



SELECTIVIDAD DE RED DE ENMALLE PARA CAPTURA DE BOCACHICO (*Prochilodus magdalenae*, Prochilodontidae) EN LA CIÉNAGA DE ZÁRATE

Gillnet selectivity for catching bocachico (*Prochilodus magdalenae*, Prochilodontidae) In Zarate Swamp

Jesús ARRIETA-ATENCIO¹ , Harley ZÚÑIGA² , Jairo ALTAMAR^{2*} ¹. Programa de Ingeniería Pesquera, Universidad del Magdalena, Cra. 32 # 22-08, Santa Marta, Colombia.². Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.* For correspondence: jaltamar@unimagdalena.edu.coReceived: 09th June 2020. Returned for revision: 20th October 2020. Accepted: 08th December 2020.

Associate Editor: Alan Giraldo

Citation/ citar este artículo como: Arrieta-Atencio, J., Zúñiga, H., y Altamar, J. (2022). Selectividad de red de enmalle para captura de bocachico (*Prochilodus magdalenae*, Prochilodontidae) en la ciénaga de Zárate. *Acta Biológica Colombiana*, 27(1), 44-51. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.88168>

RESUMEN

La estimación precisa de curvas de selectividad de redes de enmalle en una población de peces es un requisito importante para la sostenibilidad de los stocks explotados. Sin embargo, los trabajos de selectividad para artes de pesca que operan en ecosistemas continentales de Colombia son muy escasos. Este estudio determinó los parámetros de selectividad de redes de enmalle utilizadas en la captura del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). El diseño experimental evaluó tres tamaños de malla (5,72; 6,35 y 8,89 cm) y las capturas se realizaron en diferentes sitios de pesca de la ciénaga de Zárate. Con la utilización del método SELECT se estimaron los parámetros de selectividad y mediante un análisis de Kruskal Wallis se determinaron las diferencias en la captura por unidad de esfuerzo. Además, el tamaño de malla óptimo fue calculado a partir del principio de similitud geométrica de Baranov. Los resultados muestran que el modelo normal con varianza proporcional al tamaño de malla es el que mejor ajuste presentó para la captura de bocachico. Las longitudes modales calculadas con el modelo normal con varianza proporcional al tamaño de malla fueron 22,90, 25,45 y 35,63 cm para tamaños de malla de 5,72, 6,35 y 8,89 cm, respectivamente. El tamaño de malla óptimo calculado fue 6,99 cm. Los resultados indican que las redes con tamaños de malla de 5,72 cm e inferiores tienen un efecto sobre la estructura de tamaños del bocachico. Estas redes requieren ser priorizadas en la formulación de medidas de manejo basadas en la ordenación de este arte de pesca, lo que permitirá la sostenibilidad de la pesquería.

Palabras Clave: Captura por unidad de esfuerzo, Colombia, pesca artesanal, talla de captura, sobrepesca

ABSTRACT

Accurate estimation of gillnet selectivity curves in a fish population is an important requirement for the sustainability of exploited stocks. However, selectivity studies for fishing gear operating in Colombia's inland ecosystems is very rare. This study determined the gillnet selectivity parameters used in the catch of the bocachico (*Prochilodus magdalenae*). The experimental design evaluated three mesh sizes (5.72, 6.35 and 8.89 cm) and the catches were made in different fishing sites at the Zárate swamp. With the use of the SELECT method, the selectivity parameters were estimated and the Kruskal Wallis test determined the differences in the catch per unit effort. Furthermore, the optimal mesh size was calculated from Baranov's principle of geometric similarity. The results show that the normal model (scale) presented the best fit for the catch of bocachico. The modal lengths calculated with the normal scale model were 22.90, 25.45, and 35.63 cm for mesh sizes of 5.72, 6.35, and 8.89 cm, respectively. The calculated optimal mesh size was 6.99 cm. The results indicate that nets with mesh sizes of 5.72 cm and lower influences the size structure of the bocachico. These nets need to be prioritized in the formulation of management measures based on the regulation of this fishing gear, which will allow the sustainability of the fishery.

