

# Inferencia multimodelo aplicada a la relación longitud total-peso eviscerado en tiburones: El caso del tiburón martillo cabeza de pala *Sphyrna tiburo*

Multi-model inference applied to the total length-gutted weight relationship in sharks:  
The case of the bonnethead shark *Sphyrna tiburo*

Sandra Edith Olmeda-de la Fuente<sup>1</sup>, Jorge Homero Rodríguez-Castro<sup>2</sup>, José Alberto Ramírez-de León<sup>3</sup>, Frida Carmina Caballero-Rico<sup>4</sup>, Jorge Alejandro Rodríguez-Olmeda<sup>5</sup> y Alfonso Correa-Sandoval<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doctorado en Gestión y Transferencia del Conocimiento, Centro Universitario Adolfo López Mateos, Centro de Excelencia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, CP 87149, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

<sup>2</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil 1301 Poniente, A.P. 175, C.P. 87010, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

<sup>3</sup>Unidad Académica de Trabajo Social y Desarrollo Humano, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, CP 87149, Tamaulipas, México

<sup>4</sup>Centro de Excelencia, Centro Universitario Adolfo López Mateos, Universidad Autónoma de Tamaulipas, CP 87149, Ciudad Victoria Tamaulipas, México

<sup>5</sup>Licenciatura en Biología, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil #1301 Pte. A.P. 175 C.P. 87010, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

\*Autor correspondiente: [jorge.rc@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:jorge.rc@cdvictoria.tecnm.mx)

**Abstract.** The modeling of the length-weight relationship (RLP) in sharks, the potential model has always been fitted [linear model (L) in logarithmic version], multi-model inference (IMM) has never been applied and constant growth has always been assumed in all phases of ontogenetic development. The bonnethead shark *Sphyrna tiburo* from the Gulf of Mexico is no exception. By modeling the RLP in females (H), males (M) and combined sexes (Comb) of *S. tiburo*, and applying the IMM [models (L), quadratic (Q), cubic (C), broken-stick (BS), two segments (DS), BS and DS with logistic transition between segments] based on information theory (TI), the hypothesis that the adjustment of L is insufficient to describe the RLP in sharks was tested. No model was selected. The IMM showed insufficient adjustment in L (0.86, 72.70 and 0.45%, in H, M and Comb, respectively), and significant in the average model (99.14, 27.30 and 99.55%, in H, M and Comb respectively); and showed that growth changes depending on the size and presents a marked morphological change in a certain specific size, manifested by the three types of growth registered in H and Comb [negative allometric (CAN) and positive (CAP), and isometric growth (CI)], and the two in M (CI and CAP), whose changes between growth types were coinciding with the change of juvenile-adult diet and the beginning of sexual maturity.

**Key words:** Sharks, multimodel-inference, length-weight relationship, allometric growth *Sphyrna tiburo*

**Resumen.** La modelación de la relación longitud-peso (RLP) en tiburones siempre se ha ajustado el modelo potencial [modelo lineal (L) en versión logarítmica], nunca se ha aplicado la inferencia multimodelo (IMM) y siempre se ha asumido un crecimiento constante en todas las fases del desarrollo ontogénico. El tiburón martillo cabeza de pala *Sphyrna tiburo* del Golfo de México, no es la excepción. Mediante la modelación de la RLP en hembras (H), machos (M) y sexos combinados (Comb) de *S. tiburo*, y aplicando la IMM [modelos (L), cuadrático (Q), cúbico (C), *broken-stick* (BS), dos segmentos (DS), BS y DS con transición logística entre segmentos] basada en la teoría de la información (TI), se probó la hipótesis de que el ajuste de L es insuficiente para describir la RLP en tiburones. Ningún modelo fue seleccionado con un peso de evidencia a su favor ( $w_i\%$ ) mayor al 90%. La IMM evidenció un ajuste insuficiente en L ( $w_i\%$ = 0,86, 72,70 y 0,45%, en H, M y C, respectivamente), y significativo en el modelo promedio ( $w_i\%$ = 99,14, 27,30 y 99,55%, en H, M y Comb respectivamente); y demostró que el crecimiento cambia en función de la talla y presenta un marcado cambio morfológico en cierta talla específica, manifestado por los tres tipos de crecimiento registrados en H y Comb [alométrico negativo (CAN) y positivo (CAP), y crecimiento isométrico (CI)], y los dos en M (CI y CAP), cuyos cambios entre tipos de crecimiento fueron coincidentes con el cambio de dieta juvenil-adulto y el inicio de la madurez sexual, reportados por la literatura.

**Palabras clave:** Tiburones, inferencia-multimodelo, relación-longitud-peso, crecimiento alométrico, *Sphyrna tiburo*



## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los animales suele ir acompañado de cambios tanto en la proporción como en el tamaño, es decir, algunas partes del cuerpo crecen a un ritmo diferente (Katsanevakis *et al.* 2007, Protopapas *et al.* 2007). Este fenómeno es comúnmente llamado crecimiento relativo o crecimiento alométrico. El modelo de alometría (Huxley 1932, *vide* Gayon 2000) es el método de análisis más extensamente usado para el análisis del crecimiento relativo durante la ontogenia. Cuando se modela la relación de las variables longitud y peso (RLP) en particular, siempre se utiliza el modelo potencial  $W = a \cdot LT^b$ , donde  $W$  = peso,  $LT$  = longitud total y  $a$  y  $b$  parámetros del modelo que significan el factor de condición y el coeficiente de alometría, respectivamente. Su amplia utilización se debe a que es bastante simple en términos conceptuales y matemáticos, y sus parámetros son fáciles de estimar mediante una regresión lineal. Por otro lado,  $b$  no necesariamente siempre es constante (modelo lineal); puede cambiar continua (modelos cuadrático y cúbico) o abruptamente en un punto específico (modelos con *breakpoint*). Para estimar  $b$  generalmente los datos de las variables se transforman en logaritmos y la regresión lineal es ajustada, y  $b$  corresponde a la pendiente de la ecuación lineal resultante. La transformación logarítmica de los datos es apropiada dado que los datos morfológicos tienden a poseer una estructura log-normal sin valores negativos, con distribución sesgada positivamente y con varianzas que se incrementan con la media (Jolicoeur 1990, Ebert & Russell 1994, Katsanevakis *et al.* 2007).

Sin embargo, el ajuste del modelo alométrico clásico generalmente no es adecuado a los datos, y entonces se requiere el ajuste de modelos más complejos (Protopapas *et al.* 2007). Este ajuste inadecuado puede ser producto de la inexistencia de la linealidad o la existencia de cambios constantes en las variables medidas y/o cambios morfológicos muy marcados (*breakpoint*). Por esto siempre es recomendable poner a prueba a más de un modelo de crecimiento para evidenciar al que mejor describa los datos que se tienen a la mano (Burnham & Anderson 2002, Cailliet *et al.* 2006). De esta forma surge la corriente de la selección de modelos basada en la teoría de la información, descrita por Burnham & Anderson (2002), en donde el procedimiento de inferencia multimodelo tiene una ventaja práctica al estimar parámetros promedio con base en el aporte de las proporciones de cada modelo candidato según su peso específico (Katsanevakis & Maravelias 2008). Esto a su vez, contribuye a evidenciar nuevos rasgos y descubrimientos que no se podrían percibir con la estadística frecuentista, en la que únicamente se confrontan dos hipótesis al proponer un solo modelo (Morales-Bojorquez *et al.* 2014).

El tiburón martillo cabeza de pala *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758) es un recurso importante económicamente en el Golfo de México. Participa con el 50% del total del volumen que aporta el grupo de los pequeños tiburones costeros en el sureste de los Estados Unidos de Norteamérica, y con el 15% del volumen de la captura anual en el Golfo de México (Cortés & Neer 2005). Recientemente se reportó que el tiburón cabeza de pala junto con el cazón *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson, 1836) fueron las dos especies de tiburones más capturadas en el sureste del Golfo de México (Pérez-Jiménez & Mendez-Loeza 2015). En la costa del estado de Tamaulipas, el recurso tiburón-cazón ocupa el décimo lugar en volumen y valor dentro de las principales pesquerías del estado (Rodríguez-Castro *et al.* 2010).

Las investigaciones sobre *S. tiburo* son escasas en general, la poca existente aborda principalmente el tema del crecimiento absoluto (Carlson & Parsons 1997, Lombardi-Carlson *et al.* 2003, Frazier *et al.* 2014) y solo dos estudios han abordado la RLP (Bonfil *et al.* 1990, Frazier *et al.* 2014). La modelación de la RLP bajo el enfoque de la inferencia multimodelo (IMM) donde se estima un modelo promedio, procesada con la teoría de la información, es inexistente en esta especie, y en tiburones en general. En organismos acuáticos el uso del enfoque multimodelo se ha dirigido principalmente a moluscos (Garraffoni *et al.* 2010, Yokoyama & Amaral 2011), y crustáceos (Hall *et al.* 2006, Katsanevakis *et al.* 2007, Protopapas *et al.* 2007, Zhang *et al.* 2017, Rodríguez-Domínguez *et al.* 2018, Aragón-Noriega *et al.* 2019) y en peces es escaso (Katsanevakis *et al.* 2007, Ma *et al.* 2017). Entonces: ¿El crecimiento alométrico en tiburones es constante? ¿cambiante de forma continua? o ¿cambiante de forma abrupta en algún punto de la talla a analizar? y en caso de evidenciar posibles cambios abruptos y/o los cambios del tipo de crecimiento (alométrico negativo o positivo, e isométrico) ¿se pueden relacionar estos cambios con las tallas de ocurrencia de algunos eventos biológicos de la especie?

Por lo anterior, en *S. tiburo* (hembras, machos y sexos combinados) los objetivos del estudio fueron: (a) revisar el desempeño del modelo lineal, y seis modelos más (dos polinómicos y cuatro con *breakpoint*), en el ajuste a los datos observados de longitud total y peso eviscerado para modelar la RLP; (b) estimar la IMM a partir de los siete modelos, para generar resultados más robustos; (c) identificar el tipo de crecimiento (alométrico, negativo o positivo, e isométrico) en todo el rango de tallas analizado; y (d) relacionar las tallas donde ocurren cambios de los tipos de crecimiento con las tallas, reportadas por la literatura, donde ocurren algunos eventos biológicos de la especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el periodo de septiembre 2016 a abril 2019, especímenes de *S. tiburo* fueron capturados de la pesca artesanal en tres localidades de la costa del Estado de Tamaulipas, México: el campo pesquero Carvajal del Municipio de San Fernando, y en los poblados pesqueros La Pesca y Miguel de la Madrid (El Canal) del Municipio de Soto La Marina (Fig. 1). El arte de pesca empleado fueron palangres principalmente y redes cazoneras. Los palangres son de monofilamento con una longitud entre 600 y 1.500 m en promedio, e incluyen reinales de 1,5 a 2,5 m de longitud, entre 150 y 500 en promedio por palangre, y anzuelos “garra de águila” del número 5 y 6, entre 350 y 750 por palangre. Las “redes cazoneras” son de nylon y polietileno con longitudes entre 450 y 1.000 m, con caída de 6 m y una abertura de malla de 12,5 cm. A cada organismo capturado se le determinó el sexo por la presencia o ausencia del mixopterigio (órgano copulador), presente en el caso de los machos, y se les tomó, de forma directa, la longitud total (LT) en cm y el peso eviscerado (PE) en kg. Estas medidas fueron tomadas con un ictiómetro convencional ( $\pm 1$  mm) y una báscula digital Torrey OLEQ5-N con capacidad de 5 kg ( $\pm 0,1$  g), respectivamente.

