6.8. Estructura por edades	32
7. DISCUSIÓN	33
7.1. Muestreo	33
7.2. Estructura de tallas	33
7.3. Relación peso-longitud	34
7.4. Relación longitud mandibular-radio total de la espina	35
7.5. Determinación de edad	36
7.6. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento	37
7.7. Crecimiento individual	38
7.8. Estructura por edades	41
8. CONCLUSIONES	43
9. BIBLIOGRAFÍA	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Zona de pesca de la flota deportiva que tiene su base en el Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México.	9
2	Mediciones morfométricas registradas en los ejemplares del marlin rayado.	10
3	Localización de la zona del corte en la cuarta espina de la aleta dorsal. d=diámetro de la base del cóndilo.	11
4	Sección transversal de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin rayado, mostrando el radio total y radios parciales (R1, R2).	13
5	Porcentaje mensual de individuos de marlin rayado (barras) y promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM, línea continua) en el área de Mazatlán, Sinaloa. Año tipo durante octubre de 2002 a diciembre de 2004. La TSM fue obtenida de la base de datos atmosféricos de la NOAA.	20
6	Estructura de tallas del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	21
7	Estructura de tallas por sexos del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	21
8	Estructura en peso por sexos del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	22
9	Relación peso-longitud del marlin rayado capturado por la flota de pesca deportiva en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	23
10	Relación entre la longitud mandibular y el radio total de la espina del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	24
11	Porcentaje de espinas con zona vascularizada por intervalo de longitud del marlin rayado.	26

Figura		Página
12	Porcentaje mensual del incremento marginal (línea) y de espinas con borde opaco (barras) del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	28
13	Longitud mandibular promedio por grupo de edad observada y retrocalculada del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	29
14	Modelo de crecimiento de von Bertalanffy para machos y hembras del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	30
15	Modelo de crecimiento de von Bertalanffy para datos combinados del marlin rayado capturado en Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	31
16	Estructura por edades de la captura del marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	32

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Número de organismos muestreados y de espinas recolectadas del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa. M= machos, H= hembras, N/S= no sexados.	19
2	Valores de los parámetros de la relación PT-LM del marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	23
3	Valores de los parámetros de la relación LM-RT del marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	24
4	Número de marcas de crecimiento observadas en las secciones de la cuarta espina dorsal del marlin rayado antes y después de la corrección en función al tamaño de la zona vascularizada. En paréntesis el porcentaje de organismos.	27
5	Valores de los parámetro del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para machos, hembras y sexos combinados del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	29
6	Tasa de crecimiento del marlin rayado capturado por la flota de pesca deportiva en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.	31
7	Valores de los parámetros de crecimiento del marlin rayado <i>K. audax</i> estimados por diferentes autores, en diferentes zonas del Océano Pacífico.	41

## GLOSARIO

**Banda opaca:** Zona del crecimiento que impide el paso de luz, y que se asocia a períodos de crecimiento rápido.

**Banda hialina:** Zona del crecimiento que permite el paso de luz, y que se asocia a períodos de crecimiento lento.

**Estimación de edad:** Metodología a través de la cual se les asigna edad a los peces.

**Foco:** Origen hipotético o real de la estructura dura analizada, el cual se toma como el inicio para contar el número de marcas de crecimiento.

**Incremento marginal:** Es la región posterior a la última marca de crecimiento, localizada en el borde de una estructura esquelética. Se expresa en términos relativos, como fracción o proporción de la última marca de crecimiento completamente depositada.

**Marca de crecimiento:** Es el conjunto de una banda opaca seguida por una banda hialina, cuya formación se encuentra asociada a un período de tiempo determinado.

**Validación de la edad:** Confirmar por métodos cualitativos o cuantitativos la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento.

**Grupo de edad:** Conjunto de organismos de la misma edad.

**Retrocálculo:** Estimación de las longitudes que tuvieron los Individuos en edades pretéritas, mediante el uso de relaciones morfométricas entre el tamaño del cuerpo y la(s) parte(s) dura(s) usada(s) para la determinación de la edad.

**Tipo de borde:** Banda opaca o hialina sobre el borde de una estructura esquelética que representa el crecimiento más reciente.

## RESUMEN

El marlin rayado *Kajikia audax* habita en aguas tropicales, subtropicales y templadas de los Océanos Índico y Pacífico entre las latitudes 45°N y 40°S. En México esta especie es la más importante para la pesca deportiva, sin embargo su biología es poco conocida. El objetivo del presente trabajo fue estimar la edad y describir el crecimiento individual del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004. Se midieron y pesaron 315 ejemplares, y a 310 de ellos se les recolectó la 4ª espina de la aleta dorsal. La talla varió entre 148-236 cm de longitud mandibular (LM). Las diferencias en LM entre sexos no fueron significativas (Kolmogorov-Smirnov;  $p > 0.05$ ). El peso total (PT) varió entre 12-77 kg, un modelo potencial describió adecuadamente la relación PT-LM ( $PT = 4E-5 * LM^{3.05}$ ) y el patrón de crecimiento fue isométrico ( $b=3$ ); no se detectaron diferencias significativas (ANCOVA;  $p > 0.05$ ) en esta relación entre sexo. La relación LM-radio total de la espina (RT) fue significativa ( $r^2=0.93$ ,  $LM=98.71 * RT^{0.39}$ ), sugiriendo que esta estructura es adecuada para describir el crecimiento. En las secciones de las espinas se identificaron hasta 12 marcas de crecimiento (MC). El porcentaje de error promedio fue de 3.3 % y el coeficiente de variación de 4.3%, lo que indica una alta precisión en el conteo de las MC entre lectores. Tanto el porcentaje mensual de espinas con borde opaco como el índice de incremento marginal evidenciaron que la formación de las MC es anual. Por retrocálculo se estimó la talla a la edad y para describir el crecimiento, se ajustó el modelo de von-Bertalanffy a los datos talla retrocalculada a la edad por sexo. No se identificaron diferencias significativas entre las curvas de crecimiento por sexo (ARSS;  $F_{3,20}=0.104$ ;  $p=0.95$ ), por lo tanto se estimaron los parámetros del modelo de crecimiento para datos combinados ( $L_{\infty}=207$  cm,  $k=0.45$ ,  $t_0=-0.17$  años). La especie presenta un rápido crecimiento, alcanzando más del 70% de la longitud asintótica a la edad de 3 años.

## ABSTRACT

Striped marlin *Kajikia audax* are distributed throughout tropical, subtropical and temperate waters of the Pacific and Indian Oceans, between 45°N and 35-40°S of latitude. In Mexico it is the most important specie for the recreational fishing, however the knowledge of its biology is scarce. The objective of this study was estimate the age and describe the individual growth of the striped marlin caught by the recreational fishing fleet off Mazatlan coast, Sinaloa. During October 2002 to December 2004, 315 organisms were weighed and measured, and on 310 specimens the 4<sup>th</sup> dorsal fin spine was collected. The lower jaw-fork length (LJFL) ranged from 148 to 236 cm. The differences in the size by sex were not significant (Kolmogorov-Smirnov;  $p>0.05$ ). The total weight (TW) ranged from 12 to 77 kg, and a potential model was fitted to the relationship TW-LJFL ( $TW=4e-5*LJFL^{3.05}$ ) showing allometric growth ( $b=3$ ); as there were no differences (ANCOVA;  $p>0.05$ ) in this relationship between sexes. The relationship LJFL-total radius of the spine (RT) was significant ( $r^2=0.93$ ,  $LJFL=98.71*RT^{0.39}$ ), therefore this structure is adequate to describe growth. Up to twelve growth marks (GM) were observed in the spine sections. The average percent error was 3.3% y the coefficient of variation was 4.3%, which indicates high accuracy in the counting of the GM between readers. Both the monthly percentage of spines with opaque edge as the marginal increment ratio showed that the deposition of the GM is annual. The length at age was back-calculated and the individual growth for sex was described using, the von Bertalanffy growth model. No significant differences were detected in the growth curves by sexes (ARSS;  $F_{3,20}=0.104$ ;  $p=0.95$ ). The model growth parameters for pooled data were estimated ( $L_{\infty}=207$  cm,  $k=0.45$ ,  $t_0=-0.17$  years). The specie has a rapid growth, reaching over 70% of the asymptotic length at 3 years of age.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los peces de pico son un grupo de organismos cuya característica principal es poseer la mandíbula superior alargada en forma de pico o en forma de espada. Dichos peces pertenecen a las familias Xiphiidae e Istiophoridae, y constituyen un grupo de especies pelágicas migratorias, distribuidas en las zonas tropicales, subtropicales y templadas de todos los océanos (Nakamura, 1985). Estas familias incluyen cinco géneros y nueve especies (Collette *et al.*, 2006). En el Pacífico mexicano podemos encontrar seis de estas nueve especies: al pez espada *Xiphias gladius* (Xiphiidae), al marlin rayado *Kajikia audax*, al marlin azul *Makaira mazara*, al marlin negro *Istiompax indica*, al pez vela *Istiophorus platypterus* y al pez pico corto *Tetrapturus angustirostris*, estos últimos de la familia Istiophoridae. Recientemente, con base a estudios genéticos (ADN-mitocondrial y ADN-nuclear) el marlin rayado y el marlin blanco fueron separados del género *Tetrapturus* e incluidos en el género *Kajikia* (Collette *et al.*, 2006).

*Kajikia audax* es la especie que presenta la mayor distribución latitudinal de los picudos, habita en aguas tropicales, subtropicales y templadas de los océanos Pacífico e Índico, entre los 45°N y los 35-40°S. En el Océano Pacífico Oriental el marlin rayado se encuentra desde Chile hasta el sur de California, siendo en las costas mexicanas donde se localiza la mayor abundancia de esta especie (Nakamura, 1974). El marlin rayado es holoepipelágica, lo cual significa que habita la capa superficial isotérmica del océano en todas las etapas de su ciclo de vida, por lo que se limita a las zonas tropicales y subtropicales, donde existe una termoclina permanente, pero puede incursionar en latitudes templadas durante los meses calidos (Ueyanagi & Wares, 1975).

La estructura poblacional del marlin rayado en el Océano Pacífico es incierta, sin embargo dos hipótesis han sido ampliamente discutidas: 1) Una población panmíctica, y 2) La existencia de dos stocks, uno en el norte y otro en el sur, divididos por el ecuador (Hinton & Bayliff, 2002). La talla y pesos máximos reportados son 420 cm de longitud total y 499 kg (Robertson & Allen, 2008). Su principal zona de reproducción se encuentra en el Pacífico Occidental (Squire & Suzuki, 1990), aunque

existen zonas con actividad reproductiva en el Pacífico Nororiental, en esta última zona, la reproducción se presenta de julio a diciembre (Kume & Joseph, 1969; González-Armas *et al.*, 2006).

Estos peces son primordialmente oceánicos, y periódicamente entran en aguas costeras. Son depredadores activos y voraces que en ocasiones utilizan el pico para atacar y aturdir a sus presas (Nakamura, 1985). Son organismos generalistas que se alimentan principalmente de peces pelágicos y cefalópodos (Abitia-Cárdenas *et al.*, 1998). Tienden a concentrarse en áreas donde el alimento es abundante, generalmente a lo largo de zonas de frentes donde confluyen diferentes corrientes oceánicas o masas de agua y forman fuertes gradientes de temperatura y salinidad (Hanamoto, 1974).

En el Pacífico mexicano, se llevan a cabo importantes torneos internacionales de pesca deportiva en los principales puertos turísticos, en donde el marlin rayado, entre otros peces de pico, es una de las especies preferidas por su abundancia y por el reto que representa capturarlos con anzuelo (Gonzalez-Armas, 1993). La presencia y abundancia de marlin rayado en la zona sur del Golfo de California soporta una gran pesquería recreacional, que a su vez proporciona importantes ingresos para la economía local (Gonzalez-Armas *et al.*, 2006).

La determinación de la estructura por edades de una población explotada es un componente importante para el diseño de medidas de manejo de sus pesquerías y permite describir el crecimiento individual de los organismos para estimar las tasa de mortalidad y aplicar modelos de rendimiento (Melo-Barrera *et al* 2004).

Para las estimaciones de edad en peces se utilizan diferentes estructuras duras (escamas, otolitos, espinas y vertebras), y debido a la naturaleza de cada estructura se desarrollan métodos particulares para cada una. En los peces de pico las escamas no son estructuras útiles para determinar la edad, y sus otolitos son frágiles, muy pequeños y de preparación costosa, por lo que las espinas representan una alternativa viable (Prince *et al.*, 1991). La utilización de las espinas para la estimación de la edad y el crecimiento en los picudos presenta varias ventajas sobre

otras estructuras duras: su facilidad de extracción, no siempre es necesario matar al organismo o mutilarlo significativamente (Beamish, 1981), las marcas de crecimiento son claramente visibles y pueden ser almacenadas sin gran costo para su posterior procesamiento (Casselman, 1983).

En el presente trabajo se aborda la determinación de la edad y descripción del crecimiento individual del marlin rayado *Kajikia audax* (Philippi, 1887) capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante 2002 a 2004, utilizando el número de marcas de crecimiento en la cuarta espina de la aleta dorsal.

## 2. ANTECEDENTES

Las primeras investigaciones sobre edad y crecimiento en los peces de pico, se basaron en el análisis de frecuencias de tallas. El primer registro fue para el pez vela del Atlántico, *Istiophorus americanus*, por DeSylva (1957) que determina hasta cuatro grupos de edad y concluye que la especie es de rápido crecimiento y de vida corta. Para el marlin rayado, Koto (1963) reporta hasta seis grupos de edad en el Pacífico occidental, y Skillman & Yong (1976) identificaron 5 grupos de edad para machos y 4 para hembras en ejemplares capturados en las costas del archipiélago de Hawaii. Sin embargo, se ha probado que las estimaciones con este método incluyen sesgos importantes, ya que conforme los organismos incrementan su longitud los grupos modales se traslapan haciendo difícil su discriminación (Radtko, 1983).

