

Estimación de la edad y crecimiento de hembras de *Gymnura micrura* (Elasmobranchii) capturadas en Veracruz, México

Estimation of the age and growth in females of *Gymnura micrura* (Elasmobranchii) captured in Veracruz, Mexico

Liliana Cuervo-López¹, J. Fernando Márquez-Farías², Flor Itzel Osorio-Rodríguez¹, Luis Daniel Carrillo-Colín³ y Arturo Serrano-Solis¹

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Carretera Tuxpan-Tampico Km 7.5 Tuxpan, Veracruz, 92860, México

²Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, Col. Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, 82000, México

³Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Ciudad Universitaria 3000, 04510 Coyoacán, Ciudad de México, México

*Autor correspondiente: fmarquez@uas.edu.mx

Abstract. - The Smooth Butterfly ray *Gymnura micrura* is caught directly and indirectly in the Gulf of Mexico. In order to know their life history, the age and growth parameters were estimated in 96 females captured from October 2015 to September 2016. The age was assigned following conventional protocols comparing the counts between readers and assuming an annual growth band formation. The back-calculation technique was used to complement the missing lengths of the small individuals in the sample. The von Bertalanffy growth model was fitted to both the observed age-length data and with back-calculated data. The size range was 48-89 cm disc width (DW) with estimated age range of 3-11 years. The maximum estimated age was 11 years, corresponding to an individual of 88 cm DW. The relationship between DW and vertebra size is adequately explained by linear regression ($r = 0.81$, $P < 0.05$). According to the AIC value (Akaike Information Criteria), including the back-calculated data does not improve the model fit. Estimated parameter to the observed data were $DW_{\infty} = 91.05$ cm, $k = 0.22$ years⁻¹, and $DW_0 = 21.09$ cm. This is the first approximation to know the age of this species, and it is the beginning of understanding its life history and population dynamics.

Key words: Age, growth, *Gymnura micrura*, Veracruz

Resumen. - La raya mariposa *Gymnura micrura* es capturada directa e indirectamente en el golfo de México. Para conocer su historia de vida, se estimó la edad y los parámetros de crecimiento en 96 hembras capturadas durante octubre 2015 a septiembre 2016. La edad se asignó siguiendo protocolos convencionales comparando los conteos entre lectores y suponiendo una formación anual de las bandas de crecimiento. Mediante la técnica de retrocálculo, se estimaron tallas de individuos pequeños faltantes en la muestra. El modelo de von Bertalanffy fue ajustado a los datos edad-talla observados y agregando los retrocalculados. El intervalo de tallas varió de 48-89 cm de ancho de disco (AD). La relación entre el tamaño corporal y el tamaño de la vértebra es adecuadamente explicada mediante una regresión lineal ($r = 0,81$, $P < 0,05$). La edad máxima estimada fue de 11 años en un individuo de 88 cm AD. De acuerdo con el índice CIA (Criterio de Información de Akaike), agregar los datos retrocalculados no mejoró el ajuste del modelo. Los parámetros estimados a los datos observados fueron $AD_{\infty} = 91,05$ cm, $k = 0,22$ años⁻¹ y $AD_0 = 21,09$ cm. Esta es la primera aproximación para conocer la edad de esta especie y es el inicio del entendimiento de su historia de vida y dinámica poblacional.

Palabras clave: Edad, crecimiento, *Gymnura micrura*, Veracruz

INTRODUCCIÓN

La raya mariposa *Gymnura micrura* (Bloch & Schneider, 1801) es una especie de importancia comercial en la pesca artesanal de rayas del golfo de México. Las principales especies que sustentan esta pesquería son la raya látigo *Hypanus americanus* (Hildebrand & Schroeder, 1928), raya pinta *Aetobatus narinari* (Euphrasen, 1790), raya gavián *Rhinoptera bonasus* (Mitchill, 1815) y *G. micrura* (Cu-Salazar *et al.* 2014). Además, representa el 42,9% en la composición de peso en la captura incidental en el arrastre camaronero (Zea-de la Cruz *et al.* 2016) y ocupa el segundo lugar en la captura incidental de la pesca artesanal palangrera en la costa norte de Veracruz (del Ángel 2015). Es una de las

tres especies de la familia Gymnuridae reportada para México. Su distribución abarca el Atlántico occidental, desde la bahía de Chesapeake, Estados Unidos, hasta Brasil; en el Atlántico oriental, desde Senegal hasta el Congo; y en el Índico, desde India hasta Borneo (McEachran & Séret 1990). La raya mariposa es una especie vivípara aplacentada. Su periodo de gestación puede durar alrededor de 10-11 meses. La talla promedio de nacimiento es de 20-21 cm ancho del disco (AD) y las hembras alcanzan mayor tamaño de madurez (51-63 cm AD) que los machos (24-29 cm AD) (Cu-Salazar *et al.* 2014). Habita fondos arenosos hasta 40 m de profundidad y se alimenta de moluscos, crustáceos y peces (McEachran & Carvalho 2002). El conocimiento sobre la ecología y biología



de esta especie en el golfo de México es aún limitado, con excepción de estudios para *Gymnura marmorata* (Cooper, 1864) en aguas del alto Golfo de California (Rodríguez-Lorenzo 2007, Sánchez-Cota 2016), no se han realizado estimaciones de edad y crecimiento de *G. micrura* en costas mexicanas. El resto de los estudios sobre esta especie incluyen: una descripción del sistema excretor (Kobelkowsky 2004); investigación de los parámetros reproductivos de las hembras para el sur del golfo de México (Cu-Salazar *et al.* 2014) y otro estudio sobre la abundancia y estructura poblacional con datos obtenidos en la pesca de arrastre para el camarón (Zea-de la Cruz *et al.* 2016).