## MODELOS CANDIDATOS

Con la intención de identificar el modelo con mejor ajuste a los datos observados y definirlo como el modelo que mejor describe el crecimiento alométrico o relativo en esta especie, se ajustaron siete modelos a datos transformados a logaritmos (log) de las variables de LT y PE de hembras (H), machos (M) y sexos combinados (Comb), a la RLP. El crecimiento alométrico o relativo, medido a través del coeficiente de alometría ( $b$ ), se asume de forma diferente en cada uno de los modelos utilizados en este estudio: a) en el modelo lineal (L) es constante, b) en los modelos cuadrático (Q) y cúbico (C) cambia continuamente conforme aumenta el tamaño corporal ( $b = b_1 + 2b_2 \log LT$  y  $b = b_1 + 2b_2 \log LT + 3b_3 (\log LT)^2$ , respectivamente); c) en los modelos *broken-stick* (BS) y dos segmentos (DS), dos valores constantes ( $b_1$  y  $b_2$ ), generalmente diferentes, antes y después del *breakpoint* (BP) (Katsanevakis *et al.* 2007), y d) en los modelos *broken-stick* con transición logística (BSL) y dos segmentos con transición logística (DSL), igual que BS y DS, pero el punto de unión entre los dos segmentos es determinado por una función logística de la LT (Hall *et al.* 2006). El número de parámetros y las ecuaciones de los modelos se especifican en la Tabla 1, y los BP fueron estimados según el criterio de Hall *et al.* (2006) (Tabla 2).

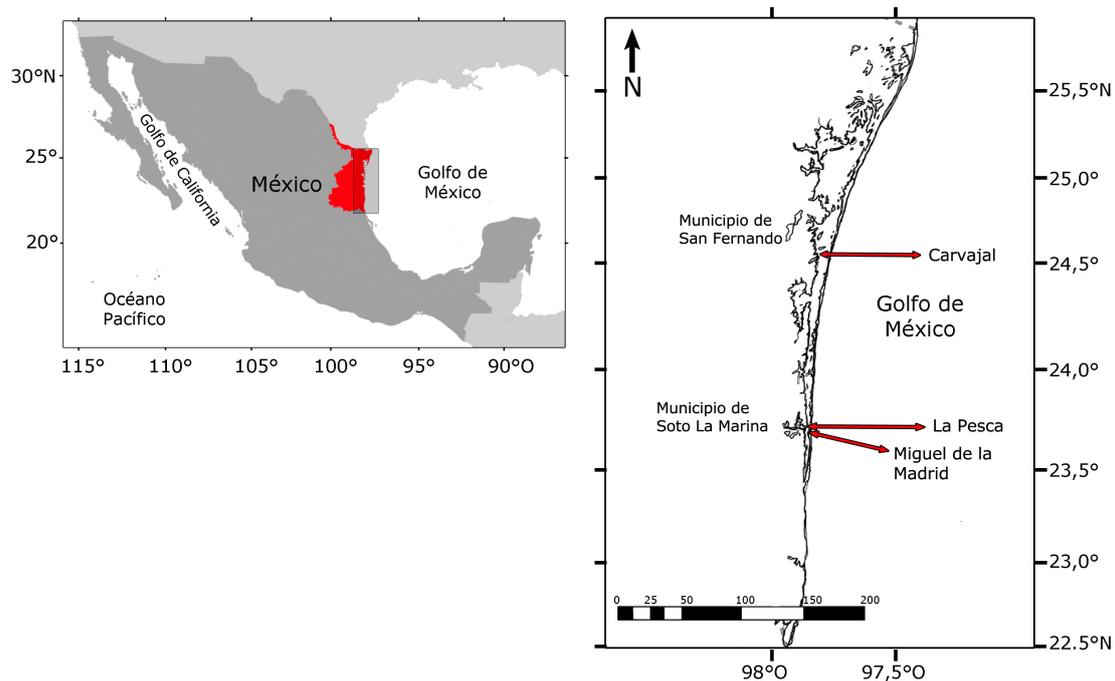


Figura 1. Sitios de muestreo del tiburón martillo cabeza de pala *Sphyrna tiburo* en tres localidades costeras del Estado de Tamaulipas, México, oeste del Golfo de México / Sampling sites of the bonnethead shark *Sphyrna tiburo* in three coastal localities of the Tamaulipas State, Mexico, western Gulf of Mexico

**Tabla 1. Modelos candidatos aplicados en la modelación de la relación logarítmica longitud total-peso eviscerado *S. tiburó* en el oeste del Golfo de México / Candidate models applied in the modeling of the logarithmic total length-gutted weight relationship of *S. tiburó* in the western Gulf of Mexico**

Modelo	k	Ecuación
Lineal	2	$\log PE = a_1 + b_1 \log LT$
Cuadrático	3	$\log PE = a_1 + b_1 \log LT + b_2 (\log LT)^2$
Cúbico	4	$\log PE = a_1 + b_1 \log LT + b_2 (\log LT)^2 + b_3 (\log LT)^3$
Broken-stick	4	$\log PE = \begin{cases} a_1 + b_1 \log LT & LT \leq b_3 \\ a_1 + (b_1 - b_2)b_3 + b_2 \log LT & LT > b_3 \end{cases}$
Broken-stick con transición logística	5	$\log PE = (1-p)(a_1 + b_1 \log LT) + p[(b_1 - b_2)b_3 + (b_2 - b_1) \log LT]$ <p>Dónde:  <math>p = \{1 + \exp[-b_4(LT - \exp(b_3))]\}^{-1}</math></p>
Dos segmentos	5	$\log PE = \begin{cases} a_1 + b_1 \log LT & LT \leq b_5 \\ a_1 + b_2 \log LT & LT > b_5 \end{cases}$
Dos segmentos con transición logística	6	$\log PE = (1-p)(a_1 + b_1 \log LT) + p[(b_2 + b_3) \log LT]$ <p>Dónde:  <math>p = \{1 + \exp[-b_4(LT - \exp(b_3))]\}^{-1}</math></p>

k= Número de parámetros, PE= Peso eviscerado, LT= Longitud total, p= Probabilidad a y b= Parámetros de los modelos, donde b representa el coeficiente de alometría

**Tabla 2. Estimación de la talla del breakpoint (BP) y rangos de tallas para estimar las pendientes de los segmentos 1 y 2, en los modelos break-stick (BS), dos segmentos (DS), break-stick con transición logística (BSL) y dos segmentos con transición logística (DSL), ajustados en la relación logarítmica longitud total-peso eviscerado de *S. tiburó* en el oeste del Golfo de México / Estimation of the breakpoint length (BP) and length ranges to estimate the slopes of segments 1 and 2, in the break-stick (BS), two-segment (DS), break-stick with logistic transition (BSL) and two segments with logistic transition (DSL) models, adjusted in the logarithmic total length-gutted weight relationship of *S. tiburó* in the western Gulf of Mexico**

Modelo	Ubicación del BP (en la talla estimada)	Rango de tallas de las pendientes			
		Segmento 1		Segmento 2	
		Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
BS	$b_3$	Primera talla	$b_3$	$b_3$	Última talla
BSL	Antilog $b_4$	Primera talla	Antilog $b_4$	Antilog $b_4$	Última talla
DS	$b_3$	Primera talla	$b_3$	Antilog $b_4$	Última talla
DSL	$b_3$	Primera talla	$b_3$	Antilog $b_5$	Última talla

### AJUSTE DE MODELOS

Los modelos fueron ajustados mediante un proceso iterativo con la función SOLVER de Microsoft Excel® con el algoritmo de búsqueda directa de Newton (Neter *et al.* 1996) asumiendo el error aditivo y maximizando la función objetivo de verosimilitud (Haddon 2001) siguiente:

$$\mathcal{L}(\hat{\theta} | \text{datos}) = -\left(\frac{n}{2}\right) \left( \ln(2\pi) + 2 \cdot \ln(\sigma) + 1 \right)$$

donde  $\mathcal{L}$  es la máxima verosimilitud logarítmica,  $\Phi$ = parámetros del modelo, y  $\sigma$ = desviación estándar del error, calculada esta última mediante la ecuación siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\sum (WE - \widehat{WE})^2 / n}$$

donde, WE= Peso eviscerado observado y  $\widehat{WE}$  = Peso eviscerado estimado.

## SELECCIÓN DE MODELOS

Para la selección del modelo se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés) (Akaike 1973) en su versión corregida para muestras pequeñas (AICc) (Burnham & Anderson 2002), debido a que  $n/\Phi$  es menor de 40, donde  $n$ = tamaño de muestra y  $\Phi$ = es el número de parámetros.

El algoritmo es:

$$AIC_c = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1},$$

y para máxima verosimilitud es:

$$AIC = -2LL + 2k$$

dónde,  $k$ = número de parámetros,  $n$ = número de datos y  $LL$  es la máxima verosimilitud. Se asume que las desviaciones están normalmente distribuidas con varianza constante. El modelo con el menor AICc fue seleccionado como el que mejor se ajusta a los datos.

## MODELO DE PROBABILIDAD (BURNHAM & ANDERSON 2002)

Para cada modelo se calculó el valor de  $\Delta_i$  como las diferencias entre los AICc de cada modelo ( $AIC_i$ ) y el AICc con el menor valor ( $AIC_{\min}$ ) encontrado, según la ecuación  $\Delta_i = AIC_i - AIC_{\min}$ . De acuerdo con Burnham & Anderson (2002) modelos con  $\Delta_i > 10$  no tienen suficiente evidencia estadística a favor de algún modelo, y pueden ser omitidos; modelos con  $\Delta_i < 2$  poseen evidencia sustancial, mientras que aquellos modelos en el rango  $4 < \Delta_i < 7$  tienen menor evidencia; y  $\Delta_i = 0$  corresponde al mejor modelo con el valor de AICc más bajo. Enseguida se determinó la plausibilidad (el peso de la evidencia a favor del modelo  $i$ ) a través de la ponderación del AIC ( $w_i$ ) utilizando el modelo de probabilidades como se describe a continuación:  $w_i = \exp(-0,5 \Delta_i) / \sum \exp(-0,5 \Delta_i)$ . El peso Akaike es considerado como el peso de la evidencia a favor del modelo  $i$  de la serie de modelos utilizados (Burnham & Anderson 2002). Sin embargo, cuando la evidencia a favor del modelo ganador sea  $w_i < 90\%$  se recomienda recurrir a la inferencia multimodelo, donde cada modelo aporta su proporción de evidencia a favor para obtener un parámetro ponderado (Burnham & Anderson 2002).