El desarrollo de nuevas técnicas permitió utilizar estructuras esqueléticas (e.g. espinas y otolitos) para la determinación de edad. Jolley (1974) y Hedgepeth & Jolley (1983) utilizaron secciones de la cuarta espina de la aleta dorsal del pez vela del Atlántico *I. platypterus*, determinaron hasta 7 grupos de edad y una proporcionalidad directa entre el crecimiento de la espina y el crecimiento somático. Berkeley & Houde (1983) estimaron la edad del pez espada, *Xiphias gladius*, capturado en las costas de Florida utilizando secciones de la espina anal, registraron hasta 11 grupos de edad y estimaron una periodicidad anual de las marcas de crecimiento.

Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1998) utilizaron secciones de la cuarta espina de la aleta dorsal del pez vela del Pacífico capturado en la boca del Golfo de California, reportan hasta 7 años de edad y una relación lineal entre el diámetro de la espina y la longitud del pez. Concluyen que durante el primer año de vida, los organismos presentan una alta tasa de crecimiento, alcanzando hasta 110 cm de longitud mandibular (LM), lo que representa más del 50% de la longitud infinita estimada. Chiang *et al.* (2004) utilizando la misma estructura para determinar la edad y describir el crecimiento del pez vela capturado en las costas de Taiwán, encontraron hasta 12 grupos de edad siendo los más representativos los machos del grupo 4 y hembras del grupo 5. También reportan que el crecimiento difiere

significativamente entre sexos; las hembras crecen más rápido y alcanzan mayores tallas que los machos. Ramírez-Pérez (2005) determina la edad, y evalúa el crecimiento y la mortalidad del pez vela capturado en la costa sur de Sinaloa, determinó hasta 7 grupos de edad (1-7) predominando los individuos de 4 años y observó una proporcionalidad directa entre el crecimiento somático y el crecimiento de la espina.

El uso de los otolitos en peces de pico no es frecuente debido a que ésta estructura es pequeña y difícil de extraer. Radtke (1983) propone un método para la extracción de otolitos y utilizando microscopia electrónica describe la morfología de los otolitos en siete especies de la familia Istiophoridae. En cinco de las siete especies fue posible identificar las marcas de crecimiento y no encuentra una fuerte relación entre el tamaño de los otolitos y la talla de los organismos, concluyendo que no pueden ser utilizados para retrocálculo. Utilizando otolitos y espinas del pez espada, *Xiphias gladius*, Wilson & Dean (1983) determinaron 9 años de edad para machos y 15 años de edad para hembras, donde predominaron los organismos de 2 y 3 años, respectivamente. Estos resultados difieren de los reportados para la misma especie por Radtke & Hurley (1983), quienes determinaron 14 años en machos y 32 años en hembras.

Prince *et al.* (1986) recapturan una hembra del pez vela del Atlántico después de 11 años de haber sido marcada y liberada. Basados en el análisis de los otolitos determinaron una edad entre 13 y 15 años, sin embargo, analizando secciones de las espinas III-VI de la aleta dorsal, encontraron entre 2 y 8 años. Concluyen que las espinas no parecen ser una estructura segura para determinar la edad en individuos mayores de 5 años, mientras que los otolitos *sagittae* proveen estimaciones más precisas en grupos más viejos.

Hill *et al.* (1989) realizaron un análisis comparativo entre otolitos *sagittae*, vértebras y espinas (anales y dorsales) en la determinación de edad del marlin azul del Pacífico, *Makaira nigricans*. Encontraron 11 grupos de edad, estableciendo que no hay diferencias estadísticas en el número de marcas de crecimiento presentes en las diferentes estructuras, favoreciendo la utilización de las espinas por su facilidad

de extracción, preparación, legibilidad e interpretación. Además, proponen un método estadístico de reemplazamiento para estimar las primeras marcas de crecimiento las cuales se pierden debido a la vascularización del núcleo de la espina.

Davie & Hall (1990) también realizaron un estudio comparativo entre espinas (anales y dorsales) y otolitos del marlin rayado capturado en las costas de Nueva Zelanda, para la obtención de la estructura por edad. Observaron hasta 8 marcas de crecimiento y no encontraron diferencias significativas en la edad estimada en otolitos y espinas. Kopf *et al.* (2005) utilizando la determinación de edad por Davie & Hall (1990), describen el crecimiento individual del marlin rayado y reportan que estos organismos alcanzan el 21% de su longitud asintótica durante el primer año de vida.

Para el marlin rayado capturado en las costas mexicanas, existen únicamente dos reportes sobre edad y crecimiento (Melo-Barrera *et al.*, 2003; Melo-Barrera & Félix-Uraga, 2004). En estos trabajos se utilizaron secciones de la cuarta espina de la aleta dorsal de ejemplares capturados por la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S. Se encontraron hasta 10 grupos de edad, una periodicidad anual de las marcas de crecimiento y una relación potencial entre el diámetro de la espina y la longitud de los peces.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La pesca con caña de picudos es considerada por muchos pescadores como el más emocionante de los deportes marinos. La pesquería deportiva inició un acelerado desarrollo con la aparición de carretes múltiples, cañas de bambú laminadas o de fibra de vidrio, así como líneas muy ligeras y resistentes. El primer reporte sobre la captura de picudos utilizando línea con anzuelo en el Pacífico, fue un marlin rayado en 1903 en la costa de Avalon, California, EUA. Actualmente, los pescadores deportivos capturan picudos a lo largo de toda su distribución geográfica (Sosa-Nishizaki, 1998).

Los peces de pico en México son especies reservadas para la pesca deportiva dentro de las primeras 50 millas náuticas a partir de la línea de costa (NOM-017-PESC-1994). La pesca deportiva, genera miles de empleos y un considerable ingreso de divisas al país. En esta actividad participan todas las ramas relacionadas con el sector turismo, hoteles, restaurantes, transportes, agencias de viajes, pescadores, dueños de lanchas, etc.

En el Pacífico mexicano, el marlin rayado ocupa el primer lugar de importancia en la pesca deportiva. Sin embargo, los conocimientos que se tienen sobre su biología son escasos y estudios de edad y crecimiento de esta especie se limitan a la zona de Cabo San Lucas, B.C.S. Información sobre la edad y crecimiento de los organismos es básica en la utilización de modelos estructurados por edad para las estimaciones de biomasa de las poblaciones explotadas, que coadyuvan en la implementación de medidas de manejo de sus pesquerías.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General:**

Determinar la edad y describir el crecimiento individual del marlin rayado (*Kajikia audax* (Philippi, 1887) capturado en las costas de Mazatlán, Sinaloa.

### **4.2 Objetivos Específicos:**

- Determinación de la edad utilizando el número de marcas de crecimiento en secciones de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin rayado.
- Analizar la relación entre el crecimiento de la espina y el crecimiento somático.
- Describir el crecimiento individual ajustando el modelo de von Bertalanffy a los datos de edad y talla retrocalculada.
- Determinar la estructura por edades de la captura.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

### 5.1 Muestreo

Durante octubre de 2002 a diciembre de 2004, se realizaron muestreos semanales de marlin rayado de la captura de la flota deportiva en Mazatlán, Sinaloa. La zona de pesca tiene un radio de 50 millas náuticas, tomando como punto de referencia el puerto de Mazatlán ( $23^{\circ}52' N$ ,  $106^{\circ}55' W$  y  $22^{\circ}34' N$ ,  $105^{\circ}46' W$ ) (Fig. 1). Para la captura del marlin rayado se utilizan cañas de pesca con carrete y carnada artificial o carnada viva.

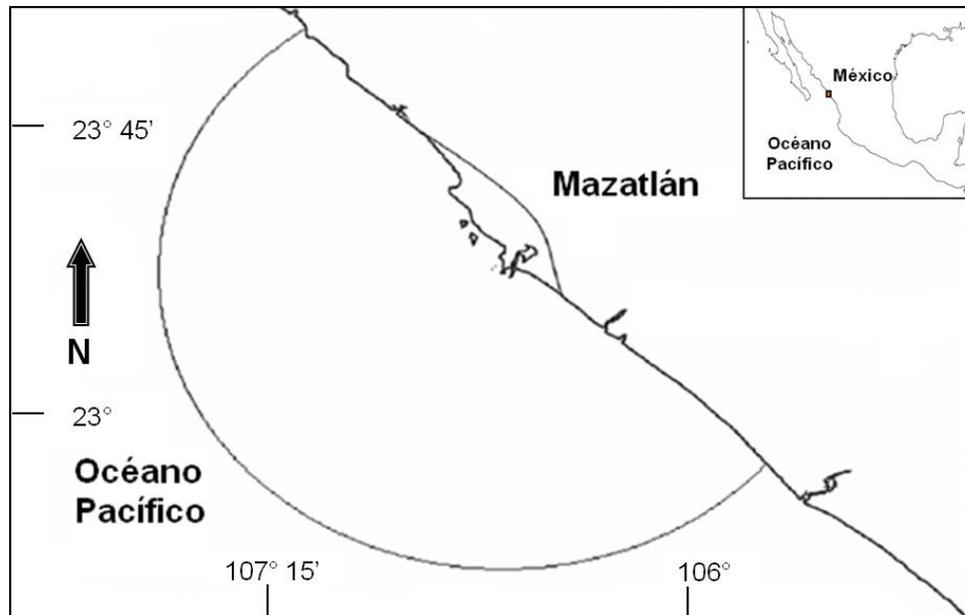


Figura 1. Zona de pesca de la flota deportiva que tiene su base en el Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México.

A cada organismo muestreado se le midió la longitud total (LT) de la mandíbula superior al final de la aleta caudal, la longitud furcal (LF) de la mandíbula superior a la furca, la longitud mandibular (LM) de la mandíbula inferior a la furca y la longitud postorbital (LPO) del límite posterior del ojo a la furca (Fig. 2), utilizando una cinta métrica flexible a una precisión de 1 cm. También se registro el peso total,

utilizando una báscula de resorte con capacidad de 100 kg ( $\pm 0.1$  kg), se asignó el sexo, por apreciación visual de las gónadas, y se recolectó la cuarta espina de la aleta dorsal, la cual se extrajo desde la base del cóndilo utilizando un cuchillo.

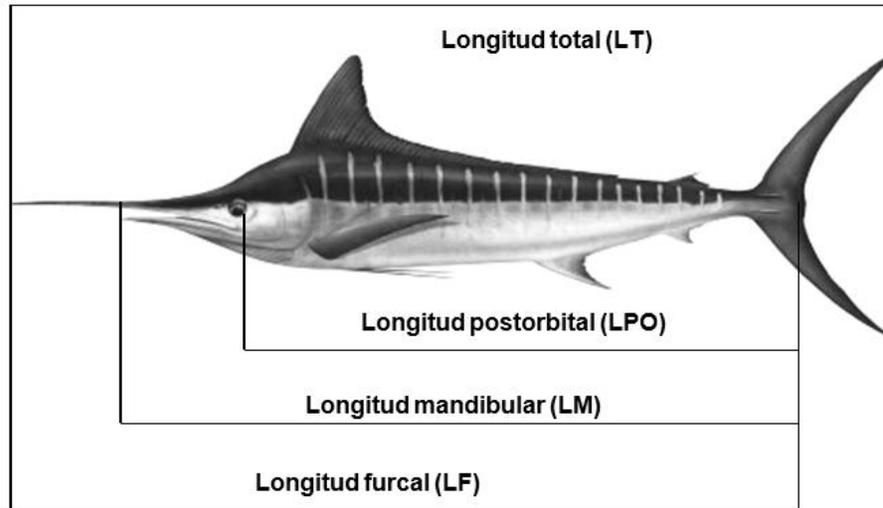


Figura 2. Mediciones morfométricas registradas en los ejemplares del marlin rayado.

En el laboratorio, a las espinas se les eliminó la mayor cantidad de tejido residual posible, y se les midió el ancho de la base del cóndilo con un vernier ( $\pm 0.1$  mm). Esta distancia se proyectó a lo largo de la espina desde la base del cóndilo y en la región entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de esta medida se obtuvieron dos secciones de aproximadamente 0.5 mm de grosor (Fig. 3). En esta región de la espina es donde mejor se aprecian las marcas de crecimiento (Prince *et al.*, 1986; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Melo-Barrera & Félix-Uraga, 2004, Kopf *et al.*, 2010). Los cortes se realizaron utilizando una cortadora de baja velocidad Isomet Buehler<sup>R</sup> con una cuchilla con filo de diamante. Las secciones se colocaron en frascos con alcohol isopropílico durante 15 días para eliminar la grasa (Prince *et al.*, 1986) y después se montaron en portaobjetos con resina sintética.

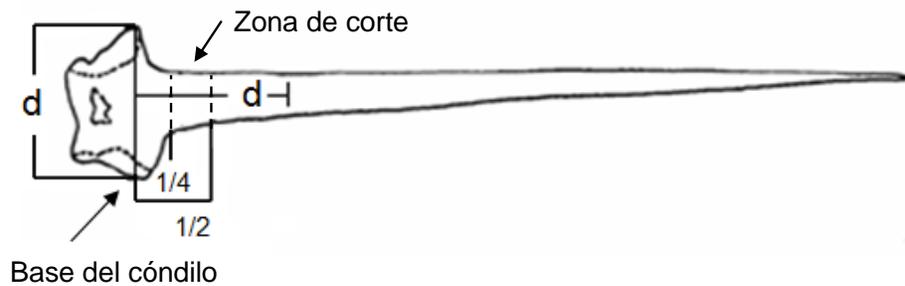


Figura 3. Localización de la zona del corte en la cuarta espina de la aleta dorsal. d=diámetro de la base del cóndilo.