Un elemento clave para entender el ciclo de vida de las especies son los estudios de edad y crecimiento, ya que a partir de esta información es posible determinar la edad de madurez, longevidad y otros procesos propios de la dinámica de poblaciones como las tasas de supervivencia y reproducción (Goldman 2005). De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el estado de conservación de esta especie es casi amenazada (Dulvy *et al.* 2021). Por lo anterior, se vuelve imperativo contar con información adecuada para el manejo sostenible de los recursos de importancia pesquera, ya que las acciones de conservación y manejo dependerán de la información disponible sobre la historia de vida de las especies (Heupel & Simpfendorfer 2010) y de acuerdo con Hilborn & Walters (1992), los recursos marinos sometidos a explotación comercial requieren de un análisis completo e integral de los datos, principalmente aquellos modelos estructurados por edades. En el presente estudio, se reportan los parámetros

de crecimiento obtenidos mediante el conteo de bandas de crecimiento en vértebras de hembras de *G. micrura* en el golfo de México. El incremento de estudios sobre el ciclo de vida de esta especie será la base para comprender su dinámica poblacional y determinar su productividad demográfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante octubre 2015-septiembre 2016 se recolectaron mensualmente organismos de *G. micrura* provenientes de la pesca artesanal palangrera que opera frente a Tamiahua y Tuxpan, al norte de Veracruz, México (Fig. 1). Debido a la segregación sexual de la especie, la muestra solo contiene hembras, las cuales fueron identificadas por la ausencia de gonopterigios. Utilizando un ictiómetro convencional, de cada ejemplar se registró el ancho de disco (AD, cm) al centímetro más cercano evitando la curvatura del cuerpo.

De cada organismo se extrajo una sección de 8-10 vértebras cervicales (Natanson *et al.* 2018). Se removió el arco neural, la apófisis y restos de tejido conectivo de cada vértebra de manera manual sumergiéndolas por un minuto en una solución de hipoclorito de sodio al 5% (Cruz-Jiménez *et al.* 2014). Se seleccionó la vértebra más grande de cada sección vertebral colectada y se registró el fondo vertebral (FV, mm) utilizando un vernier digital ($\pm 0,05$ mm). Para evaluar si la vértebra crece en proporción a la talla, se evaluó la relación entre el AD y FV mediante un análisis de regresión lineal. Cada vértebra fue fijada a una pieza de madera con resina sintética para su posterior corte utilizando una cortadora ISOMET (Buehler Ltd., Lake Bluff, IL) de baja velocidad. El corte se realizó en

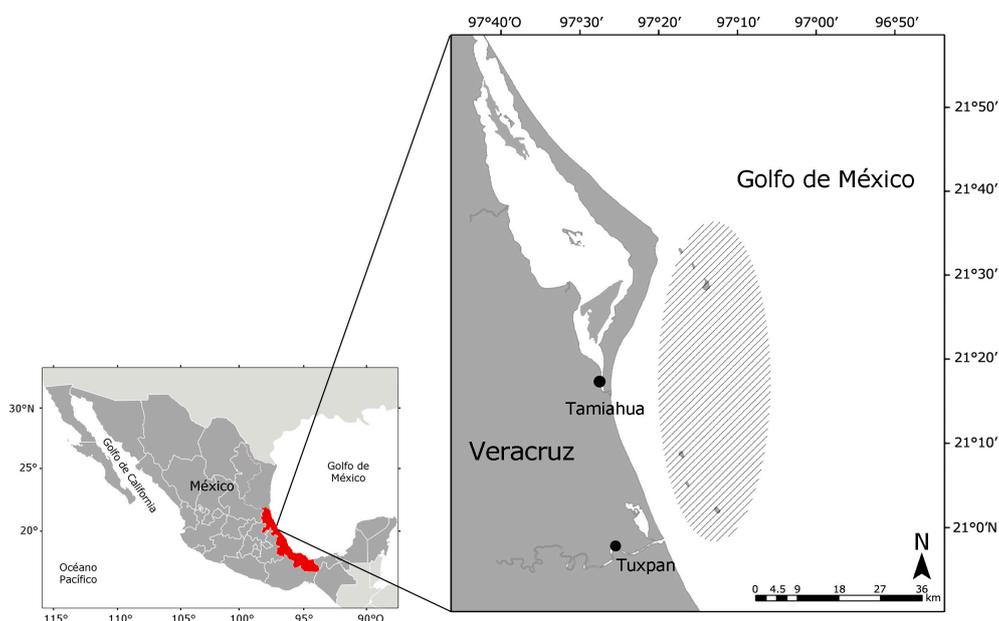


Figura 1. Mapa que muestra la zona de pesca (polígono gris) donde se capturaron ejemplares de *Gymnura micrura* por la flota artesanal de Tamiahua y Tuxpan, Veracruz, México de octubre 2015 a septiembre 2016 / Sampling area (dashed area) of *Gymnura micrura* corresponding to the artisanal fleet of Tamiahua and Tuxpan, Veracruz, Mexico from October 2015 to September 2016

su eje sagital con navajas gemelas con punta de diamante. La separación entre las navajas fue de 0,24 mm produciendo una sección que fue montada en un portaobjetos. Las muestras en el portaobjetos fueron fotografiadas con luz transmitida en un microscopio estereoscópico Olympus® SZ61 equipado con una cámara digital OptixCam® S7N. Se elaboró una base de datos de imágenes para la interpretación y conteo de las bandas de crecimiento.

ESTIMACIÓN DE LA EDAD

Para la estimación de la edad, se contaron las bandas translúcidas y opacas sobre el *corpus calcareum* (CC) de cada imagen del corte vertebral (Cailliet & Goldman 2004). Como punto de partida para el conteo, se identificó la marca de nacimiento (edad cero), la cual se aprecia como un cambio de ángulo en la parte interna del CC cerca al origen. Cada par de bandas (translúcida y opaca) leídas después de la marca de nacimiento se consideró como una banda de crecimiento anual (Cailliet *et al.* 2006, Sánchez-Cota 2016). Los conteos de las bandas de crecimiento fueron realizados por dos lectores de manera independiente (Cailliet & Goldman 2004).

