

Talla de madurez sexual del tiburón *Rhizoprionodon terraenovae* en Veracruz, México

Jorge L. Oviedo-Pérez*, Heber Zea-De la Cruz**^Δ, Hugo Aguirre-Villaseñor***, César Meiners-Mandujano****, Lourdes Jiménez-Badillo**** y Leticia González-Ocaranza**

El tiburón *Rhizoprionodon terraenovae* es la especie más abundante de la pesquería artesanal de tiburón en las costas mexicanas del Golfo de México. La talla media de madurez sexual (L_{50}) se estimó a partir de seis modelos sigmoideos, con organismos muestreados en el litoral de Veracruz. La selección del mejor modelo se realizó con base en el criterio de información de Akaike (AIC). Del análisis de 394 hembras y 319 machos, se estimó una $L_{50} = 88$ cm de longitud total (LT) para las hembras a partir del modelo de Richards (AIC = 30.98) y para los machos una $L_{50} = 83$ cm LT con los modelos de Lysack, Bakhayokho, White y Brouwer y Griffiths (AIC = 20.39). Las estimaciones de la L_{50} en el presente estudio, difieren de la reportada para el norte del Golfo de México; atribuidas posiblemente a diferentes factores: criterios de asignación de madurez, tamaño de muestra, diferencias latitudinales en rasgos de historia de vida. La selección del modelo basado en el enfoque de Teoría de Información es un método apropiado para estimar la talla media de madurez sexual conforme la trayectoria y la naturaleza de los propios datos.

Palabras clave: Modelos sigmoideos, selección de modelos, teoría de información, estimación.

Sexual maturity length of the shark *Rhizoprionodon terraenovae* in Veracruz, Mexico

The shark *Rhizoprionodon terraenovae* is the most abundant species in the Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico. The mean size at sexual maturity (L_{50}) was estimated for specimens sampled along the coast of Veracruz using six sigmoid models, the best model was selected using the Akaike information criterion (AIC). The analysis of 394 females and 319 males allowed for estimation of $L_{50} = 88$ cm total length (TL) with the Richards model (AIC = 30.98) for females and for males a $L_{50} = 83$ cm TL with the Lysack, Bakhayokho, White and Brouwer, and Griffiths models (AIC = 20.39). The present study estimates for both sexes differs from those reported in previous studies for the Northern Gulf of Mexico, probably attributed to various factors: variations in sexual maturity criteria, sample size, latitudinal variation in life-history traits. Model selection based on Information Theory approach is an appropriate method to estimate the mean size at sexual maturity with specific patterns in a data set.

Key words: Sigmoid model, model selection, information theory, estimates.

Introducción

El tiburón *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson 1836) habita en las aguas costeras del Atlántico occidental tropical y subtropical, desde Canadá (New Brunswick), EU, el Golfo de México, hasta Honduras (Compagno 2002). Es una especie de

reproducción vivípara placentaria, con un periodo reproductivo anual (Castro 2011). La distribución y la abundancia relativa de *R. terraenovae* están condicionadas por factores ambientales, como la temperatura y el oxígeno disuelto (Parsons y Hoffmayer 2005), así como al comportamiento característico de la especie, por el cual las hembras tienden a desplazarse a aguas más profundas después de alcanzar la madurez sexual, en tanto que los juveniles abandonan áreas someras protegidas, como bahías y estuarios, por lo que no establecen áreas de crianza (Carlson *et al.* 2008).

Esta especie constituye el elemento más abundante de la pesquería artesanal de tiburón en las costas mexicanas del Golfo de México; Castillo-Géniz *et al.* (1998) determinaron que

* Centro Regional de Investigación Pesquera - Veracruz. Instituto Nacional de Pesca. SAGARPA. Av. Ejército Mexicano 106, Boca del Río, Veracruz. CP 94298.

** Posgrado en Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Calle Independencia No. 30 pisos 1-2, Boca del Río, Veracruz. CP 94290. ^Δ hbr.zea@hotmail.com

*** Centro Regional de Investigación Pesquera - Mazatlán. Instituto Nacional de Pesca. SAGARPA. Calzada Sábalo-Cerritos s/n AP 1177, Mazatlán, Sinaloa.

**** Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Calle Hidalgo No. 617, Boca del Río, Veracruz. CP 94290.

numéricamente representó 46% de las capturas, a partir de muestreos entre 1993 y 1994, seguido de *Sphyrna tiburo* (Linnaeus 1758) y *Carcharhinus limbatus* (Müller y Henle 1839). Las principales descargas de esta especie se efectúan en los estados de Campeche y Veracruz. En el litoral de Veracruz, *R. terraenovae* sostiene esta pesquería, ya que contribuye numéricamente con 65% de las capturas de un total de 18 especies de tiburones (Oviedo *et al.* 2006¹). Los organismos más representativos de esta especie en la captura son juveniles con tallas de entre 55 cm y 65 cm de LT. Presenta un comportamiento temporal con mayor disponibilidad de juveniles en los meses de octubre a diciembre, que se integran al reclutamiento pesquero durante su evento migratorio (Oviedo *et al.* 2013²). En el sureste de Estados Unidos y el norte y el sur del Golfo de México, se ha estimado a partir de las características de órganos sexuales, que la talla mínima de madurez de los machos de *R. terraenovae* oscila entre 78 y 81.6 cm de LT y de las hembras entre de 81.1 cm y 91.7 cm de LT (Parsons 1983, Castillo-Géniz *et al.* 1998, Loefer y Sedberry 2003).

La talla a la que 50% de la población alcanza la madurez sexual –o talla media de madurez (L_{50})– de *R. terraenovae*, se ha estimado conforme un modelo sigmoideo en 72.6 y 80.5 cm de LT en machos y en 75.8 y 86.1 cm de LT en hembras por Carlson y Baremore (2003) y Morin (2010). La L_{50} es un importante parámetro de la historia de vida esencial para los análisis demográficos y la evaluación de las poblaciones. El modelo sigmoideo ha sido utilizado históricamente como una descripción matemática de la relación entre la talla y la madurez sexual (Roa *et al.* 1999).

Actualmente existen varios modelos sigmoideos para la estimación de este parámetro. En un contexto de selección de modelos se asume que

existen diversos modelos para un determinado grupo de datos y que uno de ellos es el que mejor se ajusta (Burnham y Anderson 2004) a éstos. Por ello, el objetivo de este estudio es estimar la talla media de madurez sexual de *R. terraenovae* bajo el enfoque de teoría de información para identificar el mejor modelo.

Materiales y métodos

Datos

Se observó un total de 23 529 organismos de *R. terraenovae* durante las descargas comerciales de la flota artesanal tiburonera en localidades de Coatzacoalcos, Alvarado y Tamiagua en el litoral del estado de Veracruz durante el periodo de julio de 2001 a diciembre de 2010. Les fueron examinadas las características de los órganos sexuales en 713 especímenes, a los que se les asignó un estadio de madurez. Esta flota pesquera utiliza embarcaciones de 7.6 m de eslora con motores fuera de borda de hasta 115 HP y artes de pesca con armado y operación heterogéneos, como palangres con anzuelos curvos de los números 4 al 10 operado a superficie, media agua o a fondo de acuerdo con la temporada y las zonas de pesca.

De cada espécimen se registró la talla en centímetros de longitud total (LT), el sexo y el estadio de madurez: El sexo se determinó con base a la presencia o ausencia de los órganos copuladores (gonopterigios). Para los machos se asignaron cuatro estadios: neonatos, juvenil, preadulto y adulto, de acuerdo con la ontogenia, la calcificación de los gonopterigios y su capacidad rotatoria, así como la presencia de semen. En el caso de las hembras, el estadio de madurez se determinó con base en observaciones del estado de desarrollo de los ovarios, la presencia de ovocitos vitelogénicos y de embriones. Se registraron cinco estadios: neonato, juvenil, preadulto, adulto y hembra preñada. Para la estimación de la talla media de madurez, los estadios fueron contabilizados como datos binomiales de madurez (inmaduros = 0, maduros = 1). Para ambos sexos los estadios de neonato, juvenil y preadulto fueron considerados como inmaduros y los estadios restantes como maduros.

1. OVIEDO-PÉREZ JL, R Morales, L González-Ocaranza, AJ Valdez, A Torres, JA Pech, D Sosa y LE Martínez-Cruz. 2006. Investigación biológico pesquera de la pesquería artesanal de elasmobranchios en el litoral veracruzano. Informe técnico (Documento interno). Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Instituto Nacional de Pesca. 28p.
2. OVIEDO-PÉREZ JL, H Zea-De la Cruz y LE Martínez-Cruz. 2013. Caracterización de la pesquería de tiburones y rayas en el estado de Veracruz. Informe técnico (Documento interno). Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Instituto Nacional de Pesca. 46p.

Talla media de madurez

La talla a la que 50% de los organismos de la población está sexualmente maduro (L_{50}), se estimó a partir de organismos inmaduros y maduros, con tallas agrupadas en un intervalo de 5 cm de LT, utilizando seis modelos sigmoideos:

Modelo 1 (Gompertz 1825):

$$P_i = \exp^{-\exp^{-\theta(LT_i - L_{50})}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: P_i y LT_i son la proporción de organismos maduros y la longitud total dentro de la clase de tallas i , respectivamente; θ es la tasa a la que la madurez sexual es alcanzada y L_{50} es la longitud en la que 50% de los organismos de la población está sexualmente maduro.