## 5.2 Estructura de tallas

Para el análisis de la estructura de tallas se eligió la longitud mandibular (LM), esto debido a que fue la medida que presentó la menor variación, además de que esta talla frecuentemente se utiliza en otros estudios, lo que permite comparar los resultados. Algunos ejemplares se desembarcaron con el pico roto, y a través de relaciones biométricas entre las mediciones registradas se calculó la longitud mandibular.

Las distribuciones de frecuencia de tallas por sexo se elaboraron agruparon la LM en intervalos de 5 cm. La normalidad de las distribuciones se evaluaron utilizando la prueba de Shapiro-Wilks y las diferencias entre la estructura de tallas por sexos se contrastaron utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1996).

## 5.3 Relación peso-longitud

Se analizó la relación peso-longitud mediante la siguiente función:

$$PT = a * LM^b$$

Donde:

PT= Peso total del organismo

LM= Longitud mandibular

a = factor de condición

b = pendiente de la curva o parámetro de alometría

Los valores de los coeficientes de la regresión (*a* y *b*) se obtuvieron para machos, hembras y sexos combinados. Las diferencias entre sexos se evaluaron a través un análisis de covarianza (ANCOVA), para lo cual los datos se transformaron a logaritmo base 10 (Zar, 1996). La alometría del crecimiento del marlin rayado se evaluó comparando el valor de la pendiente de la regresión (*b*) respecto de 3 (isometría), usando una prueba t de Student. El valor del estadístico se calculó con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{S_x \sqrt{n-1} (b - \beta_0)}{S_e}$$

Donde:

S<sub>x</sub>= desviación estándar de LM

n= tamaño de muestra

b= pendiente de la relación

β<sub>0</sub>= 3, crecimiento isométrico

S<sub>e</sub>= error estándar del estimado

#### **5.4 Relación longitud mandibular- radio total de la espina**

La imagen de cada sección de las espinas fue obtenida utilizando un sistema digitalizador; el cual esta integrado por un microscopio estereoscópico con cámara de video, una computadora con tarjeta digitalizadora (Targa-1000), y un monitor de alta resolución. Las imágenes se capturaron a 12X de aumento con luz transmitida, se

desplegaron en el monitor y se midieron el radio total de la espina (RT), distancia del foco al borde de la espina, y radios parciales (Rn), distancia del foco a cada marca de crecimiento (Fig. 4), para lo cual se utilizó el programa Sigma Scan Pro 5.0.

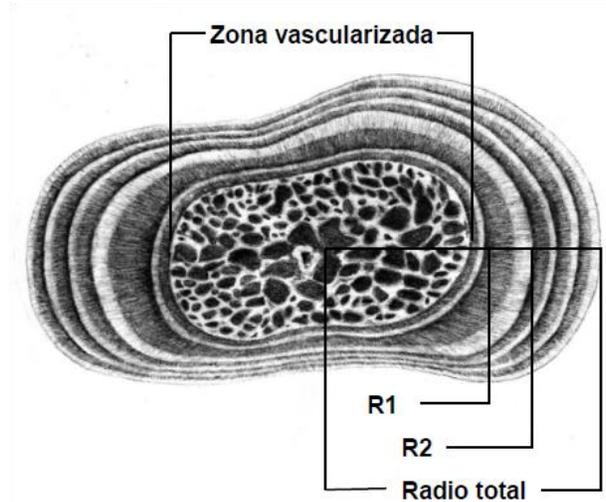


Figura 4. Sección transversal de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin rayado, mostrando el radio total y radios parciales (R1, R2).

Con el propósito de evaluar la proporcionalidad del crecimiento de la espina y el somático, se calculó la relación LM-RT para machos, hembras y sexos combinados. El RT se agrupó en intervalos de 0.3 mm y se calculó el promedio de la LM por intervalo (Smale & Taylor, 1987). A los datos se les ajustó el siguiente modelo potencial:

$$LM = a * RT^b$$

Donde:

LM = longitud mandibular

RT = radio total de la espina

a = ordenada al origen

b = pendiente

Para evaluar las diferencias entre sexos, se utilizó un ANCOVA, transformando los datos a logaritmo base 10 (Zar, 1996).

## 5.5 Determinación de edad

Kopf *et al.* (2010) recomiendan usar la cuarta espina de la aleta dorsal para determinar la edad en ejemplares del género *Kajikia*, ya que es la de mayor tamaño y donde se observan mejor las marcas de crecimiento. Además, es la que se ha utilizada frecuentemente en estudios de edad en peces de pico (Melo-Barrera & Félix-Uraga, 2004; Kopf *et al.*, 2010). Las lecturas de las marcas de crecimiento se realizaron sobre las imágenes digitalizadas. Las lecturas de hicieron por dos lectores de manera independiente y los organismos se clasificaron por grupo de edad de acuerdo al número de marcas de crecimiento. Una marca de crecimiento se consideró como el conjunto de una banda opaca seguida por una banda hialina. Para que una marca se considerara como tal, debió estar lo suficientemente clara y continua alrededor de la sección. Las bandas dobles o triples se identificaron de acuerdo a los criterios de Hedgepeth & Jolley (1983), y se consideraron como una sola marca de crecimiento.

La precisión de las lecturas se evaluó usando el porcentaje de error promedio (APE, por sus siglas en inglés) propuesto por Beamish & Fournier (1981), y el coeficiente de variación estadística (CV) propuesto por Chang (1982), cuyas respectivas formulas son:

$$APE = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \left( \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right)$$

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j}$$

Donde:

R = número de veces que se determina la edad a cada organismo

X<sub>ij</sub> = la *i*-ésima determinación de edad del *j*-ésimo organismo

X<sub>j</sub> = la edad promedio calculada para el *j*-ésimo organismo

Un problema que se presentó al realizar las lecturas de las marcas de crecimiento fue la presencia de una zona vascularizada de tamaño variable alrededor del núcleo de la espina, principalmente en los organismos más grandes. La vascularización reabsorbe el área de la espina asociada a las primeras marcas de crecimiento, produciéndose una subestimación de la edad. Para disminuir este sesgo se utilizó el método de reemplazamiento estadístico propuesto por Hill *et al.* (1989). El cual consiste en medir el radio a cada una de las marcas de crecimiento de los organismos más pequeños (*i.e.* organismo en donde se observa la primera marca) y se calculan el promedio y los intervalos de confianza al 95% a cada marca de crecimiento. Estos valores se comparan con el radio de las primeras cuatro marcas de crecimiento de las secciones con zona vascularizada, y cuando coincidan al menos dos marcas consecutivas, la corrección de la edad será la diferencia del número de marcas de crecimiento entre las dos secciones.

## 5.6 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Para determinar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento se utilizaron dos métodos, uno cualitativo y otro cuantitativo. El primero consistió en estimar el porcentaje mensual de espinas con borde opaco. El segundo método consistió en analizar el porcentaje del promedio mensual del incremento marginal (IM) (Campana, 2001) mediante la siguiente fórmula:

$$IM = \left[ \frac{RT - R_n}{R_n - R_p} \right] * 100$$

Donde:

RT = radio total de la espina

R<sub>n</sub> = radio a la última marca de crecimiento

R<sub>p</sub> = radio a la penúltima marca de crecimiento

### 5.7 Crecimiento individual

Debido a que la pesca deportiva está dirigida hacia organismos de tallas grandes, los individuos de tallas pequeñas están poco o no representados en la captura, lo cual produce una sobrestimación de la talla promedio para las primeras edades. Para reducir este sesgo se calcularon las tallas a edades pretéritas a través de retrocálculo utilizando el radio total y radios parciales de las espinas en la ecuación modificada de Fraser-Lee (Francis, 1990):

$$LM_i = \left[ (LM_c + a) * \left( \frac{R_n^b}{RT^b} \right) \right] - a$$

Donde:

LM<sub>i</sub> = longitud del pez a la edad i

a y b= coeficientes de la relación LM-RT

LM<sub>c</sub> = longitud del pez a la captura

R<sub>n</sub> = radio de la espina a la marca i

RT = radio total de la espina

Para describir el crecimiento individual del marlin rayado, a los datos de edad y talla retrocalculada se les ajustó el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, ya que éste modelo se ajusta a un amplio intervalo de patrones de crecimiento y sus parámetros tienen un significado biológico, además de que es frecuentemente utilizado facilitando la comparación de los resultados. La formulación del modelo es la siguiente:

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

Donde:

$L_t$  = longitud del pez a la edad  $t$

$L_\infty$  = longitud asintótica

$k$  = coeficiente de crecimiento (parámetro de curvatura)

$t_0$  = edad hipotética, cuando la longitud es igual a cero

$t$  = edad

Las estimaciones de los parámetros de crecimiento se hicieron para machos, hembras y sexos combinados. Las diferencias en el crecimiento entre sexos se evaluaron a través del Análisis de la Suma de Cuadrados Residuales (ARSS, por sus siglas en inglés) (Chen *et al.*, 1992; Haddon, 2001):

$$ARSS = \frac{\frac{RSS_P - RSS_S}{3 * (K - 1)}}{\frac{RSS_S}{N - 3 * K}}$$

Donde:

$RSS_P$  = suma de cuadrados del ajuste común (machos y hembras)

$RSS_S$  = suma de cuadrados de los machos más la suma de cuadrados de las hembras

$K$  = número de curvas en la comparación

$N$  = número total de datos

## **5.9 Estructura por edades**

Se elaboró una clave edad-longitud para asignar edad a los organismos que no se les recolectó la cuarta espina de la aleta dorsal. Finalmente, la estructura por edades se estimó con base a la frecuencia de aparición de cada grupo de edad de la muestra total.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Muestreo

Durante octubre de 2002 a diciembre de 2004 se midieron y pesaron 315 ejemplares de marlin rayado en los desembarques de la pesca deportiva, y se recolectaron 310 espinas para la determinación de la edad (Tabla 1). La disponibilidad de estos organismos, para la pesca deportiva, presentó un patrón estacional bien definido, siendo mayor su abundancia durante diciembre a mayo, periodo con temperaturas menos calidas, y reduciéndose significativamente durante el resto del año (Fig. 5).

Tabla 1. Número de organismos muestreados y de espinas recolectadas del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa. M= machos, H= hembras, N/S= no sexados.

Meses	No. organismos				No. espinas			
	M	H	N/S	Total	M	H	N/S	Total
Oct-02		1		1		1		1
Dic-02			1	1				
Ene-03	35	14		49	34	13		47
Feb-03	27	22		49	27	22		49
Mar-03	7	13	1	21	7	13	1	21
Abr-03	13	9		22	13	9		22
May03	12	6		18	12	6		18
Jun-03		2		2		2		2
Sep-03		2		2		2		2
Oct-03	2			2	2			2
Nov-03		2		2		2		2
Dic-03	10	4		14	10	4		14
Ene-04	12	5	1	18	12	5	1	18
Feb-04	2	5		7	2	5		7
Mar-04	30	27	1	58	30	27		57
Abr-04	16	9		25	15	9		24
May04	2	4		6	2	4		6
Jun-04		2		2		2		2
Dic-04	8	8		16	8	8		16
Total	176	135	4	315	174	134	2	310

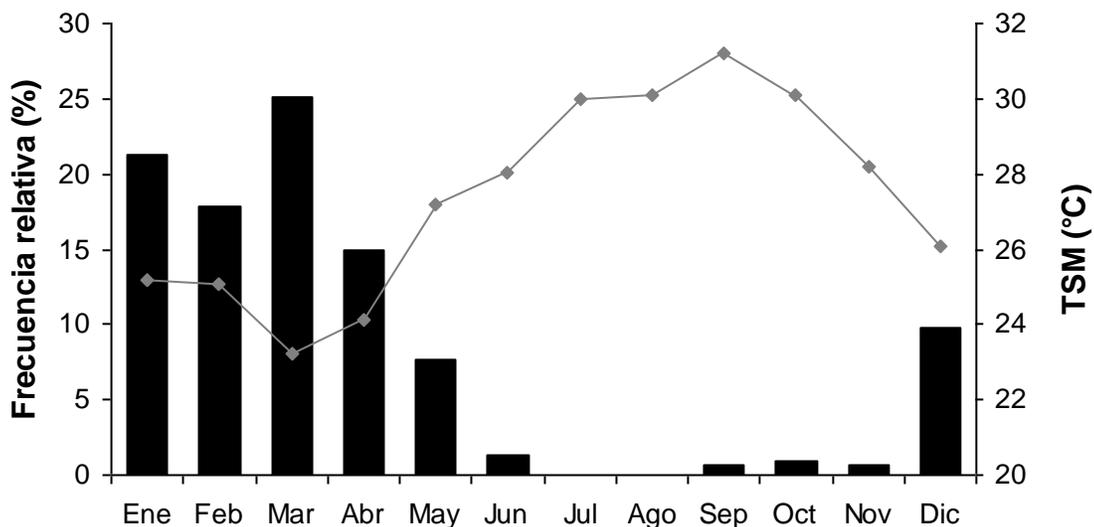


Figura 5. Porcentaje mensual de individuos de marlin rayado (barras) y promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM, línea continua) en el área de Mazatlán, Sinaloa. Año tipo durante octubre de 2002 a diciembre de 2004. La TSM fue obtenida de la base de datos atmosféricos de la NOAA. ([http://las.pfeg.noaa.gov/las6\\_5/servlets/constrain?var=117](http://las.pfeg.noaa.gov/las6_5/servlets/constrain?var=117)).