VERIFICACIÓN DE LAS LECTURAS

Se emplearon tres métodos para evaluar la precisión, sesgo y simetría de las lecturas de bandas de crecimiento. La variación entre lectores se evaluó mediante una gráfica de sesgo (Campana 2001) y las pruebas de simetría de Bowker (Hoenig *et al.* 1995). La gráfica de sesgo relaciona el recuento de pares de bandas del lector 1 (eje x) con el promedio de conteos de pares de bandas de crecimiento del lector 2 (eje y) trazando una línea con un ángulo de 45 grados como referente desde el origen, la cual supone lecturas equivalentes. Se aplicó el método de Bowker de acuerdo con lo recomendado por Ogle (2016) aplicando la librería "FSA" en el lenguaje de programación R 3.6.1 (R Core Team 2019), el cual utiliza la prueba de ji-cuadrado (χ^2) para evaluar si las diferencias son al azar ($P > 0,05$) o son errores sistemáticos ($P < 0,05$). La precisión se evaluó mediante el porcentaje de error promedio (APE) propuesto por Beamish & Fournier (1981):

$$APE = 100 \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|x_{ij} - x_j|}{x_j} \right) \right]$$

Así mismo, se calculó el coeficiente de variación (CV) y el porcentaje de coincidencia (PA) (Chang 1982), donde el CV expresa la relación de la desviación estándar sobre la media, y PA representa la precisión del total de las lecturas.

$$CV = 100 \left[\frac{1}{N} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(x_{ij} - x_j)^2}{x_j}} \right) \right]$$

$$PA = \left[100 \left(\frac{A}{B} \right) \right]$$

Dónde N es el número de ejemplares analizados, R corresponde al número de lectores, x_{ij} es el número de bandas del pez j contabilizadas por el lector i , x_j corresponde al promedio del número de bandas contadas en el pez j , A corresponde al número de vértebras coincidentes y B al número de vértebras leídas.

CRECIMIENTO

Se utilizó la técnica de retrocálculo de Fraser-Lee (Francis 1990) para obtener la longitud de organismos a edades previas a tres años, ya que en la muestra analizada no se obtuvieron clases de longitud < 54 cm AD. De las imágenes del corte vertebral, se midió la distancia entre las bandas de crecimiento mediante el software Image-Pro Plus versión 6.0.1 (Informer Technologies, Inc. USA). El radio vertebral (RV) se midió como una línea recta desde el foco hasta el borde vertebral. La distancia desde el foco hasta la marca de nacimiento y a cada par de bandas de crecimiento se midió al 0,001 mm más cercano a lo largo de esta línea recta:

$$L_i = \left(\frac{R_i}{R_c} \right) (L_c - c) + c$$

Dónde L_i es la longitud del pez al momento de formación de la i -ésima banda de crecimiento, R_i es el radio vertebral a la edad estimada, R_c es el radio vertebral al momento de la captura, L_c es la longitud del pez al momento de la captura, y c ($c = 33,36$) es el intercepto de la regresión entre el tamaño del pez (AD) y el fondo vertebral (FV).

Los parámetros de crecimiento se estimaron ajustando el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VB; von Bertalanffy 1938) en dos escenarios. El primero, ajustando el modelo a los datos observados derivados del conteo de bandas de crecimiento. El segundo incluyó el ajuste del modelo combinando dichos datos observados y las edades retrocalculadas faltantes (1 y 2 años). La estimación de los parámetros se realizó con un ajuste no lineal de mínimos cuadrados utilizando el lenguaje de programación R-vers. 4.0.3 (R Core Team 2020).

$$AD_t = AD_\infty - (AD_\infty - AD_0) \exp^{-kt}$$

Dónde: AD_t es la longitud estimada a la edad t ; AD_∞ es la longitud asintótica, AD_0 corresponde a la talla estimada de la longitud de nacimiento; k es el coeficiente de crecimiento y t representa la edad en años.

Los parámetros se calcularon para cada modelo con los respectivos intervalos de confianza (IC, 95%) mediante la técnica de remuestreo (Manly 1997) utilizando 1000 repeticiones. Para evaluar la adecuación del modelo a los datos y la calidad del ajuste, se calculó el Criterio de Información de Akaike (CIA) para cada escenario. El mejor ajuste entre los dos escenarios fue el que presentó el valor más bajo de CIA (Katsanevakis 2006).

LONGEVIDAD

Se usaron dos métodos para estimar la longevidad. El primero, con base en el mayor número de bandas de crecimiento observadas. El segundo mediante el método de Taylor (Taylor 1958), el cual estima el tiempo requerido para alcanzar el 95% del AD_{∞} :

$$w = \left(\frac{1}{k}\right) \ln \left[\frac{(AD_{\infty} - AD_0)}{AD_{\infty}(1-x)} \right]$$

Dónde: $x = 0,95$

RESULTADOS

Un total de 96 hembras de la raya mariposa fueron analizadas. El intervalo de tallas fue 48-89 cm AD [promedio: 72,48 cm; desviación estándar (D.E.) 7,96]. La muestra tuvo dos grupos modales en los intervalos de 70-71 cm AD (22,4%) y de 76-77 cm AD (21,6%) (Fig. 2). Se encontró una correlación significativa ($r = 0,81$, $P < 0,05$) entre el AD y el FV (Fig. 3), descrita mediante la ecuación $AD = 33,36 + 90,80(FV)$.

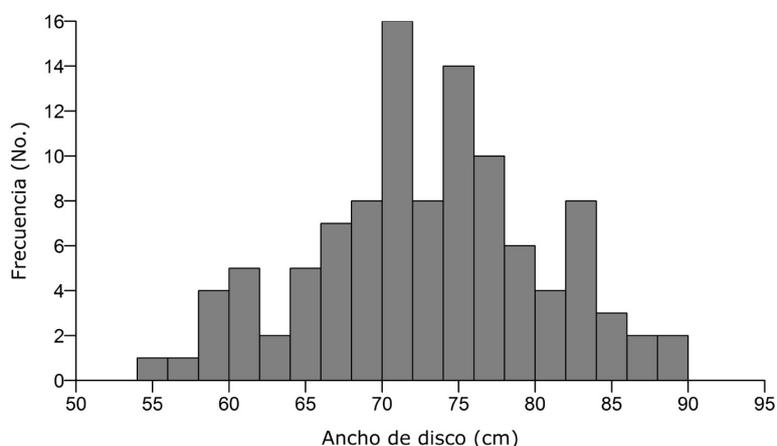


Figura 2. Estructura de tallas (ancho de disco-AD, cm) de hembras de *Gymnura micrura* del norte de Veracruz, México (n= 96) / Size structure (disc width-DW, cm) of *Gymnura micrura* females from the northern Veracruz, Mexico (n= 96)