Modelo 2 (Richards 1959):

$$P_i = \left[1 - (1 - m) \exp^{-k(LT_i - L_{50})} \right]^{1/(1-m)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: P_i es la proporción de organismos maduros dentro de la clase de tallas i , m y k son los parámetros que deben ser estimados, L_{50} es la longitud en la que 50% de los organismos de la población está sexualmente maduro.

Modelo 3 (Lysack 1980):

$$P_i = \frac{G}{1 + \exp^{-\delta(L_{50} - LT_i)}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde: P_i es la proporción de organismos maduros dentro de la clase de tallas i , G es la máxima proporción de madurez alcanzada; en este caso G es igual a 1, δ es la tasa a la que la madurez sexual es alcanzada y L_{50} es la longitud en la que 50 % de los organismos de la población está sexualmente maduro.

Modelo 4 (Bakhayokho 1983):

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp^{-(a+bLT_i)}} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde: P_i es la proporción de organismos maduros dentro de la clase de tallas i , a y b son las constantes del ajuste de regresión que definen la

forma y la posición de la curva, la L_{50} fue estimada como $L_{50} = -a/b$.

Modelo 5 (White *et al.* 2002):

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{-\ln(0.9)(LT_i - L_{50})}{(L_{95} - L_{50})}\right]} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde: P_i es la proporción de organismos maduros dentro de la clase de tallas i , L_{50} y L_{95} son la longitud en la que 50% y 95% de los organismos de la población están sexualmente maduros.

Modelo 6 (tomado de Brouwer y Griffiths 2005):

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp^{-(LT_i - L_{50})/\alpha}} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde: P_i es la proporción de organismos maduros de la clase de tallas i , α es la amplitud de la ojiva de madurez y L_{50} es la longitud en la que 50% de los organismos de la población está sexualmente maduro.

El ajuste de cada modelo sigmoideo se realizó maximizando la función objetivo de verosimilitud con el algoritmo de búsqueda directa de Newton (Neter *et al.* 1996) conforme la siguiente ecuación que asume una distribución binomial:

$$L = \sum_{i=1}^n \ln \binom{n_i}{m_i} + m_i \times \ln(p_i) + (n_i - m_i) \times \ln(1 - p_i) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde: n_i es el número de muestras de la clase i y m_i es el número de organismos maduros en el intervalo de clase i .

Intervalos de confianza

Los intervalos de confianza (IC) para cada L_{50} fueron estimados conforme el método de perfiles de verosimilitud, suponiendo una distribución χ^2 , con m grados de libertad (Haddon 2001). Estos IC fueron definidos como los valores de L_{50} que satisfacen la siguiente condición (Polacheck *et al.* 1993):

$$IC = 2[L(Y|p) - L(Y|p_{est})] \leq \chi^2_{m,1-\alpha} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde: $L(Y|p)$ es el logaritmo de máxima verosimilitud del parámetro dentro del perfil de verosimilitud, $L(Y|p_{est})$ es el logaritmo de máxima verosimilitud del parámetro estimado, $\chi^2_{m,1-\alpha}$: es el valor de la distribución χ^2 a una confianza de 95% y un grado de libertad. De esta forma, los IC para el estimador de la ecuación 8 aceptan todos los valores menores o iguales a 3.84 que representa el valor de probabilidad χ^2 (Hilborn y Mangel 1997, Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006).

Selección del modelo

La selección del modelo se basó en el enfoque de teoría de información, en el que el criterio de información de Akaike (AIC) fue utilizado para evaluar el modelo que provee un mejor ajuste a cada grupo de datos. El modelo con el valor más bajo AIC fue seleccionado como el mejor.

$$AIC = -2(L) + 2k \quad \text{Ec. 9}$$

Donde: k es el número de parámetros estimados (Burnham y Anderson 2004).

Resultados

Se examinaron 394 hembras con un intervalo de tallas de 53 cm a 113 cm de LT, 243 inmaduras y 151 maduras; de estas últimas, 116 estaban preñadas. La hembra inmadura de mayor tamaño midió 92 cm de LT y la hembra madura de menor tamaño, 74 cm de LT. En el caso de los machos, se examinaron 319 con un intervalo de 46 cm a 105 cm de LT, 244 inmaduros y 75 maduros; el macho inmaduro de mayor tamaño midió 90 cm de LT y el macho maduro de menor tamaño, 75 cm de LT.

Los seis modelos sigmoideos seleccionados se ajustaron a los datos observados de proporción de madurez para hembras y machos (Fig. 1), pese a ello, el resultado de los valores de L_{50} estimados para cada conjunto de datos difiere entre los modelos.