## 6.2 Estructura de tallas

El intervalo de tallas del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante el periodo de estudio, varió de 148 a 236 cm LM, con un promedio de 197 cm. El 71% de los organismos estuvo dentro del intervalo de 190 a 215 cm de LM (Fig. 6).

Al contrastar la estructura de tallas entre sexos, no se encontraron diferencias significativas (Kolmogorov-Smirnov,  $p > 0.05$ ). La talla de las hembras varió de 149 a 236 cm LM, con un promedio de 199 cm y la talla de los machos varió de 148 a 229 cm LM, con un promedio de 195 cm (Fig. 7).

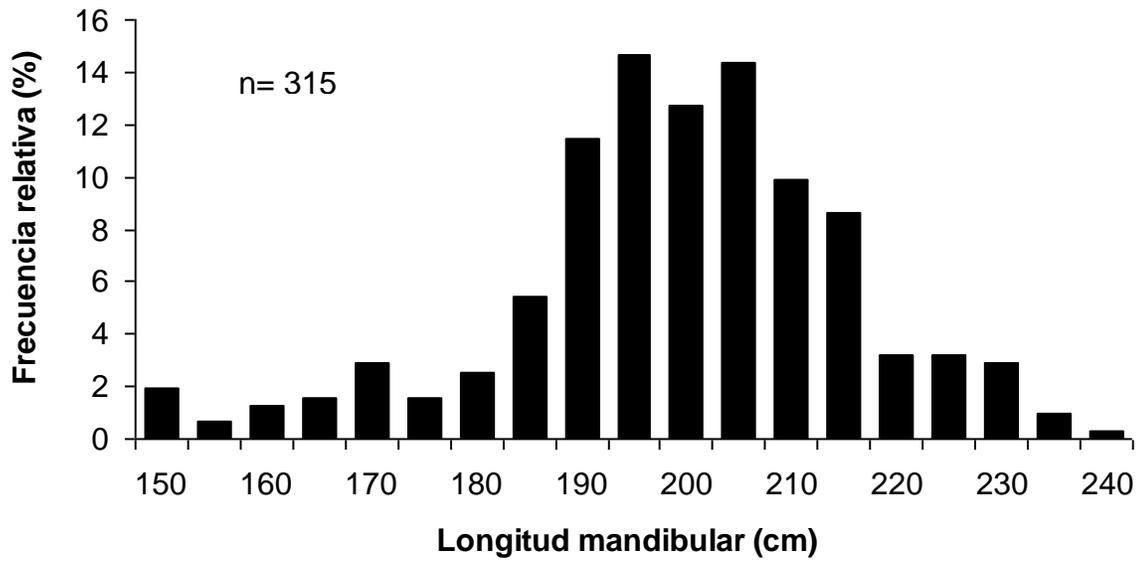


Figura 6. Estructura de tallas del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

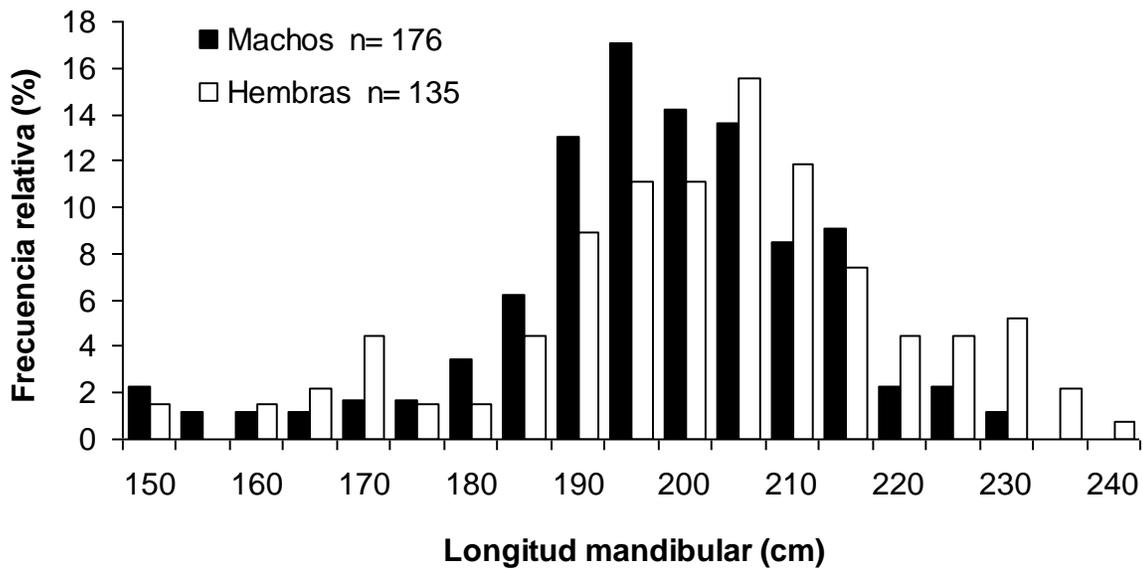


Figura 7. Estructura de tallas por sexos del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

### 6.3 Relación peso-longitud

Durante el periodo de estudio el peso del marlin rayado capturado por la flota de pesca deportiva en Mazatlán, Sinaloa, varió de 12 a 77 kg, con un promedio de 40 kg. El peso de las hembras varió de 16 a 77 kg, con un promedio de 42 kg y el peso de los machos fue de 12 a 65 kg y un promedio de 39 kg (Fig. 8).

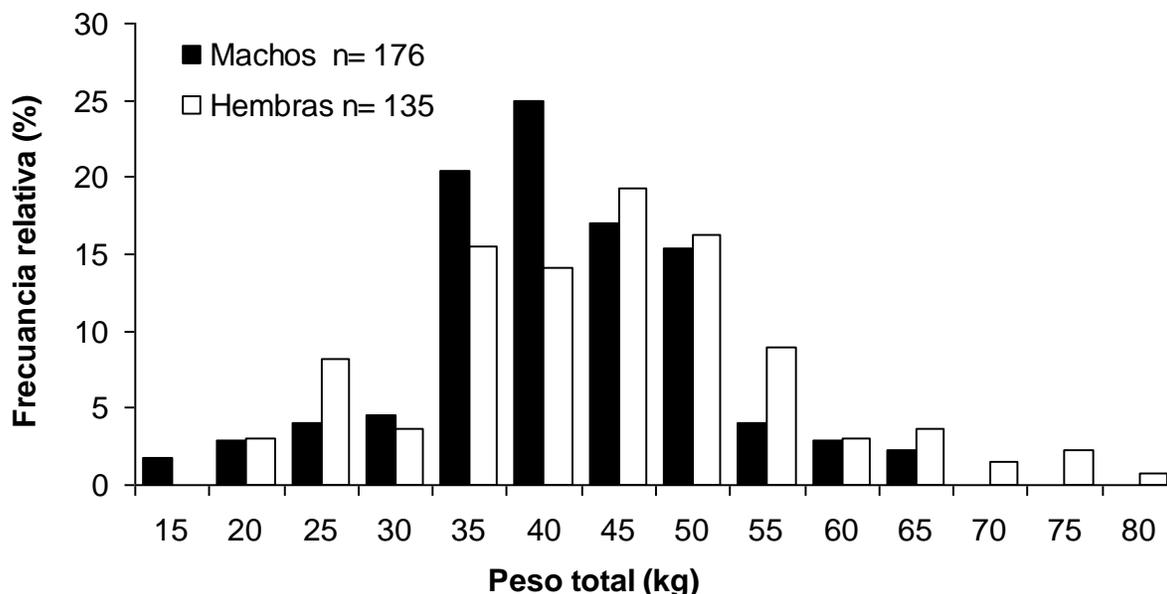


Figura 8. Estructura en peso por sexos del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

Al evaluar las diferencias en la relación PT-LM entre sexos, estas no fueron significativas (ANCOVA,  $p > 0.05$ ). Por lo que se obtuvo una relación general sin considerar el sexo de los organismos (Fig. 9). En la tabla 2, se muestran los valores de los parámetros de la relación PT-LM para machos, hembras y sexos combinados.

El coeficiente de alometría de la relación PT-LM ( $b=3.05$ ) no fue significativamente diferente de 3 (prueba t,  $p > 0.05$ ), indicando que el marlin rayado capturado por la flota de pesca deportiva que opera en las costas de Mazatlán, Sinaloa, presenta un crecimiento isométrico en el intervalo de longitud y peso analizado.

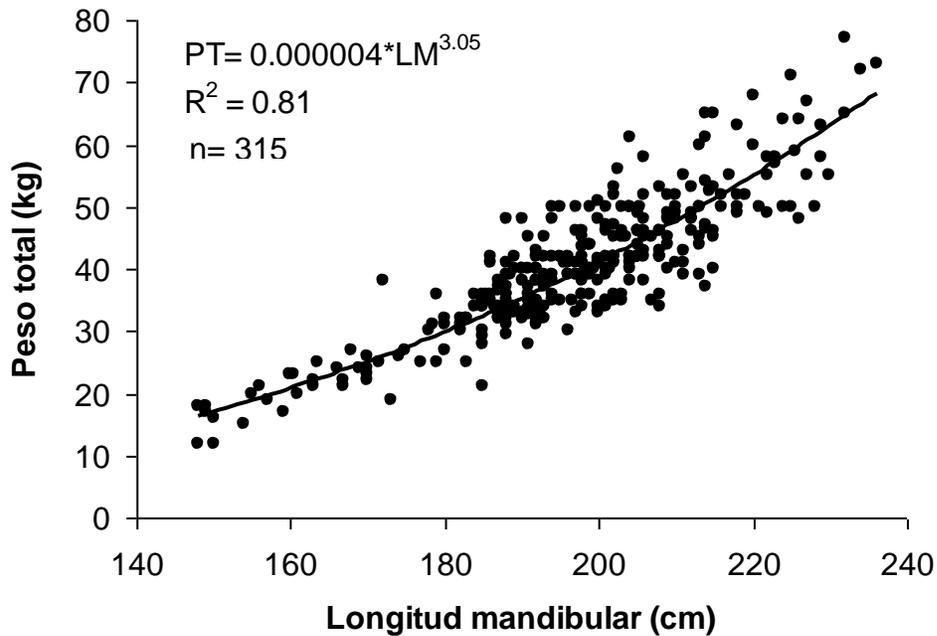


Figura 9. Relación peso-longitud del marlin rayado capturado por la flota de pesca deportiva en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

Tabla 2. Valores de los parámetros de la relación PT-LM del marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

	Machos	Hembras	Sexos combinados
a	0.000005	0.000003	0.000004
b	3.01	3.09	3.05
R <sup>2</sup>	0.77	0.85	0.81
n	176	135	315*

\* organismos no sexados n=4

#### 6.4 Relación longitud mandibular-radio total de la espina

La relación LM-RT fue descrita adecuadamente por un modelo potencial, no se detectaron diferencias significativas entre sexos (ANCOVA;  $p > 0.05$ ), procediendo a estimar la relación sin considerar el sexo (Fig. 10). El crecimiento de la espina

explicó el 94 % de la variación de la longitud mandibular, lo cual indica que existe una proporcionalidad entre el crecimiento somático y el crecimiento de la espina, lo que justifica la utilización de la espina para describir el crecimiento del pez. En la tabla 3, se muestran los valores de los parámetros de la relación LM-RT para machos, hembras y sexos combinados.

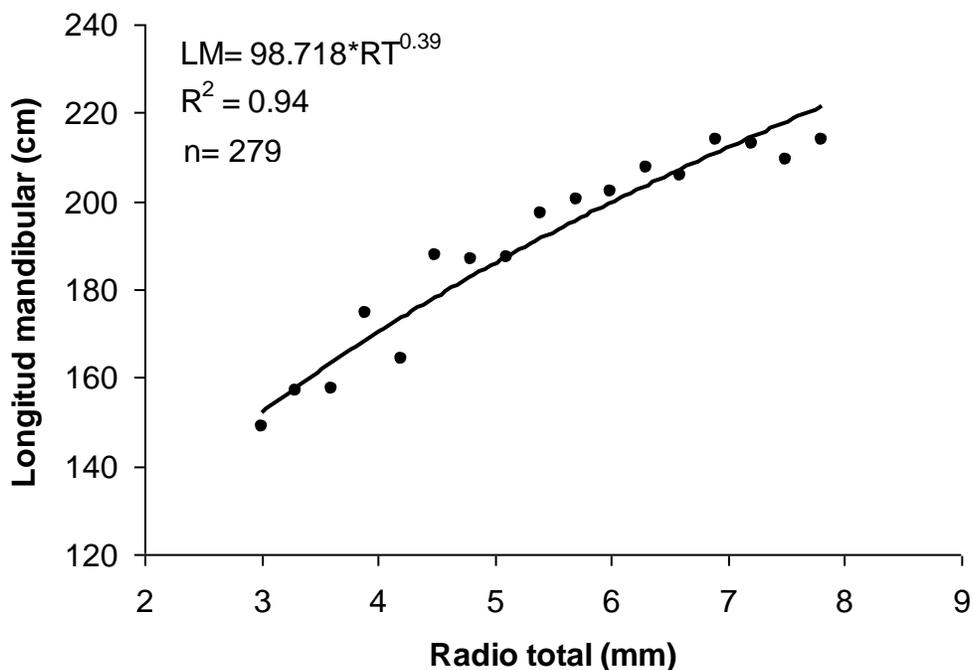


Figura 10. Relación entre la longitud mandibular y el radio total de la espina del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

Tabla 3. Valores de los parámetros de la relación LM-RT del marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

	Machos	Hembras	Sexos combinados
a	93.20	98.39	98.71
b	0.42	0.40	0.39
R <sup>2</sup>	0.84	0.86	0.94
n	155	121	279*

\* organismos no sexados n=3

## 6.5 Determinación de edad

De los 315 organismos muestreados se recolectaron 310 espinas, de las cuales se leyeron 279 (90%), el resto fueron ilegibles. Algunas secciones presentaron marcas de crecimiento dobles o triples, marcas difusas que no formaban un anillo completo alrededor del foco; estas fueron consideradas como una sola marca de crecimiento, ya que en toda la sección se observaba el mismo patrón. Se leyeron hasta 11 marcas de crecimiento, correspondientes a los grupos de edad del 1 al 11, siendo más abundantes los grupos de edad 6 (25%) y 7 (23%), mientras que los grupos de edad 1 y 11 fueron muy escasos. El APE fue de 3.29% y el CV de 4.31%, lo que indicó una alta precisión en el conteo de las marcas de crecimiento entre lectores.