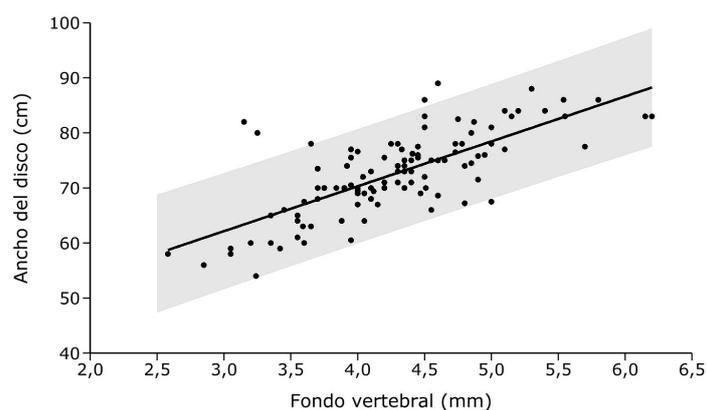


Figura 3. Relación entre ancho de disco (AD, cm) y fondo vertebral (FV, mm). Se muestra el modelo ajustado (línea continua) y los intervalos de confianza de los datos (gris) / Relationship between disc width (DW, cm) and vertebral deep (VD, mm). Fitted model (solid line) and the confidence intervals for data (gray) are shown

El gráfico de sesgo mostró 9 bandas de crecimiento identificadas por los lectores y una variación mínima alrededor de la proporción 1:1 en organismos de 4-6 grupos de edad (Fig. 4). Los análisis de precisión de lectura mostraron un error relativamente bajo (IAPE= 3,22%; CV= 4,55%). Se observó 86% de coincidencia entre lectores y 13% con diferencias de solo un par de bandas. No obstante, las pruebas de simetría mostraron que las diferencias entre lectores fueron sistemáticas (χ^2 , $P < 0,05$ en todos los casos).

El intervalo de edades observadas fue de 3-11 años. Las hembras de 5, 6 y 7 años de edad representaron el 27,2; 23,0 y 18,1%, respectivamente (Fig. 5). Estas tres clases de edad representan 68,3% del total, lo que da una apariencia de estructura unimodal. Mediante la técnica de retrocálculo se logró estimar tallas promedio a cada grupo de edades faltantes (< 3 años) (Tabla 1). En términos de bondad de ajuste, el modelo ajustado a los datos observados (sin considerar edades

Tabla 1. Promedio del ancho de disco (AD) con su respectiva desviación estándar (D.E.) de los datos observados y retrocalculados (*) a cada edad de hembras de *G. micrura*. La longitud de nacimiento () fue tomada de Cu-Salazar et al. (2014) / Average disc width (DW) with its respective standard deviation (S.D.) of the observed and back-calculated data (*) at each age of *G. micrura* females. The length of birth (**) was taken from Cu-Salazar et al. (2014)**

Edad (años)	AD (cm)	D.E.
0	21,50**	-
1	45,13*	8,16
2	48,16*	3,20
3	54,87	-
4	60,12	4,51
5	69,32	4,65
6	72,41	5,15
7	75,26	5,63
8	80,66	4,33
9	80,21	4,68
10	86,00	-
11	88,00	-

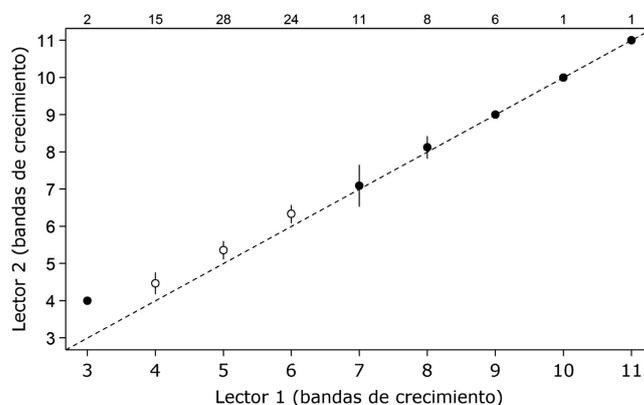


Figura 4. Gráfico de sesgo de los conteos de bandas de crecimiento ente lectores. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95% para el promedio de conteos (puntos negros y blancos) por el lector 2 (eje-y). La línea punteada representa la equivalencia (1:1) de las lecturas. Los números en el eje superior representan el número de conteos para cada número de bandas. Los puntos negros reflejan los grupos de edad donde no existieron diferencias significativas entre el promedio y la equivalencia. Los puntos blancos reflejan los grupos de edad donde existieron diferencias significativas entre el promedio y la equivalencia / Age bias plots for within readers band counts. The vertical lines represent the 95% confidence intervals for the average counts (black and white dots) by reader 2 (y-axis). The 1:1 equivalence (dashed line) is indicated. The numbers on the top axis represent the number of counts for each number of bands. The black dots reflect the age groups with non-significant differences between the mean and the equivalence. The white dots reflect the age groups where there were significant differences between the mean and the equivalence