Keywords: Catch per unit effort, Colombia, artisanal fisheries, catch size, overfishing.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se puede decir que en pesquerías el arte de pesca ideal es utópico, posiblemente porque ninguno cumple con todos los criterios relacionados con la selectividad, efectividad y la producción de capturas de alta calidad (Bjordal, 2005). Lo que históricamente ha llevado a demostrar que las pesquerías no son sostenibles, excepto aquellos casos en que superabundancias estacionales son explotadas por poblaciones pequeñas o cuando animales grandes y fecundos están fuera del rango de acción de los artes de pesca (Pauly et al., 2002). Pero en el camino de avanzar hacia un ordenamiento pesquero sostenible, los distintos artes de pesca representan con sus propiedades específicas y el potencial de ser mejorados, una importante tarea para la gestión sostenible de los recursos pesqueros. Los parámetros constructivos y operativos de los artes de pesca artesanales en Colombia han sido escasamente documentados (Autoridad nacional de acuicultura y pesca y la Universidad del Magdalena [AUNAP-UNIMAGDALENA], 2014), por tanto, el abordaje de este tema contribuirá a mejorar su eficiencia y selectividad para hacer de las pesquerías artesanales, especialmente las continentales, una actividad ecológicamente sostenible y económicamente rentable.

El río Magdalena es considerado el más importante de Colombia por su caudal, extensión, significado histórico, cultural y ambiental, siendo hoy en día el lugar donde se realiza el mayor esfuerzo de pesca continental del país (Martínez et al., 2006). En el bajo Magdalena, la ciénaga de Zárate, de acuerdo con la producción pesquera es el motor económico de las comunidades pesqueras del municipio de Plato; ésta comprende grandes extensiones de agua con potenciales recursos pesqueros, faunísticos y forestales (Aponte Sierra y Sánchez, 1995). Los altos regímenes de explotación en esta cuenca han traído como consecuencia, que las tasas de capturas de la mayoría de los recursos que sustentan las pesquerías artesanales de las cuencas continentales de Colombia experimenten una drástica disminución, de ahí que nace la necesidad de generar información básica y estratégica de los recursos pesqueros, artes y métodos utilizados en las pesquerías continentales, con el fin de contribuir a la toma de decisiones para el manejo y administración de la actividad pesquera teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad social, económica y ambiental (Altamar et al., 2015).

En Colombia son pocos los estudios de selectividad de artes de pesca que se han llevado a cabo. Aunque recientemente se han ido clarificando los límites de la selectividad y su uso en el manejo de pesquería y se han desarrollado métodos y modelos, la mayoría de estos estudios son comparativos o indirectos y requieren de la captura de diferentes clases de peces tanto en forma o tamaño usando el mismo arte de pesca y generalmente con

un esfuerzo de pesca igual (Fauconnet y Rochet, 2016; Zhou y Morbey, 2017). Por ejemplo, un palangre se puede aparejar alternando diferentes anzuelos y usando características similares de cebo; o en este caso las redes de enmalle pueden diseñarse con varios paneles, todos del mismo tamaño, pero con diferentes tamaños de malla, con la posición de los paños elegida aleatoriamente en cada operación de pesca, esto con el fin de que los peces a capturar tengan la misma probabilidad de ser atrapados por la red.

