

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



**EDAD Y CRECIMIENTO DEL MARLIN AZUL  
*Makaira nigricans*, DESEMBARCADO EN CABO  
SAN LUCAS, B.C.S., MÉXICO**

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

**PRESENTA:  
ULIANOV JAKES COTA**

**LA PAZ, B.C.S, OCTUBRE DE 2008**

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) del Instituto Politécnico Nacional por las becas otorgadas.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) porque en sus instalaciones logré llevar a cabo este trabajo y en el he pasado gran parte de mi tiempo de estos últimos tres años.

Al Dr. Rubén Rodríguez Sánchez por haberme aceptado como su alumno, por todo su apoyo, por todas sus enseñanzas, por su paciencia hacia mí y por su amistad.

A la Dra. Sofía Ortega García por el apoyo brindado, por sus valiosas observaciones sobre la tesis y por esas salidas de campo que me permitieron conocer el mundo de la pesca deportiva.

A los miembros de mi comité revisor: Dr. Roberto Félix Uraga, Dr. Andrés Abitia Cárdenas, Dr. Héctor Villalobos Ortiz y Dr. Daniel Lluch Belda por sus observaciones y sugerencias que enriquecieron enormemente esta tesis.

A ustedes Germán y Gabriela porque siempre conté con todo su apoyo, por sus consejos, por haberme recibido una y otra vez en su casa cuando lo necesité y sobre todo por su valiosa amistad. Igualmente a ti Luis por escucharme, por aconsejarme y estar dispuesto a brindarme tu ayuda en todo momento y por tu sincera amistad.

A Humberto Ceseña Amador (Doctor) por su disposición para atender cualquier trámite académico, por su siempre buen sentido del humor y por siempre mostrar una sonrisa.

A todos mis amigos y compañeros del CICIMAR porque con la convivencia del día a día despejamos nuestras mentes y liberamos un poco el stress acumulado.

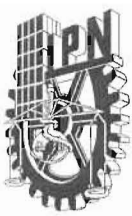
A ustedes Gilda y Darya por ser una pieza fundamental en mi vida, por todo ese tiempo compartido, por su amor, por su aliento para seguir adelante, por todo su apoyo. Las amo y siempre estarán en mi corazón.

## **DEDICATORIA**

A mis padres: María Catalina Cota Montoya y Vidal Jakes Ramírez por darme la vida, por darme siempre todo lo que necesité, por su apoyo en todo momento, por su sacrificio para sacarme adelante, por su educación, por enseñarme cual es el camino correcto, por sus palabras de aliento en esos momentos difíciles y por su gran amor.

A mis hermanos: Carlos, Carmina, Vladimir y Eneyda porque siempre me apoyaron en todo, me estimularon para seguir adelante, por su compañía y por el amor que siempre me demostraron.

A mi segunda mamá Josefina y mis segundos hermanos Karin y Pavel por estar siempre ahí dispuestos a ayudarme, por su amistad y su amor.



# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 5 del mes de Septiembre del 2008 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 de grado titulada:

“EDAD Y CRECIMIENTO DEL MARLIN AZUL *Makaira nigricans*,  
DESEMBARCADO EN CABO SAN LUCAS, B.C.S., MÉXICO”

Presentada por el alumno:

JAKES  
Apellido paterno

COTA  
materno

ULIANOV  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	7	0	3	1	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

#### LA COMISION REVISORA

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

DR. RUBEN RODRIGUEZ SANCHEZ

PRESIDENTE

DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA GÁRDENAS

SECRETARIO

DR. ROBERTO FÉLIX URAGA

SEGUNDO VOCAL

DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA

TERCER VOCAL

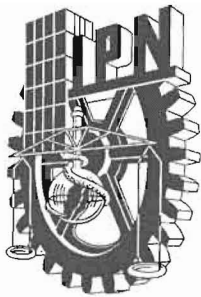
DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTÍZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN  
CICIMAR  
DIRECCION



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

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 10 del mes Septiembre del año 2008, el (la) que suscribe ULIANOV JAKES COTA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A070317 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. RUBÉN RODRÍGUEZ SÁNCHEZ y cede los derechos del trabajo titulado:

"EDAD Y CRECIMIENTO DEL MARLIN AZUL *Makaira nigricans*,  
DESEMBARCADO EN CABO SAN LUCAS, B.C.S., 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: ujakesc06@ipn.mx - rrodrig@ipn.mx

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

ULIANOV JAKES COTA

*nombre y firma*

## ÍNDICE

Lista de figuras .....	IV
Lista de tablas .....	IX
Glosario .....	XI
Resumen .....	XII
Abstract .....	XIII
1. Introducción .....	1
2. Antecedentes .....	3
3. Justificación .....	7
4. Objetivos .....	8
5. Material y métodos.....	9
5.1 Muestreo.....	9
5.2 Laboratorio .....	11
5.3 Mediciones .....	12
5.4 Relación radio de la espina – longitud posorbital .....	13
5.5 Conteo de marcas de crecimiento .....	14
5.6 Periodicidad de formación de marcas de crecimiento .....	14
5.7 Relación peso – longitud y factor de condición.....	16
5.8 Estructura por edades .....	17
5.9 Retrocálculo de longitudes .....	18

5.10 Crecimiento individual en longitud .....	18
5.11 Crecimiento individual en peso .....	21
6. Resultados .....	23
6.1 Muestreo.....	23
6.2 Relación radio de la espina – longitud posorbital .....	24
6.3 Conteo de marcas de crecimiento .....	25
6.4 Relación peso – longitud .....	26
6.5 Periodicidad de formación de marcas de crecimiento .....	28
6.6 Estructura por edades .....	35
6.7 Retrocálculo de longitudes .....	38
6.8 Crecimiento individual en longitud .....	38
6.9 Crecimiento individual en peso .....	42
7. Discusión .....	46
7.1 Muestreo.....	46
7.2 Relación radio de la espina – longitud posorbital .....	48
7.3 Conteo de marcas de crecimiento .....	49
7.4 Relación peso – longitud .....	50
7.5 Periodicidad de formación de marcas de crecimiento .....	52
7.6 Estructura por edades .....	54
7.7 Retrocálculo de longitudes .....	56
7.8 Crecimiento individual en longitud .....	58

7.9 Crecimiento individual en peso .....	64
8. Conclusiones .....	66
9. Recomendaciones .....	67
10. Bibliografía .....	68
11. Anexos .....	75



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa del noroeste de México mostrando el área (cuadrícula) de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas en el extremo sur de la península de Baja California.....10
- Figura 2. Marlin azul *Makaira nigricans* indicando su longitud posorbital.....11
- Figura 3. Vista frontal de la base de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul *Makaira nigricans* mostrando la zona para la obtención de cortes transversales (A). Donde B es la distancia entre apófisis inferiores y corresponde a la misma distancia B' medida desde la base (C) de la espina.....12
- Figura 4. Corte transversal de la cuarta espina de la aleta dorsal de marlin azul *Makaira nigricans* en donde se ejemplifica la medición de un radio parcial y el total a partir del centro del foco. El radio parcial indicado en la figura fue desplazado hacia arriba del eje del radio total con el propósito de poder visualizarlo. ....13
- Figura 5. Distribución mundial de la captura anual acumulada de marlin azul *Makaira nigricans* durante el período 1950-2003 en cuadrantes de 5 grados de latitud-longitud (figura obtenida de la FAO). Los 3 círculos superpuestos denotan los cuadrantes seleccionados para analizar la temperatura superficial mensual promedio con la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento. 1) aguas japonesas (140° E 30° N); 2) aguas hawaianas (158° E 20° N); 3) Domo de Costa Rica (90° E 10° N).....16
- Figura 6. Número de individuos de marlin azul *Makaira nigricans* muestreados por mes (barras) y temperatura superficial del mar (línea) en el área de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S. durante los años 2005 y 2006 .....23
- Figura 7. Estructura de tallas de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas por la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 .....24
- Figura 8. Relación lineal entre el radio de la cuarta espina de la aleta dorsal y longitud posorbital de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 .....25

Figura 9. Relación peso-longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C).....27

Figura 10. Comparación del porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul *Makaira nigricans* durante los años 2005 y 2006, con respecto a la variación mensual de la temperatura superficial del mar durante el mismo período en diferentes áreas en las que se distribuye la especie en el Pacífico. CSL, aguas en la vecindad de Cabo San Lucas; AJ, aguas japonesas; AH, aguas hawaianas; DC, aguas en el domo de Costa Rica. ....29

Figura 11. Variación mensual del promedio, desviación estándar, valor mínimo y máximo del índice de incremento marginal de la cuarta espina la aleta dorsal de marlin azul *Makaira nigricans* durante los años 2005 y 2006.....30

Figura 12. Comparación de la variación de los promedios mensuales del índice de incremento marginal (IIM) en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul *Makaira nigricans* durante los años 2005 y 2006, con respecto a la variación mensual de la temperatura superficial del mar durante el mismo período en diferentes áreas en las que se distribuye la especie en el Pacífico. CSL, aguas en la vecindad de Cabo San Lucas; AJ, aguas japonesas; AH, aguas hawaianas; DC, aguas en el domo de Costa Rica.....31

Figura 13. Variación mensual del factor de condición y del peso promedio de las hembras inmaduras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en las inmediaciones de Cabo San Lucas, B.C.S., durante los años 2005 y 2006....33

Figura 14. Comparación de la variación mensual del factor de condición de las hembras inmaduras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en las inmediaciones de Cabo San Lucas, B.C.S., durante los años 2005 y 2006, con respecto a la variación mensual de la temperatura superficial del mar durante el mismo período en diferentes áreas en las que se distribuye la especie en el Pacífico. CSL, aguas en la vecindad de Cabo San Lucas; AJ, aguas japonesas; AH, aguas hawaianas; DC, aguas en el domo de Costa Rica. ....33

Figura 15. Comparación de la variación mensual del factor de condición de las hembras inmaduras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> capturadas en las inmediaciones de Cabo San Lucas, B.C.S., durante los años 2005 y 2006, con respecto a: A) el porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal, y B) serie de los promedios mensuales del índice de incremento marginal (IIM). .....	34
Figura 16. Composición por edades de la captura anual de hembras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. durante los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006.....	36
Figura 17. Estructura por edades de la captura mensual de hembras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. durante los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006.....	37
Figura 18. Longitudes observadas y retrocalculadas por grupo de edad en hembras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006. ....	38
Figura 19. Curvas de crecimiento en longitud para las hembras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C).....	41
Figura 20. Curvas de crecimiento en peso para las hembras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C).....	44
Figura 21. Tasa de crecimiento relativo en peso (kg/año) y en longitud (cm/año) para las hembras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. ....	45
Figura 22. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul <i>Makaira nigricans</i> capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S., estimadas a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C). En la estimación de los parámetros no se consideró incluir la longitud de alguna larva. ....	79

- Figura 23. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C) estimadas a partir de las longitudes promedio observadas por grupo de edad.....81
- Figura 24. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C) estimadas a partir de las longitudes promedio retrocalculadas por grupo de edad. ....82
- Figura 25. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el 2005, en las estimaciones se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada junto con las longitudes por edad observadas (A), retrocalculadas (B), y combinando observadas y retrocalculadas (C). ....84
- Figura 26. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el 2006, en las estimaciones se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada junto con las longitudes por edad observadas (A), retrocalculadas (B), y combinando observadas y retrocalculadas (C). ....85
- Figura 27. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006, en las estimaciones se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada junto con las longitudes por edad observadas (A), retrocalculadas (B), y combinando observadas y retrocalculadas (C).....86
- Figura 28. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo dos veces el valor de longitud promedio a la edad 1. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.....88
- Figura 29. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el

período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo cinco veces el valor de longitud promedio a la edad 1. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.....88

Figura 30. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo dos veces el valor de longitud promedio a la edad 4. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.....89

Figura 31. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo cinco veces el valor de longitud promedio a la edad 4. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.....89

Figura 32. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo dos veces el valor de longitud promedio a la edad 8. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.....90

Figura 33. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo cinco veces el valor de longitud promedio a la edad 8. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.....90

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Parámetros de la relación peso-longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006 .....26
- Tabla 2. Valores de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para las hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. ....39
- Tabla 3. Tasa de crecimiento relativo en longitud (cm/año) entre grupos de edad de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 y 2006 y para el período 2005-2006. La tasa de crecimiento relativo se obtuvo a partir de las diferencias entre grupos de edad de las longitudes posorbitales estimadas con su respectivo modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy.....40
- Tabla 4. Comparación de las tasas de crecimiento relativo en longitud por grupo de edad entre los años 2005 y 2006 .....42
- Tabla 5. Valores de peso máximo promedio ( $W_{\infty}$ ) calculados a partir de los valores de  $L_{\infty}$  indicados en Tabla 2, y de los parámetros  $a$  y  $b$  de la relación peso-longitud indicados en la Tabla 1 .....42
- Tabla 6. Tasas de crecimiento relativo en peso (kg/año) entre grupos de edad de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. La tasa de crecimiento relativo se obtuvo a partir de las diferencias entre grupos de edad de los pesos estimados con su respectivo modelo de crecimiento en peso de von Bertalanffy. ....43
- Tabla 7. Estimaciones de edad y parámetros de crecimiento para el marlin azul *Makaira nigricans* del Pacífico y del Atlántico reportadas en la literatura por área y período de estudio, sistema de muestro y método de estimación. Edad Min-Max, Edad mínima y máxima reportada; Predominantes, edades predominantes en el estudio .....57
- Tabla 8. Parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el

período 2005-2006. Estimaciones realizadas a partir de las longitudes promedio combinadas para cada de edad y en las que no se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes .....78

Tabla 9. Parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. Estimaciones realizadas a partir del promedio de las longitudes observadas por grupo edad y a partir del promedio de las longitudes retrocalculadas por grupo edad. En todos los casos se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes.....80

Tabla 10. Parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. Estimaciones realizadas a partir del total de registros de longitudes por edad observados, retrocalculados y combinados. En todos los casos se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes.....83

Tabla 11. Ejemplos de variación de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* debido al número de registros de longitud por edad incluidos en el análisis. Las estimaciones fueron realizadas utilizando las longitudes promedio combinadas por edad y repitiendo dos o cinco veces los mismos valores promedio en diferentes grupos de edad. En todos los casos se incluyo la misma longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes... .....87

## GLOSARIO

**Banda Hialina:** Zona concéntrica en una estructura esquelética que permite el paso de la luz, aparece clara con luz transmitida y oscura con luz reflejada, generalmente se forma en el período de crecimiento lento.

**Banda Opaca:** Zona concéntrica en una estructura esquelética que inhibe el paso de la luz, aparece oscura con luz transmitida y clara con luz reflejada, generalmente se forma en el período de crecimiento rápido.

**Estimación de parámetros:** Aproximación a los valores de los coeficientes de un modelo a partir de una muestra dado que no conocemos su valor real en la población.

**Estimación de Edad:** Procedimiento de asignación de edad a los peces.

**Foco:** Origen hipotético o real de la estructura esquelética que se examina. Tradicionalmente se refiere a escamas pero puede ser usado en un sentido general para espinas y radios de las aletas, vertebras u otolitos. Es usado como punto de partida para el conteo de marcas de crecimiento o como punto de referencia para realizar mediciones.

**Grupo de Edad:** Grupo de peces de edad similar o con el mismo número de marcas de crecimiento.

**Incremento Marginal:** Región posterior a la última marca identificable en el borde de una estructura esquelética. Esta área es expresada en términos relativos, *i.e.* como fracción o proporción de la última marca de crecimiento completa.

**Marca de Crecimiento:** Conjunto de una banda opaca seguida por una banda hialina cuya deposición se encuentra asociada a un período de tiempo determinado (*e.g.* un año).

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

**Validación de la Edad:** Confirmación del significado temporal de las marcas de crecimiento en una estructura dura (*e.g.* espinas, vertebras, otolitos).



## RESUMEN

El marlin azul *Makaira nigricans* es la segunda especie en importancia en la pesca deportivo-recreativa que se realiza en la punta sur de la península de Baja California, México. No obstante, son escasos los estudios de su biología básica que coadyuven a una administración sustentable del recurso. Durante enero de 2005 a diciembre de 2006 se muestrearon 174 organismos desembarcados por la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S., la totalidad fueron hembras, de las que se registró la longitud posorbital ( $L$ ) y peso ( $W$ ), además de extraerles la cuarta espina de la aleta dorsal (CEAD) para obtener de ella cortes transversales que se utilizaron en las estimaciones de edad y crecimiento. El intervalo de tallas de las hembras analizadas estuvo comprendido entre 141-330 cm, predominando las de 171-210 cm (65% del total de ejemplares). Se encontró una relación positiva alta ( $R^2=0.853$ ) entre el radio de la CEAD y  $L$  de los organismos, lo que sugiere que ésta estructura es confiable para utilizarse en estimaciones de edad y crecimiento. Se infirió que la formación de las marcas de crecimiento (una banda opaca seguida por una hialina) tiene periodicidad anual y está posiblemente relacionada con la temperatura superficial del mar. Los resultados de los conteos de las marcas de crecimiento en los cortes transversales de la CEAD muestran que la pesca deportiva incidió sobre 7 grupos de edad (1-6 y 8), siendo los grupos de edad 2 y 3 los más abundantes (74% del total de ejemplares). Por medio de la ecuación de Fraser-Lee se estimaron las longitudes que cada individuo pudo haber presentado a edades anteriores a su captura, las cuales, junto con las edades y longitudes observadas, se utilizaron para estimar los parámetros del modelo de von Bertalanffy que definen el crecimiento individual de las hembras de marlin azul ( $k=0.3824$ ,  $t_0=-0.1683$  y  $L_\infty=299.66$ ). Estos parámetros sugieren que las hembras de marlin azul son organismos de crecimiento muy acelerado en los primeros años de vida, alcanzando el 56 y 70% de su longitud máxima promedio (posorbital en cm) a la edad de 2 y 3 años, respectivamente.

## ABSTRACT

Blue marlin *Makaira nigricans*, is the second most important recreational fishery species for the southern tip of the Baja California peninsula, Mexico. Despite its economic value, little is known about blue marlin age and growth. To study age and growth, we sampled 174 blue marlin landed by the sport fishing fleet at Cabo San Lucas, Baja California Sur, México, between January 2005 and December 2006. All sampled individuals were female. From each fish we recorded postorbital length and weight, sectioned the fourth spine from the dorsal fin for the estimation of age and growth rates. Samples ranged in length from 141 to 330 cm, with those from 171 to 210 cm predominating (65% of individuals sampled). The strong positive relationship between the radius of the fourth spine from the dorsal fin and the postorbital fish length ( $R^2=0.853$ ) suggest that this structure is reliable for being used in estimations of age and growth rates of blue marlin. The formation of growth marks was inferred to have an annual periodicity and possibly related with sea surface temperature seasonality. An opaque mark followed by a hyaline mark is an annual mark. The opaque-hyaline bands were counted in each spine section, our results show that sport fishermen are catching seven age groups (2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8 years old), with the age group 2 and 3 being the most abundant (74% of the total number of individuals analyzed). The Fraser-Lee equation was used for estimation of lengths that each individual could had in ages prior to his capture. Beside those estimations, the observed ages and lengths were also used for assessing the parameters that represent the individual growth for female blue marlin according to von Bertalanffy's equation ( $k=0.3824$ ,  $t_0=-0.1683$  y  $L_\infty=299.66$ ). Those parameters suggests that females blue marlin had a very fast growth in the early years of life, reaching 56 and 70% of their asymptotic length at ages 2 and 3, respectively.

## 1. INTRODUCCIÓN

El término “picudos” ha sido ampliamente usado en la pesca comercial y deportiva así como por científicos para referirse a las especies de las familias Xiphiidae e Istiophoridae, grandes peces que se caracterizan por la prolongación de la mandíbula superior en forma de pico (Nakamura, 1985). Entre ellos se encuentran el marlin rayado *Tetrapturus audax*, el marlin azul *Makaira nigricans*, el marlin negro *Makaira indica*, el pez espada *Xiphias gladius* y el pez vela *Istiophorus platypterus* (Kume y Joseph, 1969).

Debido a la naturaleza migratoria de estas especies y a su extensa distribución geográfica, son muchos los países que participan en su captura. Aunado a esto, entre la pesca comercial y la deportiva se ha provocado un conflicto de intereses en algunos países, como en México, donde la escasez de información biológico-pesquera que sustente la toma de decisiones dificulta la aplicación de medidas para administrar este recurso (Joseph *et al.*, 1986; Osuna, 1991; Macías, 1993).

El marlin azul *Makaira nigricans* es la segunda especie en importancia en la pesca deportiva-recreativa de Cabo San Lucas, B.C.S., México (Ortega-García *et al.*, 2006). Se encuentra distribuido principalmente en aguas tropicales y templadas de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico. Nakamura (1985) la reporta como la más tropical de todas las especies de picudos. Su rango latitudinal basado en datos de la pesquería comercial, se extiende en el océano Atlántico entre los 45° N y los 45° S, pero está ausente en el mar mediterráneo. En el Pacífico occidental entre los 45° N y 35° S, y en el Pacífico Oriental entre los 40° N y 25° S. En el Océano Índico se ha reportado hasta los 35° S (Nakamura, 1985).

Algunos científicos han propuesto que el marlin azul del Indo-Pacífico sea considerado como una especie diferente (*Makaira mazara*) del marlin azul *M.*

*nigricans* presente en el Océano Atlántico<sup>1</sup>. Sin embargo, según el consenso actual se considera la existencia de una sola especie que se distribuye en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico (e.g. Graves, E. J. y J. R. McDowell, 2003). Por otro lado, sobre la base de la información disponible actualmente se reconoce que existe un solo stock de *M. nigricans* en el Océano Pacífico (Anónimo, 2002).

La norma oficial mexicana NOM-017-PESC-1994 indica que los picudos son especies destinadas de manera exclusiva a la pesca deportiva dentro de la franja costera de 50 millas náuticas a partir de la línea de costa. Con ello se reconoce la importancia de la pesca deportiva por su capacidad para captar divisas, generar empleos, impulsar el desarrollo y por lo tanto contribuir de manera significativa a la economía regional, estatal y nacional (Pérez-Valencia, 2004).

Conocer la estructura por edades y la tasa de crecimiento individual de los peces son aspectos necesarios para el diagnóstico, evaluación y administración de sus existencias. Para determinar la edad de los peces se pueden utilizar diferentes estructuras duras, como escamas y otolitos, donde se realiza el conteo de anillos que representan la edad. En los picudos las escamas no son estructuras útiles para determinar edad y sus otolitos son muy pequeños, frágiles y de preparación costosa, por lo que el uso de las espinas de la aleta dorsal representa una alternativa para ello (Prince *et al.*, 1991). Beamish y McFarlane (1987) han mostrado la utilidad de estas estructuras en la determinación de edad en los picudos y en otras especies de peces. Para poder usar las espinas de forma rutinaria en estudios de edad y crecimiento se requiere establecer previamente criterios cualitativos y cuantitativos, tanto de preparación del material como de la forma de efectuar las lecturas e interpretación de la periodicidad de las marcas, entre otros aspectos (e.g. Hill *et al.*, 1989).

En este trabajo de tesis se aborda la estimación de la edad y el crecimiento individual del marlin azul desembarcado durante 2005 y 2006 en Cabo San Lucas,

---

<sup>1</sup> <http://www.fishbase.org/Summary/speciesSummary.php?ID=218&genusname=Makaira&speciesname=mazara>

Baja California Sur, México, a través del conteo de anillos de crecimiento en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal.

## 2. ANTECEDENTES

El interés científico por los “picudos” se incrementó paulatinamente a partir de la Segunda Guerra Mundial, sin embargo los estudios biológicos han sido difíciles de realizar dada la naturaleza migratoria de estos peces (Strasburg, 1970).

Las primeras investigaciones sobre edad y crecimiento en picudos se basaron en el análisis de frecuencias de tallas. A partir de estas se sugirió que son organismos de crecimiento rápido y vida corta (De Sylva, 1957; Strasburg, 1970). Sin embargo el análisis de frecuencia de tallas no es adecuado ya que los grupos modales se traslapan a medida que los ejemplares son más grandes, haciendo difícil la discriminación de modas (Radtke, 1983).

La mayoría de los estudios de estimación de edad en picudos se han llevado a cabo en el Océano Atlántico analizando las marcas de crecimiento que presentan algunas estructuras duras como otolitos, vértebras y espinas de las aletas dorsal y anal. En México, este tipo de estudios para el marlin azul son inexistentes.

En estimaciones de edad para marlin azul *Makaira nigricans* capturado en el Atlántico basadas en lecturas de supuestas marcas anuales en otolitos y espinas de la aleta dorsal, se reportaron organismos de hasta 21 años de edad y se estableció una relación lineal entre el radio total de la espina y la longitud de los peces (Prince *et al.*, 1984).

Posteriormente, en organismos juveniles de la misma especie y también en el océano Atlántico, Prince *et al.* (1991) estimaron la edad y los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy por medio de lecturas de marcas diarias en otolitos. Reportaron que son organismos de crecimiento muy acelerado en

las primeras etapas de vida, alcanzando cerca del 70 % de la longitud máxima promedio a los 2 años de vida, por lo que sugirieron que el marlin azul es una de las especies de teleósteos con la tasa de crecimiento más alta. Sin embargo, mencionan que las lecturas de marcas diarias en otolitos no son confiables en organismos mayores de 212 cm o 1.4 años, debido a que las bandas de crecimiento no son fáciles de distinguir. Además, los autores señalan que los datos solo cubren la fase inicial del crecimiento de los adultos, por lo que su uso biológico e interpretaciones temporales son injustificados.

En el caso del océano Pacífico, Hill *et al.* (1989) colectaron otolitos, vértebras y espinas de las aletas anal y dorsal de marlin azul en Kona, Hawái, con el fin de evaluar su legibilidad e interpretar los patrones de crecimiento, así como la facilidad para colectarlas y la precisión de los conteos de marcas anuales para usarlas en estimaciones de edad. Los resultados de este estudio mostraron que cortes del otolito sagita y de las espinas anales y dorsales contienen zonas de crecimiento que supusieron corresponden a eventos anuales. Las vértebras mostraron numerosos y diminutos incrementos, pero no se observaron marcas que pudieran ser interpretadas como anuales. Aunque las pruebas estadísticas revelaron que no hay diferencia significativa entre las edades estimadas utilizando diferentes estructuras duras del mismo pez, los conteos de marcas en espinas dorsales y anales tuvieron la mejor coincidencia.

Utilizando individuos capturados por la pesquería de palangre hawaiana de 1960 a 1970, Skillman y Yong (1976) describieron el crecimiento del marlin azul mediante dos variantes del modelo de von Bertalanffy. Estos autores reportaron que machos y hembras crecieron a la misma tasa hasta los 250 cm, por encima de esa longitud la tasa de crecimiento en machos declinó y se estimó para éstos una longitud máxima asintótica de 299 y 368 cm con cada una de las variantes del modelo. En hembras mayores de 250 cm el crecimiento continuó a una tasa rápida y exhibió poca tendencia hacia alguna longitud asintótica dentro de las edades disponibles en el estudio.

Estudios comparativos entre marlin azul *Makaria nigricans* del Pacífico y del Atlántico fueron realizados por Wilson *et al.* (1991) utilizando peces (n=436) capturados con fines recreativos entre 1979 y 1983. Estos autores registraron la longitud y peso de los individuos, extrajeron los otolitos y registraron el peso de estas estructuras. Aunque las edades estimadas del marlin azul del Atlántico y del Pacífico no fueron validadas, los autores reportaron que la longevidad de machos y hembras es similar, llegando a registrar individuos mayores de 20 años de edad, aunque las hembras alcanzaron tallas mucho más grandes que los machos. También encontraron que el peso de los otolitos fue altamente variable dentro de cada intervalo de talla, aunque el intervalo de pesos de los otolitos fue el mismo para machos y hembras en ambos océanos, y señalaron que el peso de los otolitos está relacionado linealmente con las edades estimadas.