## INFERENCIA MULTIMODELO (IMM)

Se estimaron los valores promedio ( $\hat{\theta}$ ) de cada uno de los parámetros ( $a, b_1, b_2, b_3, b_4, y b_5$ ), de cada uno de los modelos ( $g$ ) concursantes (L, Q, C, BS, BSL, DS, DSL), para obtener el modelo promedio. Esta estimación fue mediante la suma de los productos del valor original de cada parámetro, de cada modelo candidato, por su respectivo valor  $w_i$ , según las siguientes ecuaciones:

$\hat{\theta} = \theta \cdot w_i$ , dónde  $\theta$  es el valor original de cada uno de los parámetros de cada modelo candidato y  $w_i$ = peso específico de cada modelo; y

$$\hat{\theta} = \sum_{i=1}^R w_i \hat{\theta}_i$$

dónde,  $\hat{\theta}$  es el parámetro promedio estimado de  $\theta$ , y  $R$  es el número de modelos.

## INCERTIDUMBRE DE LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS

Con base en Burnham & Anderson (2002), para cada uno de los parámetros de los modelos individuales y del modelo promedio se estimaron los intervalos de confianza (IC) con un nivel de confianza del 95%, de la forma siguiente:

$$L_{\text{sup}} = \hat{\theta} + (1,96) \cdot EE$$

$$L_{\text{inf}} = \hat{\theta} - (1,96) \cdot EE$$

dónde,  $L_{\text{sup}}$  es el límite superior,  $L_{\text{inf}}$  es el límite inferior,  $\hat{\theta}$  es el parámetro promedio y  $EE$  es el error estándar.

El  $EE$  fue calculado con el procedimiento siguiente:

$$EE = \sum_{i=1}^R w_i \sqrt{\widehat{\text{var}}(\hat{\theta}_i | g_i) + (\hat{\theta}_i - \hat{\theta})^2}$$

donde,  $\widehat{\text{var}}(\hat{\theta}_i | g_i)$  representa la varianza de la estimación  $\hat{\theta}_i$  del modelo dado  $g_i$ .

## COMPARACIÓN DE CURVAS

La comparación de las funciones de crecimiento alométrico entre sexos se efectuó mediante el análisis de la suma de cuadrados residuales sugerido por Chen *et al.* (1992), cuya expresión es la siguiente:

$$F = \left[ \frac{RSS_p - RSS_s}{3(K-1)} \right] / \left[ \frac{RSS_s}{(N-3K)} \right]$$

dónde,  $N$ = número total de muestras,  $K$ = número de grupos en comparación,  $RSS_s$ = suma de cuadrados residuales,  $RSS_p$ = Suma de cuadrados residuales del ajuste agrupado

## PRUEBA T DE STUDENT

Se probó la hipótesis del crecimiento isométrico ( $H_0: b = 3$ ;  $H_a: b \neq 3$ ) mediante una prueba t de Student (Walpole *et al.* 2007) con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Cuando fue rechazada  $H_0$  el crecimiento fue clasificado en crecimiento alométrico negativo (CAN) ( $b < 3$ ) o crecimiento alométrico positivo (CAP) ( $b > 3$ ), de acuerdo al criterio de Ricker (1975), y cuando  $H_0$  fue aceptada entonces se indicó un crecimiento isométrico (CI).

## RESULTADOS

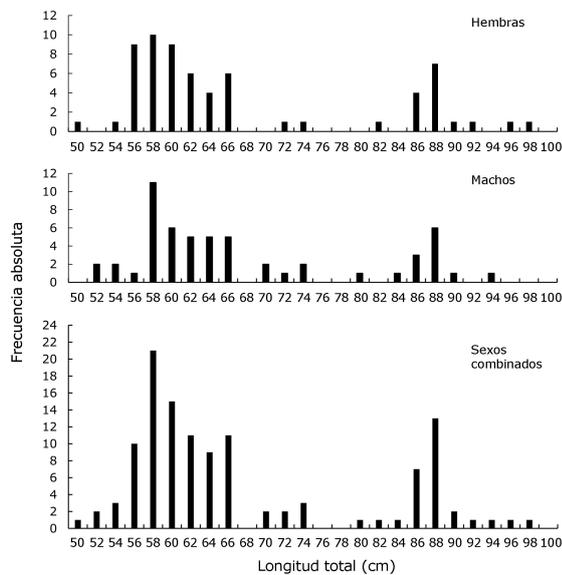
Se muestrearon 119 ejemplares de los cuales 64 fueron H (54%) y 55 M (46%) (Tabla 3). Las H presentaron los rangos más amplios, y los menores valores mínimos y los mayores valores máximos de LT y PE (Tabla 3). La distribución de tallas presenta dos modas con mayor frecuencia en H, M y Comb (Fig. 2 A-C): de 56 a 66 cm y de 86 a 88 cm, que representan entre el 60, 70, y el 17%, respectivamente. En la distribución de frecuencias del peso eviscerado también se presentan dos modas con la mayor distribución de frecuencias en H, M y C (Fig. 3A): de 0,6 a 1 kg y de 2 a 2,8 kg, que representan entre el 67 y 70%; y el 22 y 27%, de cada una de las modas respectivamente.

Con excepción del valor en C en el modelo L, todos los valores del índice  $n/\Phi$  de los tres sets de datos (H, M y Comb) en todos los modelos utilizados en este estudio (L, Q, C, BS, BSL, DS, DSL), cumplen con la condición necesaria ( $n/\Phi < 40$ ) (Tabla 4) para el uso de AICc en la selección de modelos.

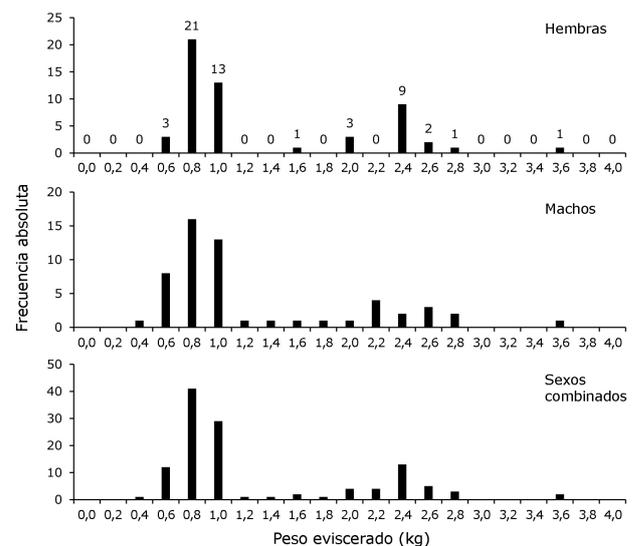
**Tabla 3. Medidas estadísticas de las variables de longitud total (LT) y peso eviscerado (PE) de hembras (H), machos (M) y sexos combinados (Comb) de *S. tiburo* en el oeste del Golfo de México / Statistical measurements of the variables of total length (LT) and gutted weight (PE) of females (H), males (M) and combined sexes (Comb) of *S. tiburo* in the western Gulf of Mexico**

Medidas estadísticas	LT (cm)			PE (kg)		
	H	M	Comb	H	M	Comb
Mínimo	67,64	69,78	68,42	1,25	1,38	1,26
Promedio	50,00	51,00	50,00	0,62	0,38	0,38
Máximo	98,00	94,00	98,00	3,55	2,48	3,55
n	64	55	119	64	55	119

n= tamaño de muestra



**Figura 2. Distribución de frecuencia de tallas de hembras, machos y sexos combinados de *Sphyrna tiburo* en el oeste del Golfo de México / Length frequency distribution of females, males and sexes combined of *Sphyrna tiburo* in the western Gulf of Mexico**



**Figura 3. Distribución de frecuencia de pesos eviscerados en hembras, machos y sexos combinados de *Sphyrna tiburo* en el oeste del Golfo de México / Frequency distribution of gutted weights of females, males and combined sexes of *Sphyrna tiburo* in the western Gulf of Mexico**

**Tabla 4. Tamaño de muestra y valores del índice  $n/\Phi$  para validar el uso de AICc (Criterio de información Akaike, en su versión corregida para muestras pequeñas) en la selección de modelos de la relación logarítmica longitud total-peso eviscerado de *S. tiburó* en el oeste del Golfo de México / Sample size and  $n/\Phi$  index values to validate the use of AICc (Akaike Information Criterion, in its corrected version for small samples) in the selection of models of the logarithmic total length-gutted weight relationship of *S. tiburó* in the western Gulf of Mexico**

Especificaciones	n	Modelos							
		L	Q	C	BS	BSL	DS	DSL	
$\Phi$		2,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	6,00	
Set de datos	Hembras	64	32,00	21,33	16,00	16,00	12,80	12,80	10,67
	Machos	55	27,50	18,33	13,75	13,75	11,00	11,00	9,17
	Sexos combinados	119	59,50	39,67	29,75	29,75	23,80	23,80	19,83

n= tamaño de muestra;  $\Phi$ = número de parámetros; L= Modelo lineal, Q= Modelo cuadrático, C= Modelo cúbico, BS= Modelo *broken-stick*, BSL= Modelo *broken-stick* con transición logística, DS= Modelo de dos segmentos, DSL= Modelo de dos segmentos con transición logística

## MODELOS INDIVIDUALES

Con base en las diferencias de Akaike ( $\Delta_i$ ) (Burnham & Anderson 2002), en el presente estudio los modelos presentaron los tres niveles de soporte empírico: a) sustancial ( $\Delta_i = 0-2$ ), considerablemente menor ( $\Delta_i = 4-7$ ) y c) sin soporte empírico ( $\Delta_i > 10$ ) (Tabla 5), pero ninguno cumplió con el criterio definido por Burnham & Anderson (2002) para seleccionar un modelo ganador ( $w_i \geq 90\%$ ). De esta forma la IMM demostró la insuficiente representación de L (0,86, 72,70 y 0,45% en H, M y Comb, respectivamente) de los datos observados; y un ajuste significativo del modelo promedio ( $w_i = 99,14, 27,30$  y  $99,55\%$  en H, M y Comb, respectivamente).