En hembras, el valor más bajo de L_{50} fue 79.4 cm ($IC_{95\%} = 77.8-81.0$ cm de LT), estimado con el

modelo de Gompertz y el más alto de 88.0 cm ($IC_{95\%} = 86.5-89.6$ cm de LT) con el modelo de Richards. Mientras que se estimó en 83.4 cm LT con los modelos de Lysack, Bakhayokho, Brouwer y Griffiths ($IC_{95\%} = 81.8-85.1$ cm de LT) y White ($IC_{95\%} = 81.9-84.8$ cm de LT) (Fig. 2a). En machos, el valor de L_{50} más bajo fue 80.2 cm ($IC_{95\%} = 78.6-81.7$ cm de LT); estimado con el modelo de Gompertz, y el más alto 84.1 cm ($IC_{95\%} = 82.7-85.6$ cm de LT) con el modelo de Richards. Un valor de 83.0 cm de LT se estimó con los modelos de Lysack, Bakhayokho, Brouwer y Griffiths ($IC_{95\%} = 81.5-84.5$ cm de LT) y White ($IC_{95\%} = 81.6-84.2$ cm de LT) (Fig. 2b). Conforme las estimaciones de los seis modelos, el valor de la L_{50} fue mayor en las hembras que en los machos.

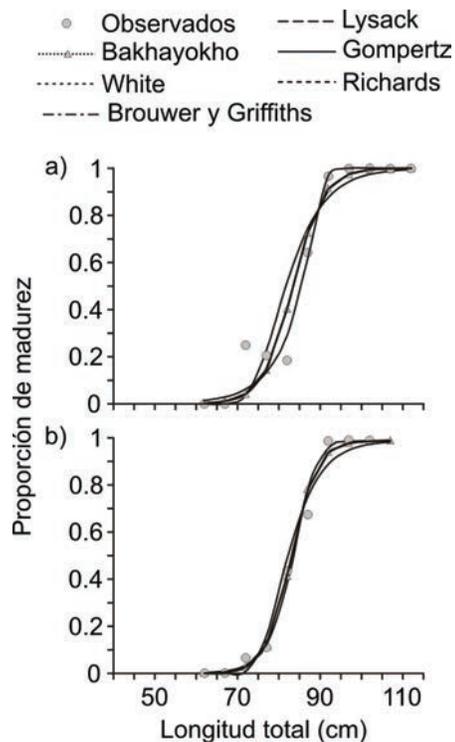


Fig. 1. Ojivas de madurez para: a) hembras y b) machos de *Rhizoprionodon terraenovae* en el litoral de Veracruz, ajustadas con seis modelos sigmoideos.

Los valores de AIC para los modelos oscilaron entre 30.98 y 49.31 para las hembras y entre 20.39 y 25.63 para los machos. Con base en el criterio de selección de modelos, para las hembras el mejor modelo que expresó la L_{50} fue el de Richards ($AIC = 30.98$) con una $L_{50} = 88.0$ cm ($IC_{95\%} = 86.5-89.6$ cm de LT) y para los machos

los más adecuados fueron los de Lysack, Bakhayokho, White y Brouwer y Griffiths ($AIC = 20.39$) con una $L_{50} = 83.0$ cm ($IC_{95\%} = 81.5-84.5$ cm de LT). Los valores L_{50} y los parámetros estimados para cada modelo se presentan en la *tabla 1*.

Los perfiles de verosimilitud para estimar los IC de los modelos de Gompertz, Richard y Lysack para las hembras y los machos se muestran en la *figura 3*. Las gráficas para representar los perfiles de verosimilitud de los modelos de Lysack, Bakhayokho, White y Brouwer y Griffiths fueron omitidas, ya que presentaron los mismos valores IC que el modelo de Lysack.

Discusión

Se han utilizado diferentes modelos sigmoideos para estimar la L_{50} en elasmobranchios (tiburones y rayas), entre ellos el de Brouwer y Griffiths en *Rhinobatos productus* Ayres 1854 (Márquez-Farías 2007) y en *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert 1882) (Corro-Espinosa *et al.* 2011). Asimismo, el modelo de Lysack modificado (King 1995) para *Etmopterus bigelowi* Shirai y Tachikawa 1993 (Mourato *et al.* 2010) y en *Rhizoprionodon lalandii* (Müller y Henle 1839) (Macedo *et al.* 2012), así como el modelo de White en *Carcharhinus cautus* (Whitley 1945) (White *et al.* 2002).