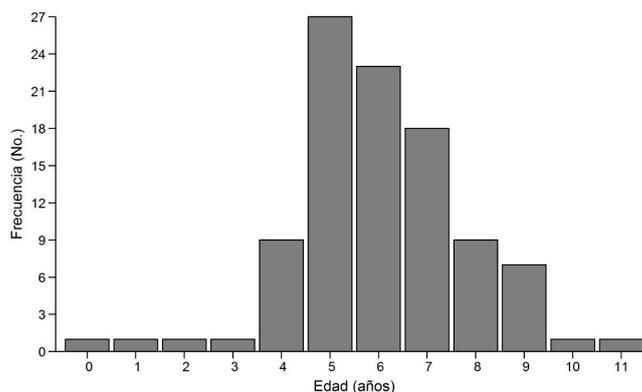


Figura 5. Estructura de edades de hembras de *Gymnura micrura* de Veracruz, México (n= 96) / Age structure of *Gymnura micrura* females from Veracruz, Mexico (n= 96)

retrocalculadas) presentó el valor más bajo de la suma de cuadrados residuales (RSS) y de CIA (Tabla 2). La ganancia de ajustar el modelo de VB a datos retrocalculados es mínima, pues los parámetros y las curvas de crecimiento son similares en ambos escenarios (Fig. 6). La longevidad teórica arrojó una edad máxima promedio de 14 años ($IC_{95\%}$: 11-19), edad necesaria para alcanzar el 95% de la longitud asintótica.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indicaron que las hembras de *G. micrura* viven hasta 11 años en aguas del golfo de México, y aunque es capturada directa e indirectamente en diversas pesquerías del golfo de México, previamente no se han estimado la edad ni los parámetros de crecimiento individual. El intervalo de tallas del presente estudio (48-89 cm AD), corresponde en su gran mayoría a hembras adultas de *G. micrura* capturadas con palangre a profundidades de 3-80 m. Para hembras de *G. micrura* del sur del Golfo de México se han reportado intervalos de talla más amplios (23-87 cm AD; Cu-Salazar *et al.* 2014) y de 20-86 cm AD (Zea-de la Cruz *et al.* 2016). La ausencia de machos en la zona de estudio y de individuos < 48 cm AD posiblemente sea un efecto de la segregación sexual (Yokota & Lessa 2006, 2007; Yokota 2010), migración (Narváez *et al.* 2008) o bien a otros aspectos relacionados con la faena de pesca (Cu-Salazar *et al.* 2014).

La estructura de la vértebra de *G. micrura* obedece a una forma cilíndrica más notoria que en otras especies de batoideos (Martin & Cailliet 1988). Los batoideos por su cuerpo dorso-ventralmente aplanado requieren una columna vertebral más compleja que los tiburones, presentando vértebras fusionadas (sinarcuales) a manera de cilindro que están involucradas en la articulación de la cabeza, localizadas en la porción anterior de la columna vertebral. Esta estructura rígida con menor

Tabla 2. Parámetros de crecimiento estimados para hembras de *G. micrura* obtenidos por el modelo de von Bertalanffy ajustado a datos observados y edades retrocalculadas (< 3 años). Se muestra el valor promedio de los parámetros, el error estándar (e.e.), intervalos de confianza al 95% (IC) mostrando límites mínimos (Linf) y máximos (Lsup), el valor de la suma de cuadrados residuales (RSS) y el valor del Criterio de Información de Akaike (CIA) / Estimated growth parameters for *G. micrura* females obtained by the von Bertalanffy model adjusted to observed data and back-calculated ages (< 3 years). The mean value of the parameters, the standard error (s.e.), 95% confidence intervals (IC) showing minimum (Linf) and maximum limits (Lsup), the value of the residual sum of squares (RSS) and the Akaike Information Criterion value (CIA)

Métodos	Parámetros	e.e.	95% IC (cm)		RSS	CIA	
			Linf	Lsup			
Observados	AD_{∞}	91,05 (cm)	2,05	84,84	101,57	2,262	583,75
	k	0,22 (años ⁻¹)	0,01	0,15	0,28		
	AD_0	21,09 (cm)	1,45	11,58	30,48		
Retrocalculados (Fraser-Lee)	AD_{∞}	91,63 (cm)	5,36	85,03	104,43	2,338	597,13
	k	0,20 (años ⁻¹)	0,03	0,13	0,27		
	AD_0	25,33 (cm)	2,75	16,87	32,89		

flexibilidad que el resto de la columna vertebral respalda el soporte de las aletas pectorales ampliadas (Hamlett 1999). A pesar de lo anterior, las vértebras de *G. micrura* se consideran una estructura dura válida para la estimación de la edad, como lo indica el crecimiento proporcional de la vértebra con el tamaño corporal (AD) y como ha sido reportado previamente por Sánchez-Cota (2016) para *G. marmorata* en la porción sur de la costa occidental de Baja California Sur, México. Los valores de APE y CV, aun cuando es una técnica subjetiva e intervienen diversos factores (Campana *et al.* 1995, Cailliet *et al.* 2006), se consideran dentro del umbral estándar para la determinación de edad en elasmobranchios (Campana 2001).

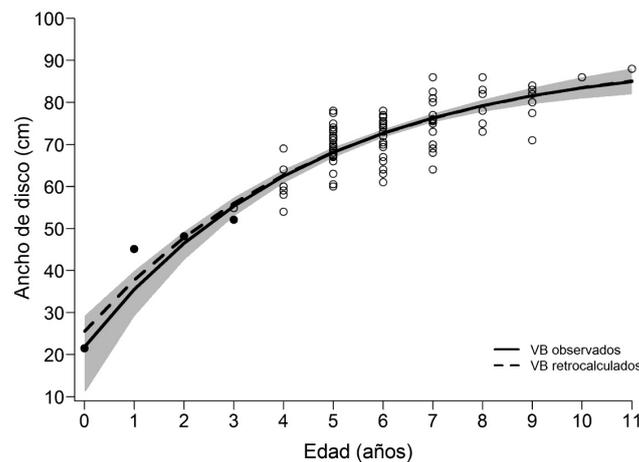


Figura 6. Curva de crecimiento de von Bertalanffy en hembras de *Gymnura micrura*. Se muestran los datos observados (puntos blancos), el promedio de las tallas retrocalculadas (< 3 años, puntos negros), el modelo ajustado a datos observados (línea continua), el modelo ajustado a datos observados y retrocalculados (línea punteada) y el intervalo de confianza de los modelos (zona gris) / von Bertalanffy growth curve in *Gymnura micrura* females. The observed data (white dots), the average of the back-calculated lengths (< 3 years, black dots), the model fitted to observed data (solid line), the model fitted to observed and back-calculated data (dotted line) and the confidence interval of the models (gray area) are shown

Los sesgos sistemáticos encontrados en el conteo de bandas mediante la prueba de simetría de Bowker (Bowker 1948), aunque no es directamente comparable entre estudios de la especie, indica un sesgo en las lecturas de edades pequeñas (< 6 años), como es visible en la gráfica de sesgo (Campana *et al.* 1995). Este sesgo fue significativo debido al número reducido de vértebras correspondientes a esos grupos de edades (Hoenig *et al.* 1995). La diferencia en encontrar sesgo o no en el conteo de bandas de crecimiento, obedece a una lectura consistente, lo cual se dificulta cuando la estructura dura es pequeña y las bandas son difusas o ilegibles (Smart *et al.* 2013).