También se han realizado estudios de crecimiento en larvas de marlin azul. Sponaugle *et al.* (2005) colectaron larvas en Exuma Sound, en las Bahamas y en el Estrecho de Florida durante tres veranos (2000, 2001 y 2002). Estos autores utilizaron los otolitos sagita y estimaron la edad en días para relacionarla con la longitud estándar observando diferencias en el crecimiento larval. Las trayectorias de las curvas de crecimiento fueron significativamente diferentes entre localidades. Las larvas de Exuma Sound crecieron más rápido que las del Estrecho de Florida, con una diferencia en crecimiento de 4 a 6 mm de longitud estándar por día. Los autores sugirieron que esas diferencias en crecimiento no estaban relacionadas con la temperatura del agua, y que podrían haber sido causadas por diferencias en la composición o disponibilidad de las presas que conforman su alimento.

En México se han realizado estudios de edad y crecimiento utilizando espinas de la aleta dorsal de otras especies de peces de pico capturados por la flota de pesca deportiva que opera en la parte sur del Golfo de California. Alvarado-Castillo y Félix-Uraga (1998) utilizaron cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal del pez vela (*Istiophorus platypterus*) para contar las bandas opaco-hialinas presentes en cada corte. Ellos reportaron que en el 97% de estas estructuras las

bandas de crecimiento fueron legibles. Del análisis mensual del tipo de borde, opaco o hialino, reportaron que la periodicidad de la formación de una banda opaca seguida por una hialina es anual. En el marlin rayado *Tetrapturus audax* también se utilizaron espinas de la aleta dorsal para la estimación de la edad y crecimiento. Melo-Barrera *et al.* (2003) y Melo-Barrera y Félix-Uraga (2004) encontraron que la cuarta espina de la aleta dorsal refleja adecuadamente el crecimiento y que la periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento es anual, reportando que su formación está relacionada con la temperatura superficial del mar y la reproducción. Estos autores también reportaron que la relación entre la longitud mandibular y el radio total de la espina es similar para hembras y machos.

La reproducción del marlin azul *Makaira nigricans* en el Pacífico ocurre en aguas del Pacífico occidental (Nakamura, 1985) en los meses de verano (Hopper, 1990). Los machos alcanzan la madurez sexual entre los 130 a 140 cm de longitud posorbital (Nakamura, 1985) y las hembras a los 180 cm entre los 2 a 4 años de edad (Erdman, 1968).



### 3. JUSTIFICACIÓN

Los estudios sobre edad y crecimiento de marlin azul *Makaira nigricans* son escasos a nivel mundial, no obstante la gran importancia que tienen estos peces de pico dentro de la pesca comercial y deportiva. En el Pacífico mexicano no existe este tipo de estudios para esta especie.

En México, dado el conflicto de intereses existente entre la pesca comercial y la deportiva para el aprovechamiento de este recurso, se requiere diseñar y establecer medidas de ordenamiento de la pesquería de picudos con un enfoque de manejo o uso sustentable. Conocer la composición o estructura de edades y la tasa de crecimiento individual del marlin azul coadyuvará a ello ya que son aspectos básicos para el diagnóstico y la evaluación de éste o de cualquier otro recurso pesquero (e.g. Fablet y Le Josse, 2005).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General:**

Estimar la edad y el crecimiento individual del marlin azul *Makaira nigricans* desembarcado durante 2005 y 2006 por la flota de pesca deportiva que opera en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S., México.

### **4.2 Objetivos Específicos:**

- Validación de la estimación de la edad:

4.2.1 Establecer la relación entre el radio de la cuarta espina de la aleta dorsal y la longitud posorbital de los peces.

4.2.2 Inferir la periodicidad de formación de las bandas de crecimiento (opaco-hialinas) en los cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal y su posible relación con la temperatura superficial del mar.

- Edad y crecimiento:

4.2.3 Contar el número de marcas de crecimiento en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal.

4.2.4 Determinar la estructura por edades de los ejemplares de marlin azul capturados en la vecindad de Cabo San Lucas durante los años 2005 y 2006.

4.2.5 Calcular la longitud de los peces a edades anteriores a su captura.

4.2.6 Estimar los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo se analizaron muestras provenientes de organismos capturados por la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S. Esta flota utiliza como arte de pesca la caña de pescar y como carnada curricanes o peces vivos, principalmente macarela (*Scomber japonicus*) y diferentes especies de sardina (*Sardinops caeruleus*, *Etrumeus teres*). El área de pesca de la flota abarca un radio de 50 millas náuticas en promedio (Fig. 1) y opera durante todo el año.

Como resultado de la operación de diferentes proyectos de investigación realizados por el CICIMAR para el estudio de los peces de pico capturados en la boca del Golfo de California, durante tres días consecutivos de cada mes de los años 2005 y 2006 se realizaron muestreos de las especies desembarcadas por la flota deportiva que operó en el área mencionada.

Para el desarrollo de este trabajo de tesis se contó con un total de 174 muestras de espina de la aleta dorsal de marlin azul (82 para 2005 y 92 para 2006), obtenidas principalmente durante los meses de julio a noviembre, por lo cual no se dispuso de muestras en los primeros meses de cada año.

### 5.1 Muestreo

Para cada ejemplar de marlin azul al que se tuvo acceso durante los desembarcos se registró el peso total y la longitud posorbital (del límite posterior del ojo a la furca, Fig. 2), y se determinó el sexo por observación directa de las gónadas. El peso se obtuvo por medio de una báscula (con resolución de  $\pm 0.1$  kg) y la longitud por medio de una cinta métrica flexible ( $\pm 1$  cm). Estos datos se registraron en una bitácora, asignando un número de referencia a cada individuo, además de anotar la fecha y el área de captura.

De cada uno de estos organismos se colectó la cuarta espina de la aleta dorsal, misma que fue extraída desde su base con la ayuda de un cuchillo. Cada espina colectada se almacenó en una bolsa de plástico etiquetándola con los datos de colecta y fue conservada congelada para su análisis posterior en el laboratorio.

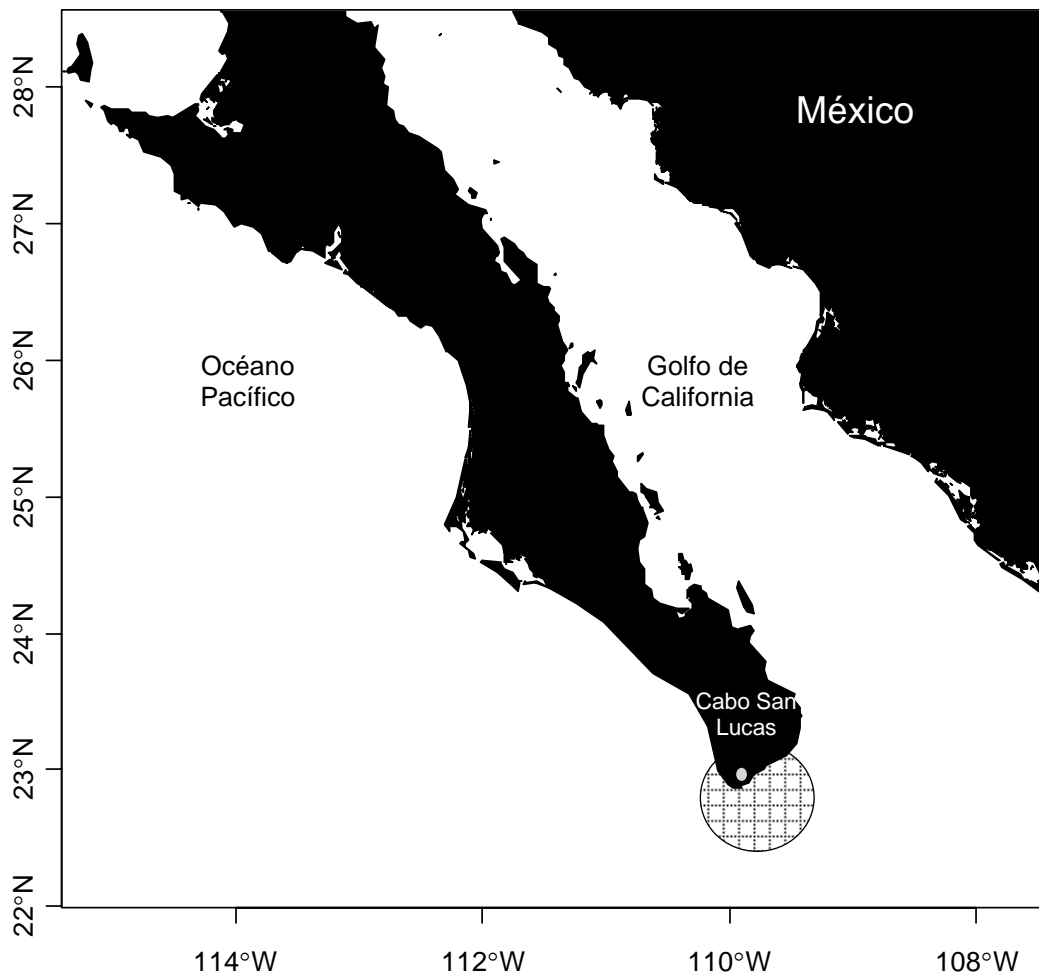


Figura 1. Mapa del noroeste de México mostrando el área (cuadrícula) de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas en el extremo sur de la península de Baja California.

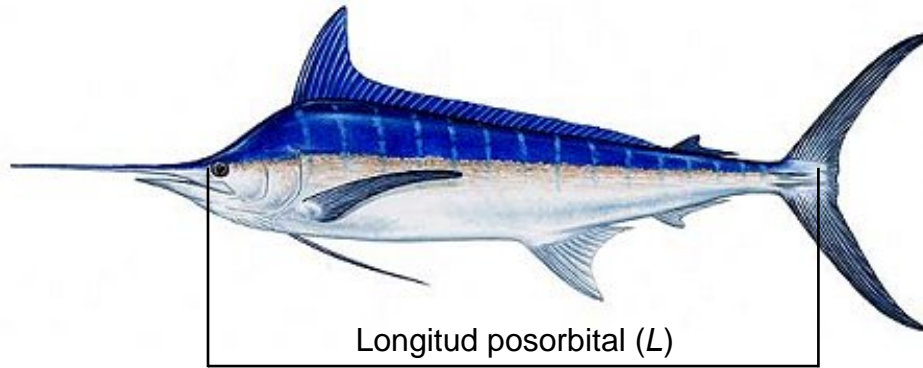


Figura 2. Marlin azul *Makaira nigricans* indicando su longitud posorbital.

## 5.2 Laboratorio

En el laboratorio las espinas se descongelaron y limpiaron con ayuda de pinzas de disección, bisturí y tijeras, procurando quitar todo el tejido residual para evitar una posible descomposición y daño de la estructura. Con un vernier de precisión 0.05 mm (marca Helios) se midió la distancia entre las apófisis de la base de cada espina. Esta medida se utilizó como referencia para establecer, desde la base y sobre el eje principal de la misma espina, la zona de corte (Fig. 3). Esta zona se identificó sobre la cara frontal de la espina con una marca y ahí se efectuaron los cortes transversales de un grosor de 0.45 mm utilizando una cortadora de baja velocidad (marca Buehler, modelo 11-1280-160) equipada de un disco con filo de diamante (Diamond Wafering Blade, serie 15HC).

Cabe señalar que la zona de corte y el grosor del mismo se definieron previamente durante el desarrollo de un trabajo diseñado específicamente con estos propósitos. Dicho trabajo se realizó como parte de las prácticas profesionales efectuadas en el CICIMAR durante 2006 por quien desarrolló este estudio (Anexo 11.1).

Los cortes se almacenaron en sobres de papel rotulados con los datos de número de referencia del individuo, fecha y lugar de captura.

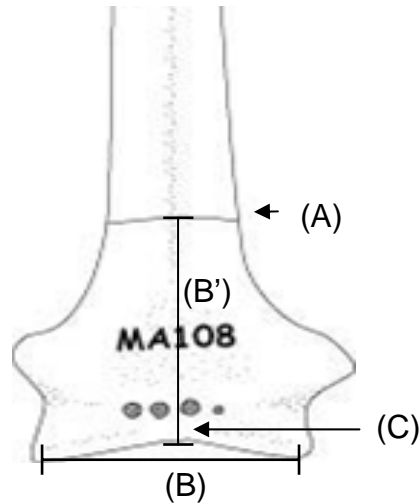


Figura 3. Vista frontal de la base de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul *Makaira nigricans* mostrando la zona para la obtención de cortes transversales (A). Donde B es la distancia entre apófisis inferiores y corresponde a la misma distancia B' medida desde la base (C) de la espina.

### 5.3 Mediciones

Los cortes obtenidos de las espinas se fotografiaron con una cámara digital (marca Cannon, modelo Power Shot G5) adaptada a un estereomicroscopio (marca Carl Zeiss, modelo Stemi SV11), registrando para cada imagen las siguientes variables ópticas: nivel de zoom de la cámara, nivel de aumento del estereomicroscopio y objetivo utilizado. Las variables ópticas se utilizaron para la calibración métrica de la imagen en una computadora mediante el uso del software Zeiss Image (versión 3.0), lo que permitió poder realizar en ellas medidas confiables en cualquier ángulo.

Con el propósito de analizar la relación entre el radio de la cuarta espina de la aleta dorsal y la longitud posorbital del pez (sección 5.4), validar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento (sección 5.6) y obtener el retrocálculo de longitudes (sección 5.9), se midió el radio total y los radios parciales a cada una de las marcas de crecimiento contenidas en cada corte. Los radios (parciales y total) se midieron a partir del centro del foco y hacia el borde de cada corte sobre una misma línea. El centro del foco se estableció en el punto medio de su diámetro mayor como

se ilustra en la figura 4. Además, durante el proceso de medición también se registró el tipo de borde que presentó cada corte, es decir si era opaco o hialino.

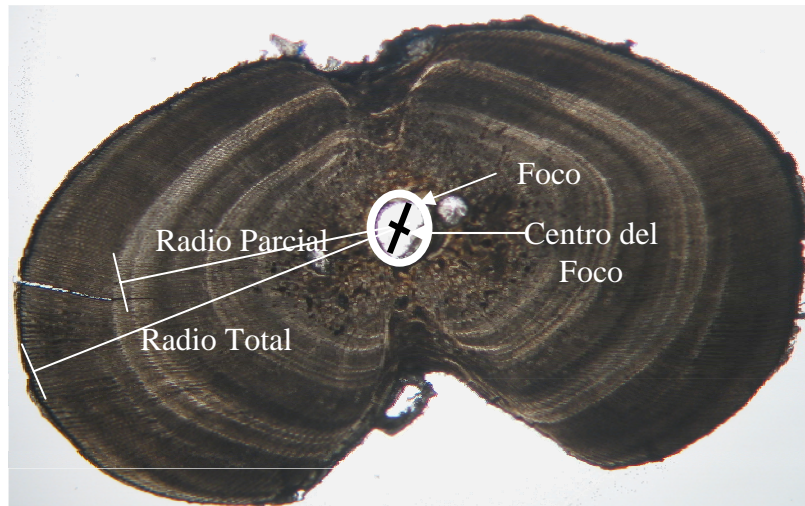


Figura 4. Corte transversal de la cuarta espina de la aleta dorsal de marlin azul *Makaira nigricans* en donde se ejemplifica la medición de un radio parcial y el total a partir del centro del foco. El radio parcial indicado en la figura fue desplazado hacia arriba del eje del radio total con el propósito de poder visualizarlo.

#### 5.4 Relación radio de la espina – longitud posorbital

Con el propósito de establecer si la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul es una estructura útil para emplearse en las estimaciones de edad y parámetros de crecimiento, y retrocálculo de longitudes, se analizó la relación entre el radio de la espina y la longitud posorbital del pez mediante el siguiente modelo lineal:

$$L = m + b * Rt$$

donde:

$L$  = Longitud posorbital del pez (cm)

$Rt$  = Radio total de la cuarta espina de la aleta dorsal

$m$  = Intercepto

$b$  = Pendiente

## **5.5 Conteo de marcas de crecimiento**

Las marcas de crecimiento contenidas en los cortes transversales de las espinas se contaron de manera independiente por dos lectores. Para este propósito cada grupo de edad estuvo compuesto por el conjunto de una banda opaca seguida por otra hialina. Los conteos se realizaron directamente sobre las fotografías de los cortes para evitar la posible ruptura de los cortes delgados por su continua manipulación.

Para evaluar la consistencia entre los conteos efectuados por cada lector se aplicó una prueba de  $X^2$ . Para el caso de los ejemplares donde las lecturas obtenidas independientemente por cada observador no coincidieron, se realizó una nueva lectura de manera conjunta y sólo en el caso donde persistió el desacuerdo entre el número de marcas de crecimiento asignado por cada lector, el ejemplar se excluyó de los análisis posteriores.

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

Para inferir la época y periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento se utilizaron dos métodos, uno cualitativo y otro cuantitativo.

Como método cualitativo se analizó el tipo de borde que presentaron los cortes. Para ello se representó en una gráfica el comportamiento mensual de los porcentajes de aparición de las bandas opaca e hialina en el borde de las espinas. Estos porcentajes se estimaron para cada mes como la composición relativa de bordes opacos e hialinos observados en el total de cortes transversales de espinas del mes analizado.

El método cuantitativo consistió en calcular el índice de incremento marginal (Lai y Liu, 1979) a partir de las mediciones de radio total de la espina y radios de la última y penúltima marcas de crecimiento completas, mediante la siguiente ecuación:



$$IIM = \frac{Rt - R_n}{R_n - R_{n-1}}$$

donde:

*IIM* = Índice de incremento marginal

*Rt* = Radio total de la espina

*R<sub>n</sub>* = Radio del centro del foco a la última marca de crecimiento completa

*R<sub>n-1</sub>* = Radio del centro del foco a la penúltima marca de crecimiento completa

Con los valores del índice de incremento marginal calculados se construyó un gráfico de cajas con el promedio, desviación estándar y los mínimos y máximos de cada mes.

Para obtener indicios del estado de formación de las marcas en los meses en que la disponibilidad del marlin azul es baja en el área de estudio, se incluyó en los dos análisis un ejemplar representativo de las condiciones de invierno (colectado en enero del 2003 en el área de Cabo San Lucas).

La periodicidad de la formación de las marcas obtenida por estos dos métodos se intentó explicar relacionándola con la temperatura mensual promedio de la superficie del mar del área de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas durante el período de estudio. Esta temperatura se obtuvo de la base de datos océano-atmosféricos de i-COADS<sup>2</sup>.

Considerando que el marlin azul es una especie altamente migratoria, es probable que la formación de las marcas de crecimiento no se relacione exclusivamente con la temperatura del lugar donde fue capturado, por lo que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento también se relacionó con la temperatura mensual promedio de la superficie del mar de otros tres sitios (aguas

---

<sup>2</sup> <http://www.cdc.noaa.gov/icoads-las/servlets/constrain?var=1540>

japonesas, aguas hawaianas y domo de Costa Rica) (Fig. 5) donde se reportan altas capturas para la especie según datos de la FAO<sup>3</sup>.

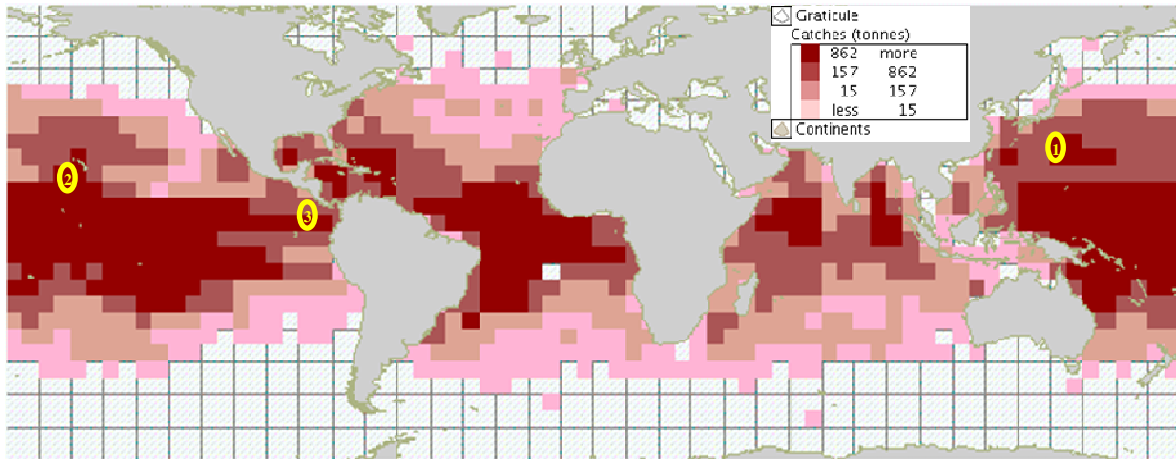


Figura 5. Distribución mundial de la captura anual acumulada de marlin azul *Makaira nigricans* durante el período 1950-2003 en cuadrantes de 5 grados de latitud-longitud (Figura obtenida de la FAO<sup>3</sup>). Los 3 círculos superpuestos denotan los cuadrantes seleccionados para analizar la temperatura superficial mensual promedio con la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento. 1) aguas japonesas (140° E 30° N); 2) aguas hawaianas (158° E 20° N); 3) Domo de Costa Rica (90° E 10° N).

### 5.7 Relación peso – longitud y factor de condición

La función que relaciona el peso con la talla de los individuos se utilizó en este trabajo como un mecanismo de transformación del modelo de crecimiento en longitud a un modelo de crecimiento en peso (sección 5.11), además de que se utilizó para determinar los estados de condición fisiológica (factor de condición) de los organismos (ver más adelante en ésta sección). Así, para relacionar el peso con la talla de los individuos para todo el período de estudio (2005-2006) y para cada año por separado se utilizó la siguiente función:

<sup>3</sup> [http://www.fao.org/figis/servlet/TabSpecies?tb\\_ds=TunaAtlas&tb\\_mode=MAP&tb\\_act=SELECT&tb\\_grp=SPECIES](http://www.fao.org/figis/servlet/TabSpecies?tb_ds=TunaAtlas&tb_mode=MAP&tb_act=SELECT&tb_grp=SPECIES)

donde:

$W$  = Peso total (kg)

$L$  = Longitud posorbital del pez (cm)

$a$  = Factor de condición

$b$  = Parámetro de alometría

Los parámetros  $a$  y  $b$  se estimaron por medio de un proceso iterativo. El parámetro de alometría ( $b$ ) indica el tipo de crecimiento que presentan los organismos; se considera crecimiento isométrico cuando el parámetro  $b$  varía entre 2.8 y 3.2 (Bagenal y Tesch, 1978).

Para complementar la explicación de la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento se calculó el factor de condición de Fulton ( $a_F$ ) (Bagenal y Tesch, 1978) expresado como:  $a_F = \text{peso}/(\text{longitud})^3$ . Este índice se estimó por mes y solo con la información de los organismos que se encontraron en el intervalo de tallas de 170 a 200 cm, que es el intervalo común para todos los meses en los cuales se tienen muestras durante el período de estudio. Paralelamente, utilizando los pesos de los mismos individuos del intervalo de tallas antes mencionado, se estimaron los pesos promedio mensuales ( $\hat{W}$ ). Se comparó la variación mensual de  $a_F$  y  $\hat{W}$ , y el comportamiento de estos índices se relacionó con la temperatura mensual promedio de la superficie del mar del área circundante a Cabo San Lucas y de los tres sitios indicados en la sección 5.6. La variación mensual de  $a_F$  y  $\hat{W}$  también fue comparada con el porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos y con el promedio mensual del índice de incremento marginal.

## 5.8 Estructura por edades

Para conocer las edades que componen las capturas de marlin azul desembarcadas en el puerto de Cabo San Lucas se estimó la frecuencia de aparición de los individuos por cada grupo de edad de manera mensual, anual y total para el

período de estudio y se representaron mediante el uso de histogramas. Para evaluar si existe diferencia en la composición por edades entre las capturas de los años 2005 y 2006 se aplicó una prueba de  $X^2$ .

A partir de la composición mensual se infirió el período de reclutamiento de los grupos de edad al área de influencia de la flota deportiva.

### 5.9 Retrocálculo de longitudes

Para disponer de longitudes de individuos de edades poco representadas o de tallas inferiores a las que captura la flota deportiva, para cada ejemplar muestreado se estimaron las longitudes que pudo haber tenido a cada una de las edades anteriores de su captura. Para ello se relacionaron los radios parciales correspondientes y el radio total de la espina (mismos que se midieron como se indicó en la sección 5.4), así como la longitud del pez de acuerdo a la ecuación de Fraser-Lee (Johal *et al.*, 2001):

$$L_i = m + \left(\frac{R_i}{R_t}\right)(L - m)$$

donde:

$L_i$  = Longitud del pez estimada a la edad  $i$  (posorbital en cm)

$L$  = Longitud posorbital del pez al momento de su captura (cm)

$R_i$  = Radio parcial de la espina a la marca de la edad  $i$

$R_t$  = Radio total de la espina

$m$  = Intercepto del modelo lineal que se construyó para relacionar el radio total de la espina y la longitud posorbital.

### 5.10 Crecimiento individual en longitud

Para estimar y representar el crecimiento individual en longitud del marlin azul se utilizó el modelo de von Bertalanffy, modelo matemático que ha demostrado

representar adecuadamente el crecimiento observado en la mayoría de las especies de peces y cuyos parámetros se pueden interpretar biológicamente; además, es ampliamente utilizado por una gran cantidad de autores, por lo que facilita la comparación de resultados con otros estudios (Sparre y Venema, 1997). La expresión matemática del modelo es la siguiente:

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

donde:

$L_t$  = Longitud a la edad  $t$  (posorbital en cm)

$L_\infty$  = Longitud máxima promedio (posorbital en cm)

$k$  = Coeficiente o tasa de crecimiento individual

$t_0$  = Edad hipotética cuando la longitud es igual a 0

$t$  = Edad

Los parámetros del modelo ( $L_\infty$ ,  $k$  y  $t_0$ ) se estimaron por un proceso iterativo que utiliza el algoritmo de Marquardt contenido en el software Curve Expert versión 1.3, este algoritmo permite estimar parámetros de modelos no lineales sin la necesidad de transformar los datos en una función lineal y proporciona la mejor combinación de los parámetros (Hyams, 2001; StatSoft, 2001). Para la estimación de los parámetros se incluyó en el análisis la longitud de una larva de la especie (2.9 mm), reportada por Ueyanagi y Yabe (1959), y se utilizaron longitudes promedio para cada grupo de edad. Para calcular la longitud promedio de un grupo de edad en particular se incluyó el total de las longitudes observadas de los individuos de esa edad al momento de la captura más el total de las longitudes retrocalculadas con la ecuación de Fraser-Lee para esa edad. Estas longitudes promedio por grupo edad serán referidas de aquí en adelante como longitudes promedio combinadas.

También se efectuaron otras estimaciones de los parámetros del modelo de von Bertalanffy utilizando diferentes criterios respecto al tipo de longitudes por edad a incluir en las estimaciones (observadas, retrocalculadas o ambas), la consideración

de usar el total de registros de longitudes por edad o solo su promedio, así como incluir o no la longitud de la larva como dato de entrada en la estimación de los parámetros.

En el anexo 11.3 se presenta la estimación de los parámetros utilizando las longitudes promedio combinadas pero sin incluir en los cálculos la longitud de la larva referida anteriormente. Otra estimación de los parámetros fue utilizando solo el promedio de las longitudes por edad observadas al momento de la captura de los individuos y otra más utilizando solo el promedio de las longitudes retrocalculadas (Anexo 11.4). También se realizaron estimaciones de los parámetros empleando el total de registros de longitudes por edad observadas al momento de la captura de los individuos, al igual que utilizando solo el total de longitudes retrocalculadas y otra más utilizando el total de ambos registros (Anexo 11.5). Para todos los casos anteriores las estimaciones se realizaron para cada año por separado y para todo el período del estudio. Así mismo, se incluyó en los análisis la longitud de la larva antes referida, excepto en los análisis del anexo 11.3.