El modelo más utilizado es el de Bakhayoko, entre ellos, para: *R. terraenovae* (Carlson y Bare-

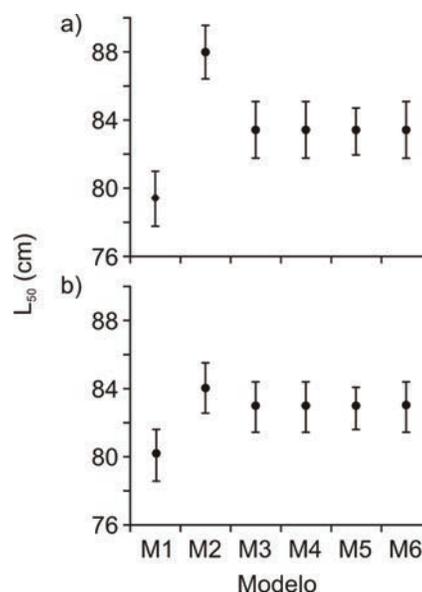


Fig. 2. Valor estimado de la talla media de madurez (•) y el intervalo de confianza al 95% (—) para: a) hembras y b) machos para los modelos de: Gompertz (M1), Richards (M2), Lysack (M3), Bakhayokho (M4), White (M5) y Brouwer y Griffiths (M6).

more 2003), *R. lalandii* (Motta *et al.* 2007). Una variante de este modelo se utilizó para *Isurus oxyrinchus* Rafinesque 1810 (Mollet *et al.* 2000), *Sphyrna tiburo* (Linnaeus 1758) (Lombardi-Carlson *et al.* 2003), *Carcharhinus limbatus* (Müller y Henle 1839) (Carlson *et al.* 2006), *Rhizoprionodon acutus* (Rüppell 1837) (Harr y *et al.* 2010) y la raya *Rhinoptera bonasus* (Mitchill 1815) (Pérez-

Tabla 1
Parámetros de modelos sigmoideos en la estimación de la L_{50} de hembras y machos de *Rhizoprionodon terraenovae* en el litoral de Veracruz

	Modelo	L_{50}	L	AIC	α	θ	δ	k	m	L_{95}
Hembras	Gompertz (1825)	79.4	-22.65	49.31		0.16				
	Richards (1959)	88.0	-12.49	30.98				0.84	6.52	
	Lysack (1980)	83.4	-16.26	36.52			-0.27			
	Bakhayokho (1983)	83.4	-16.26	36.52						
	White <i>et al.</i> (2002)	83.4	-16.26	36.52						94.2
	Brouwer y Griffiths (2005)	83.4	-16.26	36.52	3.64					
Machos	Gompertz (1825)	80.2	-10.81	25.63		0.19				
	Richards (1959)	84.1	-7.98	21.96				0.43	2.73	
	Lysack (1980)	83.0	-8.19	20.39			-0.33			
	Bakhayokho (1983)	83.0	-8.19	20.39						
	White <i>et al.</i> (2002)	83.0	-8.19	20.39						92.0
	Brouwer y Griffiths (2005)	83.0	-8.19	20.39	3.05					

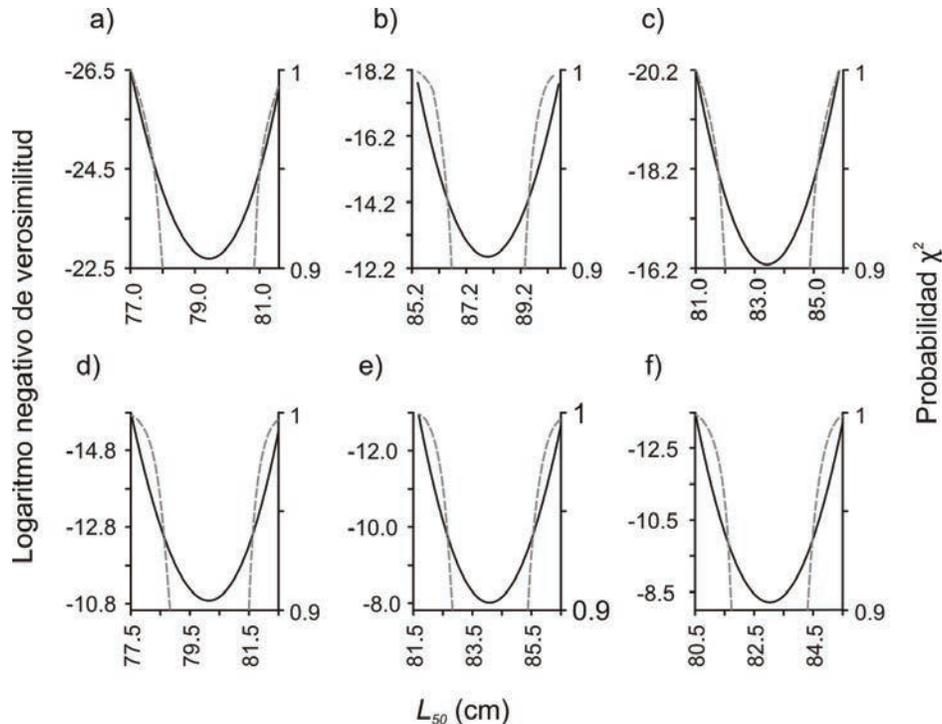


Fig. 3. Estimaciones de IC de la L_{50} para hembras los modelos de a) Gompertz, b) Richards, c) Lysack y para machos d) Gompertz, e) Richards, f) Lysack, de *Rhizoprionodon terraenovae* a través de perfiles de verosimilitud.