Se consideró una periodicidad anual en la formación de las bandas de crecimiento de *G. micrura* para costas del golfo de México. Este patrón ha sido reportado en especies del mismo género (Rodríguez-Lorenzo 2007, Sánchez-Cota 2016) y en otras familias de batoideos en costas mexicanas (Castillo-Géniz 2007, Márquez-Farías 2007, Smith *et al.* 2008, Hernández-Lazo 2012, Torres-Palacios 2015, Carrillo-Colín *et al.* 2021). Las estimaciones de los modelos de crecimiento están fuertemente afectadas por la ausencia de individuos jóvenes y/o adultos (Campana 2001, Cailliet & Goldman 2004). La selectividad del sistema de captura es un problema común en la colecta de elasmobranquios (Thorson & Simpfendorfer 2009). Sin embargo, dada la morfología de la especie, consideramos que la ausencia de individuos pequeños (< 50 cm AD) en el presente estudio se podría deber a que los caladeros de pesca no coinciden con zonas de abundancia de juveniles (Santana-Morales 2005). La baja disponibilidad de datos es común en los estudios de crecimiento de elasmobranquios y se han propuesto técnicas para lidiar con el problema (Smart *et al.* 2013) como es el caso de técnicas de retrocálculo y estimación de parámetros en el modelo de VB como AD_0 (Cailliet *et al.* 2006). En este estudio, la carencia de edades < 3 años fue subsanada con la técnica del retrocálculo, lo cual permitió ampliar la representatividad de los datos para favorecer el ajuste, sin embargo, la curva de crecimiento ajustada al conjunto de valores observados con retrocalculados tuvo el valor más alto de CIA (Burnham & Anderson 2001, Katsanevakis 2006), a diferencia de la curva de crecimiento ajustada usando únicamente los valores observados, en donde el ajuste fue ligeramente mejor. En situaciones en donde es complicado tener acceso a toda la población explotada, resultan útiles las técnicas de retrocálculo que permiten estimaciones de los parámetros de crecimiento a partir de tamaños de muestra pequeños (Smart *et al.* 2013, Cruz-Jiménez *et al.* 2014). Cuando la representatividad de la muestra lo permita, sería conveniente explorar el ajuste de otros modelos asintóticos o de naturaleza sigmoideal (tipo logístico).

El modelo de VB (así como otros modelos de crecimiento) es particularmente sensible a datos faltantes en cualquier extremo del rango de tallas, ya que dos de sus parámetros (L_∞ y L_0) están fuertemente influenciados por estos datos (Haddon 2001). Por lo tanto, una consecuencia típica cuando faltan juveniles en los datos de edad-talla es una sobreestimación del parámetro L_0 (Pilling *et al.* 2002). Sin embargo, en el estudio actual, la inclusión de un valor de la talla de nacimiento reportado en la literatura produjo una estimación de AD_0 biológicamente realista (White 2007) mejorando así el ajuste del modelo. Esto enfatiza la sensibilidad del modelo de VB a la omisión de juveniles o de datos de tallas de nacimiento, y destaca que su inclusión mejorará la precisión de los modelos de crecimiento, produciendo resultados biológicamente más razonables de la misma manera que el uso de la técnica del retrocálculo (Smart *et al.* 2016).

El parámetro AD_∞ reportado en este estudio es comparable con lo estimado por Sánchez-Cota (2016) para *G. marmorata*, aunque dicho autor utilizó el modelo sigmoideal de Gompertz (Ricker 1975), el cual es utilizado para ajustar a datos en su mayoría en etapa juvenil, presentando un punto de inflexión (Smart *et al.* 2016). La curva de crecimiento muestra un incremento rápido en los primeros años de vida, característico en hembras de elasmobranquios, las cuales frecuentemente alcanzan mayor tamaño que los machos. Este rasgo es atribuido a la reproducción vivípara, pues poseen una cavidad celómica mayor para la gestación de sus embriones, tal es el caso de *G. micrura*. Cu-Salazar *et al.* (2014) reporta una fecundidad de uno a 11 embriones, siendo directamente proporcional al AD de las hembras. Campana (2001) y Goldman (2005) reportan que las especies de batoideos con talla máximas de hasta 80 cm tienen un coeficiente de crecimiento (k) moderado que varía de 0,2-0,5 años⁻¹, alcanzando edades máximas de 3-8 años, con una edad de primera madurez de 1-3 años. Los parámetros de crecimiento estimados para hembras de *G. micrura* de la costa norte de Veracruz derivados de esta investigación cumplen dichos supuestos. El valor de $k=0,22$ años⁻¹ de este estudio se interpreta como una especie de crecimiento intermedio de acuerdo con Branstetter (1987) y resultó ser mayor al que reporta Rodríguez-Lorenzo (2007) y menor que el reportado por Sánchez-Cota (2016).

La longevidad teórica varió en tres años en promedio respecto a la edad máxima observada en las estructuras duras. Ricker (1979) argumenta que el primer paso para subestimar la longevidad real es encontrar edades máximas mediante estudios de esclerocronología utilizando cualquier estructura dura. Mejía-Falla *et al.* (2014) y Smith *et al.* (2008) calculan para batoideos longevidades teóricas con la misma función; sin embargo, la misma ecuación y junto a la ecuación de Fabens (1965), podrían sobreestimar la longevidad debido a la naturaleza de relación asintótica de la función de crecimiento de von Bertalanffy de la que se deriva.