Al analizar el porcentaje de espinas con zona vascularizada por intervalo de longitud se observó que a partir de 170 cm LM la zona vascularizada invadía la periferia del núcleo absorbiendo las primeras marcas de crecimiento. En organismos con 190 cm de LM, el 34 % presentaron espinas con una zona vascularizada amplia, este porcentaje aumentó hasta el 91% cuando la talla de los ejemplares fue de 220 cm LM (Fig. 11). En función al tamaño de la zona vascularizada se añadieron a las lecturas entre 1 a 5 marcas de crecimiento de acuerdo al método de reemplazamiento estadístico (Hill et *al.*, 1989). Después de la corrección el número máximo de marcas fue 12, siendo los grupos de edad 6, 7 y 8 los más representativos con un porcentaje >17% (Tabla 4).

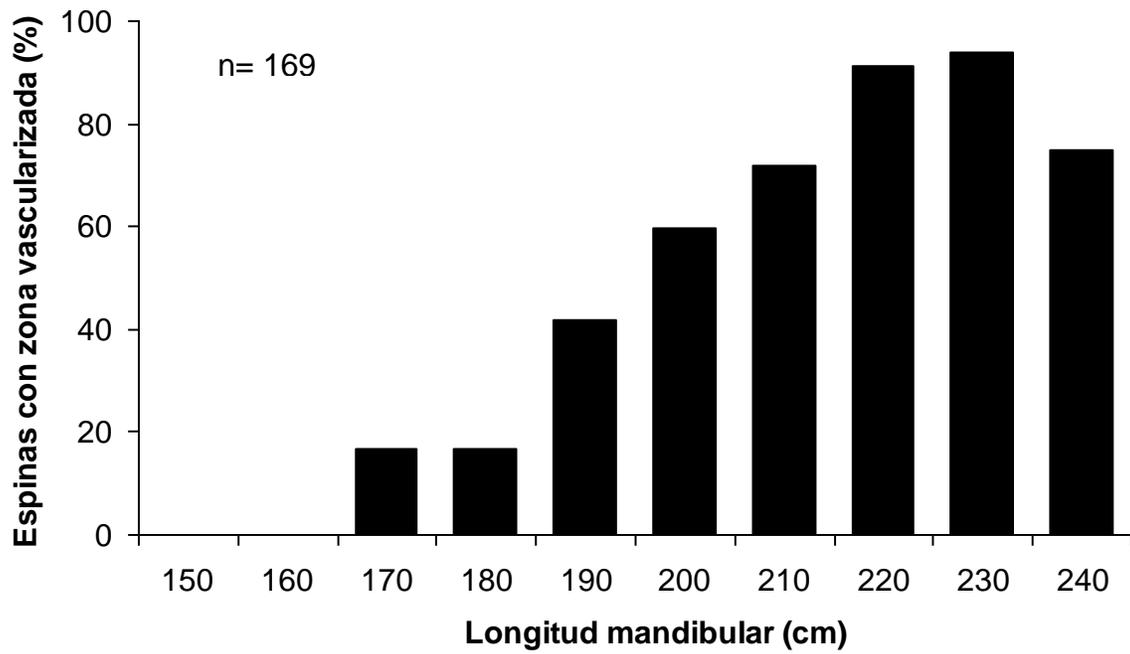


Figura 11. Porcentaje de espinas con zona vascularizada por intervalo de longitud del marlin rayado.

Tabla 4. Número de marcas de crecimiento observadas en las secciones de la cuarta espina dorsal del marlin rayado antes y después de la corrección en función al tamaño de la zona vascularizada. En paréntesis el porcentaje de organismos.

No. de Marcas	No. Organismos sin corrección	No. Organismos después corrección
1	1 (0.4)	1 (0.4)
2	5 (1.8)	5 (1.8)
3	6 (2.2)	5 (1.8)
4	12 (4.3)	4 (1.4)
5	41 (14.7)	17 (6.1)
6	71 (25.4)	51 (18.3)
7	63 (22.6)	47 (16.8)
8	38 (13.6)	52 (18.6)
9	28 (10)	44 (15.8)
10	13 (4.7)	36 (12.9)
11	1 (0.4)	14 (5.0)
12	0 (0)	3 (1.1)
Total	279 (100)	279 (100)

### 6.6 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Al analizar el porcentaje mensual de espinas con borde opaco se observó que los mayores valores se presentaron de mayo a octubre, este comportamiento es contrario al porcentaje del IM, en el que se observa su mínimo en junio. La disminución de los bordes opacos se presentó en noviembre, coincidiendo con el aumento del IM (Fig. 12). Esto sugiere que la periodicidad de las marcas de crecimiento es anual, iniciando su formación en primavera.

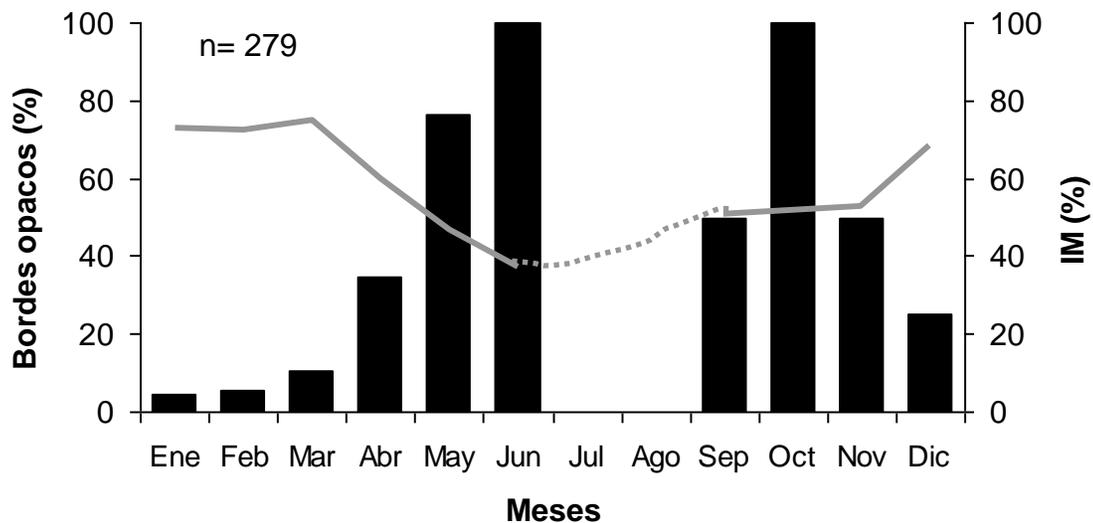


Figura 12. Porcentaje mensual del incremento marginal (línea) y de espinas con borde opaco (barras) del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

### 6.7 Crecimiento individual

Las tallas retrocalculadas por grupo de edad fueron menores a las observadas, siendo mayor esta diferencia en los primeros 4 grupos de edad, ya que a partir del grupo de edad 5 las tallas son muy similares (Fig. 13).

Para estimar los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, además del promedio de la longitud retrocalculada por grupo de edad, se incluyó la longitud de la larva más pequeña de marlin rayado reportada, cuyo valor fue de 2.5 mm (Gonzalez-Armas *et al.*, 1999), la cual fue considerada como la longitud al momento del nacimiento ( $t=0$ ).

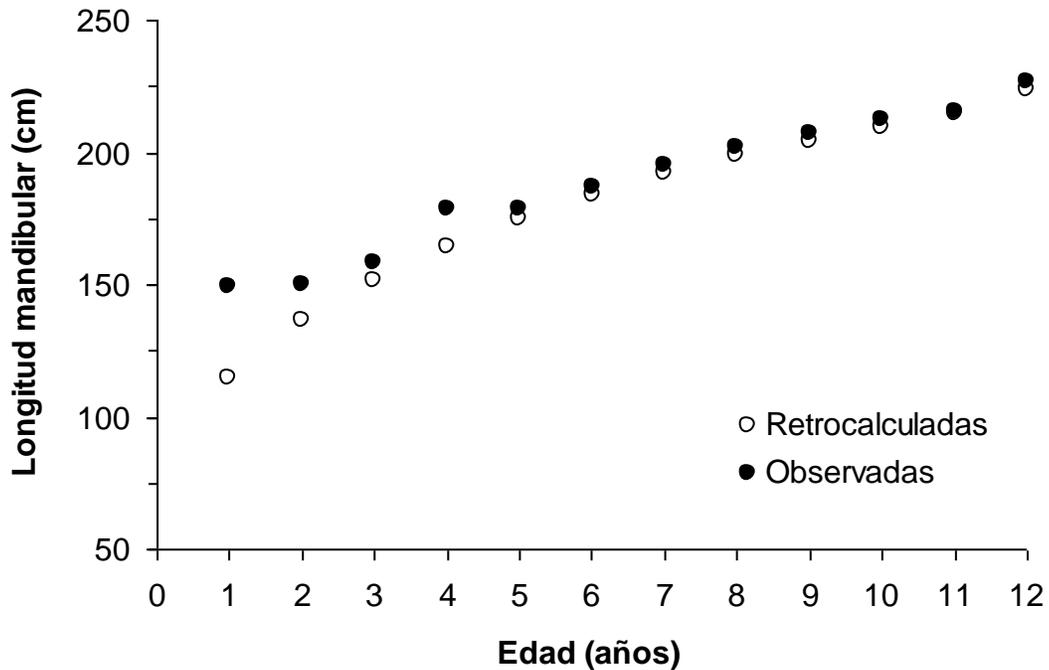


Figura 13. Longitud mandibular promedio por grupo de edad observada y retrocalculada del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

El modelo de von-Bertalanffy se ajustó significativamente a la LM retrocalculada a la edad (Fig. 14). Los valores de los parámetros del modelo para machos, hembras y combinados se muestran en la Tabla 5. Al comparar las curvas del modelo de von Bertalanffy entre sexos, no se encontraron diferencias significativas (ARSS;  $F_{3,20}=0.104$ ;  $p=0.956$ ).

Tabla 5. Valores de los parámetro del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para machos, hembras y sexos combinados del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

Sexo	$L_{\infty}$	K	$t_0$	$R^2$
Machos	204	0.48	-0.15	0.95
Hembras	210	0.43	-0.19	0.95
Combinados	207	0.45	-0.17	0.95

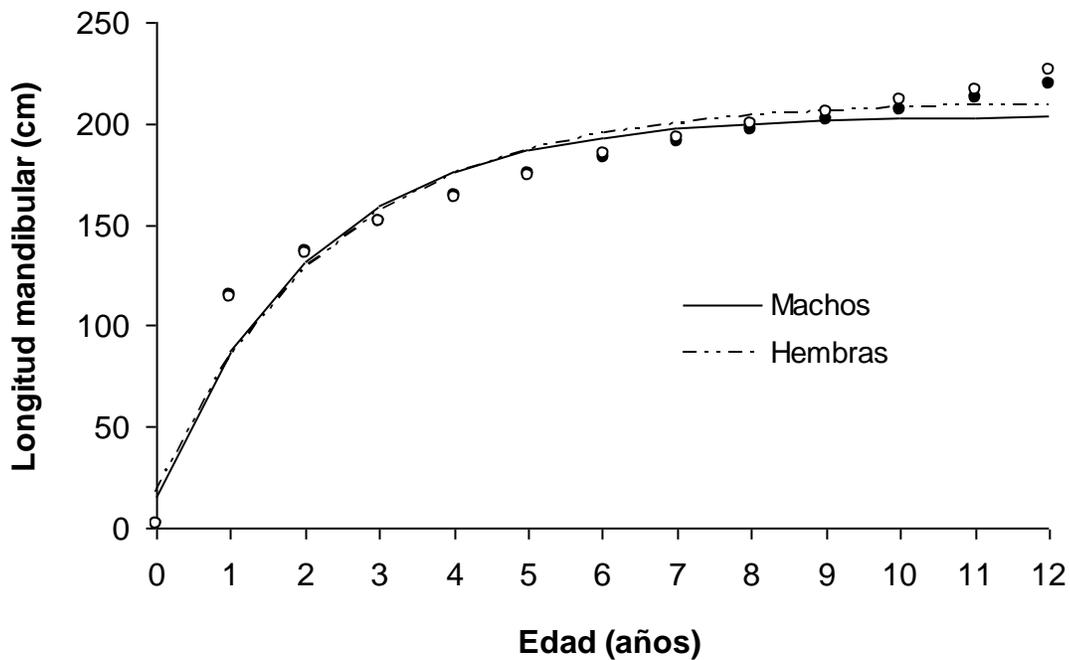


Figura 14. Modelo de crecimiento de von Bertalanffy para machos y hembras del marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

El marlin rayado tiene un crecimiento acelerado en los primeros años de vida alcanzando alrededor del 70% de la longitud asintótica a los 3 años de edad. Durante su primer año de vida, estos organismos crecen 85 cm aproximadamente, mientras que para el segundo y tercer año el incremento de crecimiento fue de 43 y 28 cm respectivamente. A partir de los 4 años los incrementos en longitud disminuyeron significativamente (Fig. 15, Tabla 6).