Jiménez 2011). Sin embargo, no siempre es el mejor modelo para expresar la L_{50} . En el presente estudio presentó un menor soporte que el modelo de Richards, de modo que no fue el más adecuado para ajustarse a los datos de las hembras de *R. terraenovae*, pero sí un soporte sustancial para ajustarse a los datos de los machos.

La elección de un modelo es a menudo arbitraria o de preferencia personal (Flores *et al.* 2010). Según el contexto de selección de modelos, se debe tomar en cuenta que existe una gama de modelos que se ajustan a grupos de datos determinados y por ello es necesario establecer un criterio para elegir el mejor, como podría ser el de información (Burnham y Anderson 2004). El criterio de información de Akaike es fácil calcular y es muy efectivo para una amplia gama de aplicaciones.

Para los datos de las hembras y machos, el modelo de Richards consistentemente arrojó el mayor valor de L_{50} , mientras que el de Gompertz lo fue para el valor más bajo. Los valores de L_{50} estimados con los modelos de Lysack, Bakhayokho, White y Brouwer y Griffiths fueron los

mismos. Tal comportamiento de los modelos sigmoideos fue evidenciado por Zhu *et al.* (2011) en la estimación de la L_{50} de *Thunnus obesus* (Lowe 1839). Esta característica es atribuida a la naturaleza de ajuste de los modelos. Así, el que los de Lysack, Bakhayokho, White y Brouwer y Griffiths hayan arrojado el mismo valor, se debe a que asumen una distribución normal de los datos y la curva es simétrica, es decir, a partir del valor medio (L_{50}), la tasa de cambio es monótonicamente hacia ambas asíntotas, la mayor y la menor. Lo que cambia en cada modelo es la forma de calcular la amplitud de la ojiva, por ello es que las diferencias se registran en el intervalo de confianza producido en cada uno de ellos. El modelo de Gompertz se basa en una distribución asimétrica sesgada hacia la izquierda, por lo que el valor de L_{50} se alcanza antes que en los modelos simétricos. El de Richards presenta un parámetro adicional—el de forma—, que puede hacer que sea equivalente al logístico o al de Gompertz. La variación en el parámetro de forma permite que el punto de inflexión presente

cualquier valor entre la asíntota mayor y la menor (Birch 1999).

El ajuste de diferentes modelos para expresar la L_{50} entre hembras y machos de *R. terraenovae* se explica por la naturaleza de los datos; en este sentido, los datos observados de los machos exhiben una trayectoria sincrónica en la proporción de madurez de los intervalos de tallas para alcanzarla, mientras que las hembras difieren de este patrón (Fig. 1). Asimismo, Burnham y Anderson (2002) y Katsanevakis y Maravelias (2008) mencionan que la selección de modelos no sólo depende de patrones biológicos específicos de las especies, sino también del conjunto de datos y la cantidad de información disponible, lo que explica las diferentes tendencias entre diversos conjuntos de datos de la misma especie.

Existen diferencias entre la L_{50} reportada para *R. terraenovae* en el norte del Golfo de México por Carlson y Beramore (2003), quienes estimaron la L_{50} con el modelo de Bakhayoko y en el presente estudio se estimaron valores más elevados ($L_{50} = 75.8$ cm y 72.6 cm de LT; $L_{50} = 83.4$ cm y 83.0 cm de LT para hembras y machos respectivamente) con este mismo modelo. Estas diferencias pueden ser atribuidas a diferentes factores, entre ellos: criterios de asignación de madurez; el tamaño de muestra ($n = 357$ en el norte del Golfo de México) o diferencias latitudinales en rasgos de historia de vida.

Estas diferencias latitudinales de L_{50} han sido reportadas para *S. tiburo* entre organismos capturados en la bahía de Florida y el noroeste de Florida (Lombardi-Carlson *et al.* 2003). Para probar esta última hipótesis de diferencias en rasgos de historia de vida por influencia de variación latitudinal en *R. terraenovae*, es necesario evaluar la variación genética para el Golfo de México. A pesar de que Heist *et al.* (1996) mencionan que hay cierta homogeneidad genética entre individuos de *R. terraenovae* de las costas de Veracruz del Golfo de México y los de la costa del Atlántico de EU (utilizando ADN mitocondrial), también refieren que no hay prueba de que no existan stocks separados, debido a que un bajo flujo genético puede ocasionar esta falta de divergencia. Por su parte, Suarez-Moo *et al.* (2013) reportaron (utilizando marcadores moleculares) para el sureste del Golfo de México, que existe alta conectividad genética en especímenes

capturados en los estados de Campeche y Yucatán, si bien mencionan que la escala geográfica de mezcla genética permanece incierta.