La sobreexplotación de recursos pesqueros ha sido un tema de interés a nivel mundial en los últimos años, llevando a la necesidad de incorporar estrategias de manejo para el aprovechamiento sostenible y la conservación de los recursos pesqueros (Stevens et al., 2000) a pesar de ello las pesquerías mundial y localmente vienen experimentando una disminución tanto en las tasas de capturas como en la talla media de los individuos en las poblaciones de peces (Pitcher, 1996) debido en su gran mayoría a que los pescadores artesanales hacen modificaciones continuas a los artes y métodos de extracción para mejorar el rendimiento de sus capturas (Marrugo et al., 2015) que en la mayoría de los casos es producido por un aumento en el poder de pesca caracterizado por un esfuerzo pesquero desordenado y de poca selectividad (Martínez et al., 2016). En este sentido, el bocachico (*Prochilodus magdalenae* Steindachner, 1879) es la especie dulceacuícola que presenta mayores capturas en la mayoría de las cuencas continentales del país (Duarte et al., 2018). Este esfuerzo pesquero, particularmente en la cuenca del Magdalena, ha ocasionado una disminución permanente de los stocks de pesca y en consecuencia capturas por debajo de la talla óptima, siendo las redes de enmalle el principal arte de pesca que captura esta especie (De la Hoz y Manjarrés, 2018): situación que no ocurre en las cuencas del Atrato y Sinú, donde estudios recientes sugieren que la pesquería se está desarrollando adecuadamente (Doria-González et al., 2020).

Los parámetros de selección estimados para los tamaños de malla estudiados permiten establecer cuáles son las configuraciones tecnológicas que causan mayor o menor impacto sobre la estructura de tamaños del bocachico (*P. magdalenae*) en ambientes lénticos. Considerando esta hipótesis y teniendo en cuenta el comportamiento migratorio de la especie, que registra dos picos reproductivos anuales (diciembre-enero y julio-septiembre) los cuales concuerdan con los patrones hidrológicos del río Magdalena (Jiménez-Segura et al., 2010), que lo hace vulnerable al aumento del esfuerzo pesquero en esas épocas. Por lo anterior, este estudio determinó la selectividad de las redes de enmalle para la captura artesanal de *P. magdalenae* en la ciénaga de Zárate, con el fin de brindar información que sirva como base para la toma de decisiones orientadas a la conservación de las pesquerías continentales y a la sostenibilidad ecológica de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información para este estudio se obtuvo mediante la realización de faenas de pesca experimentales con redes de enmalle, en jornadas comprendidas de 6:00 pm a 6:00 am, durante diciembre de 2019 a febrero de 2020. Las maniobras de pesca se realizaron en una embarcación artesanal propulsada a palanca o canaleta, con la ayuda de pescadores artesanales con experiencia en la actividad. Las redes de enmalle llamadas localmente “trasmallo” se utilizaron para comparar tres tamaños de malla diferentes: 5,72, 6,35 y 8,89 cm (2,25, 2,50 y 3,50 pulgadas), manteniendo igual los demás parámetros constructivos de la red (paño de poliamida multifilamento de 10 000 cm de longitud por 380 cm de altura). Los lances de pesca se realizaron en la ciénaga de Zárate, en el espejo de agua que se extiende latitudinalmente desde los 9° 39´ N hasta los 9° 46´ N y longitudinalmente desde los 74°,40´ O hasta los 74° 45´ O, los cuales fueron seleccionados de acuerdo con la experiencia de los pescadores, con lo cual se busca una variedad de sitios para tener una muestra lo más representativa posible de la zona. El registro de la información biológico-pesquera tales como la longitud total (L_t), longitud estándar (L_s) y máxima circunferencia perimetral (G_{max}) fue obtenida con la ayuda de un ictiómetro con 0,1 cm de precisión, mientras que el peso se obtuvo con la utilización de una balanza gramera con 1 g de precisión.

En este estudio se evaluaron tres tamaños de mallas diferentes en redes de enmalle con la finalidad de estimar los parámetros de selectividad para cuatro modelos de curva de selección ajustada (normal con varianza fija, normal, gamma y lognormal con varianza proporcional al tamaño de malla) a partir del método SELECT (Millar, 1992). Las curvas de selectividad se construyeron utilizando el paquete