**Tabla 5. Parámetros e indicadores de ajuste de los modelos confrontados para calcular la relación logarítmica longitud total-peso eviscerado de *S. tiburó* en el oeste del Golfo de México / Parameters and fit indicators of the compared models to calculate the logarithmic total length-gutted weight relationship of *S. tiburó* in the western Gulf of Mexico**

Parámetros	Hembras							
	Modelos individuales							Modelo promedio
	L	Q	C	BS	BSL	DS	DSL	
$a$	-5,01	13,17	0,11	14,66	140,21	14,25	0,45	8,589
$b_1$	2,76	-16,98	4,82	-12,74	254,26	-12,56	0,55	-8,808
$b_2$		5,35	-6,74	-11,33	-137,55	-11,16	-0,24	-1,101
$b_3$		0,00	2,23	-0,02	-0,03	0,00	0,00	0,326
$b_4$					-1,64	-0,62	-16,51	-3,648
$b_5$							0,63	0,139
BP (cm)				66,09	66,12	67,01	67,41	
$\Phi$	2	3	4	4	5	5	6	
LL	74,61	79,47	79,42	79,63	73,70	79,39	81,82	
AIC=	-145,22	-152,94	-150,85	-151,26	-137,41	-148,79	-151,64	
$\Delta$ AIC	7,71	0,00	2,09	1,68	15,53	4,15	1,30	
$w_i$ (%)	0,86	40,76	14,34	17,60	0,02	5,12	21,30	
Parámetros	Machos							
	Modelos individuales							Modelo promedio
	L	Q	C	BS	BSL	DS	DSL	
$a$	-5,78	12,82	0,00	-1,29	139,73	7,43	1,80	-0,586
$b_1$	3,16	-17,04	-4,25	-0,41	260,07	-7,37	1,38	8,197
$b_2$		5,47	2,94	-2,62	-137,00	-7,57	-1,58	-3,481
$b_3$		0,00	-0,33	-0,02	-0,04	0,00	0,00	-0,040
$b_4$					-1,75	-0,70	-3,30	-0,098
$b_5$							0,65	0,009
BP (cm)				66,48	67,78	68,23	67,34	
$\Phi$	2	3	4	4	5	5	6	
LL	70,08	66,68	70,18	70,16	69,73	68,71	70,15	
AIC	-136,16	-127,36	-132,36	-132,32	-129,45	-127,42	-128,29	
$\Delta$ AIC	0,00	8,80	3,80	3,84	6,71	8,74	7,87	
$w_i$ (%)	72,70	0,89	10,87	10,65	2,54	0,92	1,42	
Parámetros	Combinado							
	Modelos individuales							Modelo promedio
	L	Q	C	BS	BSL	DS	DSL	
$a$	-5,34	13,04	0,00	6,13	137,71	7,56	1,95	6,298
$b^1$	2,93	-17,00	1,28	-6,15	253,96	-7,35	1,60	-6,470
$b^2$		5,40	-2,92	-6,81	-135,03	-7,36	-0,79	-2,768
$b^3$		0,00	1,21	0,02	-0,04	0,00	0,00	0,366
$b^4$					-1,69	-0,70	-4,60	-0,087
$b^5$							0,73	0,000
BP (cm)				68,17	66,94	67,29	67,13	
$\Phi$	2	3	4	4	5	5	6	
LL	135,32	137,44	138,61	138,70	134,01	138,69	138,88	
AIC	-260,84	-268,87	-269,22	-269,41	-258,02	-267,38	-256,52	
$\Delta$ AIC	8,57	0,53	0,19	0,00	11,39	2,03	12,89	
$w_i$ (%)	0,45	25,06	29,73	32,72	0,11	11,87	0,05	

L= Modelo lineal, Q= Modelo cuadrático, C= Modelo cúbico, BS= Modelo *broken-stick*, BSL= Modelo *broken-stick* con transición logística, DS= Modelo de dos segmentos, DSL= Modelo de dos segmentos con transición logística;  $a$ = intercepto,  $b$ = coeficiente de alometría, BP= *breakpoint*;  $\Phi$ = número de parámetros; LL= Máxima verosimilitud logarítmica, AIC= Criterio de información de Akaike,  $\Delta$ AIC= Diferencias de AIC,  $w_i$ = peso Akaike

Los intervalos de confianza (IC) de menor tamaño de los parámetros de los siete modelos individuales, fueron los estimado por el modelo BSL en el caso de H (Tabla 6); en M fueron los calculados para los parámetros  $a$ ,  $b_1$  y  $b_3$  generados por el modelo DS, y para  $b_2$  y  $b_4$  y BP, los entregados por el modelo DSL (Tabla 7); y en Comb, los menores IC fueron

para los parámetros estimados por el modelo DSL (Tabla 8). En el caso del modelo promedio de H y M, los parámetros con menores IC fueron  $a$  y  $b_1$  en H (Tabla 6), y el resto de los parámetros ( $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$ ,  $b_5$ ) y el BP, en M (Tabla 7).

**Tabla 6. Intervalos de confianza de los parámetros de los modelos confrontados para calcular la relación logarítmica longitud total-peso eviscerado en hembras de *S. tiburó* en el oeste del Golfo de México / Confidence intervals of the parameters of the compared models to calculate the logarithmic total length-gutted weight relationship in *S. tiburó* females in the western Gulf of Mexico**

Parámetros	Especificaciones	Modelos individuales							Modelo promedio
		L	Q	C	BS	BSL	DS	DSL	
$\sigma$	DE	0,15	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,14	0,15
$a$	EE	0,12	1,94	1,26	1,11	0,02	0,11	1,79	
	EP	-5,01	13,17	0,11	14,66	140,21	14,25	0,45	8,59
	Linf	-5,25	9,37	-2,36	12,49	140,17	14,04	-3,06	5,45
	Lsup	-4,77	16,97	2,58	16,83	140,26	14,47	3,97	11,73
$b_1$	TI	0,47	7,60	4,93	4,34	0,09	0,43	7,03	6,28
	EE	0,10	3,45	2,02	0,72	0,05	0,07	2,06	
	EP	2,76	-16,98	4,82	-12,74	254,26	-12,56	0,55	-8,81
	Linf	2,56	-23,73	0,86	-14,14	254,17	-12,70	-3,49	-13,39
$b_2$	Lsup	2,97	-10,22	8,78	-11,33	254,35	-12,41	4,59	-4,23
	TI	0,40	13,51	7,92	2,81	0,18	0,29	8,08	9,16
	EE		2,72	0,84	1,86	0,02	0,20	0,21	
	EP		5,35	-6,74	-11,33	-137,55	-11,16	-0,24	-1,10
$b_3$	Linf		0,01	-8,38	-14,98	-137,60	-11,54	-0,65	-4,35
	Lsup		10,68	-5,10	-7,68	-137,50	-10,78	0,16	2,15
	TI		10,67	3,28	7,30	0,10	0,77	0,81	6,50
	EE			0,29	0,10	0,00	0,01	0,11	
$b_4$	EP			2,23	-0,02	-0,03	0,00	0,00	0,33
	Linf			1,66	-0,21	-0,03	-0,02	-0,22	0,16
	Lsup			2,79	0,17	-0,03	0,02	0,22	0,49
	TI			1,13	0,38	0,00	0,04	0,43	0,33
$b_5$	EE				0,00	0,06	2,83		
	EP				-1,64	-0,62	-16,51		-3,65
	Linf				-1,64	-0,74	-22,07		-4,87
	Lsup				-1,64	-0,51	-10,96		-2,42
BP (cm)	TI					0,00	0,23	11,11	2,45
	EE							0,14	
	EP							0,63	0,14
	Linf							0,36	0,08
BP (cm)	Lsup							0,90	0,20
	TI							0,54	0,12
	EE					0,13	0,00	0,01	0,18
	EP					66,09	66,12	67,01	67,41
BP (cm)	Linf					65,84	66,12	66,99	67,05
	Lsup					66,34	66,12	67,03	67,77
	TI					0,50	0,00	0,04	0,72
	EE								0,57

DE= Desviación estándar, EE= Error estándar, EP= Estimación puntual, Linf= Límite inferior, Lsup= Límite superior, TI= Tamaño del intervalo, L= Modelo lineal, Q= Modelo cuadrático, C= Modelo cúbico, BS= Modelo *broken-stick*, BSL= Modelo *broken-stick* con transición logística, DS= Modelo de dos segmentos, DSL= Modelo de dos segmentos con transición logística;  $a$ = intercepto,  $b$ = coeficiente de alometría, BP= *breakpoint*

**Tabla 7. Intervalos de confianza de los parámetros de los modelos confrontados para calcular la relación logarítmica longitud total-peso eviscerado en machos de *S. tiburó* en el oeste del Golfo de México / Confidence intervals of the parameters of the compared models to calculate the logarithmic total length-gutted weight relationship in *S. tiburó* males in the western Gulf of Mexico**