Las diferencias entre la talla media de madurez de *R. terraenovae* del sureste y el norte del Golfo de México se reafirman con las estimadas por Morin (2010) en la zona de Campeche (86.1 cm y 80.5 cm de LT para hembras y machos, respectivamente), quien aunque no describe el modelo sigmoideo utilizado, estimó una L_{50} cercana a la referida en el presente estudio. Con base en los resultados del presente estudio, se confirma que las hembras maduran a tallas mayores que los machos, esta característica es similar en otras especies del género *Rhizoprionodon*, como en *R. lalandii* (Motta *et al.* 2007) y *R. acutus* (Harry *et al.* 2010), excepto para *R. longurio* en el Golfo de California donde los machos maduran a una mayor longitud que las hembras (Corro-Espinosa *et al.* 2011).

La selección de un modelo sigmoideo para estimar la L_{50} con base en el enfoque de teoría de información es correcta, dado que se trata de un método rápido y adecuado que da resultados sólidos basados en la trayectoria y la naturaleza de los propios datos. Por ello, este enfoque es recomendado para la estimación de la talla media de madurez en la evaluación de los recursos pesqueros.

Agradecimientos

Especial agradecimiento para los pescadores de Antón Lizardo, Playa Zapote, Tamiahua y Coatzacoalcos por permitir analizar sus capturas; así como a los revisores anónimos por sus observaciones y comentarios al manuscrito.

Literatura citada

- AGUIRRE-VILLASEÑOR H, E Morales-Bojórquez, RE Morán, J Madrid-Vera y MC Valdez. 2006. Biological indicators for the Pacific sierra (*Scomberomorus sierra*) fishery off South from the Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas* 32(3): 471-484.
- BAKHAYOKHO M. 1983. Biology of the cuttlefish *Sepia officinalis* hierredda off the Senegal coast. *FAO Fish Technical Paper* 231: 204-263.

- BIRCH CPD. 1999. A new generalized logistic sigmoid growth equation compared with the Richards growth equation. *Annals of Botany* 83: 713-723.
- BROUWER SL y MH Griffiths. 2005. Reproductive biology of carpenter seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pisces: Sparidae) in a marine protected area. *Fishery Bulletin* 103(2): 258-269.
- BURNHAM KP y DR Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer. New York. 488p.
- BURNHAM KP y DR Anderson. 2004. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods Research* 33(2): 261-304.
- CARLSON JK y IE Baremore. 2003. Changes in biological parameters of Atlantic Sharpnose Shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, in the Gulf of Mexico: evidence for density-dependent regulation? *Marine and Freshwater Research* 54(3): 227-234.
- CARLSON JK, JR Sulikowski e IE Baremore. 2006. Do differences in life history exist for blacktip sharks, *Carcharhinus limbatus*, from the United States South Atlantic bight and Eastern Gulf of Mexico? *Environmental Biology Fishes* 77: 279-292.
- CARLSON JK, MR Heupel, DM Bethea y LD Hollensead. 2008. Coastal habitat use and residency of juvenile Atlantic Sharpnose Shark (*Rhizoprionodon terraenovae*). *Estuaries and Coasts* 31: 931-940.
- CASTILLO-GÉNIZ JL, JF Márquez-Farías, MC Rodríguez-de la Cruz, E Cortés y A Cid del Prado. 1998. The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery. *Marine and Freshwater Research* 49: 611-620.
- CASTRO JI. 2011. The sharks of North America. Edición Ilustrada. Oxford University Press. Nueva York. 613p.
- COMPAGNO LJV. 2002. Sharks. En: KE Carpenter (ed.). *The living marine resources of the western central Atlantic, vol 1. Introduction, mollusks, crustaceans, hagfish, sharks batoid fishes and chimaeras*. FAO Species Identification Guide for Fishery Purpose and American Society of Ichthyologist and Herpetologist Roma. 600p.
- CORRO-ESPINOSA D, JF Márquez-Farías y A Muhlia-Melo. 2011. Size at maturity of the Pacific sharpnose shark *Rhizoprionodon longurio* in the Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas* 37(2): 201-214.
- FLORES L, B Ernst y AM Parma. 2010. Growth pattern of the sea urchin, *Loxechinus albus* (Molina 1782) in southern Chile: evaluation of growth models. *Marine Biology* 157(5): 967-977.
- GOMPERTZ B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 115: 513-583.
- HADDON M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman and Hall. Boca Raton. 406p.
- HARRY AV, CA Simpfendorfer y AJ Tobin. 2010. Improving age, growth, and maturity estimates for aseasonally reproducing chondrichthyans. *Fisheries Research* 106(3): 393-403.
- HEISTEJ, JA Musicky JE Graves. 1996. Mitochondrial DNA diversity and divergence among sharpnose sharks, *Rhizoprionodon terraenovae*, from the Gulf of Mexico and Mid-Atlantic Bight. *Fishery Bulletin* 94: 664-668.
- HILBORN R y M Mangel. 1997. *The ecological detective. Confronting models with data. Monographs in population biology*. Princeton Academic Press. New Jersey. 330p.
- KATSANEVAKIS S y CD 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.
- KING M. 1995. *Fisheries biology, assessment and management*. Fishing News Books. Blackwell. Oxford. 341p.
- LOEFER JK y GR Sedberry. 2003. Life history of the Atlantic Sharpnose Shark (*Rhizoprionodon terraenovae*) (Richardson 1836) off the southeastern United States. *Fishery Bulletin* 101(57): 75-88.
- LOMBARDI-CARLSON LA, E Cortés, GR Parsons y 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.
- LYSACK W. 1980. 1979 Lake Winnipeg fish stock assessment program. Manitoba Department of Natural Resources. Fisheries Branch. Winnipeg. 118p.
- MACEDO MM, MF Sousa y VS Batista. 2012. Latitudinal disparity in the reproductive cycle of sharpnose shark, *Rhizoprionodon lalandii* (Elasmobranchii: Carcharhinidae), in Atlantic waters off South America. *Zoologia* 29(5): 413-419.
- MÁRQUEZ-FARÍAS JF. 2007. Reproductive biology of shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* from the eastern Gulf of California Mexico. *Marine Biology* 151(4): 1445-1454.