El estudio actual demuestra la necesidad de contar con una representatividad de ambos sexos para poder realizar una estimación más robusta del crecimiento y describir la estructura de edades; sin embargo, los parámetros aquí reportados son los primeros para *G. micrura* en costas del golfo de México. Estos parámetros y en particular de hembras, son especialmente importantes en análisis demográficos, para determinar el potencial reproductivo de la población y su respuesta a la presión pesquera (Cortés 1998, Cortés *et al.* 2015).

AGRADECIMIENTOS

Se expresa un agradecimiento especial a los pescadores y permisionarios de la localidad de Tamiahua Veracruz, quienes amablemente permitieron el muestreo durante esta investigación. Se agradece a la Facultad de Ciencias del Mar (UAS) por las facilidades brindadas para el procesamiento de las muestras, particularmente a la M. en C. Carolina Leal, al M. en C. Jesús Osuna y al Dr. Oscar G. Zamora-García, por la asesoría en el procesamiento y la utilización del lenguaje de programación R-studio. Finalmente, se reconoce el financiamiento obtenido mediante la convocatoria 'Apoyo a la Reincorporación de Exbecarios PROMEP-SEP 2016', Proyecto: DSA/103.5/16/10415/EXB-567.

LITERATURA CITADA

- Beamish RJ & DA Fournier. 1981.** A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 982-983. <doi: 10.1139/f81-132>
- Bowker AH. 1948.** A test for symmetry in contingency tables. *Journal of the American Statistical Association* 43: 572-574. <doi: 10.1080/01621459.1948.10483284>
- Branstetter S. 1987.** Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the Northwestern Gulf of Mexico. *Copeia* (4): 964-974. <doi: 10.2307/1445560>
- Burnham KP & DR Anderson. 2001.** Kullback-Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. *Wildlife Research* 28: 111-119.
- Cailliet GM & KJ Goldman. 2004.** Age determination and validation in Chondrichthyan fishes. In: Carrier JC, JA Musick & MR Heithaus (eds). *Biology of sharks and their relatives*, pp. 339-340. CRC Press, Boca Raton.
- Cailliet GM, D Wade, H Smith, F 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: 211-228. <doi: 10.1007/s10641-006-9105-5>
- Campana SE. 2001.** Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59: 197-242. <doi: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb00127.x>
- Campana SE, MC Annand & JI McMillan. 1995.** Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Transactions of the American Fisheries Society* 24: 131-138.
- Carrillo-Colín LD, JF Márquez-Farías, RE Lara-Mendoza & OG Zamora-García. 2021.** Bayesian estimation of the age and growth of the golden cownose ray (*Rhinoptera steindachneri*) in the southern Gulf of California in Mexico. *Fishery Bulletin* 119: 10-20. <doi: 10.7755/FB.119.1.3>
- Castillo-Géniz JL. 2007.** Historia de vida y biología pesquera de la raya *Raja inornata* (Jordan y Gilbert, 1881) del norte del Golfo de California, México. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, CICESE, Ensenada, 236 pp. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1522/1/177801.pdf>
- Chang WY. 1982.** A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39: 1208-1210.
- Cortés E. 1998.** Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fisheries Research* 39: 199-208.
- Cortés E, EN Brooks & KW Shertzer. 2015.** Risk assessment of cartilaginous fish populations. *ICES Journal of Marine Science* 72: 1057-1068. <doi:10.1093/icesjms/fsu157>
- Cruz-Jiménez CS, G Cerdaneres-Ladrón de Guevara, V Anislado-Tolentino & S Ramos-Carrillo. 2014.** Descripción del crecimiento del tiburón aleta de cartón *Carcharhinus falciformis*, capturados en Oaxaca: inferencia a partir de modelos múltiples. *Ciencia Pesquera* 22(1): 44-59.
- Cu-Salazar NH, JC Pérez-Jiménez, I Méndez-Loeza & M Mendoza-Carranza. 2014.** Parámetros reproductivos de las hembras de la raya mariposa *Gymnura micrura* (Elasmobranchii) en el sur del Golfo de México. *Hidrobiológica* 24(2): 109-117.
- Del Ángel AM. 2015.** Aspectos poblacionales reproductivos y pesqueros de rayas capturadas por pesca artesanal en Tamiahua. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, 118 pp.
- Dulvy NK, P Charvet & D Derrick. 2021.** *Gymnura micrura*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T152784762A3088090. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T152784762A3088090.en>
- Fabens AJ. 1965.** Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. *Growth* 29: 265-289.
- Francis RICC. 1990.** Back-calculation of fish length: a critical review. *Journal of Fish Biology* 36: 883-902.
- Goldman KJ. 2005.** Age and growth of elasmobranch fishes. In: Musick JA & R Bonfil (eds). *Management techniques for elasmobranch fisheries*. FAO Fisheries Technical Paper 474: 97-132.
- Haddon M. 2001.** Modelling and quantitative methods in fisheries, 406 pp. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton.
- Hamlett WC. 1999.** Sharks, skates and rays the biology of elasmobranch fishes, 528 pp. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