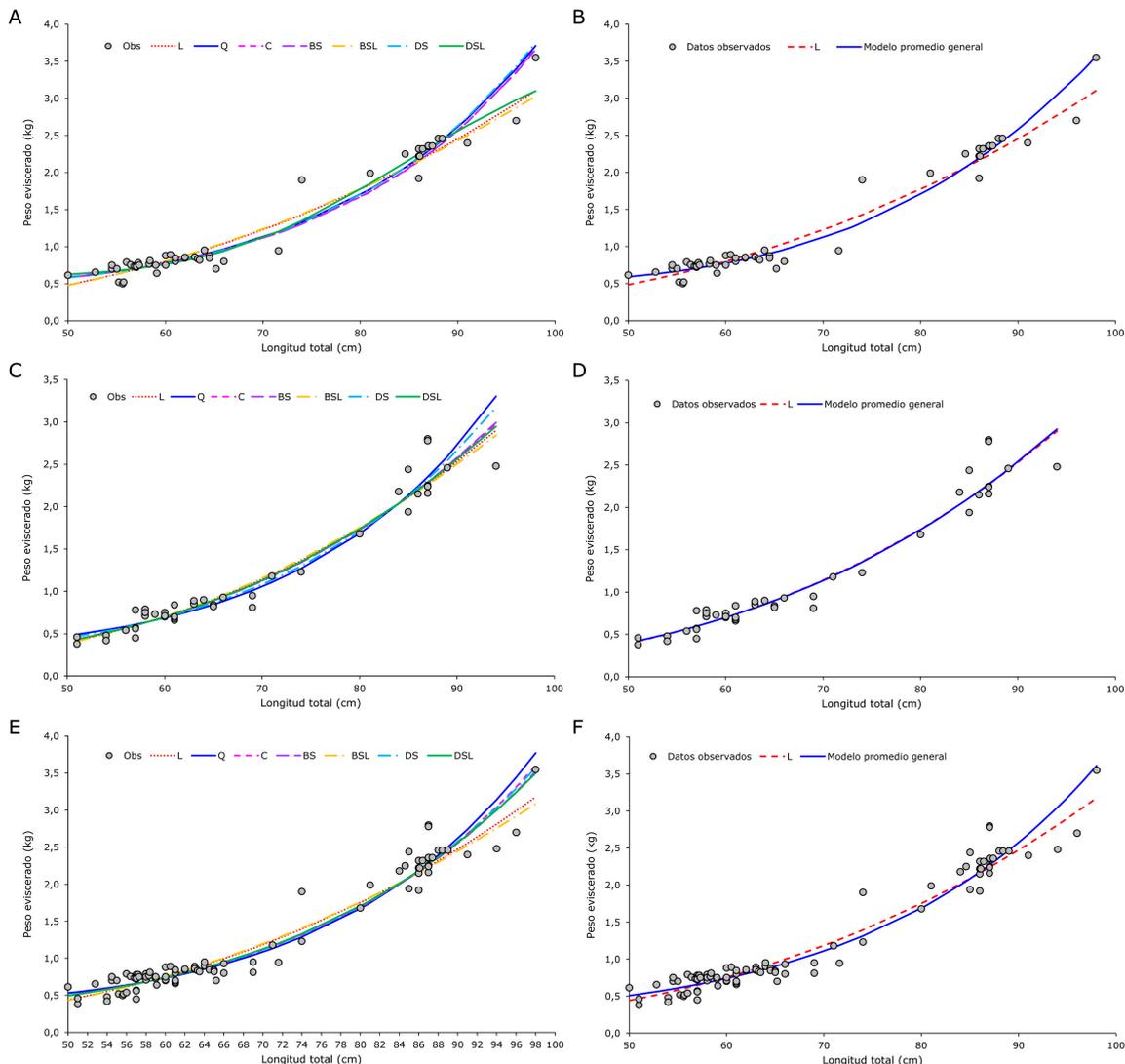
Parámetros	Especificaciones	Modelos individuales							Modelo promedio
		L	Q	C	BS	BSL	DS	DSL	
$\sigma$	DE	0,16	0,18	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16
$a$	EE	3,79	0,04	0,93	1,05	3,33	0,01	0,10	
	EP	-5,78	12,82	0,00	-1,29	139,73	7,43	1,80	-6,59
	Linf	-13,21	12,74	-1,83	-3,36	133,2	7,41	1,61	-6,57
	Lsup	1,64	12,89	1,83	0,77	146,25	7,45	1,99	5,40
$b_1$	TI	14,85	0,15	3,66	4,13	13,05	0,04	0,38	11,97
	EE	8,71	0,07	0,50	0,90	6,83	0,01	0,15	
	EP	3,16	-17,04	-4,25	-0,41	260,07	-7,37	1,38	8,20
	Linf	-13,91	-17,18	-5,23	-2,17	246,69	-7,39	1,10	-4,85
$b_2$	Lsup	20,24	-16,89	-3,28	1,34	273,45	-7,34	1,67	21,25
	TI		34,14	0,29	1,95	3,51	26,76	0,05	0,57
	EE			0,06	0,44	0,17	3,45	0,06	0,01
	EP			5,47	2,94	-2,62	-137,00	-7,57	-1,58
$b_3$	Linf			5,36	2,07	-2,95	-143,76	-7,68	-1,60
	Lsup			5,59	3,80	-2,29	-130,23	-7,45	-1,57
	TI			0,23	1,73	0,66	13,52	0,23	0,03
	EE				0,08	0,06	0,01	0,00	0,01
$b_4$	EP				-0,33	-0,02	-0,04	0,00	0,00
	Linf				-0,50	-0,13	-0,06	-0,01	-0,02
	Lsup				-0,17	0,09	-0,01	0,01	0,01
	TI				0,33	0,22	0,05	0,02	0,03
$b_5$	EE							0,05	0,03
	EP							0,03	0,01
	Linf							0,64	0,009
	Lsup							0,67	0,010
BP (cm)	TI							0,04	0,00
	EE							0,65	0,01
	EP							66,48	67,78
	Linf							68,23	67,34
BP (cm)	Lsup							66,38	67,72
	TI							68,20	67,32
	EE							66,57	67,83
	EP							68,26	67,36
BP (cm)	Linf							0,18	0,12
	Lsup							0,06	0,04
	TI								
	EE								

DE= Desviación estándar, EE= Error estándar, EP= Estimación puntual, Linf= Límite inferior, Lsup= Límite superior, TI= Tamaño del intervalo, L= Modelo lineal, Q= Modelo cuadrático, C= Modelo cúbico, BS= Modelo *broken-stick*, BSL= Modelo *broken-stick* con transición logística, DS= Modelo de dos segmentos, DSL= Modelo de dos segmentos con transición logística;  $a$ = intercepto,  $b$ = coeficiente de alometría, BP= *breakpoint*

Según la prueba de Chen ( $F_{crítica} = 2,703$ ,  $N = 99$ ,  $P > 0,05$ ) se evidenciaron diferencias significativas entre las curvas de crecimiento relativo entre H y M generadas por los siete modelos L ( $F = 6,219$ ), Q ( $F = 5,919$ ), C ( $F = 7,698$ ), BS ( $F = 7,771$ ), BSL ( $F = 6,211$ ), DS ( $F = 6,494$ ) y DSL ( $F = 9,376$ ) (Fig. 4A, C y D), por lo que se analizó el crecimiento relativo para tres sets de datos: H, M y Comb. El ajuste de los modelos en los tres sets de datos expresa una tendencia potencial similar en el rango de tallas de 50 a 88 cm aproximadamente, y partir de ahí hasta la longitud máxima ( $L_{max}$ ) (H = 98 cm, M = 94 cm) la tendencia se bifurca (Fig. 4A, C y D). No existe evidencia estadística [ $t_{(1, P > 0,05)}$ ] suficiente para predecir los valores de

AIC en función del número de parámetros en ningún set de datos en H ( $t = -0,1673$ ,  $P = 0,8736$ ), M ( $t = 1,8284$ ,  $P = 0,1270$ ) y Comb ( $t = -1,2537$ ,  $P = 0,2654$ ). Solo en H se evidenciaron diferencias significativas entre las curvas de la RLP de los modelos L y el modelo promedio [H ( $\chi^2_{(11,070)} = 28,301$ , g.l. = 5;  $P < 0,05$ ), M ( $\chi^2_{(11,070)} = 1,704$ , g.l. = 5;  $P > 0,05$ )] (Fig. 4D).

El rango de valores del BP fue 66,09-67,41 cm en H; 66,48-68,23 cm en M y 66,94-68,17 cm en Comb (Tabla 5), y los valores promedio fueron 66,69 cm en H, 66,79 cm en M y 67,90 cm en Comb. No existen diferencias significativas entre BP de H y M ( $\chi^2_{(7,815)} = 0,014$ , g.l. = 3;  $P > 0,05$ ), por lo que los valores entregados por Comb definen los BP de la especie.



**Figura 4.** Relación longitud total-peso eviscerado de hembras (A, B), machos (C, D) y sexos combinados (E, F) con base en la confrontación de los modelos individuales (A, C, E) y en la confrontación del modelo lineal versus modelo promedio general (B, D, F), *Sphyrna tiburo* en el oeste del Golfo de México. Obs= Datos observados, L= Modelo lineal, Q= Modelo cuadrático, C= modelo cúbico, BS= modelo broken-stick, BSL= modelo broken-stick con transición logística entre los segmentos, DS= modelo de dos segmentos, DSL= modelo de dos segmentos con transición logística entre los segmentos / Total length-gutted weight relationship of females (A, B), males (C, D) and combined sexes (E, F) based on the comparison of individual models (A, C, E) and comparison of the linear model versus the general average model (B, D, F), of *Sphyrna tiburo* in the western Gulf of Mexico

**COEFICIENTE DE ALOMETRÍA (TIPOS DE CRECIMIENTO CAN, CI Y CAP)**

De acuerdo con L, en H y Comb se obtuvo un CAN ( $b = 2,76$  y  $b = 2,93$ , respectivamente), y en M un CAP ( $b = 3,16$ ) (Tabla 9) (Fig. 5A, C y E), y con base en los modelos promedio de los tres set de datos los tipos de crecimiento se presentaron de la forma siguiente: En H, el crecimiento inicial es un CAN hasta los 68 cm, posteriormente transitan a un CI que dura hasta los 86 cm, y finalmente inicial un CAP hasta alcanzar su  $L_{max}$  (98 cm) (Tabla 5; Figs. 5A y 6A); en M desde su nacimiento comienza con un CI hasta los 72 cm, y finalizan su crecimiento con un CAP hasta alcanzar su  $L_{max}$  (94 cm) (Tabla 10; Figs. 5C y 6B), y en Comb, el crecimiento inicia del tipo CAN hasta los 66 cm, posteriormente transitan a un CI que dura hasta los 78 cm, y finalmente entran a un CAP hasta alcanzar su  $L_{max}$  (98 cm) (Tabla 10; Figs. 5E y 6C).