“*gillnetfunctions.R*” en el software estadístico R (Millar, 2010), cuyo código permite el ajuste de datos utilizando el método SELECT, el cual asume que el número de peces de longitudes l capturados con un tamaño de malla tiene una distribución de Poisson n_{lj} y se define mediante la siguiente ecuación:

$$n_{lj} \approx n_{lj} \approx pois(p_j \lambda l r_j(l))$$

Donde p_j es la intensidad de pesca relativa, λl es la abundancia de peces clase l de talla y $r_j(l)$ es la probabilidad de retención de peces l en la malla j . la intensidad de pesca relativa de malla es una medida combinada del esfuerzo de pesca y el poder de pesca (Millar, 1992). Este método utiliza un Modelo Lineal Generalizado (GLM) descrito por Millar en 1992, siendo específicamente aplicable en redes de enmalle y anzuelos como lo describe Millar y Holst (1997). El método SELECT estima la probabilidad de retención utilizando cuatro modelos unimodales que aplican las máximas verosimilitudes para estimar los parámetros de selectividad. También fue calculada la desviación del modelo (estadístico de bondad de ajuste de la relación de probabilidad) y fue utilizada como criterio para elegir el modelo que mejor se adapta a la especie considerada. Las ecuaciones utilizadas para los modelos con el método SELECT se presentan en la Tabla 1.

Además, considerando el principio de similaridad geométrica de Baranov $4a = 0,8 * G_{max}$ (Fridman y Carrothers, 1986) donde “a” es la longitud de barra de un ojo de malla, por ende $4a$ señala el perímetro total de la malla. La ecuación también se puede expresar como $2a = 0,4 * G_{max}$ que sirve para determinar “2a” correspondiente al tamaño de malla estirado. Basado en la relación que existe entre la circunferencia máxima perimetral y el perímetro de la malla (la suma de las cuatro barras), se obtuvo la ecuación

Tabla 1. Ecuaciones de las curvas de selección utilizadas en la evaluación de cuatro modelos y ecuaciones usadas para calcular las longitudes modales del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), donde m_j es el tamaño de malla y L_i es el punto medio de la clase de longitud i (Tomado de Millar y Holst 1997).

Modelo	Curva de selección	Longitud modal
Normal, con varianza fija	$\exp\left(-\frac{L_i - k \cdot m_j}{2\sigma^2}\right)$	$k \cdot m_j$
Normal, con varianza proporcional al tamaño de malla m_j	$\exp\left(-\frac{(L_i - k_1 \cdot m_j)^2}{2k_2 \cdot m_j^2}\right)$	$k_1 \cdot m_j$
Gamma, con varianza proporcional al tamaño de malla m_j	$\left(\frac{L_i}{(\alpha - 1) \cdot k \cdot m_j}\right)^{\alpha - 1} \exp\left(\alpha - 1 - \frac{L_i}{k \cdot m_j}\right)$	$(\alpha - 1) \cdot k \cdot m_j$
Lognormal, con varianza proporcional al tamaño de malla m_j	$\frac{1}{L_i} \left(\mu_1 + \log\left(\frac{m_j}{m_1}\right) - \frac{\sigma^2}{2} - \frac{\left(\log(L_i) - \mu_1 - \log\left(\frac{m_j}{m_1}\right)\right)^2}{2\sigma^2} \right)$	$\exp(\mu - \sigma^2) \cdot \left(\frac{m_j}{m_1}\right)$

lineal $y = mx + b$ que relaciona L_t vs G_{max} como insumo para estimar el tamaño de malla óptimo teniendo en cuenta el punto de referencia biológico L_{50} (23,8 cm) calculado por Duarte et al., (2018) para el bocachico.

Finalmente, mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y la prueba post hoc de Bonferroni para comparaciones múltiples realizadas en R fueron contrastados los resultados de la Captura Por Unidad de Esfuerzo CPUE ($kg \cdot faena^{-1}$) para cada tamaño de malla evaluado, lo que permitió reconocer las ventajas o desventajas que podrían afectar la renta económica obtenida durante las faenas de pesca.