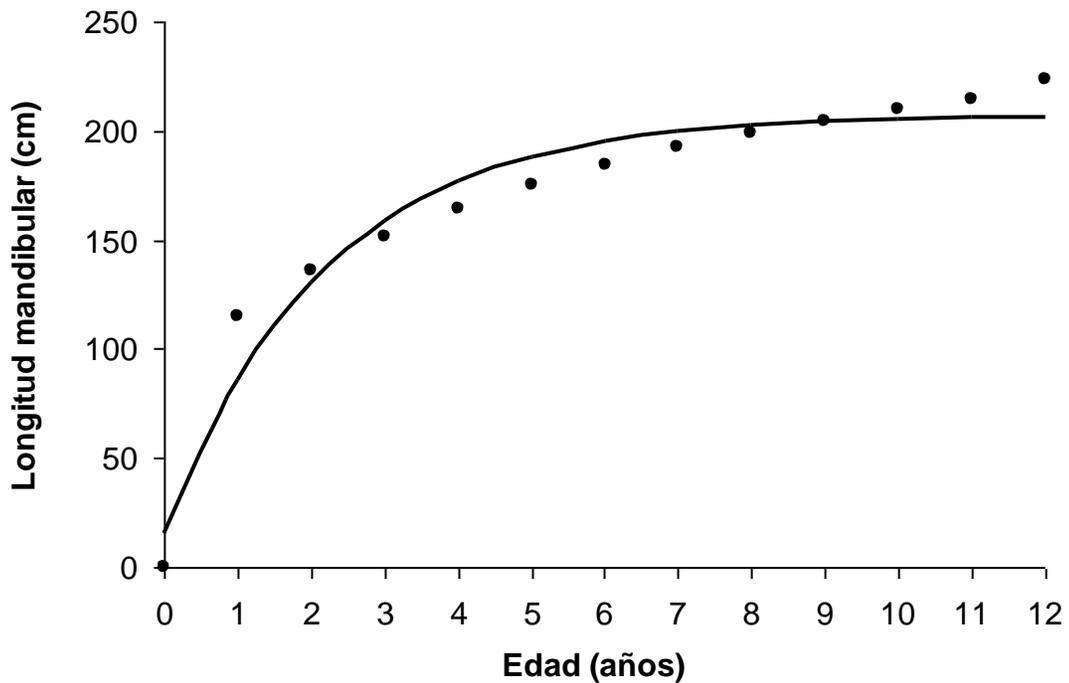


Figura 15. Modelo de crecimiento de von Bertalanffy para datos combinados del marlin rayado capturado en Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

Tabla 6. Tasa de crecimiento del marlin rayado capturado por la flota de pesca deportiva en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

Edad (años)	LM estimada (cm)	Tasa de crecimiento (cm/año)
1	85.72	85.72
2	129.59	43.87
3	157.65	28.06
4	175.59	17.94
5	187.06	11.47
6	194.40	7.34
7	199.09	4.69
8	202.10	3.00
9	204.01	1.92
10	205.24	1.23
11	206.03	0.78
12	206.53	0.50

## 6.9 Estructura por edades

Durante octubre de 2002 y diciembre de 2004 en las costas de Mazatlán, Sinaloa, la flota de pesca deportiva capturó organismos de 1 a 12 años de edad, siendo más frecuentes los grupos de edad 6 al 10, representando el 82% del total de las capturas. Mientras que los grupos de edad 1 y 12 fueron los menos representados (1.2%) (Fig. 16).

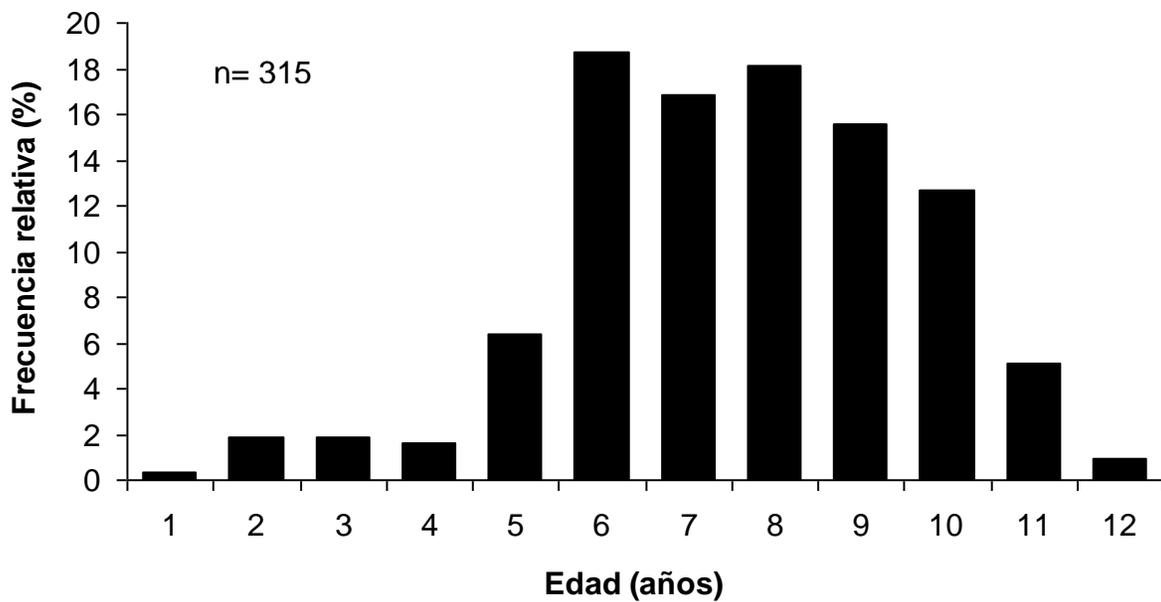


Figura 16. Estructura por edades de la captura del marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, durante octubre de 2002 a diciembre de 2004.

## **7. DISCUSIÓN**

### **7.1 Muestreo**

Las mayores capturas de marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, se presentaron durante los meses de enero a abril, con un descenso notable en el resto del año. Esto coincide con lo reportado por Eldridge & Wares (1974) y Squire (1987) que comentan el marlin rayado en Mazatlán, ocurre a principios de año. La escasa presencia de organismos durante los meses de julio a noviembre también ha sido observada en otras áreas del Pacífico oriental, como en Cabo San Lucas, B.C.S., (Abitia-Cárdenas *et al.*, 1998; Melo-Barrera *et al.*, 2003), y Buena Vista, B.C.S., (Eldridge & Wares, 1974; Wares & Sakagawa, 1974). La ausencia de la especie en la región, puede ser consecuencia de su desplazamiento hacia el sur para fines de reproducción (Squire, 1987); Gonzalez-Armas *et al.* (2006) reportan la recolecta de larvas de marlin rayado en la costa entre Mazatlán y Manzanillo durante junio a noviembre. Ortega *et al.* (2003) detectan una relación inversa entre la temporalidad de las capturas del marlin rayado en Cabo San Lucas y la temperatura superficial del mar, coincidiendo las capturas más bajas con las temperaturas más altas (>25 °C). Un análisis de las tasas de captura de la pesquería palangrera en la costa este de Australia, mostró que los mayores rendimientos se asociaron con temperaturas de la superficie del mar alrededor de 24-25 °C (Bromhead *et al.*, 2004).

### **7.2 Estructura de tallas**

El intervalo de talla de los organismos capturados en el presente estudio fue relativamente reducido (88 cm de rango) entre 148-236 cm LM, más aún al considera que el 71% de los organismos estuvo dentro del intervalo de 190 a 215 cm de LM (Fig. 6). Esta estructura de talla es similar en estudios realizados en la costa de Mazatlán, Sinaloa, Eldridge & Wares (1974) reportan tallas entre 120-200 cm LPO (rango de 80 cm), mientras que Wares & Sakagawa (1974) analizan un rango de 105 cm (100-205 cm LPO). También, la estructura de tallas es semejante a la reportada para la zona de Cabo San Lucas, B.C.S. (Ponce *et al.*, 1991; Melo-Barrera *et al.*, 2003), no obstante que en el último estudio se registraron tallas hasta 280 cm LM. Lo

anterior puede deberse a que la pesca deportiva está dirigida a organismos de mayor tamaño, por lo que es difícil obtener información de individuos pequeños, ya que estos si se capturan son liberados, reduciendo de esta manera el intervalo de tallas.

Tallas mayores a las observadas en el presente trabajo, se han reportado para la zona de Hawaii (Skillman & Yong, 1974) y Nueva Zelanda (Davie & Hall, 1990; Kopf *et al*, 2005) donde se han registrado organismos entre 140-312 cm LM y 105-283 cm LM respectivamente. Al respecto, Squire & Suzuki (1990) comenta que esta diferencia entre zonas puede deberse a la segregación por tallas que presenta el marlin rayado; en el Pacífico centro-norte, noroccidental y sudoccidental se presentan organismos jóvenes y viejos, mientras que en el Pacífico oriental se caracteriza por la prevalencia de organismos de tallas intermedias.

En el presente estudio no se detectaron diferencias significativas en talla entre machos y hembras, esto ha sido reportado por otros autores (Wares & Sakagawa, 1974; Melo-Barrera & Félix-Uraga, 2004; Kopf *et al.*, 2005), Skillman & Yong (1976) reportan diferencias en la talla entre machos y hembras capturados en las costas de Hawaii, y comentan que aunque las hembras tienden a ser estadísticamente más grandes, la magnitud de estas diferencias no fue significativa. En este sentido Skillman & Yong (1974) indican que el marlin rayado no presenta dimorfismo sexual.

### **7.3 Relación peso-longitud**

Al analizar la relación peso total–longitud mandibular entre sexos del marlín rayado no se encontraron diferencias significativas, lo cual también ha sido reportado por otros estudios (Wares & Sakagawa, 1974; Melo-Barrera *et al.*, 2003; Kopf *et al.*, 2005).

Según Ehrhardt (1981) el coeficiente de alometría (*b*) de la relación peso-longitud puede tener valores que varían de 2.4 a 3.3, para cualquier especie, y que los cambios en los valores de este coeficiente pueden ser producto de un aumento en peso durante la época de reproducción y pérdida del mismo al momento de llevarse a cabo el desove.

Con base en nuestros resultados, el marlin rayado de las costas de Mazatlán, Sinaloa, presenta un crecimiento isométrico ( $b=3$ ), lo cual significa que su incremento en talla y peso es proporcional. Este resultado coincide con lo reportado por Morrow (1952) para el marlin rayado capturado en Nueva Zelanda y por Wares & Sakagawa (1974) en Mazatlán. Sin embargo, otros autores han reportado un crecimiento alométrico para la especie con valores de  $b < 3$  (Wares & Sakagawa, 1974; Ponce-Díaz *et al.*, 1991; Melo Barrera *et al.*, 2003; Kopf *et al.*, 2005) y  $b > 3$  (Skillman & Yong, 1974). Las diferencias en las estimaciones de  $b$  pudieran estar asociadas con la estructura de tallas particular de cada zona de pesca y también podrían ser el resultado de cambios interanuales en la condición nutricional de los organismos, lo que a su vez ocasiona variaciones en el factor de condición (Ehrhardt, 1981).

#### **7.4 Relación longitud mandibular- radio total de la espina**

Un requisito importante en la estimación del crecimiento individual de los organismos basado en edades determinadas a partir del análisis de estructuras duras, es la evaluación de la proporcionalidad entre el crecimiento de estas estructuras y el crecimiento somático. En este trabajo se encontró una proporcionalidad entre el crecimiento somático y el crecimiento de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin rayado, la cual fue descrita significativamente por una relación potencial ( $R^2=0.93$ ), que justifica la utilización de esta estructura para llevar a cabo el retrocálculo de longitudes y describir el crecimiento individual. Una relación similar fue reportada para esta especie por Melo-Barrera *et al.* (2003) en Cabo San Lucas, B.C.S. y por Kopf *et al.* (2005) en Nueva Zelanda. Por su parte Yatomi (1990) encuentra una relación lineal entre el tamaño de la cuarta espina de la aleta dorsal y la LM del marlin rayado capturado en la Península de Izu, Japón.

Un modelo potencial para explicar la relación LM-RT ha sido aplicado en diversas especies de picudos, para el marlin rayado (Melo-Barrera & Félix-Uraga, 2004; Kopf *et al.*, 2005), para el pez vela (Chiang *et al.*, 2004), y para el pez espada (Erhardt, 1992, Sun *et al.*, 2002; DeMartini *et al.*, 2007).

## 7.5 Determinación de edad

En el presente estudio fue posible observar marcas de crecimiento en el 90% de los cortes de la cuarta espina de la aleta dorsal, esto debido a que tanto las marcas hialinas como las opacas se distinguieron claramente por lo que el conteo de las mismas fue relativamente fácil. En algunos cortes se observaron bandas dobles o triples, pero fueron consideradas como una sola marca de crecimiento, ya que todas las bandas en esos cortes presentaban el mismo patrón. Este patrón de marcas dobles o triples fue reportado por Melo-Barrera & Félix-Uraga (2004) y por Kopf *et al.* (2010), además ha sido observado en otros peces de pico como el pez vela (Hedgepet & Jolley, 1983; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Chiang *et al.*, 2004; Ramírez-Pérez, 2005), el marlin azul (Hill *et al.*, 1989; Jakes-Cota, 2008) y el pez espada (Berkeley & Houde, 1983). Hill *et al.* (1989) mencionan que este es un patrón común en los istiofóridos, y que esta situación no fue impedimento para la correcta estimación de la edad.