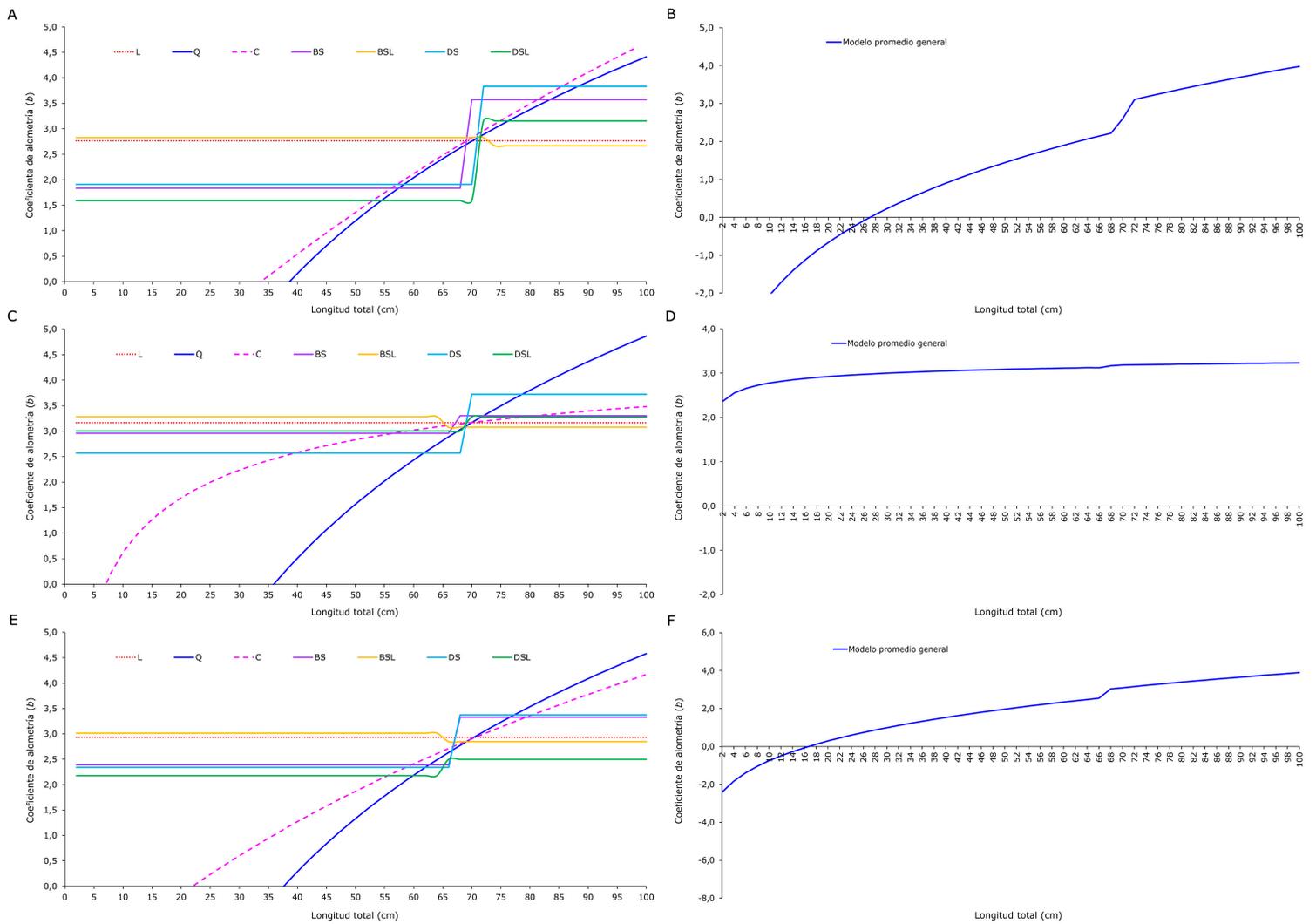
**DISCUSIÓN**

En la modelación de la RLP de *S. tiburo* el enfoque multimodelo demostró que el patrón de crecimiento relativo en H, M y Comb no es representado por ningún modelo específico, sino que varios modelos presentaron soporte empírico sustancial y otros con el soporte empírico mínimo suficiente para no ser discriminados, aunado a que ningún modelo registró un  $wi \geq 90\%$ , por lo que se estimaron modelos promedio (IMM) de los tres set de datos; se presentó un BP en los tres set de datos y las curvas de la RLP entre H y M fueron diferentes de forma significativa en todos los modelos.

**Tabla 9. Tipo de crecimiento [alométrico (A) o isométrico (I)] por clase de longitud total (LT) por modelo ajustado de *Sphyrna tiburo* en el oeste del Golfo de México / Growth type [allometric (A) or isometric (I)] by class of total length (TL) by adjusted model of *Sphyrna tiburo* in the western Gulf of Mexico**

LT (cm)	Hembras						Machos						Combinado						
	L	Q	C	BS	BSL	DSL	L	Q	C	BS	BSL	DSL	L	Q	C	BS	BSL	DSL	
2	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
4	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
6	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
8	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
10	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
12	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
14	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
16	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
18	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
20	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
22	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
24	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
26	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
28	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
30	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
32	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
34	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
36	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
38	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
40	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
42	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
44	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
46	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
48	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
50	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
52	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
54	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
56	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
58	A	A	A	A	I	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	A	I	A	A
60	A	I	A	A	I	A	A	A	I	I	I	I	A	A	A	A	I	A	A
62	A	I	A	A	I	A	A	A	I	I	I	I	A	A	A	A	I	A	A
64	A	I	A	A	I	A	A	A	I	I	I	I	A	I	A	A	I	A	A
66	A	I	A	A	I	A	A	A	I	I	I	I	A	I	A	A	I	A	A
68	A	I	A	A	I	A	A	A	I	I	I	I	A	I	A	A	I	A	A
70	A	I	I	I	I	A	A	A	I	I	I	I	A	I	I	I	I	A	A
72	A	I	I	I	I	I	I	A	I	I	I	I	A	I	I	I	I	A	A
74	A	I	I	I	A	I	I	A	I	I	I	I	A	I	I	I	I	A	A
76	A	I	I	I	A	I	I	A	I	I	I	I	A	I	I	I	I	A	A
78	A	I	I	I	A	I	I	A	I	I	I	I	A	I	I	I	I	A	A
80	A	I	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	I	A	I	A	A
82	A	I	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
84	A	I	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
86	A	I	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
88	A	I	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
90	A	I	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
92	A	I	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
94	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
96	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
98	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A
100	A	A	A	I	A	I	I	A	A	A	I	A	I	A	A	A	I	A	A

L= Modelo lineal, Q= Modelo cuadrático, C= Modelo cúbico, BS= Modelo *broken-stick*, BSL= Modelo *broken-stick* con transición logística entre los segmentos, DS= Modelo de dos segmentos, DSL= Modelo de dos segmentos con transición logística entre los segmentos. Las letras en negrita corresponden a los modelos con mayor evidencia ( $wi$ ) por set de datos



**Figura 5. Variación del coeficiente de alometría en hembras (A, B), machos (C, D) y sexos combinados (E, F), con base en modelos individuales (A, C, E) y modelos promedio (B, D, F) de *Sphyrna tiburo* en el oeste del Golfo de México. L= modelo lineal, Q= modelo cuadrático, C= modelo cúbico, BS= modelo *broken-stick*, BSL= modelo *broken-stick* con transición logística entre los segmentos, DS= modelo de dos segmentos, DSL= modelo de dos segmentos con transición logística entre los segmentos, Modelo promedio= modelo promedio / Variation of the allometry coefficient in females (A, B), males (C, D) and combined sexes (E, F), based on individual models (A, C, E) and average models (B, D, F), of *Sphyrna tiburo* in the western Gulf of Mexico**

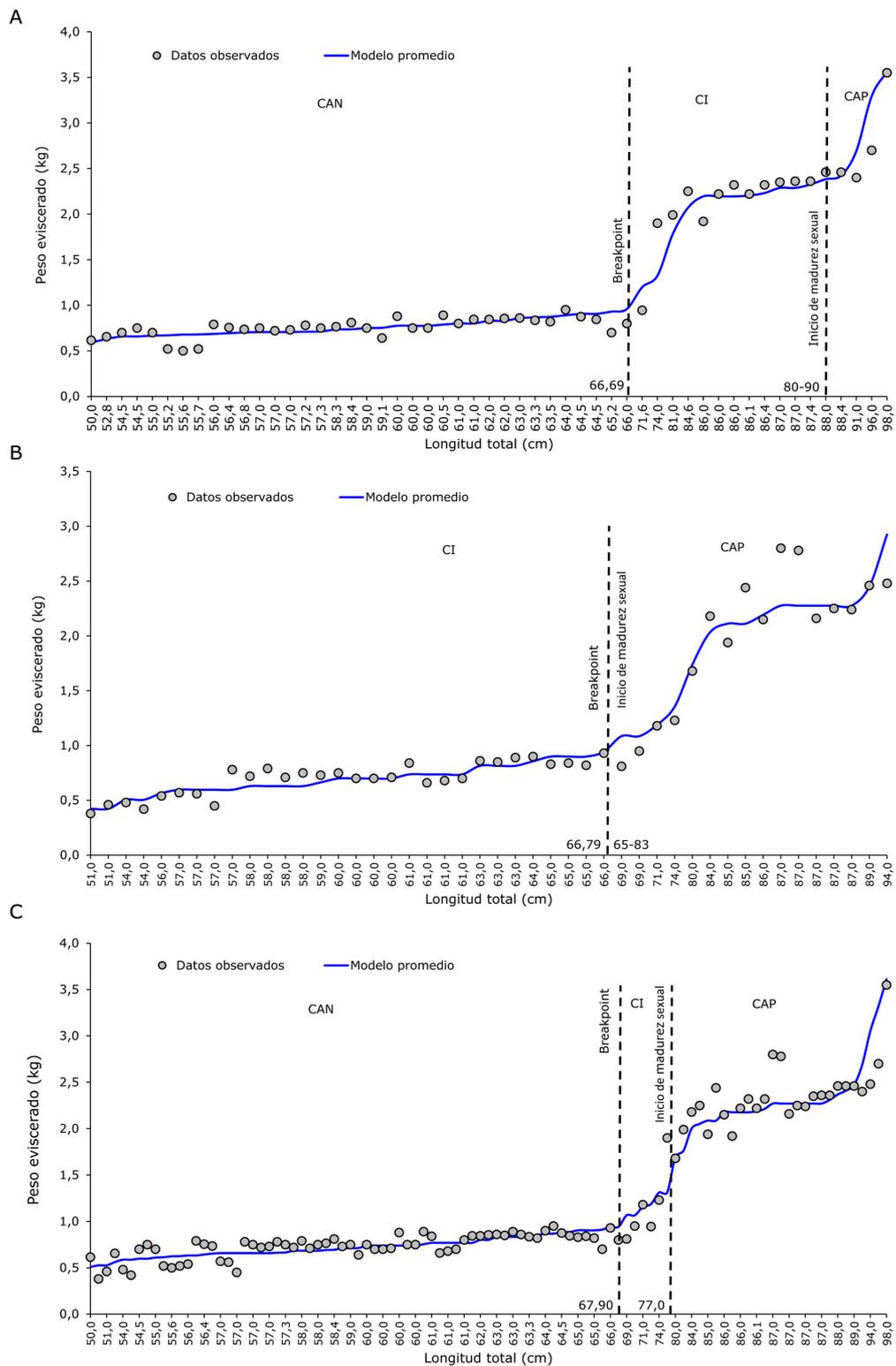


Figura 6. Relación longitud total-peso eviscerado en hembras (A), machos (B) y sexos combinados (C) con la identificación de los tipos de crecimiento, el punto de quiebre y el inicio de la madurez sexual de *Sphyrna tiburo* en el oeste del Golfo de México. CAN= Crecimiento alométrico negativo, CI= Crecimiento isométrico, CAP= Crecimiento alométrico positivo; Modelo promedio= modelo promedio general / Total length-gutted weight relationship in females (A), males (B) and sexes combined (C) with the identification of the types of growth, the break-point and the beginning of sexual maturity of *Sphyrna tiburo* in the western Gulf of Mexico

**Tabla 10. Tipo de crecimiento [alométrico (A) o isométrico (I)] por clase de longitud total de acuerdo con el modelo promedio (todos los modelos) de *Sphyrna tiburo* en el oeste del Golfo de México / Type of growth [allometric (A) or isometric (I)] by total length class according to the average model (all models) of *Sphyrna tiburo* in the western Gulf of Mexico**