RESULTADOS

Se recolectó una muestra total de 1226 individuos de *P. magdalenae* capturados con redes de enmalle en la Ciénaga de Zárate (Plato, Magdalena), de los cuales el 35,64 % fueron capturados con redes de enmalle con tamaño de malla de 5,72 cm, el 49,75 % fue atrapado por redes de enmalle que usaban tamaños de mallas de 6,35 cm y el 14,60 % restante lo capturaron las redes que usaron tamaños de malla de 8,89 cm. Las composiciones de las capturas en cuanto a la longitud total del bocachico por cada tamaño de malla mostraron diferencia estadística significativa entre las medianas (Fig. 1a).

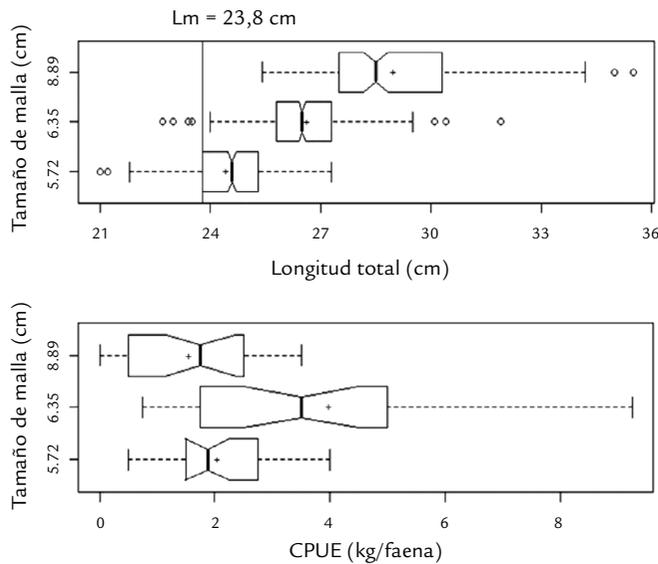


Figura 1. Diagramas de cajas y bigotes que comparan: a) la longitud total de las capturas de *Prochilodus magdalenae* para cada tamaño de malla evaluado y b) la CPUE de *P. magdalenae* para cada tamaño de malla evaluado; las muescas en las cajas representan los intervalos de confianza para la mediana, la cruz indica el promedio y la línea roja la talla de madurez.

La mediana de la longitud total de las capturas (media \pm DE) con tamaños de mallas de 5,72, 6,35, y 8,89 cm fueron 24,60 (24,49 \pm 1,09), 26,50 (26,58 \pm 1,11) y 28,50 (29,09 \pm 2,02) cm, respectivamente. Claramente el tamaño de malla más grande en el experimento captura en promedio

especímenes de mayores dimensiones corporales, donde el tamaño de malla mayor (8,89 cm) exhibe un rango amplio de tamaños capturados (Fig. 1a).

En términos de abundancia relativa, la prueba de Kurskall-Wallis evidencia que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre la CPUE ($kg \cdot faena^{-1}$) y los tres tamaños de malla evaluados. Además, las redes de enmalle constituidas por tamaños de mallas de 6,35 cm son las que presentan mayor CPUE ($kg \cdot faena^{-1}$), es decir, es el arte de pesca utilizado que más captura *P. magdalenae* en la parte baja del río de la Magdalena (Fig. 1b).

Los resultados del método SELECT ajustado a *P. magdalenae* determinaron los parámetros de selectividad de cada modelo evaluado (Tabla 2). Las longitudes modales correspondientes al tamaño con la máxima probabilidad de captura, obtenida del modelo de mejor ajuste, para la red de enmalle fueron: 22,90, 25,45 y 35,63 cm para 5,72, 6,35 y 8,89 cm de tamaño de malla, respectivamente. Las curvas de selectividad ajustadas para red de enmalle y los gráficos de desviación residual de las curvas de selectividad estimadas para los cuatro modelos, se muestran en la (Fig. 2). De los cuatro modelos diferentes de selectividad, Normal (con varianza proporcional al tamaño de malla) proporcionó el mejor ajuste (valor de devianza más bajo) indicando que este modelo es el que mejor describe las capturas de red de enmalle para el bocachico. Para calcular la longitud modal de *P. magdalenae*, se utiliza el valor del tamaño de malla (pulgadas) requerido y los parámetros del modelo con mejor ajuste (Tabla 2), siguiendo las ecuaciones de la tabla 1.