- Hernández-Lazo C.** 2012. Parámetros de edad y crecimiento para la evaluación de la población de la raya *Dasyatis americana* en el sureste del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Villahermosa, 61 pp. <http://aleph.ecosur.mx:8991/exlibris/aleph/a22_1/apache_media/XT3XAV9CA1M5EBTLKTKU9Q7CMNMHG3.pdf>
- Heupel MR & CA Simpfendorfer.** 2010. Science or slaughter: need for lethal sampling of sharks. *Conservation Biology* 24(5): 1212-1218.
- Hilborn R & C Walters.** 1992. Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty, 570 pp. Chapman-Hall, New York.
- Hoening JM, MJ Morgan & CA Brown.** 1995. Analyzing differences between two age determination methods by tests of symmetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52: 364-368. <doi: 10.1139/f95-038>
- Katsanevakis S.** 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research* 81: 229-235.
- Kobelkowsky A.** 2004. El sistema excretor de la raya mariposa *Gymnura micrura* (Pisces: Rajiformes), Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 75(1): 185-192.
- Manly B.** 1997. Randomization, bootstrap, and Monte Carlo methods in biology, 424 pp. Chapman & Hall, London.
- Martín LK & GM Cailliet.** 1988. Age and growth determination of the Bat Ray, *Myliobatis californica* Gill, in Central California. *Copeia* (3): 762-773.
- Márquez-Farías JF.** 2007. Demografía del pez guitarra, *Rhinobatos productus* (Ayres, 1854), del Golfo de California. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, CIBNOR, La Paz, 148 pp. <http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/169/marquez_f.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- McEachran JD & B Séret.** 1990. Gymnuridae. In: Quero JC, JC Hureau, C Karrer, A Post & L Saldanha (eds). Check list of the fishes of the Eastern tropical Atlantic 1: 64-66. JNICT/SEI/Unesco, Lisboa/París.
- McEachran JD & MR Carvalho.** 2002. Gymnuridae. In: Carpenter KE (ed). The living marine resources of the Western Central Atlantic. Vol. 1 Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes and chimaeras. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication 5: 575-589. FAO, Rome.
- Mejía-Falla PA, E Cortés, AF Navia & FA Zapata.** 2014. Age and growth of the Round Stingray *Urotrygon rogersi*, a particularly fast-growing and short-lived Elasmobranch. *PLoS ONE* 9(4). <doi: 10.1371/journal.pone.0096077>
- Natanson LJ, GB Skomal, SL Hoffmann, ME Porter, KJ Goldman & D Serra.** 2018. Age and growth of sharks: do vertebral band pairs record age? *Marine and Freshwater Research* 69: 1440-1452.
- Narváez JC, FA Herrera & J Blanco.** 2008. Efecto de los artes de pesca sobre el tamaño de los peces en una pesquería artesanal del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR* 37(2): 163-187.
- Ogle DH.** 2016. *Introductory fisheries analyses with R*, 327 pp. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Pilling GM, GP Kirkwood & SG Walker.** 2002. An improved method for estimating individual growth variability in fish, and the correlation between von Bertalanffy growth parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 424-432.
- R Core Team.** 2019. R: A language and environment for statistical computing. Computer program, version 3.6. 1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- R Core Team.** 2020. R: A language and environment for statistical computing. Computer program, version 4.0.3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <<http://www.r-project.org/index.html>>
- Ricker WE.** 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 191: 1-382.
- Ricker WE.** 1979. Growth rates and models. In: Hoar WS, DJ Randall & DJ Brett (eds). *Fish physiology. Bioenergetics and growth*, pp. 677-743. Academic Press, New York.
- Rodríguez-Lorenzo S.** 2007. Edad y crecimiento de la raya mariposa *Gymnura marmorata* del alto Golfo de Baja California, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, 58 pp.
- Sánchez-Cota JB.** 2016. Edad y crecimiento de la raya mariposa, *Gymnura marmorata* (Cooper, 1864) en la porción sur de la Costa Occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, 52 pp. <<http://www.biblioteca.cicimar.ipn.mx/oasis/Medios/tesis/sanchezcot2.pdf>>
- Santana-Morales O.** 2005. Catálogo de tiburones, rayas y quimeras que habitan en las aguas del Norte del Golfo de California. Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 108 pp. <<https://docplayer.es/87775024-Universidad-de-guadalajara.html>>
- Smart JJ, AV Harry, AJ Tobin & CA Simpfendorfer.** 2013. Overcoming the constraints of low sample sizes to produce age and growth data for rare or threatened sharks. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 23(1): 124-134.
- Smart JJ, A Chin, AJ Tobin & CA Simpfendorfer.** 2016. Multimodel approaches in shark and ray growth studies: strengths, weaknesses and the future. *Fish and Fisheries* 17: 955-971.
- Smith WD, GM Cailliet & E Cortés.** 2008. Demography and elasticity of the diamond stingray, *Dasyatis diptera*: parameter uncertainty and resilience to fishing pressure. *Marine and Freshwater Research* 59: 575-586. <doi: 10.1071/MF07020>

- Taylor CC. 1958.** Cod growth and temperature. *Journal du Conseil - Conseil International pour Exploration de la Mer* 23: 366-370.
- Thorson JT & CA Simpfendorfer. 2009.** Gear selectivity and sample size effects on growth curve selection in shark age and growth studies. *Fisheries Research* 98: 75-84.
- Torres-Palacios K. 2015.** Edad y crecimiento de la raya espinosa *U. aspidura* de la zona centro-sur del Pacífico Colombiano. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, CICIMAR, La Paz, 59 pp. <<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/22362/1/Torrespa1.pdf>>
- von Bertalanffy L. 1938.** A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Human Biology* 10: 181-213.
- White WT. 2007.** Catch composition and reproductive biology of whaler sharks (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) caught by fisheries in Indonesia. *Journal of Fish Biology* 71: 1512-1540.
- Yokota L. 2010.** Taxonomía, biología reproductiva e dieta da raia borboleta, *Gymnura micrura* (Myliobatiformes: Elasmobranchii). Tesis Doctoral, Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 126 pp. <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106573>>
- Yokota L & RP Lessa. 2006.** A nursery area for sharks and rays in Northeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes* 75: 349-360.
- Yokota L & RP Lessa. 2007.** Reproductive biology of three ray species: *Gymnura micrura* (Bloch & Schneider, 1801), *Dasyatis guttata* (Bloch & Schneider, 1801) and *Dasyatis mariana* (Gomes, Rosa y Gadig, 2000), caught by artisanal fisheries in Northeastern Brazil. *Cahiers de Biologie Marine* 48: 249-257.
- Zea-de la Cruz H, JL Oviedo-Pérez, J Balderas-Téllez, G Acosta-Barbosa, LA Balderas-Ramírez & LI Balam-Ché. 2016.** Abundancia y estructura poblacional de la raya mariposa *Gymnura micrura* asociadas al arrastre camaronero en el Golfo de México. *Ciencia Pesquera* 24(1): 15-26.

Editor: Francisco Concha
Recibido el 5 de agosto 2020
Aceptado el 18 de agosto 2021