En todos los casos las curvas de crecimiento estimadas se graficaron con las longitudes promedio calculadas para cada edad utilizando los parámetros correspondientes, tanto para cada año como para todo el período de estudio por separado.

Para evaluar las posibles diferencias de crecimiento en longitud entre los años analizados se compararon las curvas que representan el crecimiento individual de cada año así como los parámetros estimados ( $L_{\infty}$ ,  $k$  y  $t_0$ ) mediante la prueba  $T^2$  de Hotelling (Bernard, 1981). Para mayor detalle de esta prueba estadística ver el Anexo 11.2.

## 5.11 Crecimiento individual en peso

En la sección 5.7 se presentó la función que relaciona el peso con la talla de los individuos. Esta función fue utilizada como un mecanismo de transformación del modelo de crecimiento en longitud a un modelo de crecimiento en peso. Entonces, para obtener una función de crecimiento que relacione la edad con el peso de los individuos se conoce que:

$$W_t = aL_t^b$$

y que:

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

Reemplazando el valor de  $L_t$  en la primera función se tiene que:

$$W_t = aL_\infty^b[1 - e^{-k(t-t_0)}]^b$$

En donde por similitud con la relación peso-longitud se define:

$$W_\infty = aL_\infty^b$$

Por lo tanto, la función de crecimiento en peso es:

$$W_t = W_\infty[1 - e^{-k(t-t_0)}]^b$$

donde, en las últimas 5 ecuaciones:

$W_t$  = Peso a la edad  $t$  (total en kg)

$L_t$  = Longitud a la edad  $t$  (posorbital en cm)

$W_\infty$  = Peso máximo promedio

$L_\infty$  = Longitud máxima promedio (posorbital en cm)

$k$  = Coeficiente o tasa de crecimiento individual

$t_0$  = Edad hipotética cuando la longitud es igual a 0

$t$  = Edad

$a$  = Factor de condición

$b$  = Parámetro de alometría de la relación peso-longitud

Esta función de crecimiento en peso tiene una forma sigmoidea con un punto de inflexión en  $W_{PI} = 0.296 W_{\infty}$ , donde el crecimiento en peso deja de ser acelerado y comienza a disminuir (Ehrhardt, 1981). Conocido  $W_{PI}$  se pudo estimar la edad correspondiente, grafica o analíticamente. La forma analítica de hacerlo fue usando la ecuación inversa de crecimiento en peso:

$$t = t_0 - \frac{1}{k} \ln\left(1 - \frac{W^{\frac{1}{3}}}{W_{\infty}^{\frac{1}{3}}}\right)$$

Las curvas de crecimiento en peso se graficaron con los pesos calculados para cada edad utilizando los parámetros correspondientes, tanto para cada año como para todo el período de estudio por separado, denotando en ella el punto de inflexión.



## 6. RESULTADOS

### 6.1 Muestreo

En la figura 6 se observa una marcada estacionalidad de las capturas de marlin azul, resultado de la presencia de la especie en la zona de estudio principalmente durante los meses de julio a noviembre.

El mayor número de individuos muestreados se registró en los meses de septiembre del 2005 y agosto del 2006, meses en los cuales el promedio mensual de la temperatura superficial del mar fue alto (Fig. 6). Durante los meses de enero, marzo, abril y mayo no se logró obtener muestras debido a que en ese período la especie no estuvo disponible dentro del área donde opera la flota deportiva de Cabo San Lucas.

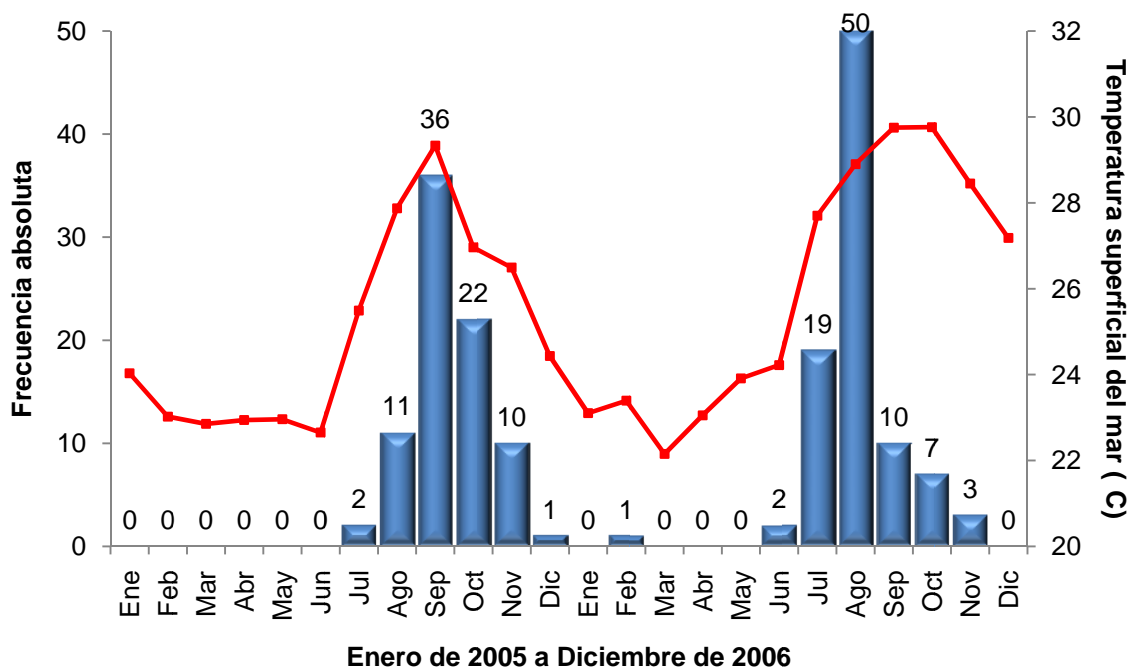


Figura 6. Número de individuos de marlin azul *Makaira nigricans* muestreados por mes (barras) y temperatura superficial del mar (línea) en el área de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S. durante los años 2005 y 2006.

Todos los organismos muestreados fueron hembras, las cuales se encontraron en el intervalo de tallas de 141 a 330 cm de longitud posorbital, la mayoría dentro del intervalo de 171 a 210 cm (65% del total de ejemplares muestreados) como se muestra en la figura 7, donde también es posible observar la escasez de individuos de tallas inferiores a 170 cm así como de tallas superiores a 250 cm.

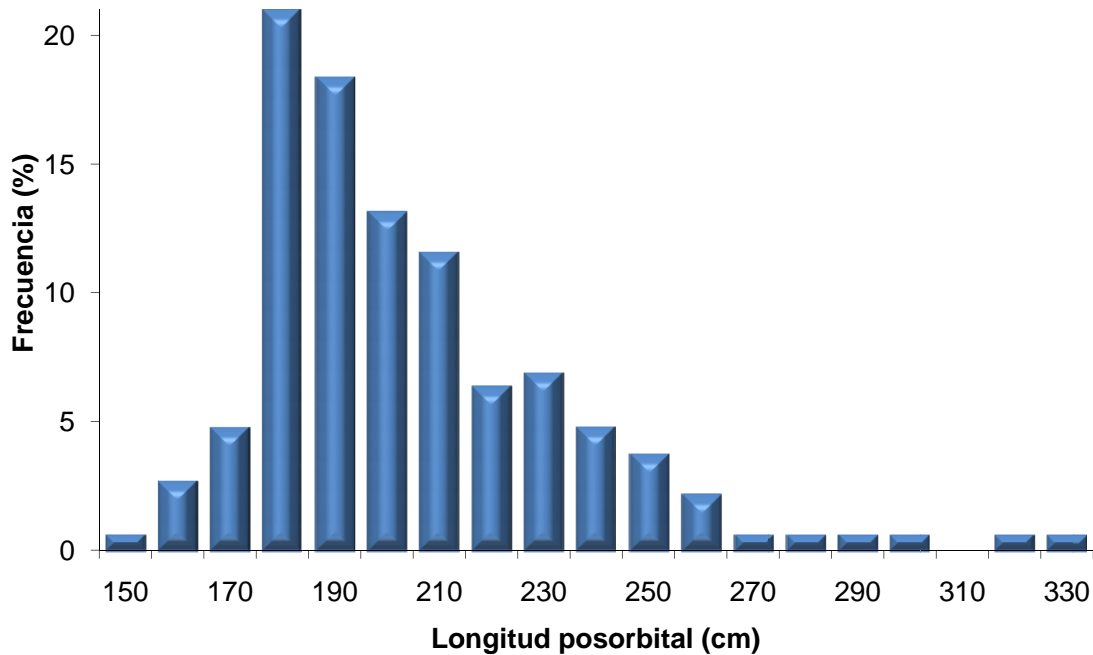


Figura 7. Estructura de tallas de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas por la flota deportiva en Cabo San Lucas, B.C.S en el período 2005-2006.

## 6.2 Relación radio de la espina – longitud posorbital

En la figura 8 se muestra el diagrama de dispersión de la longitud posorbital del pez respecto al radio total de la espina en la zona de corte. La recta de regresión calculada presenta una tendencia positiva que muestra como el radio de la espina se incrementa conforme los organismos aumentan en longitud posorbital.

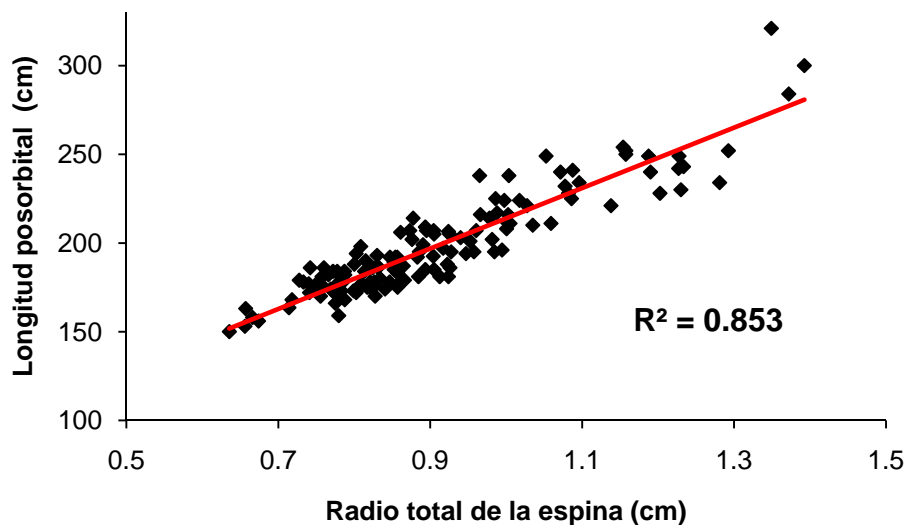


Figura 8. Relación lineal entre el radio de la cuarta espina de la aleta dorsal y longitud posorbital de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006.

El modelo lineal que representa la relación entre el radio total de la cuarta espina de la aleta dorsal ( $Rt$ ) y la longitud posorbital ( $L$ ) es:

$$L = 49.13 + (163.8 * Rt)$$

La relación positiva alta ( $R^2=0.853$ ) entre ambas variables sugiere que la cuarta espina de la aleta dorsal es una estructura confiable para usarse en la estimación de la edad y de los parámetros de crecimiento individual del marlin azul, justificando también su empleo en el retrocálculo de longitudes.

### 6.3 Conteo de marcas de crecimiento

Todos los cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul fueron legibles. Es decir, fue posible hacer el conteo de las marcas de crecimiento contenidas en los mismos. Al contrastar la distribución de frecuencias de los conteos de marcas efectuados por dos lectores independientes mediante la prueba  $X^2$  se encontró que no existe diferencia significativa entre éstas ( $X^2_{(7)} = 2.99$ ,

$p > 0.05$ ), lo cual permite afirmar que existió consistencia entre ambas lecturas. Al comparar individualmente las lecturas asignadas a cada individuo la discrepancia en el número de marcas asignadas fue del 9.2% del total de cortes leídos. Después de la lectura conjunta únicamente en una lectura (0.5% del total de cortes) no hubo coincidencia entre ambos lectores, por lo que ese conteo no se incluyó en los análisis posteriores.

En las lecturas realizadas en los cortes se encontraron hasta 8 marcas de crecimiento, correspondientes a los grupos de edad 1 al 6 y 8, no encontrándose individuos de los grupos de edad 0 y 7.

#### 6.4 Relación peso-longitud

El intervalo de pesos registrados de las hembras de marlin azul desembarcadas en Cabo San Lucas durante el período 2005-2006 fue de 44.45 a 364 kg, con un peso total promedio de 102.5 kg. Los registros más frecuentes se encontraron en el intervalo de 60 a 90 kg (50% del total de ejemplares muestreados).

En la tabla 1 se muestran los parámetros de la relación peso-longitud por año y para todo el período 2005-2006. En todos los casos los valores estimados del parámetro de alometría ( $b$ ) fueron cercanos a 3, lo que sugiere que el crecimiento de esta especie es de tipo isométrico. Los diagramas de dispersión de los registros de longitud posorbital y peso total observados se muestran en la figura 9 junto con la curva estimada a través de la relación peso-longitud correspondiente.

Tabla 1. Parámetros de la relación peso-longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006.

Período	$a$	$b$	$R^2$
2005	0.000017	2.93	0.92
2006	0.0000045	3.18	0.81
2005-2006	0.000012	3.00	0.88

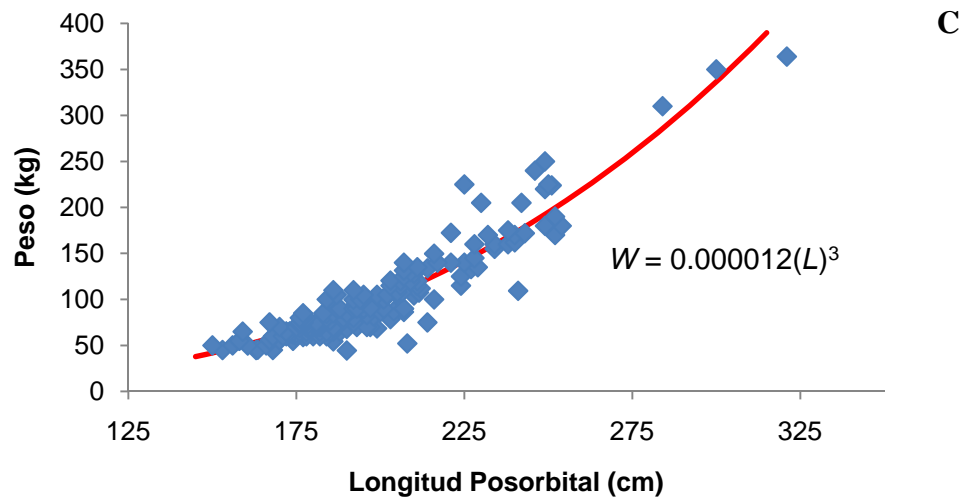
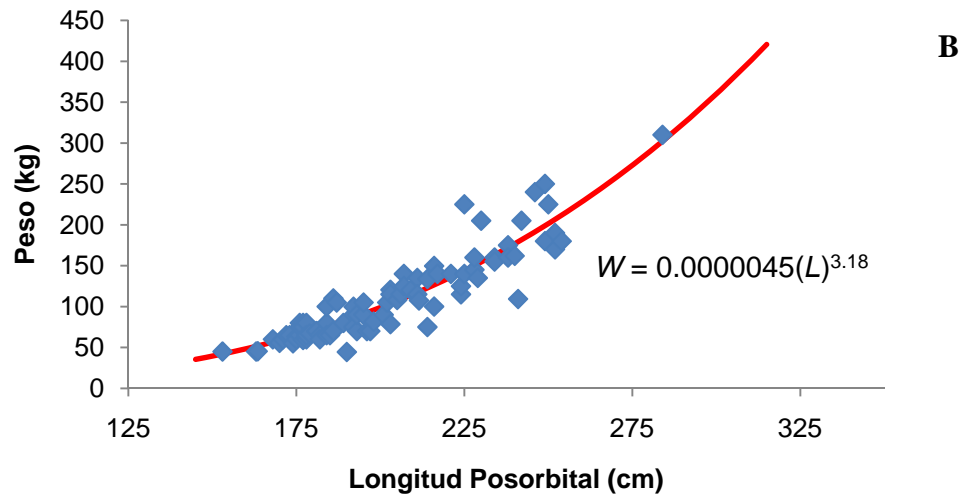
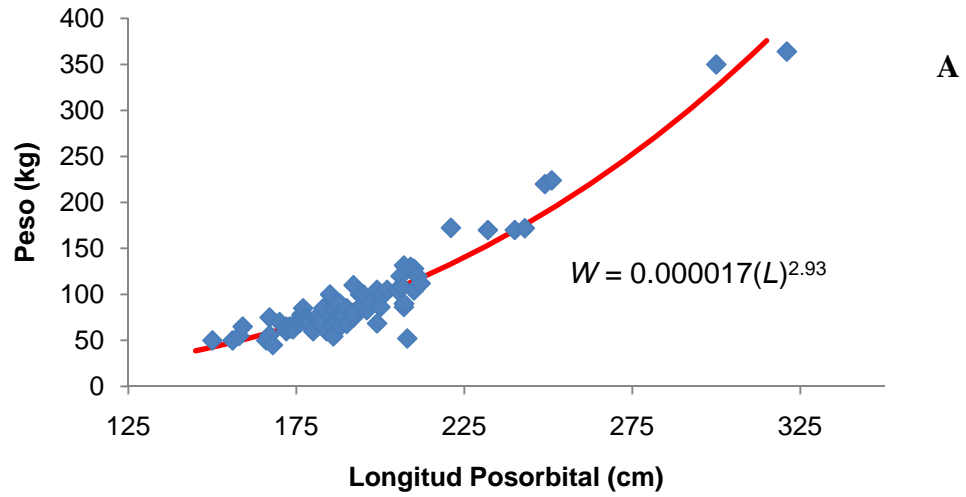


Figura 9. Relación peso-longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C).

## 6.5 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

En el seguimiento del porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos se observó durante 2005 un máximo de bordes opacos en el mes de agosto y un mínimo en enero; de manera inversa para los bordes hialinos, se encontró un máximo en enero y un mínimo en agosto. Durante 2006 se observó un máximo de bordes opacos en septiembre y un mínimo en enero-febrero; de manera inversa para los bordes hialinos, un máximo en enero-febrero y un mínimo en junio (Fig. 10). Estos resultados indican que la banda opaca termina de formarse en los meses de agosto-septiembre para dar lugar a la formación de la banda hialina en los últimos meses del año.

Al relacionar el porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos con la temperatura mensual promedio de la superficie del mar del área de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas durante el período de estudio (Fig. 10), se encontró que existe una relación estadísticamente significativa ( $r=0.72$ ,  $p=0.0024$ ). Sin embargo, también se encontró una relación significativa con la temperatura superficial del mar de dos de los tres sitios seleccionados para evaluar el efecto de esta variable en la formación de las marcas: aguas japonesas ( $r=0.96$ ,  $p=0.0000$ ) y domo de Costa Rica ( $r=0.79$ ,  $p=0.0004$ ), y no fue significativa con temperaturas de aguas hawaianas ( $r=0.43$ ,  $p=0.1082$ ). Las relaciones significativas sugieren que la formación de los bordes opacos ocurre en los meses en los cuales se registraron las temperaturas más altas, mientras que la formación de bordes hialinos tendría lugar en los meses con temperaturas bajas.

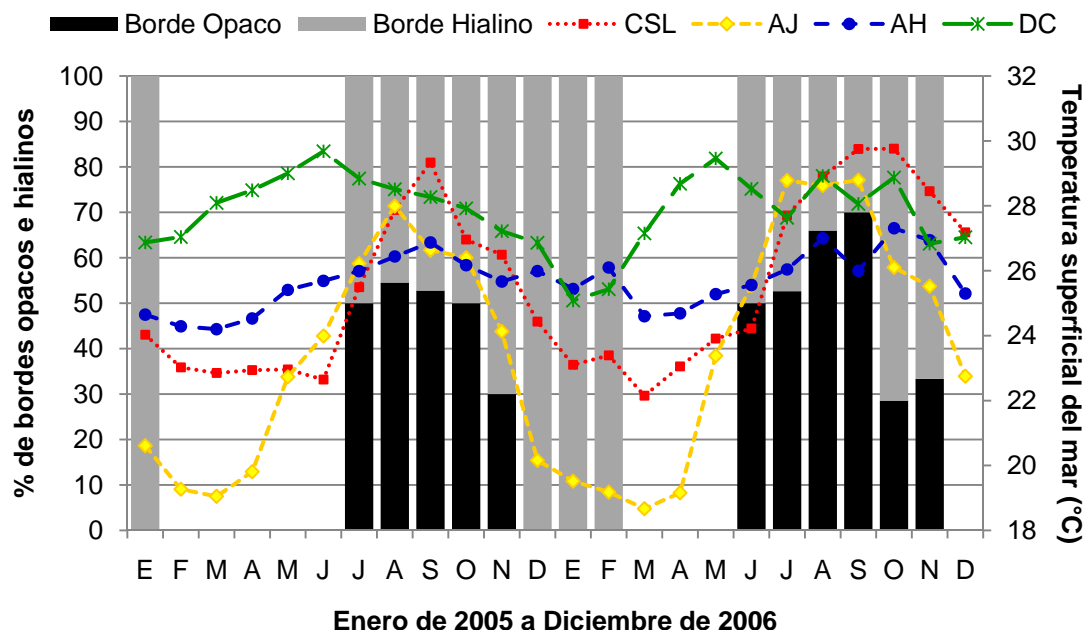


Figura 10. Comparación del porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul *Makaira nigricans* durante los años 2005 y 2006, con respecto a la variación mensual de la temperatura superficial del mar durante el mismo período en diferentes áreas en las que se distribuye la especie en el Pacífico. CSL, aguas en la vecindad de Cabo San Lucas; AJ, aguas japonesas; AH, aguas hawaianas; DC, aguas en el domo de Costa Rica.

Utilizando el índice de incremento marginal mensual se observó una tendencia similar en ambos años. En 2005 el incremento marginal promedio máximo se presentó en agosto y el promedio mínimo en enero, mientras que en 2006 el promedio máximo se presentó en septiembre y el promedio mínimo en enero (Fig. 11). El índice de incremento marginal promedio declinó después de agosto en 2005 y después de septiembre en 2006, aumentando posteriormente a partir de enero en ambos años, sugiriendo que el inicio de formación de un nuevo anillo tiene lugar en los primeros meses del año.

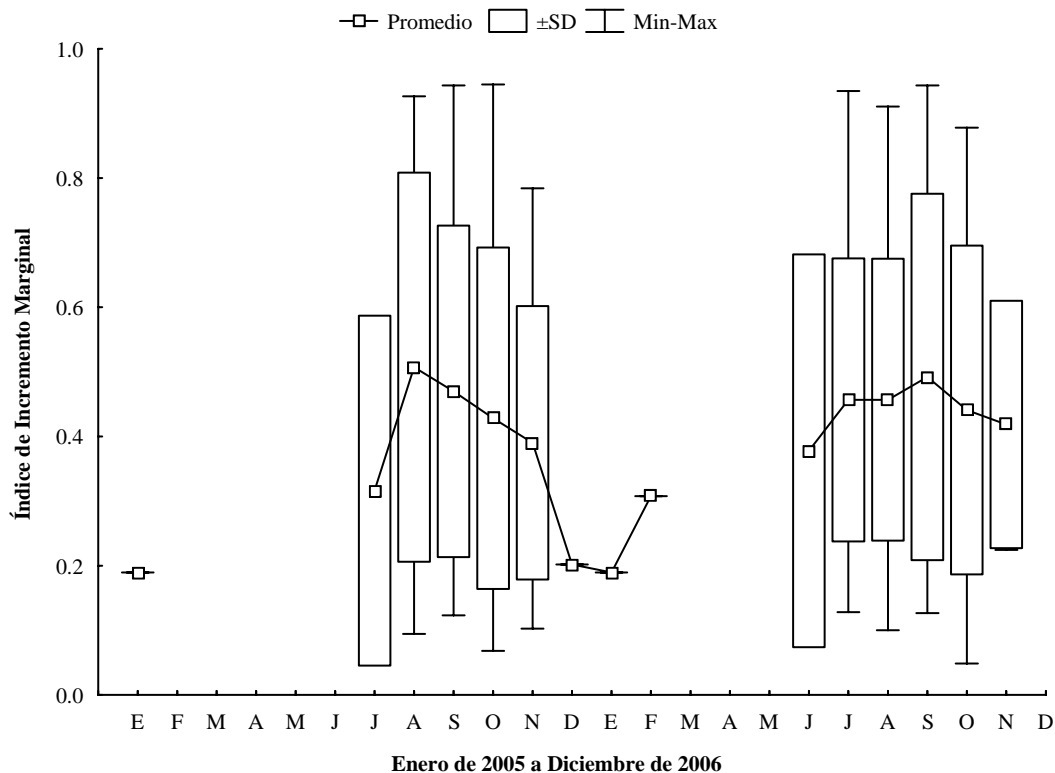


Figura 11. Variación mensual del promedio, desviación estándar, valor mínimo y máximo del índice de incremento marginal de la cuarta espina de la aleta dorsal de marlin azul *Makaira nigricans* durante los años 2005 y 2006.

Se encontró una relación positiva estadísticamente significativa ( $r=0.85$ ,  $p=0.0000$ ) entre el promedio mensual del índice de incremento marginal y la temperatura mensual promedio de la superficie del mar en el área de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas durante el período de estudio (Fig. 12). Los índices promedios máximos se presentaron en los meses en los cuales se registraron las temperaturas más altas y los promedios mínimos en los meses con las temperaturas más bajas. De forma similar se observó esta tendencia entre el índice de incremento marginal y la temperatura mensual promedio de la superficie del mar de los otros tres sitios seleccionados para evaluar su posible relación: aguas japonesas ( $r=0.89$ ,  $p=0.0000$ ), aguas hawaianas ( $r=0.65$ ,  $p=0.0075$ ) y domo de Costa Rica ( $r=0.65$ ,  $p=0.0077$ ).



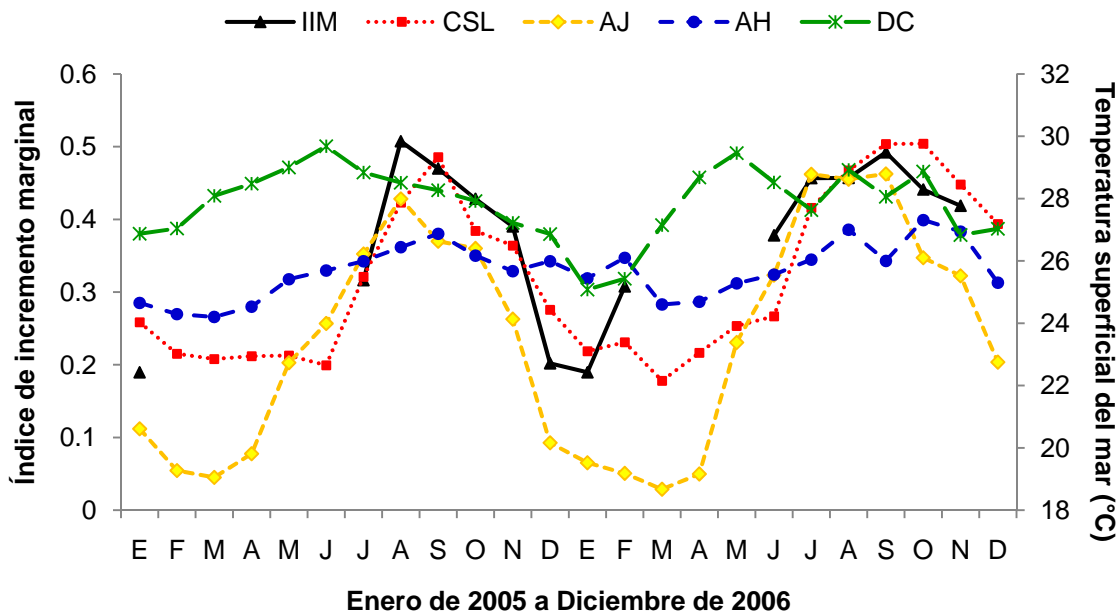


Figura 12. Comparación de la variación de los promedios mensuales del índice de incremento marginal (IIM) en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin azul *Makaira nigricans* durante los años 2005 y 2006, con respecto a la variación mensual de la temperatura superficial del mar durante el mismo período en diferentes áreas en las que se distribuye la especie en el Pacífico. CSL, aguas en la vecindad de Cabo San Lucas; AJ, aguas japonesas; AH, aguas hawaianas; DC, aguas en el domo de Costa Rica.