- MOLLET HF, G Cliff, HLJ Pratt y JD Stevens. 2000. Reproductive biology of the female shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque 1810, with comments on the embryonic development of lamnoids. *Fisheries Bulletin* 98: 299-318.
- MORIN M. 2010. Parámetros reproductivos del cazón de ley *R. terraenovae* en el sureste del Golfo de México. Maestría en Ecología Internacional. Facultad de las Ciencias. Université de Sherbrooke. Quebec. 45p.
- MOTTA FS, RC Namora, OBF Gadig y FMS Braga. 2007. Reproductive biology of the brazilian sharpnose shark (*Rhizoprionodon lalandii*) from southeastern Brazil. *ICES Journal Marine Science* 64: 1829-1835.
- MOURATO BL, R Coelho, AF Amorim, FC Carvalho, FHV Hazin y G Burgess. 2010. Size at maturity and length-weight relationships of the blurred lantern shark *Etmopterus bigelowi* (Squaliformes: Etmopteridae) caught off southeastern Brazil. *Ciencias Marinas* 36(4): 323-331.
- NETER J, MH Kutner, J Nachtschien y W Wasserman. 1996. *Applied linear statistical models*. McGraw-Hill/Irwin. Chicago. 1408p.
- PARSONS GR. 1983. The reproductive biology of the Atlantic Sharpnose Shark, *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson). *Fishery Bulletin* 81(1): 61-73.
- PARSONS GR y ER Hoffmayer. 2005. Seasonal changes in the distributions and relative abundance of the Atlantic Sharpnose Shark *Rhizoprionodon terraenovae*, in the north central Gulf of Mexico. *Copeia* 4: 914-920.
- PÉREZ-JIMÉNEZ JC. 2011. Biología reproductiva de la raya *Rhinoptera bonasus* en el sureste del Golfo de México. *Hidrobiológica* 21(2): 159-167.
- POLACHECK T, R Hilborn y AE Punt. 1993. Fitting surplus production models: Comparing methods and measuring uncertainty. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50(12): 2597-2607.
- RICHARDS FJ. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10(2): 290-301.
- ROA R, B Ernst y F Tapia. 1999. Estimation of size at sexual maturity: an evaluation of analytical and resampling procedures. *Fishery Bulletin* 97(3): 570-580.
- SUAREZ-MOO PJ, A Rocha-Olivares, O Zapata-Pérez, A Quiroz-Moreno y LF Sánchez-Teyer. 2013. High genetic connectivity in the Atlantic Sharpnose Shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, from the southeast Gulf of Mexico inferred from AFLP fingerprinting. *Fisheries Research* 147: 338-343.
- WHITE W, N Hall e I Potter. 2002. Size and age compositions and reproductive biology of the nervous shark *Carcharhinus cautus* in a large subtropical embayment, including an analysis of growth during pre- and postnatal life. *Marine Biology* 141(6): 1153-1164.
- ZHU GP, XJ Dai, LM Song y LX Xu. 2011. Size at sexual maturity of Bigeye Tuna *Thunnus obesus* (Perciformes: Scombridae) in the Tropical Waters: a comparative analysis. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 11: 149-156.

Recibido: 9 de mayo de 2013.

Aceptado: 29 de noviembre de 2013.