Tabla 2. Parámetros de selectividad estimados a partir de los cuatro modelos evaluados para redes de enmalle que capturan *Prochilodus magdalenae*.

Modelo	Parámetro	Devianza del modelo	Valor P	Grados de libertad
Normal, con varianza fija	$(k; \sigma) = (9,86; 2,58)$	283,72	$p < 0,05$	14
Normal, con varianza proporcional al tamaño de malla m_j	$(k1; k2) = (10,18; 0,77)$	151,07	$p < 0,05$	14
Gamma, con varianza proporcional al tamaño de malla m_j	$(\alpha; k) = (127,70; 0,08)$	185,48	$p < 0,05$	14
Lognormal, con varianza proporcional al tamaño de malla m_j	$(\mu1; \sigma) = (3,12; 0,09)$	207,42	$p < 0,05$	14

A partir de la información obtenida de L_t , L_s , y G_{max} , se calculó primero la relación entre L_t y L_s , obteniendo la ecuación que describe este comportamiento $L_t = 2,33 + 1,11 * L_s$ ($r^2 = 0,95$). A partir del L_m de referencia se calculó

una $L_t = 28,65$ cm (Fig. 3a). Seguidamente fue obtenida la relación entre G_{max} y L_t con la ecuación $G_{max} = -0,76 + 0,62 * L_t$ ($r^2 = 0,86$), con resultado de $G_{max} = 17,16$ cm (Fig. 3b). Por último, se estimó el tamaño de malla óptimo (T_m) para el punto de referencia biológico de la L_m , dando como resultado una $T_m = 6,86$ cm que comercialmente se puede encontrar como 6,99 cm (2,75 pulgadas), estando por encima de dos de los tres tamaños de mallas (5,72 y 6,35 cm) que fueron evaluados en este estudio.

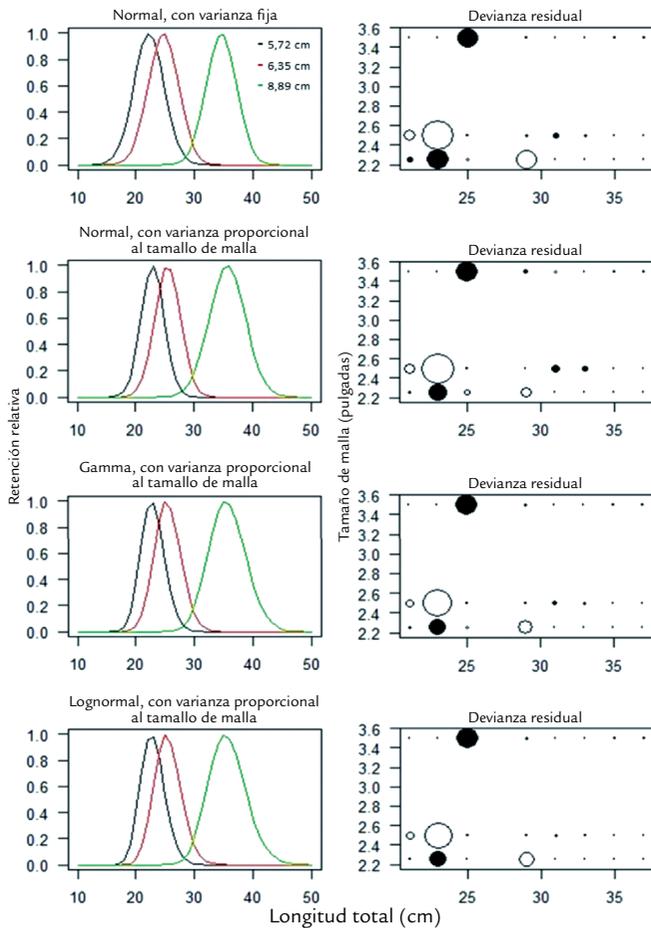


Figura 2. Curvas de selectividad para redes de enmalle con diferentes tamaños de malla (2,25; 2,50 y 3,50 pulgadas) y devianza de los residuos, estimada para el bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en la cuenca baja del río Magdalena.