Aunque en ninguno de los dos métodos utilizados para inferir la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento se tiene un ciclo anual completo, la presencia de un máximo y un mínimo de bordes opacos e hialinos por año, al igual que de un máximo y un mínimo del promedio mensual del índice de incremento marginal por año, sugiere que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento es anual. Además, los picos máximos y mínimos tanto de bordes opacos como del incremento marginal se dan en los mismos meses para ambos años, con lo cual, ambos métodos para validar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento se complementan.

En la figura 13 se muestra la variación mensual del factor de condición de Fulton y del peso promedio de las hembras de marlin azul en dos años consecutivos (2005-2006), mientras que en la figura 14 se compara el factor de condición con la variación de la temperatura mensual promedio de la superficie del mar de diferentes

áreas en el mismo período. Durante 2005 el valor máximo del factor de condición fue en el mes de octubre y durante 2006 en el mes de septiembre. La relación entre los valores mensuales del factor de condición con la temperatura superficial promedio en el área de operación de la flota deportiva de Cabo San Lucas ( $r=0.71$ ,  $p=0.0085$ ) y con la temperatura de aguas japonesas ( $r=0.84$ ,  $p=0.0004$ ) fueron estadísticamente significativas pero no con las temperaturas promedio de aguas hawaianas ( $r=0.34$ ,  $p=0.2787$ ) ni con aquellas del domo de Costa Rica ( $r=0.55$ ,  $p=0.0634$ ). De forma general se observó que valores máximos del factor de condición se asocian a temperaturas altas y valores mínimos de este índice a temperaturas bajas.

De forma similar se encontró una relación estadística significativa entre el porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos y el factor de condición del marlin azul ( $r=0.79$ ,  $p=0.0020$ ). La ocurrencia máxima de bordes opacos se asocia a valores altos del factor de condición y la ocurrencia mínima de bordes opacos a valores bajos de este índice. Lo inverso se observa para los bordes hialinos: valores de factor de condición altos corresponden con la ocurrencia mínima de bordes hialinos y valores del factor de condición bajos con la ocurrencia máxima de bordes hialinos (Fig. 15a).

Así mismo, entre el promedio mensual del índice de incremento marginal y el factor de condición de los organismos se encontró una relación estadísticamente significativa ( $r=0.84$ ,  $p=0.0004$ ), donde los promedios máximos del índice de incremento marginal se asocian a valores altos del factor de condición y los promedios mínimos del índice se asocian con valores bajos del factor de condición (Fig. 15b).

La variación mensual de los pesos promedio mensuales tuvo un comportamiento similar al del factor de condición (Fig. 13), presentando este último relaciones significativas con el porcentaje mensual de bordes opacos e hialinos ( $r=0.59$ ,  $p=0.0466$ ) y con el promedio del índice de incremento marginal ( $r=0.61$ ,

$p=0.0332$ ), por lo que en secciones posteriores de este trabajo la discusión se centró solo en el comportamiento del factor de condición.

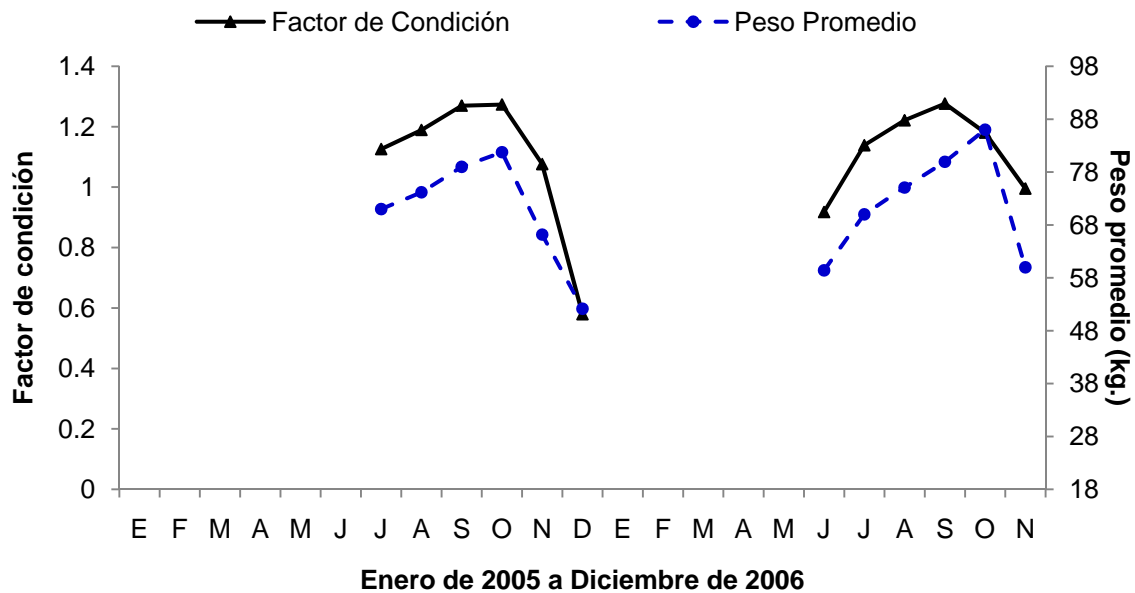


Figura 13. Variación mensual del factor de condición y del peso promedio de las hembras inmaduras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en las inmediaciones de Cabo San Lucas, B.C.S., durante los años 2005 y 2006.

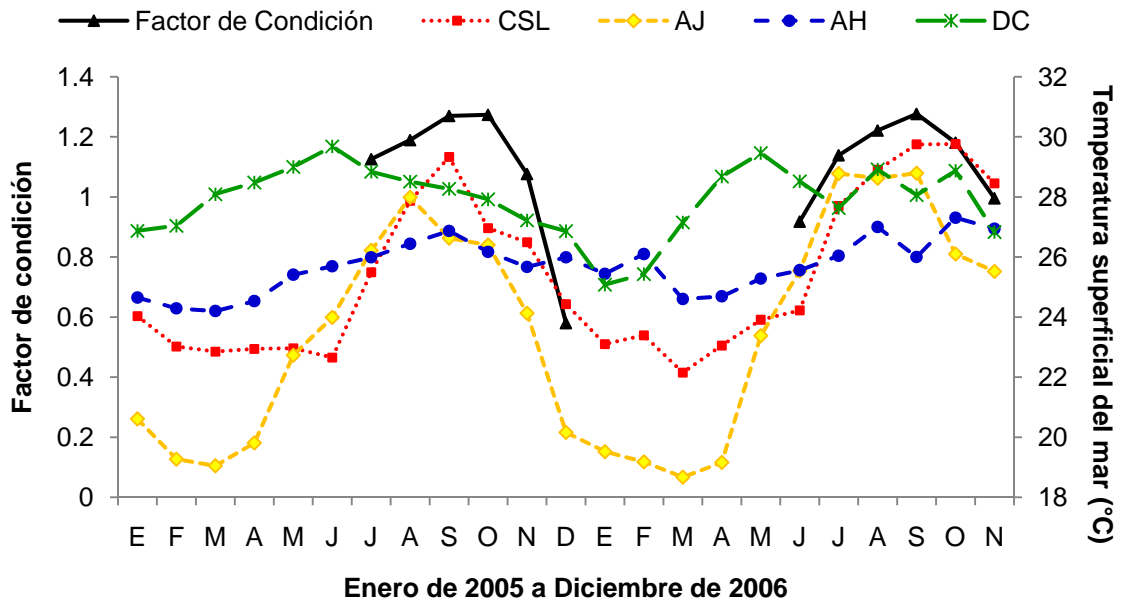


Figura 14. Comparación de la variación mensual del factor de condición de las hembras inmaduras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en las inmediaciones de Cabo San Lucas, B.C.S., durante los años 2005 y 2006, con respecto a la variación mensual de la temperatura superficial del mar durante el mismo período en diferentes áreas en las que se distribuye la especie en el Pacífico. CSL, aguas en la vecindad de Cabo San Lucas; AJ, aguas japonesas; AH, aguas hawaianas; DC, aguas en el domo de Costa Rica.

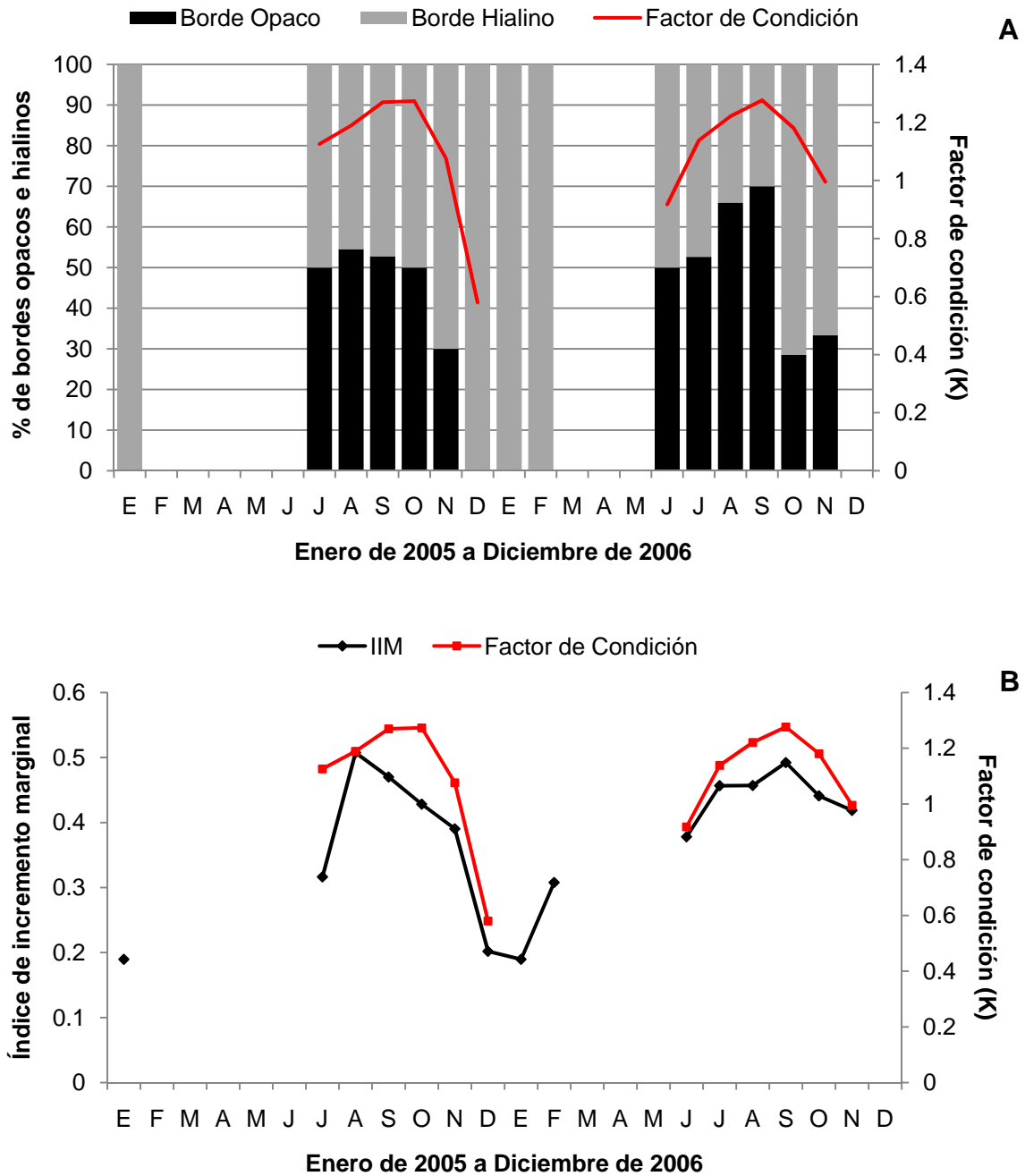


Figura 15. Comparación de la variación mensual del factor de condición de las hembras inmaduras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en las inmediaciones de Cabo San Lucas, B.C.S., durante los años 2005 y 2006, con respecto a: A) el porcentaje mensual de aparición de bordes opacos e hialinos en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal y B) serie de los promedios mensuales del índice de incremento marginal (IIM).

## 6.6 Estructura por edades

La flota de pesca deportiva que operó durante los años 2005 y 2006 en el área circundante a Cabo San Lucas incidió sobre 7 grupos de edad (1-6 y 8 en 2005, y 1-6 en 2006), siendo los grupos de edad 2 y 3 los más abundantes durante el período de estudio. Los grupos de edad 0 y 7 estuvieron ausentes en la captura y los grupos de edad mayores fueron escasos (Fig. 16). Los individuos de los grupos de edad más abundantes en la captura (2 y 3) representan el 74% del total de ejemplares muestreados y corresponden a los ejemplares encontrados en el intervalo de talla de 171 a 210 cm de longitud posorbital, que como se mencionó en la sección 6.1 son también los más abundantes. Al contrastar la composición por edades en las capturas de los años 2005 y 2006 se encontró que existe diferencia significativa entre éstas ( $X^2_{(6)} = 18.16, p > 0.05$ ).

La estructura por edades de la captura mensual (Fig. 17) muestra que el marlin azul en el área circundante a Cabo San Lucas está presente y se captura entre Junio y Febrero del año siguiente. En esta misma figura se observa que los individuos más jóvenes (edades 1, 2, 3, 4 y 5) se reclutan al área de influencia de la flota deportiva de Cabo San Lucas durante los meses de junio y julio. En los meses subsecuentes (agosto y septiembre) persiste la presencia de individuos de edades 1 a 5, pero además se reclutan al área individuos de mayor edad (6) y posteriormente durante octubre y noviembre los de edad 8. En la misma figura también se observa que durante los últimos meses en que se presenta la especie en el área (diciembre-febrero), no se registran individuos menores de 4 años. Es decir, los individuos jóvenes (edades 1, 2 y 3) son los primeros en llegar al área y los primeros en dejarla, y los individuos más viejos (edades 4, 5, 6 y 8) son los últimos en llegar y los últimos en retirarse. Durante los meses de marzo, abril y mayo la especie no está presente en el área.

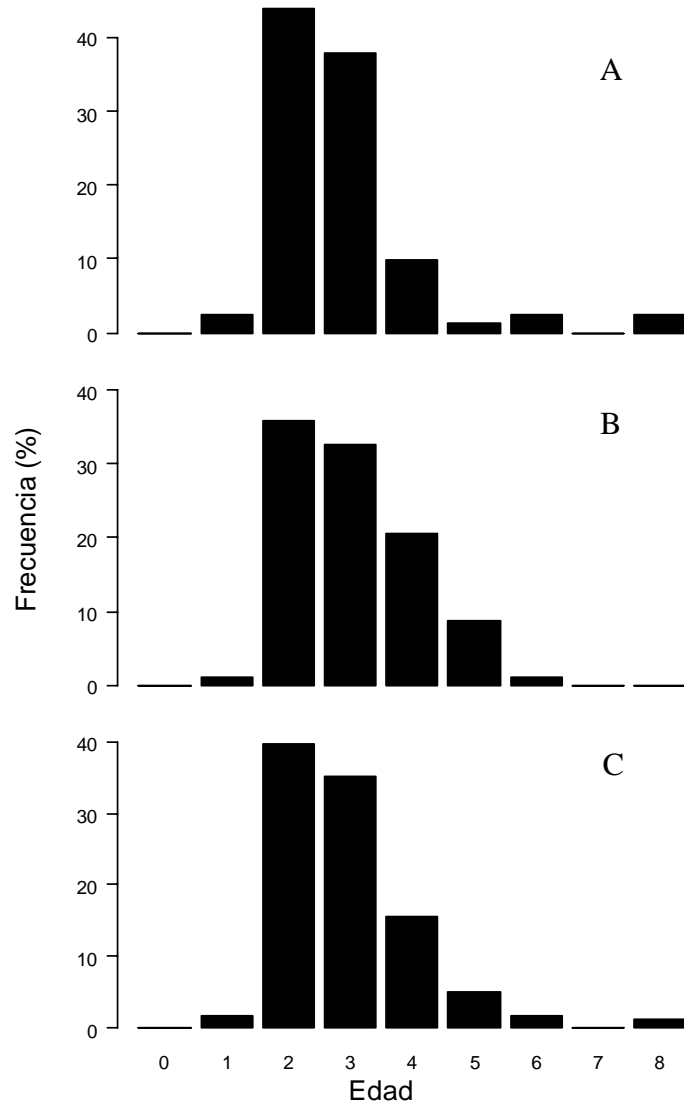


Figura 16. Composición por edades de la captura anual de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. durante los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C).

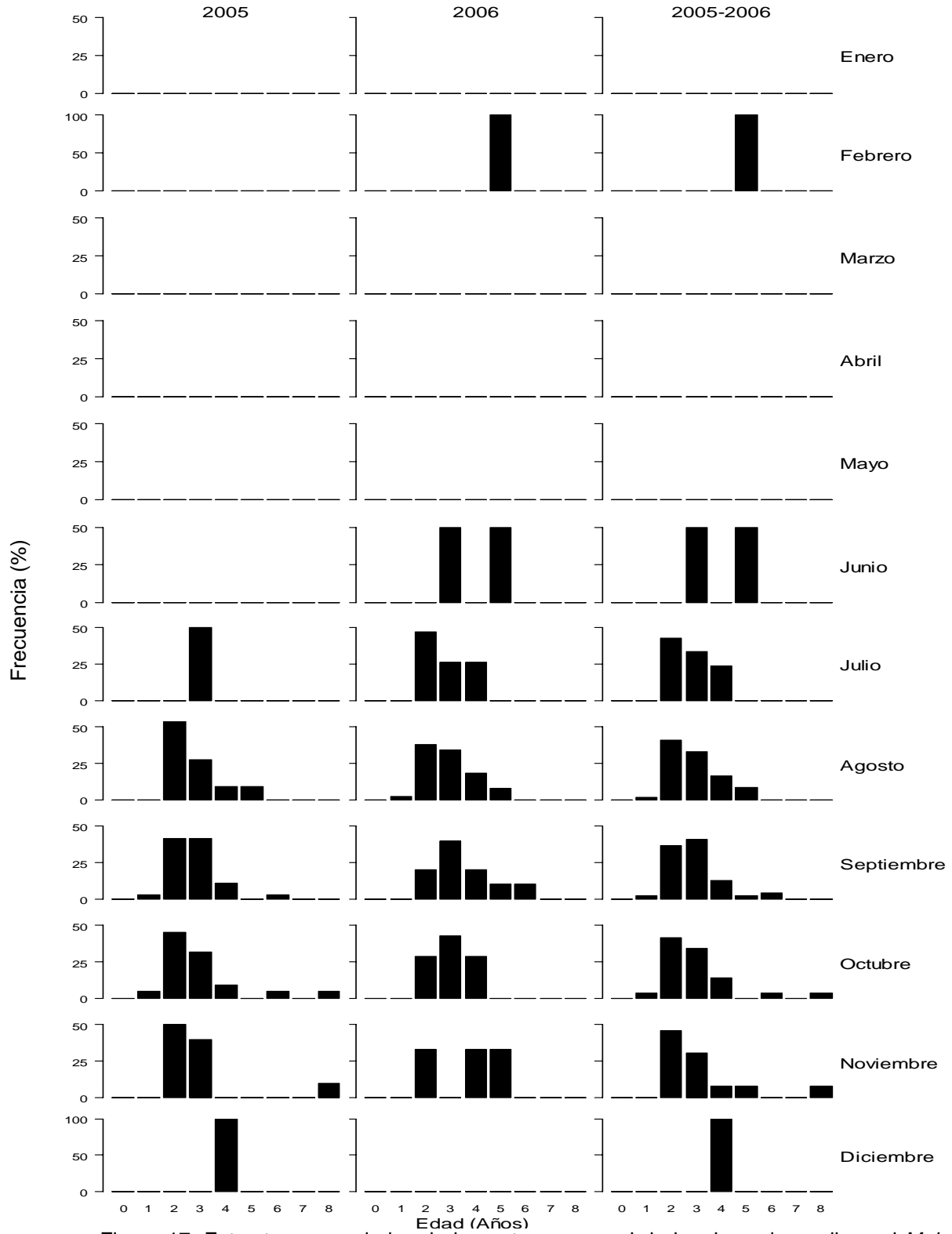


Figura 17. Estructura por edades de la captura mensual de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. durante los años 2005, 2006, y para el período 2005-2006.

## 6.7 Retrocálculo de longitudes

Con el retrocálculo, además de estimar longitudes inferiores a las de los peces que captura la flota deportiva, también fue posible obtener datos de longitudes de individuos no presentes en las muestras, como los de edad 7 (Fig. 18). Este procedimiento permitió por lo tanto, incrementar el tamaño de muestra en las edades cuya representatividad original era baja a partir de datos observados para propósito de la estimación de los parámetros de crecimiento (e.g. grupo de edad 1).

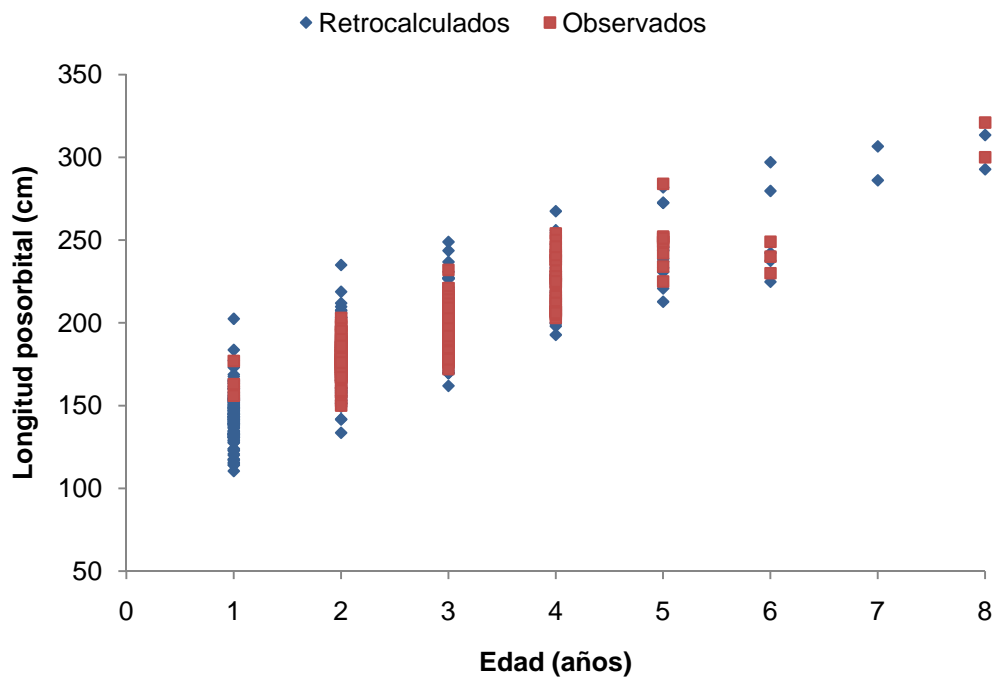


Figura 18. Longitudes observadas y retrocalculadas por grupo de edad en hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006.

## 6.8 Crecimiento individual en longitud

Para estimar los parámetros del modelo de von Bertalanffy que representan adecuadamente el crecimiento individual de las hembras de marlin azul, además de la longitud promedio del total de longitudes posorbitales de hembras de marlin azul (observadas y retrocalculadas) por grupo de edad, también se incluyó en el análisis



la longitud de la larva más pequeña de marlin azul reportada (0.29 cm, Ueyanagi y Yabe, 1959).

Con estos datos, los valores estimados de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para cada año y para todo el período de estudio se presentan en la tabla 2 y las curvas de crecimiento resultantes en la figura 19. Los parámetros estimados con otras consideraciones, así como las curvas de crecimiento resultantes se presentan en los anexos (11.3 a 11.6). Los resultados presentados en esta sección sugieren que el crecimiento del marlin azul es muy acelerado en los primeros años de su vida ya que alcanza alrededor del 55% (170 cm) y 70% (210 cm) de su longitud máxima promedio (posorbital en cm) a la edad de 2 y 3 años respectivamente (Tabla 3). El mayor crecimiento se registró en el primer año de vida, siendo de aproximadamente 90 cm/año, mientras que para el segundo y tercer año el crecimiento fue de alrededor de 60 y 40 cm/año. A partir de la edad 3 los incrementos de crecimiento se reducen sustancialmente.

Tabla 2. Valores de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para las hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006.

<b>Período</b>	<b><math>L_{\infty}</math></b>	<b><math>k</math></b>	<b><math>t_0</math></b>	<b><math>R^2</math></b>
<b>2005</b>	306.73	0.3601	-0.1811	0.9557
<b>2006</b>	297.97	0.3934	-0.1597	0.9522
<b>2005-2006</b>	299.66	0.3824	-0.1683	0.9514

Al comparar los parámetros de crecimiento estimados para los años 2005 y 2006, mediante la prueba  $T^2$  de Hotelling se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de los organismos [ $T^2$  (320.30) >  $T_0^2$  (11.46)]. Los 3 parámetros mostraron diferencias significativas, pero esta fue mayor para la tasa de crecimiento ( $k$ ). Al calcular las diferencias en la tasa de crecimiento (cm/año) entre grupos de edad entre 2005 y 2006, se encontró que la mayor diferencia ocurrió en el primer año de vida de los organismos (Tabla 4), etapa en la cual son más susceptibles a

variaciones de las condiciones ambientales. La mayor tasa de crecimiento se registró para el año 2006 (91.01 cm/año en el primer año de vida).

Tabla 3. Tasa de crecimiento relativo en longitud (cm/año) entre grupos de edad de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005, 2006 y para el período (2005-2006). La tasa de crecimiento relativo se obtuvo a partir de las diferencias entre grupos de edad de las longitudes posorbitales estimadas con su respectivo modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy.