La presencia de una zona vascularizada en las espinas de los peces pelágicos de rápido crecimiento, es un proceso normal que puede ocasionar una subestimación de la edad si no es tomada en cuenta (Kopf *et al.*, 2010). En el presente estudio, esta situación se observó al llevar a cabo las lecturas de las marcas de crecimiento, y en algunos organismos fue suficientemente amplia para absorber las primeras marcas de crecimiento. Esta zona de absorción se incrementó de acuerdo con la talla de los organismos, coincidiendo con lo reportado por Yatomi (1990) y Drew *et al.* (2006) en el marlin rayado en Japón y el marlin blanco en el Atlántico respectivamente. Para disminuir este sesgo, se aplicó el método estadístico propuesto por Hill *et al.* (1989) para estimar las marcas absorbidas por la zona vascularizada. Este método fue utilizado por Chiang *et al.* (2004) para corregir la estimación de edad del pez vela capturado en las costas de Taiwán.

La precisión en la determinación de edad es un componente importante en cualquier estudio de edad, y es definida como la reproducibilidad de las lecturas en una estructura dura (Campana, 2001). La precisión de las lecturas de edad por lector deben mejorar con lecturas sucesivas, y entre lectores la lectura del lector principal

será la estimación más precisa (Kopf *et al.*, 2010). En este estudio se observó una buena precisión de las lecturas de las marcas de crecimiento entre lectores indicado por los valores del porcentaje de error promedio (APE) y el coeficiente de variación (CV) menores al 5%. Existe una mayor precisión cuando se obtienen valores pequeños de estos índices y una menor precisión cuando los valores son altos (Beamish & Fournier, 1981). Kopf *et al.* (2010) mencionan que las lecturas con un APE mayor a 15% deberían ser reexaminadas y en su caso descartadas si no se llega a un acuerdo entre lectores.

### **7.6 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento**

Factores como la temperatura del mar y la reproducción juegan un papel importante en la formación de las marcas de crecimiento. Las marcas hialinas se asocian a temperaturas frías y las bandas opacas con temperaturas cálidas (Ropes & Jearld, 1987). Los resultados del análisis de incremento marginal y del porcentaje mensual de espinas con borde opaco indicaron que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento en el marlin rayado es anual, lo cual coincide con la periodicidad reportada por Melo-Barrera & Félix-Uraga (2004). En otras especies de picudos, como el pez vela (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Ramírez-Pérez, 2005; Chiang *et al.*, 2004), pez espada (Berkeley & Houde, 1983; DeMartini *et al.*, 2007) y marlin azul (Jakes-Cota, 2008) también se ha observado que la depositación de las marcas de crecimiento es anual.

Melo-Barrera & Félix-Uraga (2004) relacionan la temperatura superficial del mar con el porcentaje mensual de espinas con borde opaco del marlin rayado capturado en cabo San Lucas. Comentan que en el verano, cuando la temperatura fue más alta, se presentó el máximo de aparición de bordes opacos, mientras que en el invierno ocurrió un mínimo de espinas con el borde opaco. Esta asociación de la formación de la banda opaca con temperaturas cálidas y la formación de la banda hialina con temperaturas frías también ha sido reportada para otras especies de pico (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Ramírez-Pérez, 2005).

El análisis del incremento marginal no ha sido utilizado previamente para

determinar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento en el marlin rayado. Chiang *et al.* (2004), utilizan éste método para analizar de formación de las marcas de crecimiento del pez vela en Taiwán, encontrando una periodicidad anual; de igual manera, Sun *et al.* (2002) y DeMartini *et al.* (2007) encuentran una periodicidad anual de las marcas de crecimiento del pez espada. Cabe mencionar que estas estimaciones de la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento son confiables, pero deben ser validadas a través de experimentos de marcado y recaptura.

### **7.7 Crecimiento individual**

Cuando se utilizan solamente los datos observados de longitud y de edad para calcular los parámetros del modelo de crecimiento, se suele sobreestimar la longitud de los primeros grupos de edad, esto se debe a que la pesquería deportiva está dirigida a la captura de organismos de tallas grandes, generándose un sesgo al capturar los peces más grandes de cada grupo de edad. Al comparar las longitudes observadas con las retrocálculadas para el marlin rayado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, se observó que éstas diferencias son más evidentes en los primeros cuatro grupos de edad, pero a partir del grupo de edad 5 las diferencias se reducen.

Ehrhardt (1992) también observó estas diferencias para longitudes retrocálculadas del pez espada y encontró que éstas se subestiman en los grupos de edad 1 y 2, comparándolas con las observadas por Berkeley & Houde (1983), ya que estos llevaron a cabo la relación radio de la espina-longitud del pez por medio de un modelo lineal. Por su parte Chiang *et al.* (2004), estimaron las longitudes retrocálculadas para el pez vela por medio de dos métodos: uno basado en el supuesto de que la relación entre el radio de la espina y mandibular era lineal de acuerdo al trabajo de Berkeley & Houde (1983), y otro con base en que ésta relación era potencial de acuerdo a Ehrhardt (1992), concluyendo que el modelo potencial tiene un mejor ajuste de las longitudes a las primeras edades. Además, Ehrhardt (1992), Ehrhardt *et al.* (1996), y Sun *et al.* (2002) señalan que el modelo potencial proporciona una descripción biológicamente más realista de los parámetros de crecimiento.

Melo-Barrera (2001) al comparar las tallas observadas contra las retrocálculadas del marlin rayado, pudo observar que las observadas se encuentran sobreestimadas, sobretudo en las primeras edades, y comenta que posiblemente esto se deba a que las muestras provienen de la captura de la pesca deportiva en donde se busca capturar a los organismos más grandes, además de que esto es un reflejo de la selectividad de los anzuelos. Por su parte, Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1996) consideran que la talla promedio observada en las primeras edades se encuentra sobrestimada debido a que los organismos aún no están completamente reclutados a la pesquería, y solo los más grandes de estas edades son capturados.

En la mayoría de los trabajos que describen el crecimiento individual utilizando el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, solamente se considera una parte del periodo de vida de las especies (generalmente la parte explotada de la población), lo cual produce una mala representación del patrón de crecimiento, especialmente para los primeros años de vida. Cuando los parámetros de crecimiento son estimados de esta manera,  $k$  y  $t_0$  no tienen ningún significado biológico, ya que el valor de  $k$  se subestima y el valor absoluto de  $t_0$  resulta demasiado grande (Kopf *et al.*, 2005). El valor de  $k$  representa la rapidez con la que se alcanza la longitud máxima promedio ( $L_\infty$ ) y  $t_0$  está relacionado con el tiempo que dura el desarrollo embrionario (desde la fecundación hasta el nacimiento de la larva por la eclosión del huevo) y tiene una estrecha relación con la longitud de la larva al momento de la eclosión del huevo ( $L_0$ ) de acuerdo a lo expresado por López-Veiga (1979). Con la finalidad de reducir el sesgo en la estimación de estos parámetros, en el presente trabajo se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada en la literatura (González-Armas *et al.*, 1999). Prince *et al.* (1987) determinan la edad y la tasa de crecimiento del marlin azul *Makaira mazara* y sugieren incluir la longitud de la larva para obtener una mejor estimación de  $k$  y  $t_0$ .

Los parámetros del crecimiento obtenidos en el éste estudio muestran que el marlin rayado presenta un crecimiento acelerado en los primeros tres años de vida alcanzando más del 70% de su longitud asintótica, lo cual coincide con los resultados de Melo-Barrera *et al.* (2003) para el marlin rayado capturado en Cabo San Lucas

durante 1988 a 1993.

Los valores de los parámetros del modelo de crecimiento  $L_{\infty}$ ,  $k$  y  $t_0$  obtenidos para el marlin rayado capturado en la costa de Mazatlán, Sinaloa, difieren de los reportados para la especie en otras zonas del Océano Pacífico. Skillman & Yong (1976) estimaron los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy a través del análisis de frecuencia de tallas del marlin rayado capturado en Hawaii, para machos reportaron  $L_{\infty}=277$  cm,  $k=0.42$  y  $t_0=-0.52$ , y para hembras  $L_{\infty}=251$  cm,  $k=0.70$  y  $t_0=0.14$ . Estos resultados no pueden ser directamente comparados con los estimados en el presente estudio, ya que los métodos utilizados para calcular los parámetros de crecimiento son diferentes. Melo-Barrera *et al.* (2003) estimaron los parámetros del modelo de von Bertalanffy para el marlin rayado en Cabo San Lucas, y al igual que en el presente estudio, no encontró diferencias significativas en el crecimiento entre sexos y reporta los siguientes valores de los parámetros:  $L_{\infty}=222$  cm,  $k=0.22$  y  $t_0=-1.7$ . Para el área de Nueva Zelanda, Kopf *et al.* (2005) también no encuentran diferencias en la talla a la edad entre sexos del marlin rayado, y los valores estimados para los parámetros fueron  $L_{\infty}=301$  cm,  $k=0.22$  y  $t_0=-0.04$ .

En la Tabla 8 se muestra un resumen de los valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy del marlin rayado en diferentes regiones. Las diferencias en el crecimiento de estos estudios respecto al presente trabajo, puede deberse a los métodos para la determinación de la edad, las rutinas para estimar los parámetros del modelo de von Bertalanffy, al intervalo de tallas analizado, y a que no utilizan la longitud de la larva para la estimación de los parámetros de crecimiento. Squire & Susuki (1990) comentan que existe una segregación por tallas del marlin rayado en el Océano Pacífico, Kopf *et al.* (2005) mencionan que se pueden obtener diferencias en los valores de los parámetros de crecimiento para un mismo conjunto de datos empleando diferentes rutinas de estimación, y Prince *et al.* (1987) sugieren incluir la longitud de la larva para obtener una mejor estimación de los parámetros de crecimiento.

Tabla 7. Valores de los parámetros de crecimiento del marlin rayado *K. audax* estimados por diferentes autores, en diferentes zonas del Océano Pacífico.

Zona de estudio	Autor	Sexo	$L_{\infty}$	k	$t_0$	Edad máx.
Hawaii.	Skillman & Yong, 1976.	M	277	0.42	-0.52	5
Hawaii	Skillman & Yong, 1976.	H	251	0.70	0.14.	4
Cabo San Lucas, B.C.S., México.	Melo-Barrera <i>et al.</i> , 2003.	MH	222	0.22	-1.7	11
Nueva Zelanda.	Kopf <i>et al.</i> , 2005.	MH	301	0.22	-0.04.	8
Mazatlán, Sin., México.	Este estudio.	MH	207	0.45	-0.17	12

### 7.8 Estructura por edades

Las edades determinadas en este trabajo variaron entre 1 a 12 años, siendo más abundantes los organismos de edad entre 6 y 10 años, lo cual es muy similar a lo encontrado por Melo-Barrera & Félix-Uraga (2004) en la zona de Cabo San Lucas, B.C.S., donde encuentran organismos de 2 a 11 años de edad, siendo los grupos más representativos el siete seguido del seis y el ocho. Mientras que para el área de Nueva Zelanda, Kopf *et al.* (2005) reportan organismos de dos a ocho años, siendo más abundante el grupo de edad siete. Los resultados anteriores difieren marcadamente de los de Skillman & Yong (1976), que estiman edades de uno a cinco años para machos y de uno a cuatro para hembras.

Esta diferencia tan marcada tiene su origen en el método para la determinación de la edad, Skillman & Yong (1976) utilizan el método de progresión modal, el cual se recomienda para especies de vida corta, con un solo periodo de reclutamiento y una tasa de crecimiento acelerado, ya que en especies mas longevas conforme se incrementa la edad, la tasa de crecimiento se reduce, haciendo que las modas en talla (grupos de edad) se traslapen y no sea posible discriminarlas. En el resto de los estudios, los autores utilizan métodos directos para la determinación de la edad, que proporcionan resultados con menos sesgo.

Las diferencias entre la estructura por edades del marlin rayado del presente estudio respecto a Melo-Barrera & Félix-Uraga (2004) y Kopf *et al.* (2005), que emplean métodos directos para determinar la edad, podrían ser consecuencia de la segregación por tallas que presenta la especie en el Océano Pacífico y a que no consideraron la corrección del número de marcas absorbidas por la zona vascularizada.