LT (cm)	Hembras		Machos		Combinado		LT (cm)	Hembras		Machos		Combinado	
	<i>b</i>	Tipo	<i>b</i>	Tipo	<i>b</i>	Tipo		<i>b</i>	Tipo	<i>b</i>	Tipo	<i>b</i>	Tipo
2	-4,6	A	2,4	A	-2,4	A	52	1,5	A	3,1	I	2,0	A
4	-3,6	A	2,6	A	-1,8	A	54	1,6	A	3,1	I	2,1	A
6	-3,0	A	2,7	A	-1,4	A	56	1,7	A	3,1	I	2,2	A
8	-2,5	A	2,7	A	-1,0	A	58	1,8	A	3,1	I	2,3	A
10	-2,1	A	2,8	A	-0,8	A	60	1,9	A	3,1	I	2,3	A
12	-1,7	A	2,8	I	-0,5	A	62	2,0	A	3,1	I	2,4	A
14	-1,4	A	2,9	I	-0,3	A	64	2,1	A	3,1	I	2,5	A
16	-1,1	A	2,9	I	-0,1	A	66	2,1	A	3,1	I	2,5	A
18	-0,9	A	2,9	I	0,1	A	68	2,2	A	3,2	I	3,0	I
20	-0,7	A	2,9	I	0,3	A	70	2,6	I	3,2	I	3,1	I
22	-0,5	A	2,9	I	0,4	A	72	3,1	I	3,2	I	3,2	I
24	-0,3	A	3,0	I	0,6	A	74	3,2	I	3,2	A	3,2	I
26	-0,1	A	3,0	I	0,7	A	76	3,2	I	3,2	A	3,3	I
28	0,1	A	3,0	I	0,9	A	78	3,3	I	3,2	A	3,3	I
30	0,2	A	3,0	I	1,0	A	80	3,4	I	3,2	A	3,4	A
32	0,4	A	3,0	I	1,1	A	82	3,4	I	3,2	A	3,4	A
34	0,5	A	3,0	I	1,2	A	84	3,5	I	3,2	A	3,5	A
36	0,7	A	3,0	I	1,3	A	86	3,6	I	3,2	A	3,6	A
38	0,8	A	3,0	I	1,4	A	88	3,6	A	3,2	A	3,6	A
40	0,9	A	3,1	I	1,5	A	90	3,7	A	3,2	A	3,7	A
42	1,0	A	3,1	I	1,6	A	92	3,8	A	3,2	A	3,7	A
44	1,1	A	3,1	I	1,7	A	94	3,8	A	3,2	A	3,8	A
46	1,2	A	3,1	I	1,8	A	96	3,9	A	3,2	A	3,8	A
48	1,3	A	3,1	I	1,9	A	98	3,9	A	3,2	A	3,8	A
50	1,4	A	3,1	I	2,0	A	100	4,0	A	3,2	A	3,9	A

*b*= coeficiente de alometría. El crecimiento anterior a I es un A negativo, y posterior es positivo

El parámetro *a* representa el coeficiente de proporcionalidad (Granados-Amores *et al.* 2019) y se relaciona con la forma del cuerpo (Beverton & Holt 1957), mientras que *b* es el exponente que indica la tasa de aumento del peso en relación con el crecimiento en longitud y representa el tipo de crecimiento (isométrico o alométrico) (Beverton & Holt 1957) que define el cumplimiento de la ley del cubo ( $b = 3$ , crecimiento isométrico) o no ( $b \neq 3$ , crecimiento alométrico) (Froese 2006). En este estudio se revisó la variabilidad y la tendencia de *b* en el rango de tallas (67-98 cm) de H, M y Comb de *S. tiburo* del oeste del Golfo de México.

Por lo tanto, estimar correctamente el valor de *b* es fundamental porque tiene efecto en la estimación de algunos parámetros de modelos de crecimiento, como el crecimiento en peso (Pauly 1983), la edad crítica (Beverton & Holt 1959) o la mortalidad natural (Beverton & Holt 1957, Taylor 1958), que son parámetros-insumo de modelos predictivos en pesquerías como el modelo por recluta de Beverton & Holt (1957), entre otros. Esta aseveración, reviste mayor

trascendencia para esta especie en particular, en virtud de que *S. tiburo* es una especie que se encuentra incluida en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) con la categoría de “en peligro de extinción” (IUCN 2022)<sup>1</sup>; y en los Apéndices I, II y III de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés) (CITES 1973)<sup>2</sup>, y los Apéndices I y II de la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS, por sus siglas en inglés) (CMS 2015)<sup>3</sup>, con la categoría de “no evaluada”

En términos de la asignación del tipo de crecimiento (CAN, CI y CAP) con L se ha concluido que, en todo el rango de tallas desde el nacimiento hasta su  $L_{max}$ , en *S. tiburo* se registra un CAN en H y Comb y un CAP en M, mientras que con el modelo promedio en H y Comb se registró un CAN, CI y CAP, y en M un CI y CAP. La IMM evidenció que, en H, M y Comb el crecimiento es cambiante en función de la talla con un marcado cambio morfológico en una talla específica (BP).

<sup>1</sup>IUCN. 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-1. International Union for Conservation of Nature. <<https://www.iucnredlist.org/>>

<sup>2</sup>CITES. 1973. Appendices I, II and III. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, Genova. <<https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>>

<sup>3</sup>CMS. 2015. Appendices I and II of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS). Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS), Bonn. <[https://www.cms.int/sites/default/files/document/Saiga%20MOS3\\_CMS\\_Appendices\\_E.pdf](https://www.cms.int/sites/default/files/document/Saiga%20MOS3_CMS_Appendices_E.pdf)>

La aplicación de la IMM en la RLP es escasa en peces, solo dos trabajos se reportan (Ma *et al.* 2017, Zhu *et al.* 2017). Para elasmobranchios no se encontró ningún estudio. Este análisis de la RLP mediante el enfoque multimodelo queda incluido en el área general del crecimiento alométrico o crecimiento relativo, donde se modelan las relaciones de variables morfométricas. En el caso de los moluscos las relaciones morfométricas han sido sobre la concha (Garraffoni *et al.* 2010, Yokoyama & Amaral 2011); en los crustáceos las longitudes consideradas han sido el ancho y largo del cefalotórax y la longitud de algunos pelípodos y/o quelas (Hall *et al.* 2006, Katsanevakis *et al.* 2007, Protopapas *et al.* 2007, Zhang *et al.* 2017, Rodríguez-Domínguez *et al.* 2018, Aragón-Noriega *et al.* 2019) y en peces las relaciones buscadas han sido principalmente con las variables de longitud total, longitud furcal y ancho del cuerpo (Katsanevakis *et al.* 2007, Ma *et al.* 2017). Solo un trabajo se encontró sobre la modelación de la RLP en peces bajo el enfoque multimodelo y considerando la selección de modelos, pero sin la aplicación de la IMM (Zhu *et al.* 2017). Los resultados de Zhu *et al.* (2017), que abordaron la RLP del pescado blanco del lago subártico (*Coregonus clupeaformis*), fueron que el crecimiento en H fue soportado por modelos múltiples: Q ( $w_i=88\%$ ) y C ( $w_i=12\%$ ), mientras que en M el crecimiento fue descrito por C ( $w_i=100\%$ ), lo que resulta similar con lo encontrado en este estudio, el modelo ganador no fue L, en H no hubo ganador y en M el ganador fue Cu. Estos autores también relacionan el BP con algún evento biológico como el cambio de dieta o la talla de madurez sexual.

Solo dos estudios de *S. tiburo* incluyen la RLP con el modelo potencial: Bonfil *et al.* (1990) reporta para la costa del Estado de Yucatán, en el Golfo de México, el modelo:  $6,9532 \times 10^{-7} L_T^{3,3718}$ , mientras que Frazier *et al.* (2014) obtiene para la costa este del Estado de Florida, USA, las funciones siguientes: H:  $3,462 \times 10^{-6} \times L_F^{3,208}$  y M:  $4,482 \times 10^{-6} \times L_F^{3,126}$  ( $L_F$ = longitud furcal), todos con CAP. El resto de la literatura aborda el tema del crecimiento (Parsons 1993, Carlson & Parsons 1997, Lombardi-Carlson *et al.* 2003) pero no reporta resultados de la relación biométrica objeto de este estudio. En H la terminación del CAN (68 cm) coincide con el BP (66,09-67,41 cm). Este evento de desaceleración del crecimiento se puede deber a que los organismos sufren un cambio de dieta alimenticia al transitar de la fase juvenil a la fase de adulto (Kroetz *et al.* 2016). Con base en el índice de importancia relativa (IIR), Bethea *et al.* (2007) encontraron que en la fase juvenil (organismo de un año de vida) la tendencia en la dieta es al consumo de material vegetal (IIR= 62,1) mientras que la fase adulta la dieta se compone principalmente de crustáceos (IIR= 73,1). Un estudio en curso realizado por el primer autor de esta investigación (resultados por publicar) revelaría que a los 64,31 cm ocurre el cambio de crecimiento de una primera a una segunda fase de crecimiento según el modelo Soriano *et al.* (1992) y el autor de este modelo de crecimiento

sostiene que la causa de este punto de intersección de las dos fases de crecimiento es el cambio de dieta de juvenil a adulto. El periodo de CI registrado ocurre probablemente debido a que en ese rango de tallas (70-80 cm de longitud total) los óvulos se comienzan a desarrollar (Parsons 1993), y el cambio de CI a CAP (86 cm) ocurre muy probablemente en la talla donde los organismos inician su madurez sexual ( $L_m$ ), así lo demuestran los periodos de  $L_m$  registrados para las Bahías del Estado de Florida, USA ( $L_m=85-90$  cm., Bahía de Tampa; y  $L_m=80-85$  cm. Bahía de Florida) (Parsons 1993); asumiendo que en el Golfo de México existe un solo stock pesquero de *S. tiburo* (Márquez-Farías *et al.* 1998). El resto de la literatura registra un rango de tallas de  $L_m$  de 77 a 91,2 cm, en el Golfo de México (Márquez-Farías *et al.* 1998, Lombardi-Carlson *et al.* 2003, Frazier *et al.* 2014). Los M inician con un CI que finaliza a los 72 cm que es un valor cercano al del BP (66,94 a 68,17) que se obtuvo para los M. Estas tallas coinciden con el rango de tallas de inicio de  $L_m$  reportadas por la literatura (65,6 a 83,0 cm) para los M (Márquez-Farías *et al.* 1998 Lombardi-Carlson *et al.* 2003, Frazier *et al.* 2014, Palacios-Hernández *et al.* 2020), esto en el Golfo de México, por lo que es muy probable que el BP en los M corresponda con la talla de inicio de  $L_m$ . En Comb la talla de terminación del CI (78 cm) coincide con la  $L_m$  (77 cm) identificada por Lombardi-Carlson (2007) para las áreas combinadas del estado de Florida, USA (Noreste de Florida, Bahía de Tampa y Bahía de Florida).

En particular para *S. tiburo* es necesario aplicar la IMM en los organismos capturados en las costas este y oeste de Florida, USA, y en el sureste del Golfo de México para que con base en las tendencias del coeficiente de alometría, se contribuya a la ratificación o rectificación de a) la definición de un único o varios stocks en el Golfo de México y Mar Caribe (González *et al.* 2019), y b) del gradiente latitudinal de algunos parámetros biológicos de esta especie, reportados por la literatura (Carlson & Parsons 1997, Lombardi-Carlson *et al.* 2003).