Edad (años)	2005		2006		2005-2006	
	L estimada (cm)	Tasa de crecimiento (cm/año)	L estimada (cm)	Tasa de crecimiento (cm/año)	L estimada (cm)	Tasa de crecimiento (cm/año)
0	19.36	86.90	18.15	91.01	18.68	89.29
1	106.27	60.62	109.17	61.41	107.98	60.91
2	166.89	42.28	170.58	41.43	168.89	41.55
3	209.18	29.50	212.01	27.95	210.45	28.35
4	238.68	20.57	239.97	18.86	238.80	19.34
5	259.26	14.35	258.84	12.72	258.14	13.19
6	273.61	10.01	271.56	8.58	271.34	9.00
7	283.63	6.98	280.15	5.79	280.34	6.14
8	290.61		285.95		286.48	

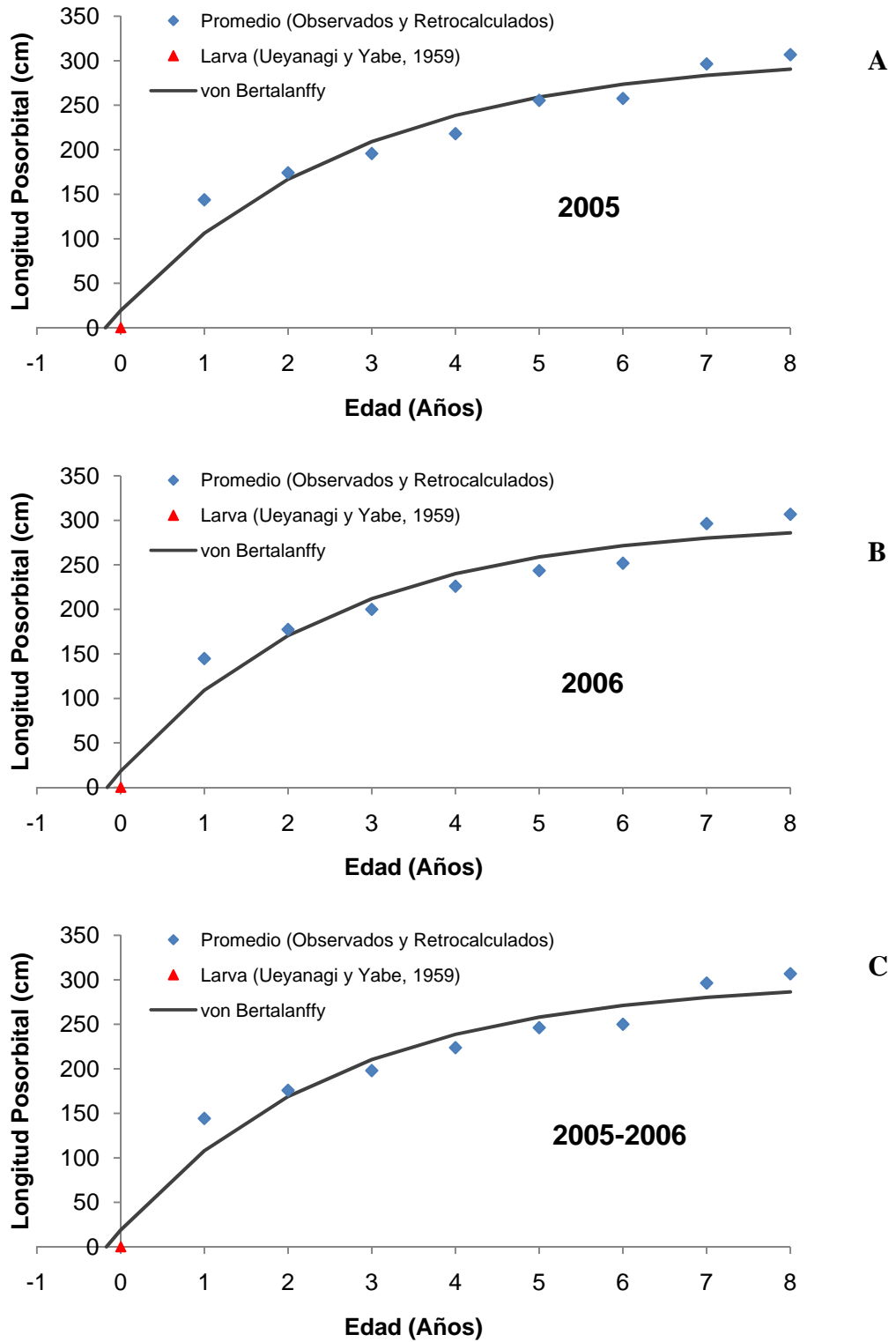


Figura 19. Curvas de crecimiento en longitud para las hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C).

Tabla 4. Comparación de las tasas de crecimiento relativo en longitud por grupo de edad entre los años 2005 y 2006.

Tasa de crecimiento (cm/año) entre edades			Diferencia en la tasa de crecimiento (cm) entre 2005 y 2006
Edad	2005	2006	
<b>0-1</b>	86.90	91.01	4.11
<b>1-2</b>	60.62	61.41	0.79
<b>2-3</b>	42.28	41.43	0.85
<b>3-4</b>	29.50	27.95	1.54
<b>4-5</b>	20.57	18.86	1.71
<b>5-6</b>	14.35	12.72	1.62
<b>6-7</b>	10.01	8.58	1.42
<b>7-8</b>	6.98	5.79	1.19

### 6.9 Crecimiento individual en peso

Los valores estimados de peso máximo promedio para cada año y para todo el período de estudio se presentan en la tabla 5 y las curvas de crecimiento en peso resultantes en la figura 20. Los pesos estimados para cada grupo de edad durante los años analizados (Tabla 6) sugieren que el crecimiento en peso del marlin azul es lento durante el primer año de vida, después del cual aumenta considerablemente y continúa a una tasa acelerada hasta los 6 años de edad. El mayor crecimiento relativo se registra entre los 3 y 5 años de edad, y disminuye a partir de los 6 años.

Tabla 5. Valores de peso máximo promedio ( $W_{\infty}$ ) calculados a partir de los valores de  $L_{\infty}$  indicados en Tabla 2, y de los parámetros  $a$  y  $b$  de la relación peso-longitud indicados en la Tabla 1.

Período	$W_{\infty}$
<b>2005</b>	328.58
<b>2006</b>	331.95
<b>2005-2006</b>	325.59

Tabla 6. Tasas de crecimiento relativo en peso (kg/año) entre grupos de edad de hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. La tasa de crecimiento relativo se obtuvo a partir de las diferencias entre grupos de edad de los pesos estimados con su respectivo modelo de crecimiento en peso de von Bertalanffy.

Edad (años)	2005		2006		2005-2006	
	Peso estimado (kg)	Tasa de crecimiento (kg/año)	Peso estimado (kg)	Tasa de crecimiento (kg/año)	Peso estimado (kg)	Tasa de crecimiento (kg/año)
<b>0</b>	0.1003		0.0452		0.0788	
		14.61		13.57		15.15
<b>1</b>	14.71		13.62		15.22	
		40.50		42.69		43.05
<b>2</b>	55.22		56.31		58.28	
		51.81		56.13		54.48
<b>3</b>	107.033		112.45		112.76	
		50.51		54.29		51.99
<b>4</b>	157.54		166.75		164.75	
		43.20		45.37		43.366
<b>5</b>	200.75		212.12		208.12	
		34.34		34.99		33.57
<b>6</b>	235.09		247.11		241.70	
		26.11		25.72		24.86
<b>7</b>	261.21		272.84		266.56	
		19.30		18.35		17.90
<b>8</b>	280.51		291.20		284.47	

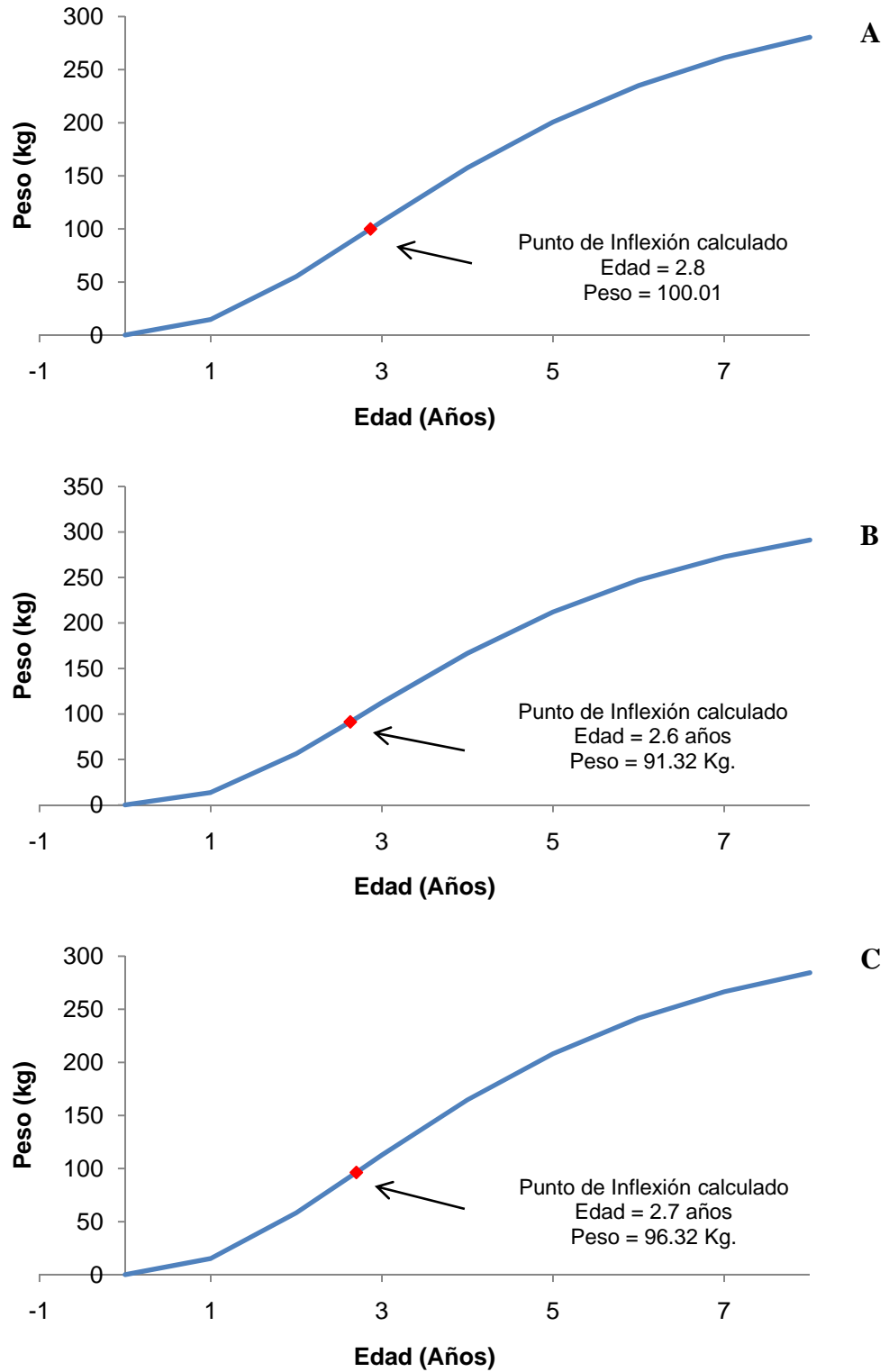


Figura 20. Curvas de crecimiento en peso para las hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C).

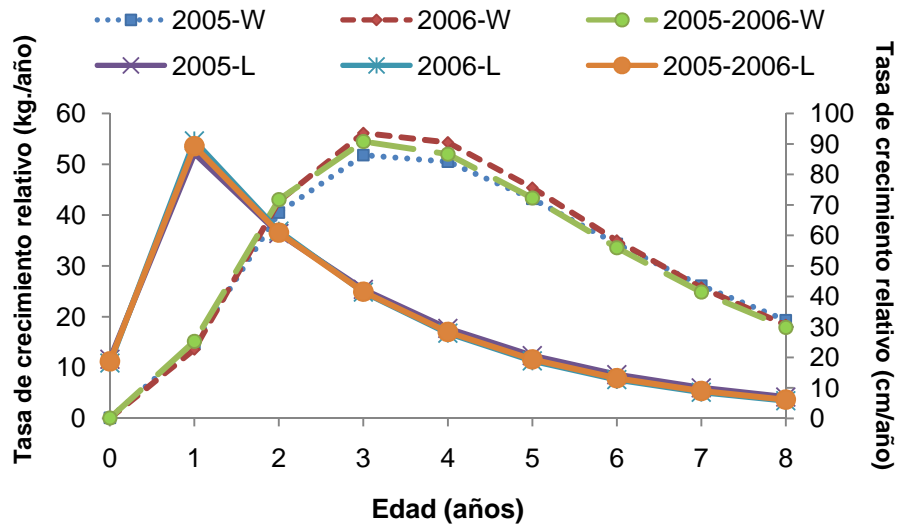


Figura 21. Tasa de crecimiento relativo en peso (kg/año) y en longitud (cm/año) para las hembras de marlin azul *Makaira nigricans* desembarcadas en Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006.

## 7. DISCUSION

### 7.1 Muestreo

El mayor número de muestras para este estudio se obtuvo durante los meses más cálidos de ambos años. Un patrón similar fue reportado previamente por Ortega-García *et al.* (2006) para los años de 1990 a 2002 en la misma área de estudio. Estos autores mostraron que las tasas de captura durante verano y otoño se incrementan en relación con la temperatura superficial del mar, por lo que sugirieron la preferencia del marlin azul por aguas cálidas.

En otras áreas del Pacífico también se han reportado capturas estacionales de marlin azul. Hopper (1990) reportó un cambio estacional en el número y composición de tallas de la captura de marlin azul en aguas hawaianas, con capturas altas en verano dominadas típicamente por machos maduros que se caracterizan por ser de tamaño más pequeño que las hembras, capturas escasas en otoño con pobre representación de las clases de talla, y capturas escasas en primavera dominadas por peces grandes. Strasburg (1970) también reporta estacionalidad en las descargas de marlin azul en Hawái, con las capturas más altas en el verano y las más bajas en el invierno. Skillman (1989) y Nakamura (1985) reportaron que el stock de marlin azul en el Pacífico muestra un patrón de migración estacional norte-sur, el cual corresponde cercanamente al desplazamiento estacional de la isoterma de 24 °C de la superficie oceánica. Esta migración estacional acarrea a un gran número de individuos de marlin azul dentro de aguas hawaianas durante los meses de verano, lo que coadyuva a un incremento en las descargas comerciales y recreacionales con máximos durante julio y agosto (Mitsuyasu, 1992).

Diferencias en el comportamiento migratorio de machos y hembras de marlin azul ha sido propuesto por Nakamura (1949) y Nakamura *et al.* (1953) para explicar la aparición estacional distinta en las áreas de pesca. Howard y Ueyanagi (1965) sugirieron una migración diferencial por sexo, con los machos migrando más activamente que las hembras. Royce (1957) señaló que al norte del área ecuatorial la



ocurrencia estacional de marlin azul sugiere un movimiento de verano hacia el norte seguida por un regreso al sur al final del otoño.

Durante los muestreos realizados en cabo San Lucas, se encontraron solamente hembras, lo cual sugiere que el marlin azul pudiera encontrarse segregado sexualmente. Este comportamiento ha sido reportado anteriormente para el marlin azul en otras áreas del Pacífico (Strasburg, 1970). Hopper (1990) encontró en aguas hawaianas un número mayor de machos que de hembras (proporción de 7:1) durante la época reproductiva en los meses de verano, en tanto que durante la misma época en el área de Cabo San Lucas las capturas que se registran están compuestas mayormente por hembras sexualmente inmaduras (Ortega-García *et al.*, 2006). Sobre la base de esos reportes y la aceptación de que el área de reproducción del marlin azul en el Pacífico ocurre solo en aguas del Pacífico occidental (Nakamura, 1985), pudiera sugerirse que la ausencia de machos y de hembras maduras alrededor de la punta de la península se debe a que estos posiblemente estén migrando hacia el área de reproducción en el Pacífico occidental, por lo que las hembras capturadas cerca de la punta de la península no migran al área de reproducción porque no están sexualmente maduras. Cyr *et al.* (1990) sugirieron que las hembras inmaduras no son frecuentes en las áreas de desove ya que estas generalmente migran hacia áreas donde el desove no ocurre. Por su parte, Abitia-Cárdenas (1992) reportó que la ocurrencia del marlin azul en el área de Cabo San Lucas, B.C.S., no está asociada a procesos reproductivos, por lo que sugiere que la presencia de la especie en la zona podría estar relacionada a factores alimenticios y medioambientales.

La presencia de individuos de tallas menores a 170 cm de longitud posorbital en las descargas fue escasa y no se encontraron individuos menores a 150 cm. Esto puede explicarse por el hecho de que las muestras provienen de las capturas obtenidas por la flota deportiva, la cual dirige su esfuerzo sobre organismos de tallas grandes, por lo que la obtención de muestras de individuos pequeños rara vez puede llevarse a cabo. Los individuos de tallas superiores a 250 cm de longitud posorbital

también fueron escasos. Lo cual puede ser debido a que los organismos capturados por la flota deportiva de Cabo San Lucas son hembras inmaduras en su mayoría jóvenes y por ende de tallas pequeñas, mientras que los organismos adultos maduros que son los de mayor tamaño migran hacia el área de reproducción de la especie en el Pacífico occidental (Nakamura, 1985) por lo que su disponibilidad es baja en el área de estudio.

## **7.2 Relación radio de la espina – longitud posorbital**

Una suposición básica para la estimación de la edad es que el crecimiento de la estructura utilizada es proporcional al crecimiento del animal (Bagenal, 1974). En este trabajo se encontró esta proporcionalidad de crecimiento entre el radio de la cuarta espina de la aleta dorsal y la longitud posorbital de los organismos, reflejada en la tendencia lineal positiva que resulta al relacionar estas variables (Fig. 8) y el alto coeficiente de determinación encontrado ( $R^2=0.853$ ), por lo que se considera que es confiable utilizar esta estructura para la estimación de la edad y de los parámetros de crecimiento individual, y retrocálculo de longitudes en el marlin azul.

De forma similar, en otros estudios donde se estimó la edad del marlin azul se ha encontrado una relación lineal entre el crecimiento de la estructura utilizada para la determinación de edad y la longitud de los organismos. Hill *et al.* (1989) observaron que el crecimiento tanto de vertebras, otolitos y espinas de la aleta anal y dorsal, es en alguna medida, proporcional al crecimiento en longitud o en peso de los animales. Además, estos autores reportaron que el número de marcas de crecimiento se incrementa con el crecimiento de cada estructura, proveyendo soporte para su empleo en los estudios de estimación de edad. Prince *et al.* (1984) encontraron una alta relación positiva entre la longitud mandíbulo-furcal del marlin azul y el tamaño de la estructura dura (radio de la espina dorsal y peso del otolito), y entre la longitud mandíbulo-furcal y el número de bandas de crecimiento en espinas y otolitos, sugiriendo que estos datos justifican en general el uso de estas estructuras duras como una fuente de información sobre la edad y el crecimiento. Además mencionan que las espinas pueden ser la mejor estructura para utilizarse en el

retrocálculo de longitudes comparándolas con los otolitos. En otras especies de picudos también se ha reportado una relación lineal entre el radio de cortes transversales de espinas dorsales y la longitud de los organismos: pez vela (Jolley, 1974; Alvarado-Castillo y Félix-Uraga, 1998; Felizola-Freire *et al.*, 1999; Chiang *et al.*, 2004; Ramírez-Pérez, 2005), marlin rayado (Yatomi, 1990; Melo-Barrera *et al.*, 2003), marlin blanco (Prince *et al.*, 1984) y pez espada (Sun *et al.*, 2002).

### 7.3 Conteo de marcas de crecimiento

Las marcas de crecimiento fueron notoriamente perceptibles en los cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal utilizados en este estudio. Tanto las bandas opacas como las hialinas se observaron y distinguieron claramente por lo que el conteo de las mismas fue relativamente fácil, lo cual fue evidenciado al no encontrar diferencias estadísticamente significativas ( $X^2_{(7)} = 2.99, p > 0.05$ ) entre los conteos efectuados de manera independiente por dos lectores, reflejando consistencia en lo observado. De manera general, las bandas opacas son más anchas que las bandas hialinas y conforme se incrementa el número de marcas en los cortes, el ancho de cada banda disminuye. En ocasiones se encontraron marcas falsas, las cuales fueron detectadas fácilmente debido a que eran muy difusas y no formaban un anillo completo alrededor del foco en los cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal.

En algunos cortes se observaron bandas dobles o triples, pero fueron consideradas como una sola marca de crecimiento durante el conteo ya que todas las bandas en esos cortes presentaban la misma característica. Este patrón de marcas dobles o triples ha sido observado en otros peces de pico como el pez vela (Hedgepet y Jolley, 1983; Alvarado-Castillo y Félix-Uraga, 1998; Chiang *et al.*, 2004; Ramírez-Perez, 2005), el marlin rayado (Melo-Barrera *et al.*, 2003; Davie y Hall, 1990) y el pez espada (Berkeley y Houde, 1983; Tserpes y Tsimenides, 1995).

La mayor dificultad relativa para contar las marcas de crecimiento en los cortes de espina de marlin azul fue debida a la presencia de una matriz

vascularizada en el núcleo de los cortes, la que tiende a oscurecer las primeras marcas, principalmente en peces viejos. Este oscurecimiento o enmascaramiento de marcas de crecimiento por la matriz vascularizada es frecuentemente reportado en otros peces de pico cuando se utilizan espinas de la aleta anal o dorsal para la determinación de edad (Prince *et al.*, 1984, 1986, 1987; Yatomi, 1990; Alvarado-Castillo y Félix-Urga, 1998; Ramírez-Pérez, 2005).

Hill *et al.* (1989) propusieron un método estadístico para reemplazar las marcas de crecimiento que tienden a destruirse por la expansión de la matriz vascularizada en las espinas de las aletas dorsal y anal de organismos viejos. El método se basa en utilizar las mediciones de los radios de las marcas de crecimiento realizados en cortes de espina de organismos jóvenes en los cuales las primeras marcas fueron visibles. A pesar de que en los cortes utilizados para la estimación de edad del presente trabajo también se observó la matriz vascularizada, no fue necesario utilizar este método para reemplazar marcas de crecimiento debido a que la matriz vascularizada abarcaba solo una pequeña porción del núcleo de los cortes, por lo cual, se consideró que las primeras marcas de crecimiento no fueron destruidas y pudieron contarse.

#### **7.4 Relación peso-longitud**

Bagenal y Tesch (1978) sugirieron que cuando el valor de  $b$  se encuentra entre 2.8 y 3.2 el crecimiento de los organismos es isométrico, es decir, que crecen proporcionalmente tanto en talla como en peso manteniendo la forma durante todo su desarrollo. En el presente trabajo, tanto para cada año por separado (2005 y 2006), como para todo el período de estudio se estimaron valores de  $b$  dentro de este intervalo (2.93, 3.18 y 3 respectivamente), sugiriendo que las hembras de marlín azul capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. presentan un crecimiento de tipo isométrico. Sin embargo, Ortega-García *et al.* (2006) reportaron un crecimiento alométrico negativo ( $b = 2.678$ ) para hembras capturadas en la misma área durante el período 1990-2002, señalando que observaron una variación

interanual significativa de este coeficiente. Las diferencias en las estimaciones de  $b$  entre ambos estudios pueden tener dos posibles explicaciones. Una, que apoyaría la perspectiva reportada por Ortega-García *et al.* (2006), relacionada con la variabilidad interanual de  $b$ , ya que si bien los análisis corresponden a peces capturados en la misma área de estudio, los coeficientes pudieran representar la condición de la especie en períodos cuyas características ambientales la afectaron de forma diferente, de ahí que las estimaciones son diferentes. La segunda posible explicación es que si bien los intervalos de tallas analizados son similares, las longitudes medias de los organismos en cada estudio son diferentes, lo cual en la opinión de Cone (1989) ocasiona estimaciones de  $b$  diferentes.

Para individuos de marlin azul capturados en aguas hawaianas durante 1980-1981, Wilson *et al.* (1991) reportaron para hembras un crecimiento de tipo alométrico positivo ( $b=3.81$ ), sin existir diferencias significativas de las relaciones peso-longitud entre machos y hembras, contrario a la diferencia que encontraron en el Atlántico. Para esta última región, los mismos autores reportaron para las hembras capturadas durante el período 1981-1984 un valor de  $b=3.17$ , que es similar al estimado en el presente estudio. También Prince *et al.* (1991) reportaron diferencias significativas en la relación peso-longitud entre machos y hembras de marlin azul del Atlántico capturado en el período 1980-1983, con un valor de  $b=3.27$  para las hembras.

Como ya se mencionó, si bien las distintas estimaciones de  $b$  pudieran reflejar las condiciones diferenciales de los organismos que provenían de áreas y períodos diferentes, también pueden ser consecuencia de que los análisis de la relación peso-longitud pueden realizarse mediante una amplia variedad de procedimientos estadísticos, estimando los parámetros por individuo o a partir de toda la muestra (Bolger y Connolly, 1989), o bien puedan deberse a variaciones asociadas al sexo, al intervalo de tallas analizado, a la longitud media de la muestra, a los grupos de edad analizados, a la época del año, entre otros factores (Cone, 1989). Aspectos que no siempre son reportados y por lo mismo difícilmente considerados para poder explicar las diferencias del factor de condición.

## 7.5 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Tanto el análisis del porcentaje mensual de bordes opacos e hialinos como el del incremento marginal sugieren que la periodicidad de formación de marcas de crecimiento en el marlin azul es anual y está relacionada con la temperatura superficial del mar.

Adicionalmente, es ampliamente aceptado que el factor de condición expresa la condición física de los organismos (e.g. Le Cren, 1951), por lo que valores altos de este índice indicarían que los organismos se encuentran bajo condiciones de crecimiento favorables. Por lo contrario, valores bajos indicarían que los organismos se encuentran en condiciones poco favorables que limitan su crecimiento.

En este trabajo se observó que durante los meses cálidos se presentaron los valores más altos de porcentaje de bordes opacos, así como los valores más altos del factor de condición, indicando que ocurrieron condiciones favorables para el crecimiento de estos peces. Así mismo, durante los meses fríos se presentaron los valores más altos de porcentaje de bordes hialinos, indicando que ocurrió una disminución en la tasa de crecimiento de los individuos.

Aparentemente, durante los meses en que ocurrieron las condiciones cálidas el crecimiento de estos peces fue favorecido viéndose reflejado en la formación de bandas opacas anchas. Por el contrario, durante los meses fríos el crecimiento fue menor, lo cual produjo una banda angosta hialina durante ese período. La 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 en otras especies que se capturan en aguas circundantes a la península de Baja California (Melo-Barrera *et al.*, 2003; Alvarado-Castillo y Félix-Uraga, 1998; Downton-Hoffmann, 2001).

Considerando que la información analizada para la estimación mensual del factor de condición corresponde a hembras inmaduras (Ortega-García *et al.*, 2006), se tiene la certeza de que el peso de las gónadas no influyó en la variación mensual del factor de condición a lo largo del período de estudio, por lo que su variación estaría relacionada más con cambios en el crecimiento corporal y no con cambios debidos a procesos reproductivos.

Los resultados del porcentaje mensual de bordes opacos e hialinos y el análisis del incremento marginal son complementarios. El análisis del incremento marginal sugiere que la formación de una marca de crecimiento se inicia a principios del año con la banda opaca, la cual terminaría de formarse completamente en agosto-septiembre según los resultados del porcentaje de aparición mensual de bordes, dando inicio a la formación de la banda hialina en octubre, la que posiblemente terminaría de formarse al inicio del siguiente año.

Considerando que el marlin azul es una especie altamente migratoria que presenta un amplio rango de distribución geográfica y que ocurre estacionalmente en las cercanías de Cabo San Lucas, al haber analizado la relación entre la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento obtenida por ambos métodos y la temperatura superficial del mar de sitios diferentes de donde los organismos fueron capturados (Fig. 5), se mostró que en la mayoría de los casos existe una relación estadísticamente significativa, por lo que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento pudiera encontrarse relacionada con la variación estacional de la temperatura no solo del área donde fueron capturados los organismos, sino del área que abarca su rango de distribución.

La periodicidad de formación de las marcas anuales de crecimiento de marlin azul no había sido validada con anterioridad. Prince *et al.* (1991) validaron la formación de marcas diarias en otolitos del marlin azul del Atlántico a través del retrocálculo de la fecha de desove. Los autores de ese trabajo mencionan que el análisis de marcas diarias en los otolitos no puede ser aplicado a organismos

mayores a 1.4 años o 212 cm de longitud debido a la dificultad para discriminar incrementos en los otolitos menores a una micra por limitaciones técnicas de microscopía. En el presente estudio a pesar de que no se tiene representado un ciclo anual completo para validar la periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento, se encontró evidencia de que esta es anual y que se encuentra relacionada con la temperatura superficial del mar.

## **7.6 Estructura por edades**

En este estudio, previa validación de las marcas de crecimiento, las edades estimadas para las hembras de marlin azul fueron de 1 a 8 años, siendo las hembras de 2 y 3 años las más abundantes, mientras que las de mayor edad fueron escasas (Fig. 16).