## 8. CONCLUSIONES

- La flota deportiva de Mazatlán, Sinaloa, capturo ejemplares de marlin rayado con tallas entre 148 y 236 cm LM, durante 2002 a 2004.
- La cuarta espina de la aleta dorsal del marlin rayado es una estructura adecuada para describir el crecimiento.
- Se identificaron hasta 12 marcas de crecimiento y su periodicidad fue anual, terminando de formarse entre abril-mayo. La banda opaca se forma de mayo a octubre y la banda hialina de noviembre a abril.
- El crecimiento individual del marlin rayado es igual en machos y hembras y presenta una alta tasa de crecimiento durante los primeros tres años de vida, alcanzando más del 70% de la longitud asintótica.
- La estructura por edades del marlin rayado capturado en Mazatlán, Sinaloa, durante 2002-2004 estuvo compuesta principalmente por organismos entre 6 a 10 años de edad.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Abitia-Cárdenas, L.A., F. Galván & A. Muhlia. 1998. Espectro trófico del marlin rayado *Tetrapturus audax* (Philippi, 1887) en el área de Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 33(2): 277-290.
- Alvarado-Castillo, R.M. & R. Félix-Uraga. 1996. Determinación de la edad de *Istiophorus platypterus* (Pisces: Istiophoridae) al sur del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 44: 233-239.
- Alvarado-Castillo, R.M. & R. Félix-Uraga. 1998. Crecimiento de *Istiophorus platypterus* en la boca del Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 46(1): 115-118.
- Beamish, R.J. 1981. Use of fin-ray sections to age walleye pollock, pacific cod, and albacore, and the importance of this method. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110: 287-299.
- Beamish, R.J. & D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38: 982-983.
- Berkeley, S.A. & E.H. Houde. 1983. Age determination of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the straits of Florida, using anal fine spine section, 137-143. En: Prince E.D. & L.M. Pulos (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, billfishes, and sharks, Miami, Florida, February 15-18, 1982*. NOAA/National Marine Fisheries Service. NOAA Technical Report NMFS ,8.
- Bromhead, D., J. Pepperell, B. Wise & J. Findlay. 2004. *Striped marlin: biology and fisheries*. Final Report to the Australian Fisheries Management Authority Research Fund and the Fisheries Resources Research Fund. Bureau of Rural Sciences, Canberra, Australia, 260 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*, 59: 197-242.
- Casselman, M.J. 1983. Age and growth assessment of fish from their calcified structures-techniques and tools, 1-17 p. En: Prince E.D. & L.M. Pulos (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, billfishes, and sharks, Miami, Florida, February 15-18, 1982*. NOAA/National Marine Fisheries Service. NOAA Technical Report NMFS ,8.
- Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39: 1208-1210.
- Chen, Y., D.A. Jackson & H.H. Harvey. 1992. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modeling fish growth data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49: 1228-1235.
- Chiang, W.C., C.L. Sun & S.Z. Yeh. 2004. Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Fishery Bulletin*, 102: 251-263.
- Collette, B.B., J.R. McDowell & J.E. Graves. 2006. Phylogeny of recent billfishes (Xiphiidae). *Bulletin of Marine Science*, 79: 455–468.
- Davie, P.S. & I. Hall. 1990. Potential of dorsal and anal spines and otoliths for assessing the age structure of the recreational catch of striped marlin, 287-294. En: Stroud R.H. (Ed.). *Planning the future of billfishes: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988*. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia
- DeMartini, E.E., J.H. Uchiyama, R.L. Humphreys Jr., J.D. Sampaga & H.A. Williams. 2007. Age and growth of swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. *Fishery Bulletin*, 105: 356-367.

- De Sylva, D.P. 1957. Studies on the age and growth of the Atlantic sailfish *Istiophorus americanus* (Cuvier), using length frequency curves. *Bulletin Marine Science Gulf Caribbean*, 7: 1-20.
- Drew, K., D.J. Die & F. Arocha. 2006. Understanding vascularization in fin spines of white marlin (*Tetrapturus albidus*). *Bulletin of Marine Science*, 79(3): 847-852.
- Ehrhardt, N.M. 1981. *Curso sobre métodos de evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. Tercera Parte: Parámetros poblacionales*. FAO-CICIMAR. La Paz, B.C.S, México, 134 p.
- Ehrhardt, N.M. 1992. Age and growth of swordfish *Xiphias gladius*, in the Northwestern Atlantic. *Bulletin of Marine Science*, 50(2): 299-301.
- Ehrhardt, N.M., R.J. Robbins & F. Arocha. 1996. Age validation and estimation of growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the northwest Atlantic. *Collective Volume of Scientific Papers*, ICCAT, 45(2): 358-367.
- Eldridge, M.B. & P.G. Wares. 1974. Some biological observations of billfishes taken in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970, 89-101 p. En: Shomura. R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceeding of the international billfish symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972*. Part. 2. Review and contributed papers. U. S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS SSRF-675.
- Francis, R.I.C.C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *Journal of Fish Biology*, 36: 883-902.
- González-Armas, R. 1993. *Estudio de la presencia de larvas del marlin rayado Tetrapturus audax (Philippi, 1887) en el Pacífico Central Mexicano*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S., México, 77 p.
- González-Armas, R., O. Sosa-Nishizaki, R. Funes-Rodriguez & V.A. Levy-Pérez. 1999. Confirmation of the spawning area of the striped marlin, *Tetrapturus audax*, in the so-called core area of the eastern tropical Pacific off Mexico. *Fisheries Oceanography*, 8: 238-242.

- González-Armas, R., A. Klett-Traulsen & A. Hernández-Herrera. 2006. Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 79: 705-717.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman & Hall/CRC, 406 p.
- Hanamoto, E. 1974. Fishery-oceanographic studies of the striped marlin, *Tetrapturus audax*, in waters off Baja California. I. Fishing conditions in relation to the thermocline, 302-308 p. En: Shomura R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceeding of the international billfish symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972*. Part. 2. Review and contributed papers. U.S. National Marine Fisheries Service, NOAA Technical Report NMFS SSRF-675.
- Hedgepeth, M.Y. & J.W. Jolley Jr. 1983. Age and growth of the Atlantic sailfish *Istiophorus platypterus*, using cross section from the fourth dorsal fin spine, 131-136 p. En: Prince E.D. & M.L. Pulos (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, billfishes, and sharks, Miami, Florida, February 15-18, 1982*. NOAA/National Marine Fisheries Service. NOAA Technical Report NMFS , 8.
- Hill, K.T., G.M. Cailliet, & R.L. Radtke. 1989. A comparative analysis for growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. *Fishery Bulletin*, 87(4): 829-843.
- Hinton, M. & W. Bayliff. 2002. Status of striped marlin in the Eastern Tropical Pacific Ocean in 2001 and outlook for 2002, 328-364 p. En: *BBRG-1: Working paper for the 15th Meeting of the Standing Committee on Tuna and Billfish, Honolulu, Hawaii, 22-27 July 2002*.
- Jakes-Cota, U. 2008. *Edad y el crecimiento del marlin azul Makaira nigricans, desembarcado en Cabo, San Lucas, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S. México, 90 p.

- Jolley, J.W. Jr. 1974. On the Biology of Florida east coast Atlantic sailfish (*Istiophorus platypterus*), 81-88 p. En: Shomura. R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceeding of the international billfish symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972*. Parte 2. Review and contributed papers. U. S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS SSRF-675.
- Kopf, R.K., P.S. Davie, & J.C. Holdsworth. 2005. Size trends and population characteristics of striped marlin, *Tetrapturus audax* caught in the New Zealand recreational fishery. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 39(5): 1145-1156.
- Kopf, R.K., K. Drew & R.L. Humphreys Jr. 2010. Age estimation of billfishes (*Kajikia* spp.) using fin spine cross-sections: the need for an international code of practice. *Aquatic Living Resources*, 23: 13-23.
- Koto, T. 1963. Some considerations on the growth of marlins, using size frequencies in commercial catches. III. Attempts to estimate the growth of striped marlin, *Tetrapturus audax* (Philippi) in the western North Pacific Ocean. *Report of Nankai Regional Fisheries Research Laboratory*, 17: 63-85.
- Kume, S. & J. Joseph. 1969. Size composition and sexual maturity of billfishes caught by the Japanese longline fishery in the eastern Pacific Ocean east of 130°W. *Bulletin Far Seas Fisheries Research Laboratory*, 2: 115-162.
- López-Veiga, E.C. 1979. Fitting von Bertalanffy growth curves in short-lived fish species. A new approach. *Investigación Pesquera*, 43(1): 179-186.
- Melo-Barrera, F.N. 2001. *Edad y crecimiento del marlín rayado, Tetrapturus audax, (Philippi, 1887), en Cabo San Lucas, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S. México. 76 p.
- Melo-Barrera, F.N., R. Félix-Uraga & C. Quiñonez-Velázquez. 2003. Crecimiento y relación peso longitud del marlín rayado, *Tetrapturus audax* (Pisces: Istiophoridae), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 29(3): 305-313.

- Melo-Barrera, F.N. & R. Félix-Uraga. 2004. Estructura de tallas y edades del marlin rayado, *Tetrapturus audax* (Pisces:Xiphiidae) en Cabo San Lucas, B.C.S. *Revista de Biología Tropical*, 52(4): 1013-1022.
- Morrow, J.E. 1952. Allometric growth of striped marlin, *Makaira mitsukurii*, from New Zealand. *Pacific Science*, 6: 53-58.
- Nakamura, I. 1974. Some aspects of the sytematics and distribution of Billfishes, 45-53 p. En: Shomura. R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceeding of the international billfish symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972*. Parte 2. Review and contributed papers. U. S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS SSRF-675.
- Nakamura, I. 1985. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO Species Catalogue. *FAO Fisheries Synopsis*. 5(125): 65 p.
- Ortega-García, S., A. Klett-Traulsen & G. Ponce-Díaz. 2003. Analysis of sportfishing catch rates of striped marlin (*Tetrapturus audax*) at Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico, and their relation to sea surface temperature. *Marine and Freshwater Research*, 54: 483-488.
- Ponce-Díaz, G., S. Ortega-García & P.G. González-Ramírez. 1991. Análisis de tallas y relación peso longitud del marlín rayado, *Tetrapturus audax* (Philippi, 1887) en Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 17(4): 69-82.
- Prince, E.D., D.W. Lee, Ch.A. Wilson & J.M. Dean. 1986. Longevity and age validation of a tag-recaptured Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus* using dorsal spine and otoliths. *Fishery Bulletin*, 84(3): 493-502.
- Prince, E.D., D.W. Lee & R. Conser. 1987. Estimating age and growth rate of Atlantic blue marlin (*Makaira nigricans*): progress and future work plan. *Collective Volume of Scientifics Papers*, ICCAT, 26(2): 426-435.
- Prince, E.D., D.W. Lee & J.R. Zweifel. 1991. Estimating age and growth of young Atlantic blue marlin, *Makaira nigricans* from otolith microestructure. *Fishery Bulletin*, 89(3): 441-459.

- Radtke, R.L. 1983. Istiophorid otoliths: Extraction, morphology, and possible use as ageing structures, 123-129 p. En: Prince E.D. & L.M. Pulos (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, billfishes, and sharks, Miami, Florida, February 15-18, 1982*. NOAA/National Marine Fisheries Service. NOAA Technical Report NMFS ,8.
- Radtke, R.L., & P.C.F. Hurley. 1983. Age estimation and growth of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the northwest Atlantic based on external features of otholiths, 145-150 p. En: Prince E.D. & L.M. Pulos (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, billfishes, and sharks, Miami, Florida, February 15-18, 1982*. NOAA/National Marine Fisheries Service. NOAA Technical Report NMFS , 8.
- Ramírez-Pérez, J.S. 2005. *Edad, crecimiento y mortalidad del pez vela Istiophorus platypterus (Shaw & Nodder, 1791) de la costa sur de Sinaloa, México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S., México, 50 p.
- Robertson, D.R. & G.R. Allen. Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific online information system. Version 1.0. 2008. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá. [www.neotropicalfishes.org/sftep](http://www.neotropicalfishes.org/sftep), [www.stri.org/sftep](http://www.stri.org/sftep)
- Ropes, J.W. & A. Jearld. 1987. Age determination of ocean bivalves, 517-526 p. En: Summerfelt R.C. & G.E. Hall (Eds.). *Age and Growth of Fish*. Ed. Iowa State University Press. Des Moines, United States.
- Skillman, R.A. & M.Y.Y. Yong. 1974. Length-weight relationships for six species of billfishes in the central Pacific Ocean, 126-135 p. En: Shomura R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972*. Part. 2. Review and Contributed Papers. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS SSRF-675.

- Skillman, R.A. & M.Y.Y. Yong. 1976. von Bertalanffy growth curves for striped marlin *Tetrapturus audax* and blue marlin *Makaira nigricans* in the North central Pacific. *Fishery Bulletin*, 74(3): 553-566.
- Smale, M.A. & W.W. Taylor. 1987. Sources of back-calculation error in estimating growth of lake whitefish, 189-202 p. En: Summerfelt R.C. & G.E. Hall (Eds.). *Age and Growth of Fish*. Ed. Iowa State University Press. Des Moines, United States.
- Sosa-Nishizaki, O. 1998. Historical review of the billfish management in the Mexican Pacific. *Ciencias Marinas*, 24: 95-111.
- Squire, J.L. 1987. Striped marlin migration patterns and rates in the Northeast Pacific Ocean as determined by a cooperative tagging program: its relation to resource management. *Marine Fisheries Review*, 49: 26-43.
- Squire, J.L. & Z. Suzuki. 1990. Migration trends of striped marlin (*Tetrapturus audax*) in the Pacific Ocean, 67-80 p. En: Stroud R.H. (Ed.). *Planning the future of billfishes: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988*.
- Sun, C., S. Wang & S. Yeh. 2002. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the waters around Taiwan determined from anal-fin rays. *Fishery Bulletin*, 100: 822–835.
- Ueyanagi, S. & P.G. Wares. 1975. Synopsis of biological data on striped marlin, *Tetrapturus audax* (Philippi, 1887), 132-159 P. En: Shomura R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972*. Part. 2. Review and Contributed Papers. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS SSRF-675.
- Wares, P.G. & G.T. Sakagawa. 1974. Some morphometrics of billfishes from Eastern Pacific Ocean, 107-120. En: Shomura R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium Kailua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972*. Part. 2. Review and Contributed Papers. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS SSRF-675.

- Wilson, Ch. A. y J. M. Dean. 1983. The potential use of sagittae for estimating age of Atlantic swordfish, *Xiphias gladius*, 151-156 p. En: Prince E.D. & L.M. Pulos (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tunas, billfishes, and sharks, Miami, Florida, February 15-18, 1982*. NOAA/National Marine Fisheries Service. NOAA Technical Report NMFS ,8.
- Yatomi, H. 1990. A potential problem in estimating the ages of the striped marlin using fin spines, 317-321 p. En: Stroud R.H. (Ed.). *Planning the future of billfishes: Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988*. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 662 p.