En conclusión, con la IMM a) se demostró la insuficiente representación de L (0,86, 72,70 y 0,45% en H, M y Comb, respectivamente) de los datos observados; b) se reveló la participación significativa (99,14, 27,30 y 99,55% en H, M y Comb, respectivamente) de otros modelos con un patrón de crecimiento relativo diferente al asumido por L; y c) se evidenció que en H, M y Comb el crecimiento fue cambiante en función de la talla con un marcado cambio morfológico en una talla específica (BP); reflejado en los tres tipos de crecimiento relativo (CAN, CI y CAP) registrados en los rangos de tallas analizadas. Respecto al coeficiente de alometría, la trayectoria del crecimiento fue de la forma siguiente: a) las H inician su crecimiento con un CAN que termina cuando los organismos cambian de dieta alimenticia de juvenil a adulto (*breakpoint*), posteriormente transitan

un periodo de CI que es cuando los óvulos se comienzan a desarrollar, y que finaliza cuando inicia la madurez sexual, y finalmente sobreviene un periodo de CAP que termina hasta cuando alcanzan su  $L_{max}$ ; b) los M inician su crecimiento con un CI que finaliza cuando se desacelera el crecimiento (BP) y que corresponde a la talla donde inicia la madurez sexual, para finalmente iniciar un CAP hasta alcanzar su  $L_{max}$ ; y c) en Comb inician su crecimiento con un CAN hasta el BP, que es cuando los organismos cambian de dieta de juvenil a adulto, posteriormente transitan a un CI que dura hasta el inicio de la madurez sexual, y finalmente inicia un CAP positivo hasta alcanzar su  $L_{max}$ .

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos las observaciones que los revisores anónimos realizaron sobre el presente manuscrito, dado que contribuyeron en la mejora del mismo. Los dos primeros autores, agradecen a Alejandra Hernández Antonio y a Gabriela Cárdenas Carreón por su apoyo en la realización de los muestreos; y a los pescadores de tiburón de San Fernando y Soto La Marina, en el Estado de Tamaulipas, México, por permitir tomar datos de los ejemplares de sus capturas.

## LITERATURA CITADA

- Akaike H. 1973.** Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov BN & F Csaki (eds). Second International Symposium on Information Theory, pp. 267-281. Akademiai Kiado, Budapest.
- Aragón-Noriega EA, E Alcántara-Razo, JG Padilla-Serrato, G Rodríguez-Domínguez & SG Castillo-Vargasmachuca. 2019.** Morphological notes on *Pinnaxodes gigas* Green, 1992 (Brachyura, Pinnotheridae) emphasizing on length-weight relationship under multi-model approach. *Crustaceana* 92(9): 1081-1097.
- Bethea DM, L Hale, JK Carlson, E Cortés, CA Manire & J Gelsleichter. 2007.** Geographic and ontogenetic variation in the diet and daily ration of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, from the eastern Gulf of Mexico. *Marine Biology* 152(5): 1009-1020.
- Beverton H & S Holt. 1957.** On the dynamics of exploited fish population, 533 pp. Chapman & Hall, New York.
- Beverton RJH & SJ Holt. 1959.** A review of the lifespans and mortality rates of fish in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics. In: Wolstenholme GEW & M O'Connor (eds). CIBA Foundation Symposium (Colloquia on Ageing). The lifespan of animals, pp. 142-180. J & A Churchill, London.
- Bonfil R, D Anda & R Mena. 1990.** Shark fisheries in Mexico. The case of Yucatan as an example. In: Pratt HL Jr, SH Gruber & T Taniuchi (eds). Elasmobranchs as living resources: Advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries, NOAA Technical Report NMFS 90: 427-441.
- Burnham KP & DR Anderson. 2002.** Model selection and multi-model inference: A practical information-theoretic approach, 488 pp. Springer, New York.
- Cailliet GM, WD Smith, HF Mollet & KJ Goldman. 2006.** Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Environmental Biology of Fishes* 77(3): 211-228.
- Carlson JK & GR Parsons. 1997.** Age and growth of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, from northwest Florida, with comments on clinal variation. *Environmental Biology of Fishes* 50(3): 331-341.
- Cortés E & J Neer. 2005.** SouthEast Data, Assessment, and Review (SEDAR), North Charleston. SEDAR 11 LCS05/06-DW-16: 1-387. <<https://sedarweb.org/documents/s11dw16-updated-catches-of-atlantic-sharks>>
- Chen Y, DA Jackson & HH Harvey. 1992.** A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49(6): 1228-1235.
- Frazier BS, WB Driggers, DH Adams, CM Jones & JK Loefer. 2014.** Validated age, growth and maturity of the bonnethead *Sphyrna tiburo* in the western North Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology* 85(3): 688-712.
- Froese R. 2006.** Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22: 241-253.
- Garraffoni ARS, LQ Yokoyama & ACZ Amaral. 2010.** Allometry and population structure of *Nicolea uspiana* (Polychaeta: Terebellidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90(5): 877-883.
- González C, AJ Gallagher & S Caballero. 2019.** Conservation genetics of the bonnethead shark *Sphyrna tiburo* in Bocas del Toro, Panama: Preliminary evidence of a unique stock. *PLoS ONE* 14(8): e0220737. <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220737>>
- Granados-Amores J, CA Salinas-Zavala, JR Flores-Ortega & M Díaz-Santana-Iturrios. 2019.** Length-weight relationship and condition factor for 7 loliginid squid species in Mexican waters. *Ciencias Marinas* 45(4): 175-180.
- Haddon M. 2001.** Modelling and quantitative methods in fisheries, 406 pp. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton.
- Hall NG, KD Smith, S de Lestang & IC Potter. 2006.** Does the largest chela of the males of three crab species undergo an allometric change that can be used to determine morphometric maturity? *ICES Journal of Marine Science* 63: 140-150.
- Katsanevakis S & Q Maravelias. 2008.** Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries* 9(2): 178-187.
- Katsanevakis S, M Thessalou-Legaki, C Karlou-Riga, E Lefkaditou, E Dimitriou & G Verriopoulos. 2007.** Information-theory approach to allometric growth of marine organisms. *Marine Biology* 151(3): 949-959.
- Kroetz AM, JM Drymon & SP Powers. 2016.** Comparative dietary diversity and trophic ecology of two estuarine mesopredators. *Estuaries and Coasts* 40(4): 1171-1182.
- Lombardi-Carlson LA. 2007.** Life history traits of bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo*, from the eastern Gulf of Mexico. SouthEast Data, Assessment, and Review (SEDAR), North Charleston. SEDAR 13-DW-24-V3: 1-7. <<http://sedarweb.org/docs/wpapers/SEDAR13-DW-24-V3.pdf>>

- Lombardi-Carlson LA, E Cortés, GR Parsons & CA Manire. 2003.** Latitudinal variation in life-history traits of bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo*, (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) from the eastern Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research* 54(7): 875-883.
- Ma Q, Y Jiao & Y Ren. 2017.** Linear mixed-effects models to describe length-weight relationships for yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) along the north coast of China. *PLoS ONE* 12(2): e0171811. <doi.org/10.1371/journal.pone.0171811>
- Márquez-Farías JF, JL Castillo-Géniz & MCR de la Cruz. 1998.** Demografía del cazón pech, *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), en el sureste del Golfo de México. *Ciencias Marinas* 24(1): 13-34.
- Morales-Bojórquez E, H Aguirre-Villaseñor & GC Ladrón-de-Guevara. 2014.** Confrontación de hipótesis múltiples en pesquerías, teoría de información y selección de modelos. *Ciencia Pesquera* 22(1): 9-10.
- Neter J, M Kutner, C Nachtsheim & W Wasserman. 1996.** Applied linear statistical models, 1408 pp. McGraw-Hill, New York.
- Palacios-Hernández D, JL Castillo-Géniz, I Méndez-Loeza & JC Pérez-Jiménez. 2020.** Temporal and latitudinal comparisons of reproductive parameters in a heavily exploited shark, the bonnethead, *Sphyrna tiburo* (L. 1758), in the southern Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology* 97(1): 100-112.
- Parsons GR. 1993.** Geographic variation in reproduction between two populations of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*. *Environmental Biology of Fishes* 38: 25-35.
- Pauly D. 1983.** Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales. *FAO Documento Técnico de Pesca* 234: 1-49.
- Pérez-Jiménez JC & I Méndez-Loeza. 2015.** The small-scale shark fisheries in the southern Gulf of Mexico: Understanding their heterogeneity to improve their management. *Fisheries Research* 172: 96-104.
- Protopapas N, S Katsanevakis, M Thessalou-Legaki & G Verriopoulos. 2007.** Relative growth of the semi-terrestrial crab *Pachygrapsus marmoratus*: An information-theory approach. *Scientia Marina* 71(2): 383-394.
- Ricker WE. 1975.** Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada* 191: 1-382.
- Rodríguez-Castro JH, JA Adame-Garza & SE Olmeda-de la Fuente. 2010.** La actividad pesquera en Tamaulipas, ejemplo nacional. *CienciaUAT* 4(4): 28-35.
- Rodríguez-Domínguez G, SG Castillo-Vargasmachuca, R Pérez-González & EA Aragón-Noriega. 2018.** Allometry in *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) (Decapoda: Brachyura: Portunidae): Single-power model versus multi-model approach. *Journal of Crustacean Biology* 38(5): 574-578.
- Soriano M, J Moreau, JM Hoenig & D Pauly. 1992.** New functions for the analysis of two-phase growth of juvenile and adult fishes, with application to Nile perch. *Transactions of the American Fisheries Society* 121(4): 486-493.
- Taylor C. 1958.** Cod growth and temperature. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 23: 366-370.
- Walpole ER, R Myers, LS Myers & K Ye. 2007.** Probability & statistics for engineer & scientists, 813 pp. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Yokoyama LQ & ACZ Amaral. 2011.** Allometric growth of a common Nassariidae (Gastropoda) in south-east Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91(5): 1095-1105.
- Zhang Z, M Yokota & CA Strüssmann. 2017.** Relative growth pattern and relative condition factor in the Japanese mitten crab *Eriocheir japonica* (De Haan, 1835) (Brachyura: Varunidae). *Journal of Crustacean Biology* 37(5): 571-578.
- Zhu X, A Chapelsky & T Carmichael. 2017.** Statistical models for interpreting spatial variations of allometric growth of subarctic Lake Whitefish populations. *Cumulative Impact Monitoring Program (CIMP)* <[http://sdw.enr.gov.nt.ca/nwtdp\\_upload/LKWF%20length%20weight.pdf](http://sdw.enr.gov.nt.ca/nwtdp_upload/LKWF%20length%20weight.pdf)>

---

Editor: Francisco Concha

Recibido el 3 de septiembre 2020

Aceptado el 29 de noviembre 2021