A continuación se mencionan los estudios realizados por otros autores para la estimación de edad del marlín azul. Como se mencionó anteriormente, a excepción del estudio realizado para juveniles del Atlántico (Prince *et al.*, 1991) las estimaciones previas de edad para el marlin azul no fueron validadas. También es necesario señalar anticipadamente que en algunos de los estudios las estimaciones se realizaron utilizando diferentes métodos y diferentes estructuras dadas a las utilizadas en este trabajo. Para facilitar la comparación la información se resume en la tabla 7.

Hill *et al.* (1990) reportaron haber realizado estimaciones preliminares de edad señalando que los machos de marlin azul del Pacífico tienen una longevidad de al menos 18 años y las hembras de al menos 27 años. No obstante, estos autores reportaron que el macho y la hembra más viejos que encontraron fueron de 18 y 22 años de edad respectivamente. Mediante el análisis de frecuencia de tallas de marlin azul del Pacífico Skillman y Yong (1976) estimaron edades de 1 a 5 años en machos y de 1 a 8 años en hembras, señalando que los individuos de las edades 1 a 3 fueron escasos.



Para el marlin azul del Atlántico Prince *et al.* (1984) reportaron de 1 a 12 marcas de crecimiento en machos y de 3 a 21 marcas de crecimiento en hembras mediante el conteo de presumibles marcas anuales en otolitos y espinas de la aleta dorsal. En contraste, McGowan *et al.* (1987) estimó edades de 2 a 10 años usando espinas dorsales. Por su parte Prince *et al.* (1991) estimaron edades de 21 a 495 días (1.4 años) sobre la base de contar marcas diarias en otolitos de juveniles, adultos jóvenes y adultos maduros, haciendo notar que sus datos sólo cubren la fase inicial de crecimiento de los adultos.

En un estudio comparativo del marlin azul del Atlántico y del Pacífico realizado por Wilson *et al.* (1991), estimaron edades de 1 a 19 años en machos y de 2 a 17 años en hembras del Atlántico, mientras que en el marlin azul del Pacífico reportaron edades de 2 a 17 años en machos y de 3 a 21 años en hembras. Concluyeron que el 53% del marlin azul del Pacífico tuvo edades estimadas de 5 años o menores y que la abundancia de los grupos de edad mayor disminuía por la mortalidad natural y por mortalidad por pesca. También mencionaron que no sería sorprendente encontrar hembras excediendo los 30 años de edad.

Para el marlin azul del Océano Índico Cyr *et al.* (1990) reportaron machos y hembras de 0 a 24 años de edad, las hembras de 9 a 12 años dominaron la captura, mientras que los machos de 3 a 12 años fueron los más abundantes.

Aunado a que no se han validado las estimaciones de la edad del marlin azul, es recomendable verificar la consistencia en el número de marcas en dos estructuras duras diferentes del mismo pez (Wilson *et al.*, 1983). Otro aspecto importante que señalar es que los distintos estudios de edad reportados para la especie se llevaron a cabo en diferentes regiones oceanográficas y períodos de tiempo (Tabla 7) con condiciones oceánicas-climatológicas distintas (e.g. Bigg, 2003) y donde las diferentes actividades pesqueras ha variado en el transcurso del tiempo<sup>4</sup>. La respuesta de las poblaciones de peces a las variaciones del clima oceánico (e.g.

---

<sup>4</sup> <http://www.fao.org>

Stenseth *et al.*, 2004) aunado al efecto que la pesca ejerce son factores que influyen en la estructura de las poblaciones, por lo que intentar explicar las diferencias en la estructura por edades encontrada en este trabajo con las reportadas por otros autores pudiera ser especulativo. Sin embargo, considerando la coincidencia reportada en trabajos previos utilizando estructuras duras para estimar la edad (Tabla 7) y sobre la base de los resultados de este estudio, se puede observar de forma general que en el área de Cabo San Lucas se capturan organismos jóvenes, sexualmente inmaduros (Ortega-García *et al.* 2006), mientras que en el área de reproducción de la especie en el Pacífico Occidental (Nakamura, 1985), particularmente en Hawái, se capturan organismos sexualmente maduros (Hopper, 1990) y de edades mayores a las encontradas en el área de Cabo San Lucas.

Para el Pacífico mexicano no existen estudios de edad del marlín azul anteriores a este trabajo, los resultados aquí presentados sienta las bases para que de continuar con los estudios de edad en esta especie en años posteriores, se pueda evaluar cómo afecta la variación del clima oceánico y la pesca que se realiza en esta región en la demografía de la especie.

## **7.7 Retrocálculo de longitudes**

Cuando se estiman los parámetros del modelo de crecimiento individual utilizando datos de longitud por edad obtenidos de las capturas provenientes de la pesca deportiva, es frecuente sobreestimar la longitud de los primeros grupos de edad, debido a que este tipo de pesca está dirigida a capturar organismos de tallas grandes y por lo mismo ejemplares de tallas pequeñas son escasos o están completamente ausentes.

Tabla 7. Estimaciones de edad y parámetros de crecimiento para el marlin azul *Makaira nigricans* del Pacífico y del Atlántico reportadas en la literatura por área y período de estudio, sistema de muestro y método de estimación. Edad Min-Max, Edad mínima y máxima reportada; Predominantes, edades predominantes en el estudio.

Autor(es)	Área de estudio	Período de estudio	Procedencia de las muestras	Método	Parámetros estimados	Machos	Hembras	Ambos Sexos
Skillman y Yong, 1976	Hawái	1960-1970	Pesca palangrera	Análisis de frecuencias de tallas (2 variantes)	$L_{\infty}$	368; 298.8	626.6; 540	-
					$k$	0.31; 0.56	0.12; 0.17	-
					$t_0$	0.39; 0.39	-0.2; -0.2	-
					Edad Min-Max	1-5	1-8	-
					Predominantes	2-3	4-5	-
Hill <i>et al.</i> , 1990	Hawái	1982-1984	Torneos de pesca deportiva	Otolitos, vertebras, espinas dorsales y anales	Edad Min-Max	1-18	1-22	-
					Predominantes	-	-	-
Mitsuyasu, 1992	Hawái	-	-	-	$L_{\infty}$	276	505	-
					$k$	0.28	0.18	-
					$t_0$	0.10	-0.16	-
Wilson <i>et al.</i> , 1991	Pacífico: Hawái	1980-1981	Pesca comercial y deportiva	Otolitos	Edad Min-Max	2-17	3-21	1-14
	Atlántico: Golfo de México, Bahamas y Puerto Rico	1981-1984	Pesca comercial y pesca deportiva	Otolitos	Predominantes	2-9	3-9	1-4
					Edad Min-Max	1-19	2-17	3
					Predominantes	1-5	2-8	3
Prince <i>et al.</i> , 1984	Oeste del Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México	1980-1983	Taxidermistas y torneos de pesca deportiva	Otolitos y espinas dorsales	Edad Min-Max	1-12	3-21	-
					Predominantes	9-10	10-14	-
Prince <i>et al.</i> , 1991	Oeste del Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México	1980-1983	Taxidermistas, torneos de pesca deportiva, y pesca comercial	Otolitos (marcas diarias)	$L_{\infty}$	-	-	210
					$k$	-	-	1.53
					$t_0$	-	-	-0.15
					Edad Min-Max	-	-	0.024-1.4
					Predominantes	-	-	-
McGowan <i>et al.</i> , 1987	Atlántico	-	-	Espinass dorsales	Edad Min-Max	-	-	2-10
					Predominantes	-	-	-
Cyr <i>et al.</i> , 1990	Océano Índico	1985-1988	Pesca deportiva	Otolitos	Edad Min-Max	0-24	0-24	-
					Predominantes	3-12	9-12	-

No es factible hacer una comparación confiable de las longitudes observadas contra las longitudes retrocalculadas en aquellos grupos de edad donde el número de datos es escaso (e.g. grupos de edad, 6, 7 y 8, Fig. 18), pero en aquellos grupos de edad donde se tiene un número de datos representativo (e.g. grupos de edad 1, 2, 3, 4), es posible observar que las longitudes retrocalculadas son más pequeñas que las observadas. Suponemos que es debido a que las longitudes observadas incluye a los organismos del grupo de edad hasta antes de pasar al siguiente grupo (e.g. grupo de edad 3 a 3.99), en tanto que las longitudes retrocalculadas fueron estimadas para cuando cumplieron o iniciaron la edad (e.g. 3). La diferencia entre longitudes observadas y longitudes retrocalculadas no se debe al efecto Rosa-Lee (Ehrhardt, 1981), descrito para cuando se utilizan escamas en el retrocálculo de longitudes, y que se asocia al hecho de que esas estructuras no se desarrollan desde el comienzo mismo de la vida de un pez, sino un tiempo más tarde. En estudios descriptivos de larvas de marlin azul se reporta que eclosionan con las espinas de la aleta dorsal ya formadas (e.g. Ueyanagi y Yabe, 1959).

Con el retrocálculo se logró incrementar el número de registros de longitud para los primeros grupos de edad (e.g. en el grupo de edad 1, de 3 observaciones se incrementó a 177 registros de longitud) y se consiguió disponer de datos de longitud para grupos de edad no presentes en la captura de la pesca deportiva (e.g., para el grupo de edad 7 ausente en las capturas después del retrocálculo se obtuvieron dos registros de longitud). De manera general con el retrocálculo de longitudes se dispuso de un mayor número de registros de longitud por grupo de edad para utilizarlos de forma independiente o combinándolos con los registros de longitud observadas en las estimaciones de crecimiento, con todos los registros o representados a través de sus promedios.

## **7.8 Crecimiento individual en longitud**

En la estimación de los parámetros de crecimiento que aquí se discuten se utilizaron las longitudes promedio combinadas por grupo de edad junto con la

longitud de la larva más pequeña reportada en la literatura. Con estos datos se obtuvo el mejor ajuste del modelo, evidenciado por un valor del coeficiente de determinación mayor (ver Tabla 2) en comparación al obtenido con otras estimaciones en las que se utilizaron: a) los mismos promedios de las longitudes combinadas por edad pero sin incluir la longitud de la larva más pequeña reportada (Anexo 11.3); b) los promedios de las longitudes por grupo de edad observadas por separado de las estimadas pero igualmente considerando la longitud de la larva (Anexo 11.4); c) el total de registros de longitudes por grupo de edad observadas y retrocalculadas de forma combinada e independientemente y considerando la longitud de la larva (Anexo 11.5).

Prince *et al.* (1987) señalaron la importancia de añadir al análisis de crecimiento la longitud de larvas para obtener una mejor estimación de  $t_0$ . Los parámetros del modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy que aquí se estimaron a partir de los datos de longitudes promedio combinadas por grupo de edad, e incluyendo la longitud de la larva más pequeña reportada, permitieron que el modelo se ajustara satisfactoriamente a los datos de longitudes promedio combinadas por edad. Al excluir la longitud de la larva la tendencia general es sobreestimar el valor de  $L_\infty$ , y subestimar  $k$  y  $t_0$  (Anexo 11.3). Sobre la base de los análisis realizados en este estudio, la sugerencia de Prince *et al.*, 1987 puede ser adecuada a una recomendación más específica. Es decir, cuando no se cuenta con datos de longitudes pertenecientes al grupo de edad 0, como en este estudio, es recomendable incluir la longitud de la larva al eclosionar del huevo y en caso de no contar con este dato, la longitud de la larva más pequeña reportada.

Los parámetros de crecimiento estimados para 2005 y 2006 son muy similares (Tabla 2), sin embargo la prueba  $T^2$  de Hotelling reveló diferencias significativas entre estos, quizás porque es una prueba muy sensible ya que fue desarrollada para detectar diferencias mínimas para cualquier medición en procesos de control de calidad<sup>5</sup>. En la estimación de  $L_\infty$  para 2005 y 2006 hay una diferencia de 8.76 cm, en

---

<sup>5</sup> [http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/knowctrMultivariate\\_Control\\_Charts.htm](http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/knowctrMultivariate_Control_Charts.htm)

$t_0$  de 0.02 años (7 días) y en  $k$  de 0.03, siendo este último el que mayor diferencia presenta. Para ambos años los parámetros estimados sugieren una tasa de crecimiento rápida en los primeros años de vida, pero ésta fue mayor para el año 2006, aunque para el año 2005 se obtuvo la longitud máxima promedio ( $L_\infty$ ) mayor.

Los parámetros de crecimiento para todo el período de estudio (2005-2006) sugieren que el crecimiento de marlin azul es muy acelerado en los primeros años de vida ya que pueden alcanzar hasta el 70% de su longitud máxima promedio (posorbital en cm) a la edad de 3 años, después de esta etapa de rápido crecimiento, la tasa de crecimiento disminuye progresivamente hasta valores mínimos al llegar a los 8 años de edad.

Aunque existen diversos estudios de estimación de edad para el marlin azul (e.g. Prince *et al.*, 1984; McGowan *et al.*, 1987; Prince *et al.*, 1987; Hill *et al.*, 1989; Cyr *et al.*, 1990; Wilson *et al.*, 1991), son escasos aquellos en los que se reportan parámetros de crecimiento individual.

Prince *et al.* (1991) basados en lecturas de marcas diarias en otolitos reportan para juveniles, adultos jóvenes y adultos maduros de marlin azul del Atlántico valores de  $L_\infty=210$  cm,  $k=1.533$  y  $t_0=-0.15$ , pero los datos solo cubren la fase inicial del crecimiento de los adultos (hasta 1.4 años de edad). Mencionaron además que la tasa relativa de crecimiento máxima (sexos combinados, 1.66 cm/día) ocurre a una longitud de 39 cm y a una edad estimada de 50 días, después decrece continuamente hasta cerca de 0.09 cm/día a los 495 días, por lo cual sugirieron que durante su primer año de vida el marlin azul es uno de los teleósteos de más rápido crecimiento en términos de tasa absoluta de crecimiento (cm/día).

Skillman y Yong (1976) a través del análisis de frecuencia de tallas estimaron los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy para el marlin azul del Pacífico usando dos métodos, en el primero ajustaron el modelo por el método de mínimos cuadrados a las longitudes observadas de peces de edad asumida, en el

segundo ajustaron el modelo por el método de mínimos cuadrados a las longitudes observadas y datos de incrementos en crecimiento en intervalos de tiempo conocido; para machos reportaron  $L_{\infty}=368$  cm,  $k=0.315$  y  $t_0=0.39$  y  $L_{\infty}=298.8$  cm,  $k=0.560$  y  $t_0=0.39$  para el primer y segundo método respectivamente, y para hembras  $L_{\infty}=626.6$  cm,  $k=0.123$  y  $t_0=-0.202$  y  $L_{\infty}=540.2$  cm,  $k=0.175$  y  $t_0=-0.202$  para el primer y segundo método respectivamente. Estos autores mencionan que para los machos, las estimaciones de  $L_{\infty}$  son más grandes que la longitud asintótica comúnmente aceptada de 300 cm, mientras que en el caso de las hembras, las curvas de crecimiento describieron bien los datos, pero las estimaciones de longitud asintótica parecen ser demasiado grandes.

Mitsuyasu (1992) en su revisión de la pesquería de marlin azul en Hawái reportó que los parámetros típicos de crecimiento estimados para el marlin azul son, para machos  $L_{\infty}=276$  cm,  $k=0.285$  y  $t_0=0.106$  y para hembras  $L_{\infty}=505$  cm,  $k=0.186$  y  $t_0=-0.161$ , aunque no señala la fuente de la cual obtuvo estos datos ni el método utilizado para estimar los parámetros.

En la literatura es comúnmente reportado que el marlin azul exhibe diferencias significativas en crecimiento entre sexos, donde las hembras alcanzan tallas somáticas mayores a las de los machos a una misma edad, además de que el crecimiento en machos es acelerado hasta alcanzar cerca de 200 cm de longitud (6 años de edad), después el crecimiento se vuelve muy lento y casi asintótico. En cambio, el crecimiento de las hembras reportado es variable: puede ser tanto lento como rápido, además que continúan creciendo a través de toda su vida, pero con una disminución de la tasa de crecimiento con la edad (Wilson *et al.*, 1991; Hill *et al.*, 1989; Skillman y Yong, 1976).

Los escasos estudios donde se reportan parámetros de crecimiento para el marlin azul muestran diferentes estimaciones, mismas que pueden ser debidas a numerosas razones, incluyendo diferencias geográficas, rango de tallas analizadas, métodos de estimación de los parámetros o tamaño de las muestras (Tabla 7). Es así

que los parámetros estimados por Prince *et al.* (1991) y Skillman y Yong (1976) no pueden ser directamente comparados con los estimados en el presente estudio debido a que, en el primer caso trabajaron con marlin azul juvenil, y sin discriminar sexos de adultos jóvenes y adultos maduros (de hasta 1.4 años) y en el presente estudio se utilizaron hembras (de 1 hasta 8 años). Los parámetros reportados por Skillman y Yong, 1976 tampoco pueden ser comparados directamente debido a que provienen de métodos de estimación totalmente diferentes, ya que utilizaron el análisis de frecuencias de tallas mientras que el presente estudio se basa en lecturas de marcas en cortes de la cuarta espina de la aleta dorsal. En cambio, Mitsuyasu (1992) aunque no menciona la forma en que se estimaron los parámetros, los presenta separados por sexo. Comparando los parámetros que reportó para hembras con los de este estudio, hay similitud en  $t_0$ , pero diferencias en  $L_\infty$  y  $k$ , posiblemente debido a que se analizaron intervalos de talla distintos.

En el presente estudio el valor de  $L_\infty$  (299.66) se estimó por debajo del valor de la talla del organismo más grande muestreado (321 cm), pero que es importante señalar que el valor de  $L_\infty$  se refiere a la longitud máxima promedio y por lo tanto no tiene que ser necesariamente mayor o igual que la talla del organismo más grande muestreado.

El parámetro  $t_0$ , considerado por la mayoría de los autores sólo como un “parámetro de ajuste” del modelo de von Bertalanffy, es un término que tiene significado biológico, el cual sería el tiempo transcurrido desde la fecundación hasta el momento de la eclosión y su valor siempre debe ser negativo (Félix-Uraga, 1990). Considerando esta opinión, en el presente trabajo el valor de  $t_0$  (-0.1683) indicaría que el tiempo transcurrido desde la fecundación hasta la eclosión del huevo de marlin azul sería de aproximadamente 2 meses, lo cual aparentemente sobrepasa por mucho los tiempos de eclosión que se conocen en especies de peces marinos. Pauly y Pullin (1988) compilaron información de 50 especies de peces marinos para presentar una curva de la duración media del desarrollo de los huevos de peces en función de la temperatura media del agua en la que se han desarrollado y de su



diámetro. Sobre la base de esta curva y tomando en cuenta que el diámetro de los huevos de marlin azul es de aproximadamente 1 mm y que se desarrollan en aguas con una temperatura media de 24–26 °C (Nakamura, 1985), se esperaría que la duración media del desarrollo de los huevos (o tiempo de eclosión) del marlin azul fuera de aproximadamente 3 días, por lo que el valor de  $t_0$  encontrado en el presente estudio posiblemente está subestimado.

Cuando se estimaron los parámetros de crecimiento utilizando los promedios de las longitudes observadas por grupo de edad (Anexo 11.4) se obtuvieron valores de  $L_\infty$  bajos, al igual que un valor de ajuste del modelo bajo (Tabla 9) comparado con el obtenido al utilizar las longitudes promedio combinadas por grupo de edad (Tabla 2). Aunque las estimaciones de  $L_\infty$ ,  $k$  y  $t_0$  obtenidas a partir de los promedio de las longitudes retrocalculadas y longitudes promedio combinadas por grupo de edad son muy similares (Tabla 9 y 2, respectivamente), en este estudio se utilizaron las longitudes promedio combinadas por grupo de edad porque se incluye a las longitudes observadas, las cuales son la fuente a partir de la cual se obtuvieron las longitudes retrocalculadas.

Al utilizar de forma combinada e independiente el total de registros de longitudes observadas y retrocalculadas para estimar los parámetros de crecimiento (Anexo 11.5) se obtienen valores altos de  $t_0$  y  $L_\infty$ . Además, como el número de observaciones por grupo de edad no es el mismo, las estimaciones se sesgan hacia aquellos grupos de edad con el mayor número de observaciones (ver párrafo siguiente), al mismo tiempo que el valor del coeficiente de determinación es bajo, lo que sugiere que el ajuste del modelo es relativamente menor (Tabla 10) en comparación a cuando se utilizan las longitudes promedio combinadas por grupo de edad para estimar los parámetros (Tabla 2).

Al utilizar la longitud promedio por edad en la estimación de los parámetros de crecimiento, se le dio el mismo peso específico a todas las edades, y por lo tanto la estimación de los parámetros no fue influenciada o sesgada hacia los grupos de

edad donde el número de registros observados y retrocalculados fue más abundante (ver anexo 11.6). Aunque estadísticamente se recomienda incrementar el número de registros para que el ajuste del modelo sea confiable o representativo, en este estudio se observó cómo el incremento de registros en los primeros grupos de edad debido a la incorporación de longitudes retrocalculadas influyó en las estimaciones. En este trabajo el incremento de registros de longitud por grupo de edad se utilizó para lograr una estimación confiable de las longitudes promedio por grupo de edad.

### **7.9 Crecimiento individual en peso**

La función de crecimiento en peso tiene una forma sigmoidea, que bajo la suposición de crecimiento isométrico ( $b = 3$ ) tiene un punto de inflexión en  $W_t=0.296 W_\infty$  (Ehrhardt, 1981). Bajo este modelo los individuos crecerían inicialmente hasta el punto de inflexión con una tasa creciente mientras que a edades más allá de dicho punto y hasta aproximarse a la asíntota ( $W_\infty$ ) lo harían con una tasa decreciente. En el presente estudio los puntos de inflexión estimados ocurrieron cerca de los 3 años de edad. En el 2005 a una edad de 2.8 años ( $W_t=100$  kg), en el 2006 a la edad de 2.6 años ( $W_t=91$  kg) y considerando el período completo a la edad de 2.7 años ( $W_t=96$  kg) (Fig. 20).

La variación de las tasas de crecimiento relativo en peso (kg/año) entre los ocho grupos de edad indicadas en la tabla 6 y representadas gráficamente en la figura 21 concuerdan en mostrar que las hembras de marlin azul aumentan en peso con una tasa que va incrementando anualmente hasta la edad de 3 años y que después de esa edad y hasta la edad máxima reportada el incremento en peso que muestran las hembras disminuye año a año.

Comparativamente, la variación de las tasas de crecimiento relativo en longitud (cm/año) presentada en la tabla 3, indica que la máxima ganancia en longitud ocurre durante el primer año de vida (90 cm/año). Después del primer año y

hasta la edad máxima reportada el incremento en longitud disminuyó con la edad año a año.

La alta tasa de crecimiento en longitud durante el primer año de vida de las hembras de marlin azul correspondió a una tasa de crecimiento en peso reducida, y durante los dos siguientes años de vida, aunque el incremento relativo en longitud disminuye, se observaron los mayores incrementos en peso, lo que sugiere que el marlin azul crece primero en longitud para después hacerlo en peso. Considerando lo anterior y que la velocidad de natación usualmente se incrementa con la longitud del cuerpo, Prince *et al.* (1991) sugirieron que este período temprano de crecimiento rápido es sin duda una ventaja para la supervivencia y establece las condiciones para una velocidad de nado rápido. Cabe señalar que no se encontró literatura donde se haga referencia a los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy convertido a peso para el marlin azul.

Los organismos que ganan más peso con relación a la edad son aquellos de las edades 2, 3 y 4 (Fig. 21). Los incrementos en peso mayores se registran inmediatamente después del punto de inflexión de la curva de de crecimiento.

## 8. CONCLUSIONES

El intervalo de tallas de las hembras de marlin azul desembarcadas por la flota deportiva en Cabo San Lucas, B.C.S. durante 2005 y 2006 fue de 141 a 330 cm de longitud posorbital, predominando las de 171 a 210 cm.

La alta relación positiva entre el radio de la espina y la longitud posorbital de las hembras de marlin azul indica que la cuarta espina de la aleta dorsal es una estructura confiable para utilizarse en la estimación de la edad y el crecimiento individual del marlin azul y para el retrocálculo de longitudes.

Con la evidencia que se cuenta se puede sugerir que la formación de las marcas de crecimiento observadas en cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal tiene una periodicidad anual.

La flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S durante 2005-2006 incidió sobre 7 grupos de edad (1-6 y 8), siendo los individuos de 2 y 3 años los más abundantes. La composición por edades en las capturas de los años 2005 y 2006 mostró diferencias significativas.

Los parámetros que definen el crecimiento individual en longitud de las hembras de marlin azul ( $L_{\infty}=299.66$ ,  $k=0.3824$  y  $t_0=-0.1683$ ) indican que son organismos de crecimiento muy acelerado en los primeros años de vida.

Los parámetros que definen el crecimiento de las hembras de marlín azul en los años 2005 y 2006 mostraron diferencias significativas. La longitud máxima promedio fue mayor en el año 2005 y la tasa de crecimiento fue mayor en el año 2006. La desigualdad en las tasas de crecimiento es la más trascendente y la variación más importante ocurrió durante el primer año de vida de los organismos.

## 9. RECOMENDACIONES

En este estudio se encontró que la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S., captura solo hembras de marlín azul que en su mayoría son de tallas grandes, pero cuya edad corresponde de 1 a 8 años de edad, donde las de 2 y 3 años son las más capturadas y todas ellas son sexualmente inmaduras.

Este es el primer estudio donde se reporta el estado del marlín azul en la región mediante la composición por edades en las capturas, el sexo y condición de los individuos que componen esas capturas y su crecimiento. Aunque se observaron diferencias significativas tanto en el crecimiento como en la estructura por edades en los dos años analizados, no es suficiente información para intentar inferir si las variaciones observadas corresponden a cambios del clima oceánico, a cambios en la intensidad de pesca en la región ó a ambos. Es necesario continuar realizando este tipo de estudios de edad y crecimiento en los próximos años para denotar si existe o no alguna tendencia o cambio en la composición de edades en las capturas y en los parámetros que definen el crecimiento de la especie, pero sobre todo para entender a que pudieran deberse los posibles cambios y con ello proponer acciones pertinentes para el uso sustentable del recurso.

La necesidad de continuar realizando estudios de edad y crecimiento es inmediata, ya que es ampliamente conocido que la pesca deportiva es una actividad económicamente importante para la región, la cual continúa incrementándose de forma importante. También es ampliamente conocido que está sucediendo una importante variabilidad del clima-océano en distintas escalas que además de influir en el crecimiento de la especie, puede afectar la disponibilidad del recurso, o influir en la distribución diferencial de los grupos de edad o de los sexos. Considerando que las hembras de marlín azul alcanzan la madurez sexual entre los 2 y 4 años de edad, todos los factores antes mencionados cobran relevancia en la región de Cabo San Lucas donde se capturan solo hembras inmaduras, la mayoría de ellas en el rango de edad donde podrían alcanzar la madurez sexual.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Abitia-Cárdenas, L. A. 1992. Espectro trófico energético del marlin rayado *Tetrapturus audax* (Philippi, 1887) y marlin azul *Makaira mazara* (Jordan y Snider, 1901), del área de Cabo San Lucas, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 76 p.
- Alvarado-Castillo, R. M. 1993. Edad y crecimiento de *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1791) (Pisces: Istiophoridae) al sur del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México. 57 p.
- Alvarado-Castillo, R. M. y R. Félix-Uraga. 1998. Crecimiento de *Istiophorus platypterus* en la boca del Golfo de California. Revista de Biología Tropical. 46(1): 115-118.
- Anónimo. 2002. Las pesquerías de atún aleta azul del Pacífico, atún albacora, pez espada, y marlin azul en el océano pacífico, y evaluaciones de estas especies. Comisión Interamericana del Atún Tropical. Manzanillo, México. 69: 1-13.
- Bagenal, T. B. 1974. Ageing of Fish. Proceedings of an International Symposium. Old Workings. Unwin Brothers, Surrey, England. 234 p.
- Bagenal, T. B. y F. W. Tesch. 1978. Age and Growth.. *En*: T. Bagenal (editor). Methods for assessment of fish production in freshwater, 3era edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England. 101-136.
- Beamish, R. J. y G. A. McFarlane. 1987. Current trends in age determination methodology.. *En*: Summerfelt, R. C. y G. E. Hall (editores). Age and Growth of Fish. Iowa State University Press. Des Moines, U.S. 15-42.
- Berkeley, S. A. y E. D. Houde. 1983. Age determination of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the Straits of Florida, using anal fin spine sections. U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 137-143.
- Bernard, D. R. 1981. Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 233-236.
- Bigg, G. R. 2003. The Oceans and Climate. 2da edición, Cambridge University Press, United Kingdom. 273 p.

- Bolger, T. y P. L. Connolly. 1989. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology*. 34: 171-182.
- Chiang, W. C., C. L. Sun y S. Z. Yeh. 2004 . Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Fish. Bull.* 102(2): 251-263.
- Cone, R. S. 1989. The need to reconsider the use of condition indices in fisheries science. *Transactions of the American Fisheries Society*. 118: 510-514.
- Cyr, E. C., J. M. Dean, I. Jehangeer y M. Nallee. 1990. Age, Growth, and Reproduction of Blue Marlin and Black Marlin from the Indian Ocean *En*: R. H. Stroud (editor). *Planning the Future of Billfishes. Research and Management in the 90s and beyond. Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1–5, 1988. Part 2: Contributed papers. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia.* 309 -316.
- Davie, P. S. y I. Hall. 1990. Potencial of dorsal and anal spines and otoliths for assessing the age structure of the recreational catch of striped marlin. *En* R. H. Stroud (editor). *Planning the Future of Billfishes. Research and Management in the 90s and Beyond. Proceeding of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5. Part 2: Contributed papers. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia.* 287-294.
- De Sylva, D. P. 1957. Atlantic sailfish studies on the age and growth of the *Istiophorus americanus* (Cuvier), using length frequency curves. *Bull. Mar. Sci. Gulf Caribb.* 7: 1-20.
- Downton-Hoffmann, C. A. 2001. Edad y crecimiento del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856), en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México. 72 p.
- 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.
- Erdman, D. S. 1968. Spawning cycle, sex ratio and weights of blue marlin off Puerto Rico and the Virgin Islands. *Transactions of the American Fisheries Society*. 97(2): 131-137.

- Fablet, R. y N. Le Josse. 2005. Automated fish age estimation from otolith images using statistical learning. *Fisheries Research*, Amsterdam. 72(3): 279-290.
- Félix-Uraga, R. 1990. Crecimiento de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, México. *Inv. Mar. CICIMAR*. 5(1): 27-31.
- Felizola-Freire, K. M., A. Vasconcelos-Ferreira, R. P. Lessa y J. E. Lins-Oliveira. 1999. First studies on age and growth of sailfish (*Istiophorus albicans*) caught off northeastern Brazil. *Boletín del Instituto de Pesca*, São Paulo. 25: 7-12.
- Graves, J. E. y J. R. McDowell. 2003. Stock structure of the world's istiophorid billfishes: a genetic perspective. *Marine and Freshwater Research*. 54: 287-298.
- Hedgepeth, M. Y. y J. W. Jolley. 1983. Age and Growth of sailfish, *Istiophorus platypterus*, using cross sections from the fourth dorsal spine. *En: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks*. U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 131-135.
- Hill, K. T., G. M. Cailliet y R. L. Radtke. 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. *Fish. Bull., U.S.* 87(4): 829-843.
- Hopper, C. N. 1990. Patterns of blue marlin reproduction in Hawaiian waters. *En: R. H. Stroud (editor). Planning the Future of Billfishes. Research and Management in the 90s and Beyond. Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1–5, 1988. Part 2: Contributed papers. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia.* 29-39.
- Howard, J. K. y S. Ueyanagi. 1965. Distribution and relation abundance of billfishes (Istiophoridae) of the Pacific Ocean. *Stud. Trop. Oceanogr.* (2): 1-134.
- Hyams, D. G. 2001. Curve Expert (a curve fitting system for Windows) versión 1.38. <http://curveexpert.webhop.net>.
- Johal, M. S., H. R. Esmaili y K. K. Tandon. 2001. A comparison of back-calculated lengths of silver carp derived from bony structures. *Journal of Fish Biology*. 59: 1483-1493.
- Jolley, J. W. 1974. On the Biology of Florida East Coast Atlantic Sailfish (*Istiophorus platypterus*) *En: R. S. Shomura and F. Williams (editores). Proceeding of the*



- international billfish symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 august 1972, part 2: Review and contributed papers. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech Rep. NMFS SSRF-675: 81-88.
- Joseph, J., W. Klawe y P. Murphy. 1986. Atunes y peces espada - Los peces sin patria. Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla California. 46 p.
- Kume, S. y J. Joseph. 1969. Size composition and sexual maturity of billfish caught by the Japanese longline fishery in the Pacific Ocean East of 130° W. Bu11. Far. Seas Fish. Res. Lab., Shimizu. 2: 115-162.
- Lai, H. L. y H. C. Liu. 1979. Age determination of walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) using four age structures. Bull. Int. N. Pac. Fish. Comm. 45: 66-98.
- Le Cren, E. D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). Journal of Animal Ecology. 20: 201-219.
- Macías, Z. R. 1993. Relaciones entre la pesca deportiva y comercial de pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el pacífico mexicano. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 71 p.
- McGowan, M. F., E. D. Prince, y D. W. Lee. 1987. An inexpensive microcomputer-based system for making rapid and precise counts and measurements of zonation in video displayed skeletal structures of fish. *En*: R. C. Summerfelt y G. E. Hall (editores.). The age and growth of fish. Iowa State Univ. Press. Ames, IA. 385-395.
- Melo-Barrera, F. M. y R. Félix-Uraga. 2004. Estructura de tallas y edad del marlin rayado *Tetrapturus audax* (Pisces: Xiphiidae), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. Revista de Biología Tropical. 52(4): 981-989.
- Melo-Barrera, F. N., R. Félix-Uraga y C. Quiñónez-Velázquez. 2003. Crecimiento y relación peso longitud del marlin rayado, *Tetrapturus audax* (Pisces: Istiophoridae), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas. 29(3): 305-313.
- Mitsuyasu, M. K. 1992. Pacific Blue Marlin Management in Hawaii: Review of the Blue Marlin Fishery and an Assessment of the Current Management Needs. Marine Resource Management Program: 54 p.
- Nakamura, H. 1949. The tunas and their fisheries. Takeuchi Shobo, Tokyo. 118 p.

- Nakamura, H., Y. Tabuta, y S. Ueyanagi. 1953. Relation between the spawning season and the sex ratio of some fishes of the Family Istiophoridae. Contrib. Nankai Reg. Fish. Res. Lab. 1 (13): 1-8.
- Nakamura, I. 1985. FAO Species Catalogue. Vo1. 5. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO Fish. Synop. (125): 65.
- Ortega-García, S, A. Klett-Traulsen y R. Rodríguez-Sánchez. 2006. Some biological aspects of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the recreational fishery at Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. Bulletin Of Marine Science. 79(3): 739-746.
- Osuna, F. I. 1991. Análisis de la pesquería del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1971) en el Océano Pacífico Oriental con énfasis en la Zona Económica Exclusiva de México. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 100 p.
- Pauly, D. y R. S. V. Pullin. 1988. Hatching time in spherical, pelagic, marine fish eggs in response to temperature and egg size. Environ. Biol. Fish. 22(4): 261-271.
- Pérez Valencia, S. A. 2004. Estudio de la pesca deportivo-recreativa en la región de Los Cabos, B.C.S., con énfasis en el destino de las capturas. Tesis de Maestría. CIBNOR. La Paz, B. C. S., México. 73 p.
- Prince, E. D., D. W. Lee, C. A. Wilson y J. M. Dean. 1984. Progress in estimating age of blue marlin, *Makaira nigricans*, and white marlin, *Tetrapturus albidus*, from the western Atlantic Ocean, Caribbean Sea, and Gulf of Mexico. Int. Comm. Conserv. Atl. Tunas. Coll. Vol. Sci. Pap. 20(2): 435-447.
- Prince., E. D., D. W. Lee, C. A. Wilson y J. M. Dean. 1986. Longevity and age validation of a tag-recaptured atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus*, using dorsal spines and otoliths. Fishery Bulletin. 84(3): 493-502.
- Prince, E. D., D. W. Lee y R. Conser. 1987. Estimating age and growth rate of atlantic blue marlin (*Makaira nigricans*): progress and future work plan. ICCAT. 26(2): 426-435.
- Prince, E. D., D. W. Lee y J. R. Zweifel. 1991. Estimating age and growth of young Atlantic blue marlin, *Makaira nigricans* from otolith microstructure. Fish. Bull., U. S. 89(3): 441-459

- Radtke, R. L. 1983. Istiophorid otoliths: Extraction, morphology, and possible use as ageing structures *En*: E. D. Prince and L. M. Pulos (editores). Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks, U.S. Dep. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS-8: 123-129.
- Ramírez-Perez, J. S. 2005. Edad, crecimiento y mortalidad del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1791) de la costa sur de Sinaloa, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México. 50 p.
- Royce, W. F. 1957. Observations on the spearfishes of the central Pacific. U.S. Fish. Wildl. Serv., Fish. Bull. (57): 497-554.
- Skillman, R. 1989. Status of Pacific billfish stocks. *En*: Stroud, R. H. (editor), Planning the Future of Billfishes: Research and Management in the 90s and Beyond. Proceeding of the Second International Billfish Symposium, Kailua.Kona, Hawaii, August 1-5, 1988. Part 1: Fishery and Stock Synopses, Data Needs and Management. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia. 179-195.
- Skillman, R. y M. Yong. 1976. Von Bertalanffy growth curves for striped marlin, *Tetrapterus audax* and blue marlin, *Makaira nigricans* in the North Central Pacific. Fish. Bull. 74(3): 553-566.
- Sparre, P. y S. C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte I: Manual. FAO Fisheries Technical Paper. 306(1): 420 p.
- Sponaugle, S., K. L. Denit, S. A. Luthy, J. E. Serafy y R. K. Cowen. 2005. Growth variation in larval *Makaira nigricans*. Journal of Fish Biology. 66: 822-835.
- StatSoft, Inc. 2001. STATISTICA (data analysis software system), version 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Stenseth, N. C., G. Ottersen, J. W. Hurrell y A. Belgrano. 2004. Marine Ecosystems and Climate Variation. The North Atlantic. A Comparative Perspective. Oxford University Press, New York. 252 p.
- Strasburg, D. W. 1970. A report on the billfishes of the Central Pacific Ocean. Bulletin of Marine Science. 20(3): 575-604.

- Sun, C. L., S. P. Wang y S. Z. Yeh. 2002. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the waters around Taiwan determined from anal-fin rays. Fish. Bull. 100: 822-835.
- Tsepes, G. y N. Tsimenides. 1995. Determination of age and growth of swordfish, *Xiphias gladius* L., 1758, in the eastern Mediterranean using anal-fin spines. Fish. Bull. 93: 594-602.
- Ueyanagi, S. y H. Yabe, 1959. Larvae of the Black marlin( *Eumakaira nigra* Nakamura) Reports of the Nankai Regional. Fisheries Research Laboratory 10: 151-169.
- Wilson, C. A., E. B. Brothers, J. M. Casselman, C. L. Smith y A. Wild. 1983. Glossary.. *En*: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks. U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 207-208.
- Wilson, C. A., J. M. Dean, E. D. Prince, y D. W. Lee. 1991. An examination of sexual dimorphism in Atlantic and Pacific blue marlin using body weight, sagittae weight, and age estimates. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 151(2): 209-225.
- Yatomi, H. 1990. A potencial problem in estimating the ages of the striped marlin using fin spines. *En*: R. H. Stroud (editor). Planning the Future of Billfishes. Research and Management in the 90s and Beyond. Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua.Kona, Hawaii, 1-5 August. Part 2: Contributed papers. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia. 317-321.

## **11. ANEXOS**

### **11.1 Definición de la posición y grosor de los cortes transversales de las espinas**

Se realizaron cortes transversales a un nivel equivalente al 50, 75, 100 y 125% de la distancia entre las apófisis de la base de cada espina, esta distancia se estableció desde la base y sobre el eje principal de la misma espina. Además, los cortes se hicieron con diferentes grosores (0.3 mm, 0.375 mm, 0.45 mm y 0.525 mm).

Se encontró que el lugar más adecuado para realizar los cortes transversales en la cuarta espina de la aleta dorsal es a un nivel equivalente al 100% de la distancia entre las apófisis de la base de la espina (Fig. 3). A este nivel de la espina la vascularización es reducida y no oculta las primeras marcas de crecimiento, además de que es lo suficientemente amplia para permitir la observación y medición de las últimas marcas de crecimiento.

El grosor más apropiado de los cortes transversales de la cuarta espina de la aleta dorsal es de 0.45 mm. Con este grosor las marcas de crecimiento se observaron claramente en todos los cortes facilitando el conteo de las mismas. Los cortes elaborados a un grosor de 0.3 y 0.375 mm fueron de mala calidad debido a que por ser tan delgados eran difíciles de manipular y se quebraban con facilidad, además las marcas de crecimiento se observaban borrosas y en ocasiones se perdían a la observación totalmente. En contraste, en los cortes de un grosor de 0.525 mm al ser demasiado gruesos impedían el paso de la luz del estereomicroscopio y por lo tanto las marcas de crecimiento no se observaban.

## 11.2 Prueba $T^2$ de Hotelling

Para evaluar si existen diferencias en los parámetros de crecimiento ( $L_\infty$ ,  $k$  y  $t_0$ ) entre años se utilizó la prueba  $T^2$  de Hotelling (Bernard, 1981), teniendo como hipótesis nula  $H_0$ : no existen diferencias en los parámetros de crecimiento entre años, y como hipótesis alternativa  $H_A$ : existen diferencias en los parámetros de crecimiento entre años. El estadístico de prueba a utilizar es el siguiente:

$$T^2 = \frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} [\hat{P}_1 - \hat{P}_2]' S^{-1} [\hat{P}_1 - \hat{P}_2]$$

donde:

$\hat{P}_1$  = Vector columna de los parámetros de crecimiento del año 1

$\hat{P}_2$  = Vector columna de los parámetros de crecimiento del año 2

$S^{-1}$  = Inversa de la matriz de covariancia común al año 1 y 2 (S)

$$S = \frac{(N_1 - 1)S_1 + (N_2 - 1)S_2}{N_1 + N_2 - 2}$$

donde:

$S_1$  = Matriz de covariancia del año 1

$S_2$  = Matriz de covariancia del año 2

$N_1$  = Número de organismos en el año 1

$N_2$  = Número de organismos en el año 2

Para el contraste de esta prueba se utilizó:

$$T_0^2 = \frac{n(N_1 + N_2 - 2)F\alpha}{N_1 + N_2 - n - 1}$$

$$F\alpha = F(\alpha = 0.05, n, N_1 + N_2 - 2)$$

donde:

$n$  = Número de parámetros del modelo (3)

$F\alpha$  = Valor de la distribución F

Si  $T^2 > T_0^2 \Rightarrow$  El crecimiento es significativamente diferente entre años

Si hay diferencia en el crecimiento entre años, por lo menos un parámetro es diferente, para detectar cual parámetro es significativamente diferente se calculó:

$$F_{oj} = \frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - n - 1) (P_{1j} - P_{2j})^2}{n(N_1 + N_2)(N_1 + N_2 - 2)S_{jj}}$$

donde:

$F_{oj}$  = Estadístico calculado respecto al parámetro  $j$  ( $L_{\infty}$ ,  $k$  y  $t_0$ )

$P_{ij}$  = Valor del parámetro  $j$  del año  $i$  (año 1 y año 2)

$S_{jj}$  = Valor tomado de la matriz de covariancia

Si  $F_{oj} > F\alpha$  El parámetro  $j$  es diferente

### 11.3 Estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy a partir de longitudes promedio combinadas por grupo de edad sin incluir el valor de la larva más pequeña reportada.

En este anexo se muestra que si en la estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy no se incluye la longitud de la larva más pequeña reportada se sobrestima el valor del parámetro  $L_{\infty}$  y se subestima el valor de  $k$  y  $t_0$ .

Tabla 8. Parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. Estimaciones realizadas a partir de las longitudes promedio combinadas para cada grupo de edad y en las que no se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes.

<b>Período</b>	$L_{\infty}$	$k$	$t_0$	$R^2$	<b>Figura</b>
<b>2005</b>	687.20	0.0517	-3.5556	0.9877	Fig. 22a
<b>2006</b>	690.74	0.0493	-3.8713	0.9844	Fig. 22b
<b>2005-2006</b>	678.79	0.0509	-3.7534	0.9831	Fig. 22c



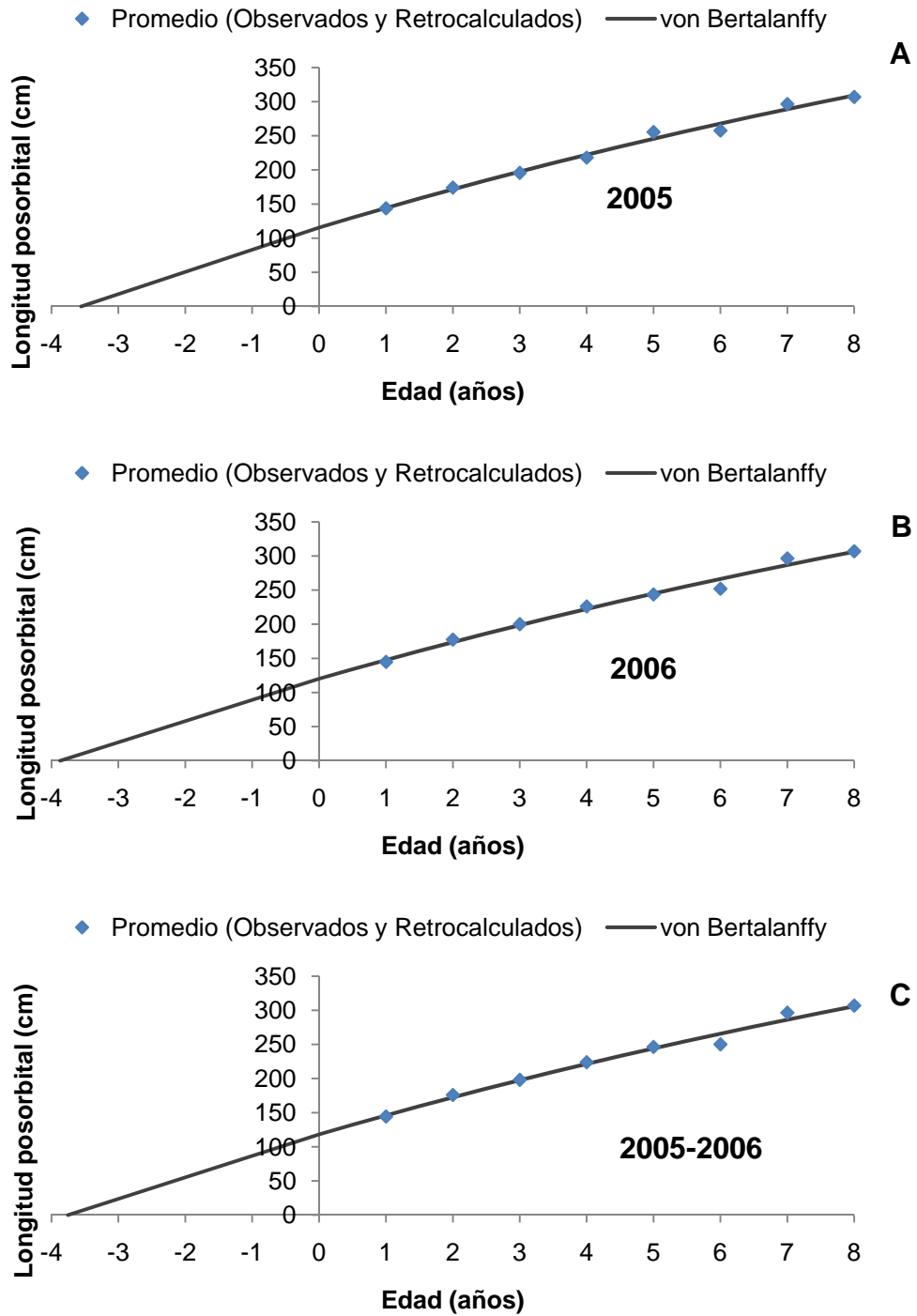


Figura 22. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S., estimadas a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C). En la estimación de los parámetros no se consideró incluir la longitud de alguna larva.

#### 11.4 Estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy a partir de longitudes promedio por grupo de edad observadas y a partir de longitudes promedio por grupo de edad retrocalculadas

En este anexo se muestra la variación en los valores de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy que resulta al estimarlos utilizando exclusivamente las longitudes promedio por edad observadas y utilizando solamente las longitudes promedio por edad retrocalculadas, por año y para el período 2005-2006. En los dos casos se incluye en el análisis la longitud de la larva más pequeña reportada (Ueyanagi y Yabe, 1959).

Tabla 9. Parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. Estimaciones realizadas a partir del promedio de las longitudes observadas por grupo edad y a partir del promedio de las longitudes retrocalculadas por grupo edad. En todos los casos se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes.

Datos	$L_{\infty}$	$k$	$t_0$	$R^2$	Figura
<b>Observados</b>					
<b>2005</b>	278.3	0.4665	-0.1733	0.9018	Fig. 23a
<b>2006</b>	268.22	0.553	-0.1066	0.9070	Fig. 23b
<b>2005-2006</b>	273.63	0.5111	.0.1342	0.9093	Fig. 23c
<b>Retrocalculados</b>					
<b>2005</b>	306.68	0.3658	-0.1652	0.9631	Fig. 24a
<b>2006</b>	284.97	0.4248	-0.1473	0.9265	Fig. 24b
<b>2005-2006</b>	299.61	0.3829	-0.1639	0.9566	Fig. 24c

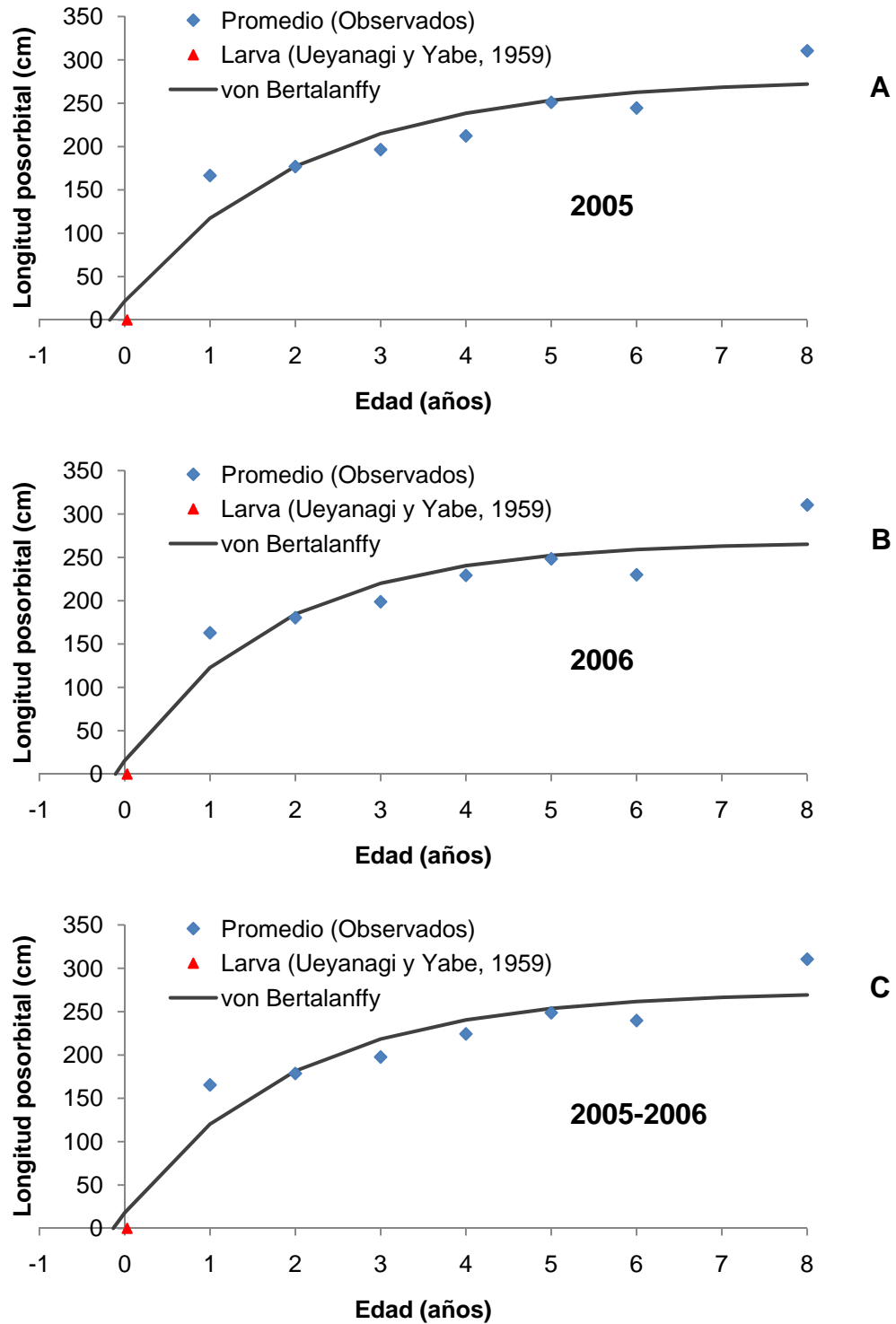


Figura 23. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C) estimadas a partir de las longitudes promedio observadas por grupo de edad.

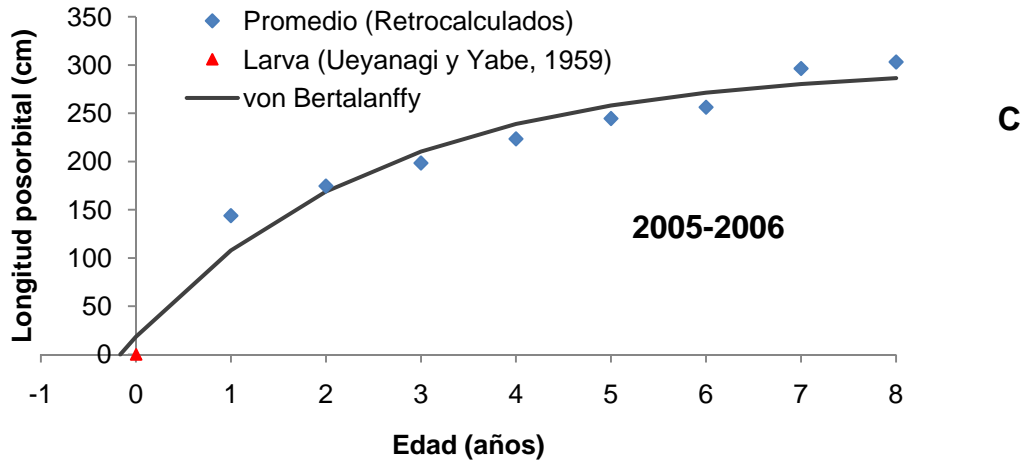
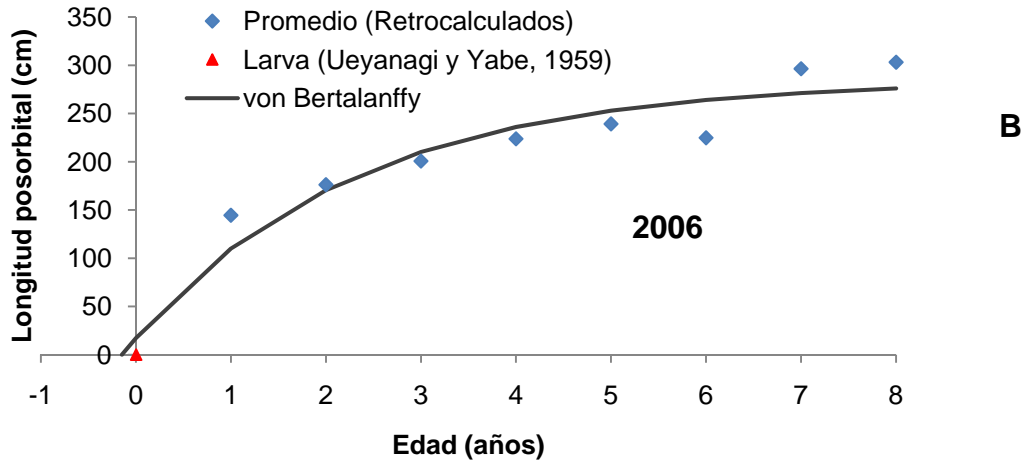
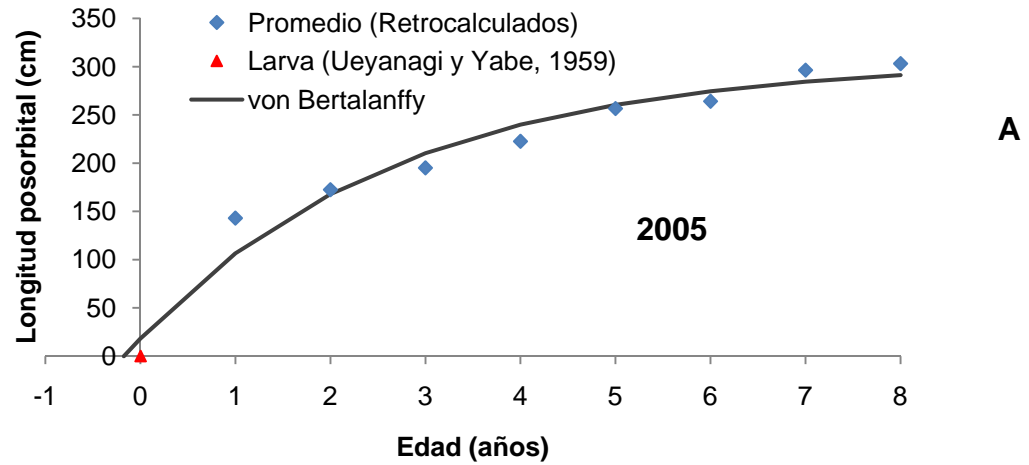


Figura 24. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en los años 2005 (A), 2006 (B) y para el período 2005-2006 (C) estimadas a partir de las longitudes promedio retrocalculadas por grupo de edad.

**11.5 Estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy a partir del total de registros de longitudes observadas por grupo de edad, a partir del total de registros de longitudes retrocalculadas por grupo de edad y a partir del total de registros combinados de longitudes por grupo de edad.**

En este anexo se muestra la variación en los valores de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy que resulta al estimarlos utilizando las longitudes por edad observadas, retrocalculadas y combinándolas, por año y para el período 2005-2006. En los tres casos se incluye en el análisis la longitud de la larva más pequeña reportada (Ueyanagi y Yabe, 1959).

Tabla 10. Parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* en los años 2005, 2006 y para el período 2005-2006. Estimaciones realizadas a partir del total de registros de longitudes por edad observados, retrocalculados y combinados. En todos los casos se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes.

<b>Datos</b>	$L_{\infty}$	$k$	$t_0$	$R^2$	<b>Figura</b>
<b>2005</b>					
<b>Observados</b>	301.93	0.2656	-1.1443	0.7441	Fig. 25a
<b>Retrocalculados</b>	442.33	0.1096	-2.4746	0.7852	Fig. 25b
<b>Combinados</b>	470.36	0.0941	-2.8262	0.7915	Fig. 25c
<b>2006</b>					
<b>Observados</b>	286.45	0.3561	-0.6021	0.7934	Fig. 26a
<b>Retrocalculados</b>	348.39	0.1712	-2.0758	0.7995	Fig. 26b
<b>Combinados</b>	376.46	0.1454	-2.3060	0.8156	Fig. 26c
<b>2005-2006</b>					
<b>Observados</b>	316.44	0.2218	-1.6079	0.7404	Fig. 27a
<b>Retrocalculados</b>	394.27	0.1300	-2.4589	0.7803	Fig. 27b
<b>Combinados</b>	404.23	0.1221	-2.6052	0.7914	Fig. 27c

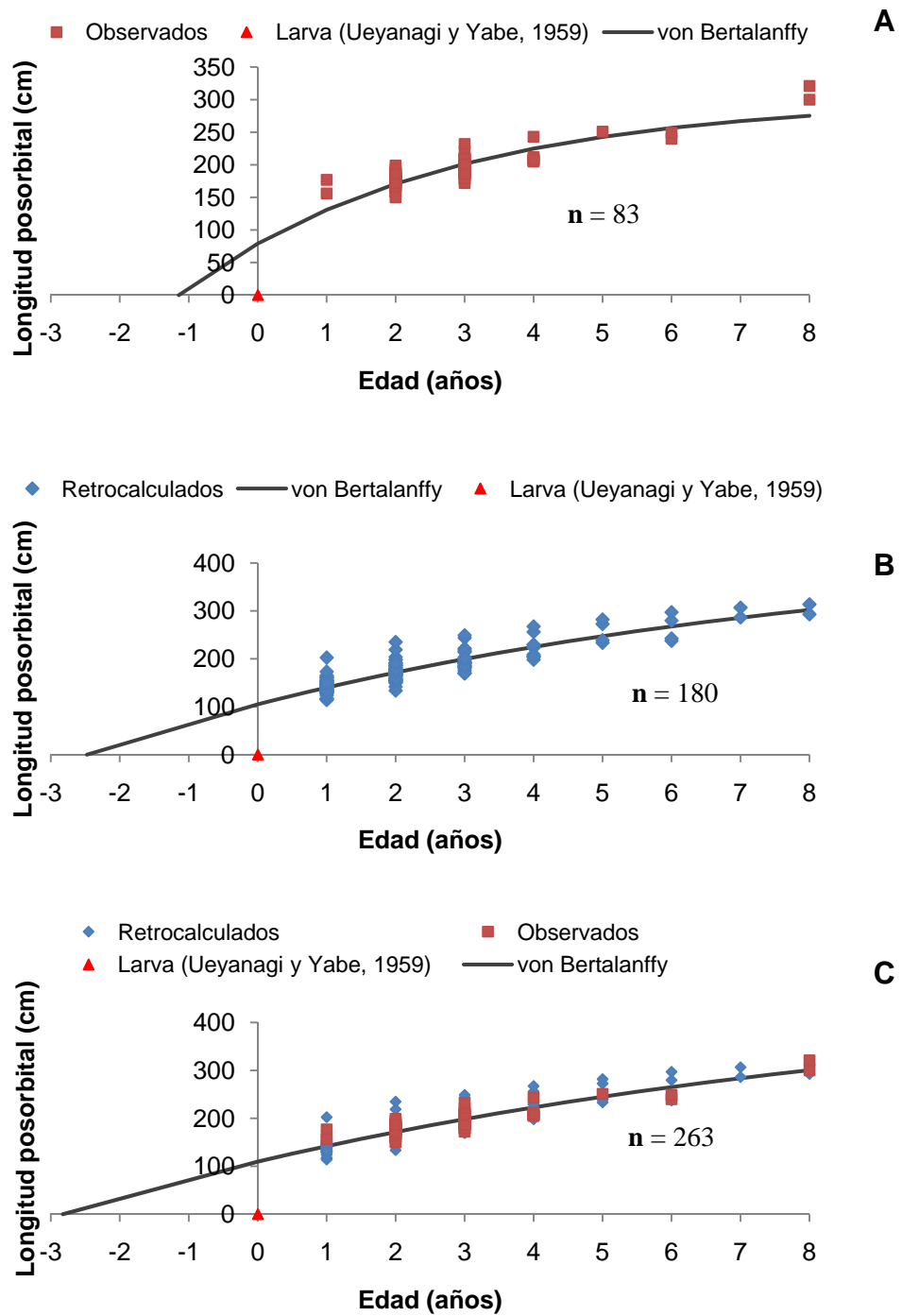


Figura 25. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el 2005, en las estimaciones se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada junto con las longitudes por edad observadas (A), retrocalculadas (B), y combinando observadas y retrocalculadas (C).

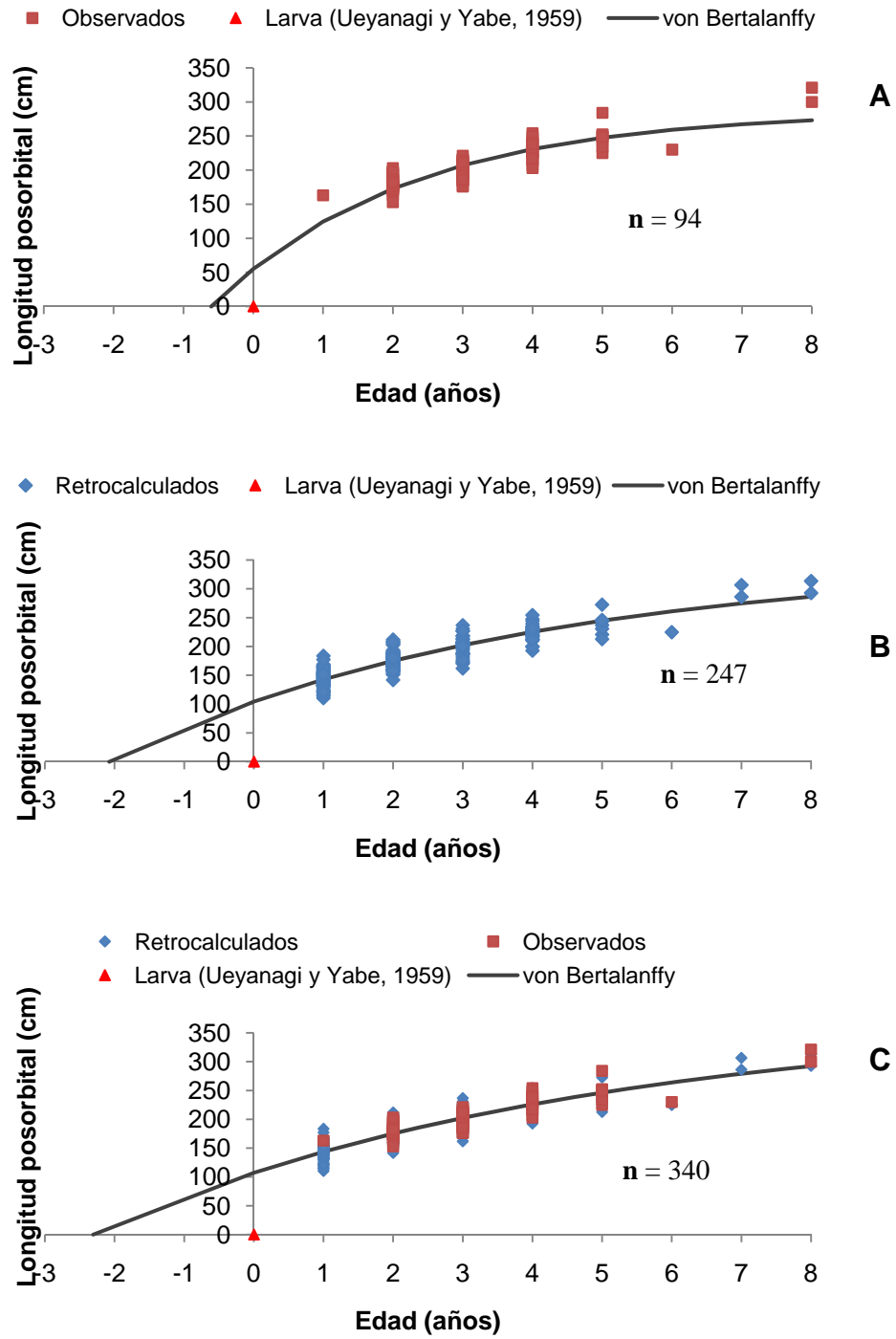


Figura 26. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el 2006, en las estimaciones se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada junto con las longitudes por edad observadas (A), retrocalculadas (B), y combinando observadas y retrocalculadas (C).

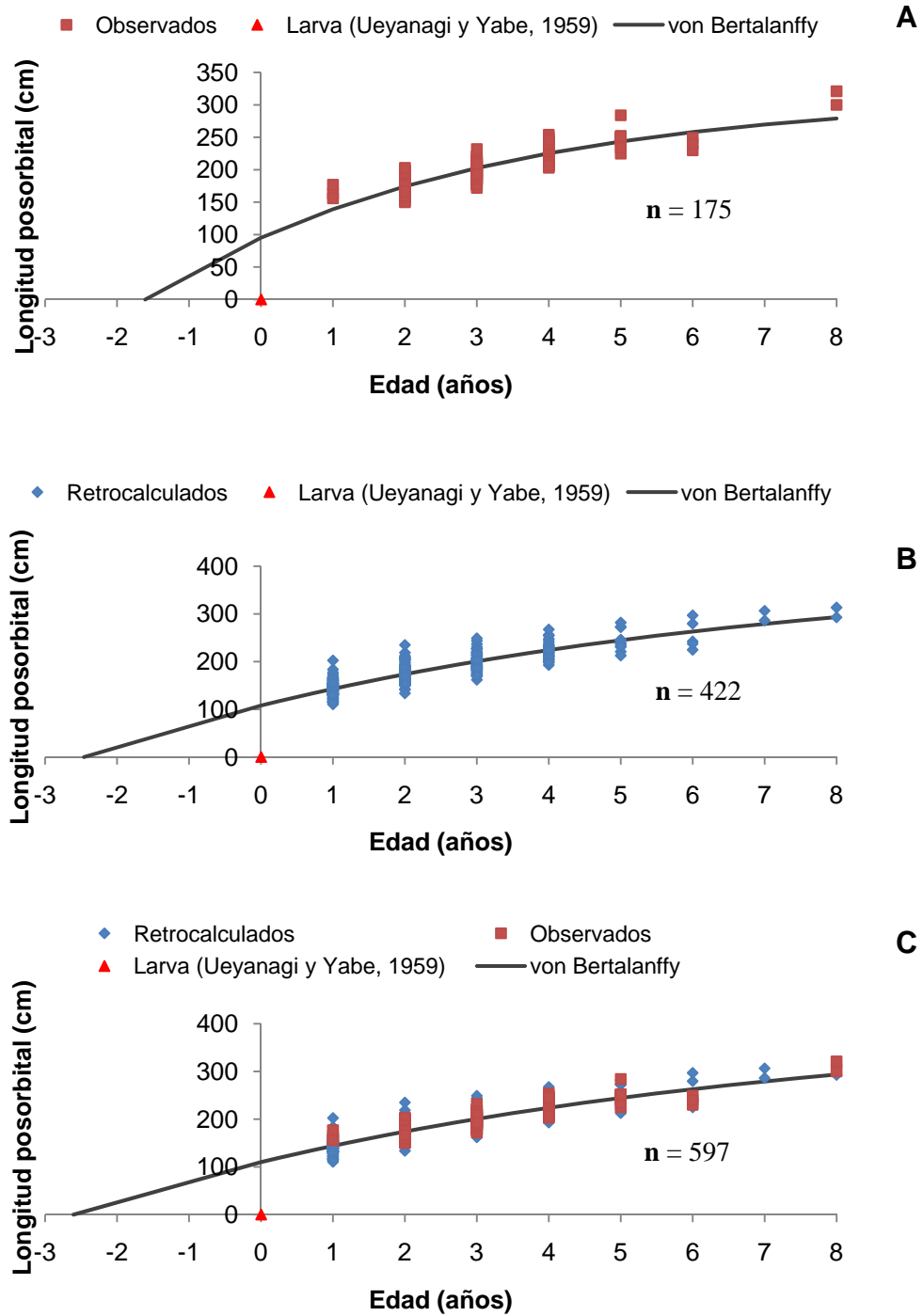


Figura 27. Curvas de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006, en las estimaciones se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada junto con las longitudes por edad observadas (A), retrocalculadas (B), y combinando observadas y retrocalculadas (C).



## 11.6 Estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy a partir de longitudes promedio combinadas por grupo de edad repitiendo dos o cinco veces los mismos valores promedio en diferentes grupos de edad

En este anexo se muestra el efecto del número de observaciones por grupo de edad en la estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy. Para denotar este efecto se ejemplifican varios casos en donde se repiten algunos valores de longitud promedio en diferentes grupos de edad.

Tabla 11. Ejemplos de variación de los parámetros del modelo de crecimiento en longitud de von Bertalanffy para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* debido al número de registros de longitud por edad incluidos en el análisis. Las estimaciones fueron realizadas utilizando las longitudes promedio combinadas por edad y repitiendo dos o cinco veces los mismos valores promedio en diferentes grupos de edad. En todos los casos se incluyó la misma longitud de la larva más pequeña reportada. En la última columna se indica la figura que muestra el diagrama de dispersión de las longitudes por edad utilizadas y la curva calculada mediante el uso de los parámetros correspondientes.

Valores repetidos	$L_{\infty}$	$k$	$t_0$	$R^2$	Figura
2 veces la longitud promedio a la edad 1	290.35	0.4309	-0.2001	0.9400	Fig. 28
5 veces la longitud promedio a la edad 1	278.08	0.5316	-0.1873	0.9305	Fig. 29
2 veces la longitud promedio a la edad 4	302.14	0.3622	-0.1962	0.9489	Fig. 30
5 veces la longitud promedio a la edad 4	307.68	0.3288	-0.2488	0.9453	Fig. 31
2 veces la longitud promedio a la edad 8	311.88	0.3441	-0.2069	0.9537	Fig. 32
5 veces la longitud promedio a la edad 8	325.92	0.3083	-0.2509	0.9602	Fig. 33

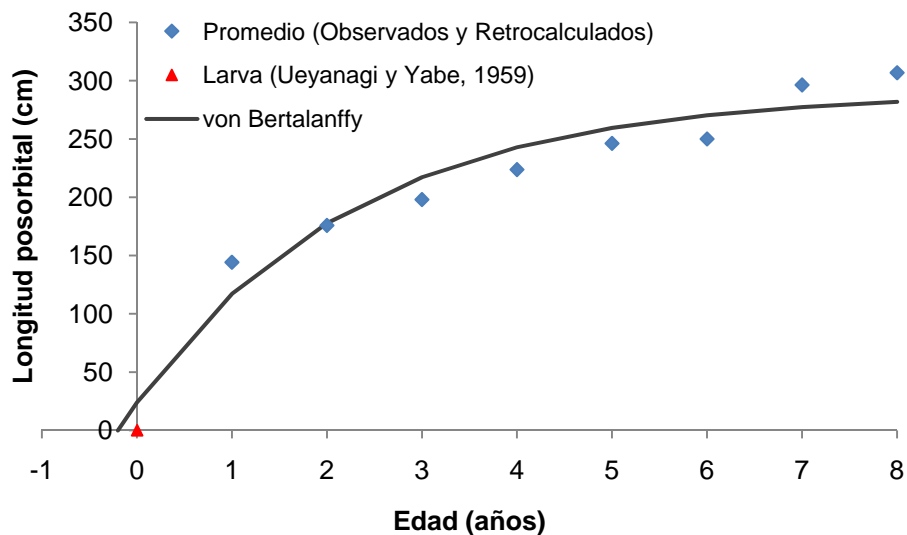


Figura 28. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul (*Makaira nigricans*) capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo dos veces el valor de longitud promedio a la edad 1. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.

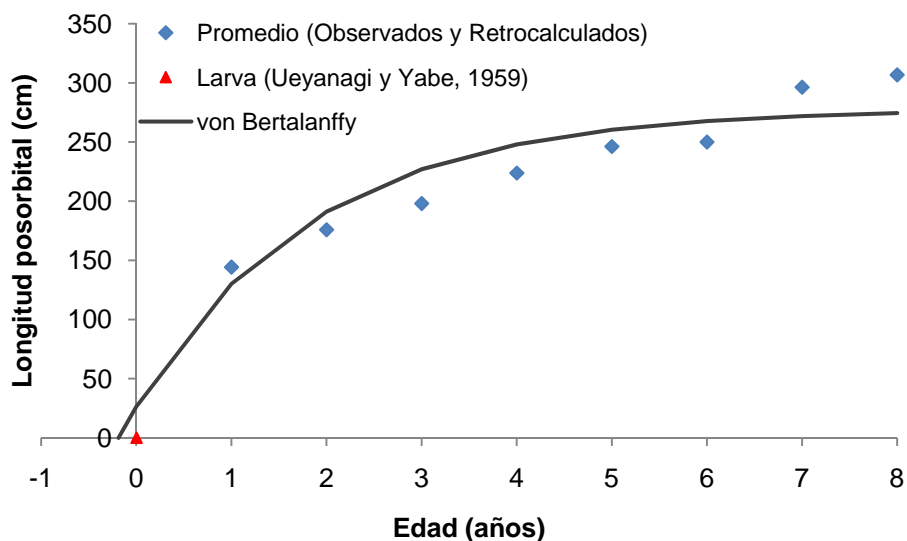


Figura 29. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo cinco veces el valor de longitud promedio a la edad 1. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.

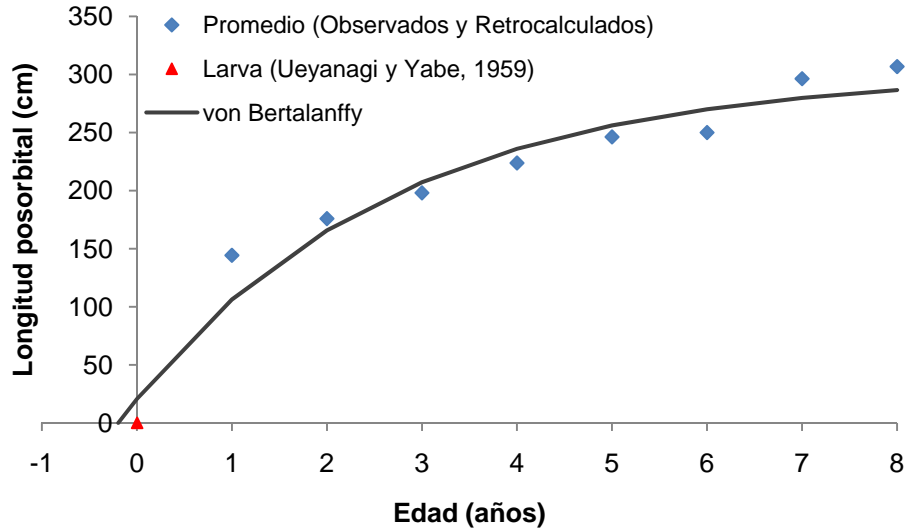


Figura 30. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo dos veces el valor de longitud promedio a la edad 4. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.

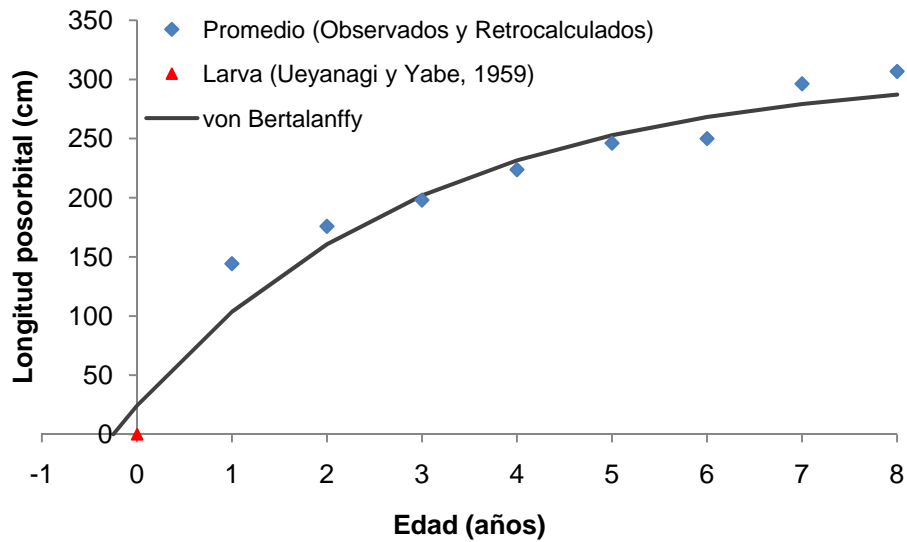


Figura 31. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo cinco veces el valor de longitud promedio a la edad 4. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.

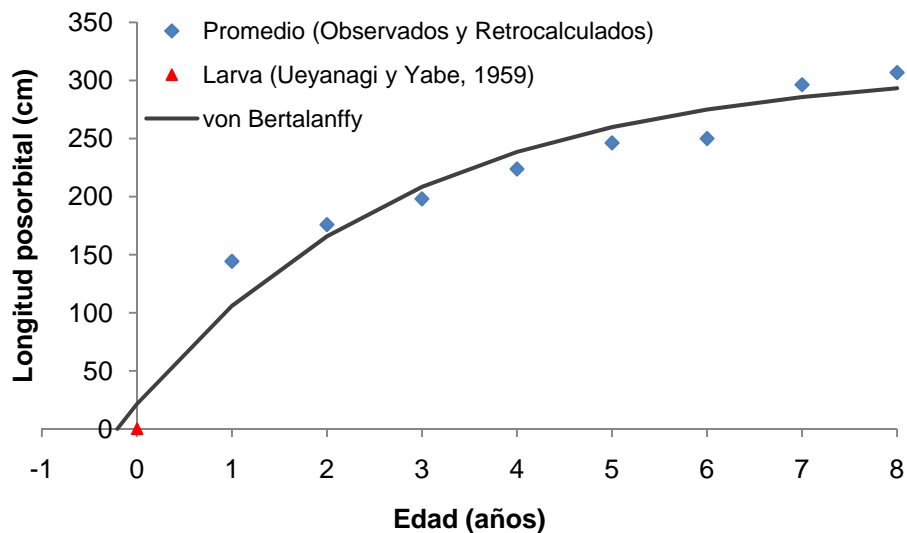


Figura 32. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo dos veces el valor de longitud promedio a la edad 8. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.

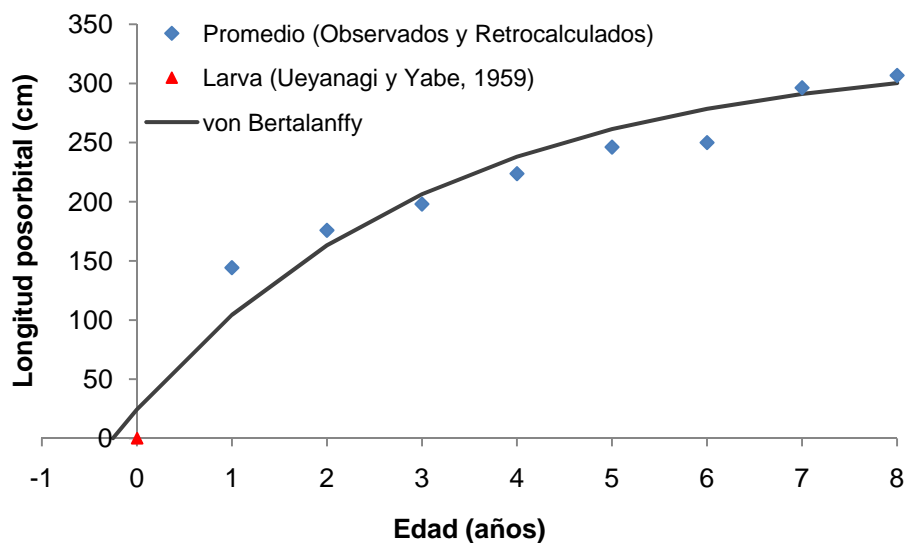


Figura 33. Curva de crecimiento individual en longitud para hembras de marlin azul *Makaira nigricans* capturadas en la vecindad de Cabo San Lucas, B.C.S. en el período 2005-2006 estimada a partir de las longitudes promedio combinadas por grupo de edad y repitiendo cinco veces el valor de longitud promedio a la edad 8. En la estimación se incluyó la longitud de la larva más pequeña reportada.