DISCUSIÓN

Los parámetros de selectividad calculados para la captura de *P. magdalenae* con redes de enmalle en la ciénaga de Zárate, para todos los modelos estudiados, evidenciaron longitudes modales inferiores a la talla de madurez para las mallas de 5,72 cm (2,25 pulgadas). Lo que indica el impacto que ocasiona este tamaño de malla sobre la estructura de tallas. Entre los cuatro modelos evaluados, el que mejor ajuste presentó, debido a que obtuvo la menor devianza, fue normal con varianza proporcional al tamaño de malla;

con este modelo se calcularon las longitudes modales que fueron estimadas a partir de la curva maestra de selección para la captura de bocachico con redes de enmalle. En el caso del tamaño de malla de 5,72 cm, alcanzó 22,90 cm valor que resultó inferior a 23,8 cm, el cual corresponde al tamaño de madurez del bocachico (Duarte et al., 2018).

La mayoría de las capturas de este estudio (64,36 %) se presentan por encima de la longitud de madurez, indicando que la pesquería no está concentrada sobre los inmaduros, situación similar a la reportada en las cuencas del Atrato y Sinú (Doria-González et al., 2020). Esta situación beneficia particularmente a esta especie, al permitir que una fracción de los individuos tenga por lo menos un primer evento reproductivo, lo cual afecta positivamente al stock (King 2007, De la Hoz et al., 2017). A pesar de lo anterior, no existieron variaciones significativas entre los modelos evaluados, como se evidencia en la gráfica de devianza de los residuos, las cuales fueron similares entre sí (Fig. 2). De esta manera, los modelos matemáticos planteados en este estudio permitieron estimar la probabilidad con la que un bocachico de longitud dada sea retenido por una red de enmalle de un tamaño de malla dado y que gráficamente se evidenció mediante las curvas de selección, donde la forma, anchura y/o pendiente informan sobre la selectividad del arte (Wileman et al., 1996).

No se cuentan con estimaciones de parámetros de selección en artes de pesca continentales de Colombia, por tanto, en pesquerías con pobre o limitada información, los estudios de selectividad adquieren gran relevancia porque proveen insumos útiles y fáciles de aplicar cuando se piensa en la gestión de las pesquerías (Punt et al., 2013). De este modo, los parámetros estimados sirven como insumos para mejorar la selectividad de los artes de pesca y en una pesquería multispecífica, como en el caso de la ciénaga de Zárate, ayudaría a reducir la captura de especies no objetivos y a optimizar las longitudes y composición de las especies capturadas en una población que está sometida a procesos de explotación como lo han planteado Fauconnet y Rochet (2016).

El estudio mostró una diferencia estadísticamente significativa de la CPUE entre los tres paños de redes de enmalle evaluados (5,72, 6,35 y 8,89 cm) y que resultó ser mayor en el tamaño de malla de 6,35 cm. En términos de practicidad si se aplicara una medida de manejo que prohíba el uso de redes de enmalle de 5,72 y 8,89 cm, no se estaría afectando la renta que produce la captura del bocachico, es decir, que no se afecta la ganancia neta positiva con respecto al paño de 6,35 cm. Las menores capturas fueron obtenidas con el tamaño de malla de 8,89 cm, probablemente esta malla permite el escape de un amplio rango de tamaños y, por tanto, sería desacertado seleccionarlo para una medida de manejo.

En ese sentido, para la ciénaga de Zárate y Colombia en general, se debe poner en consideración la CPUE, como

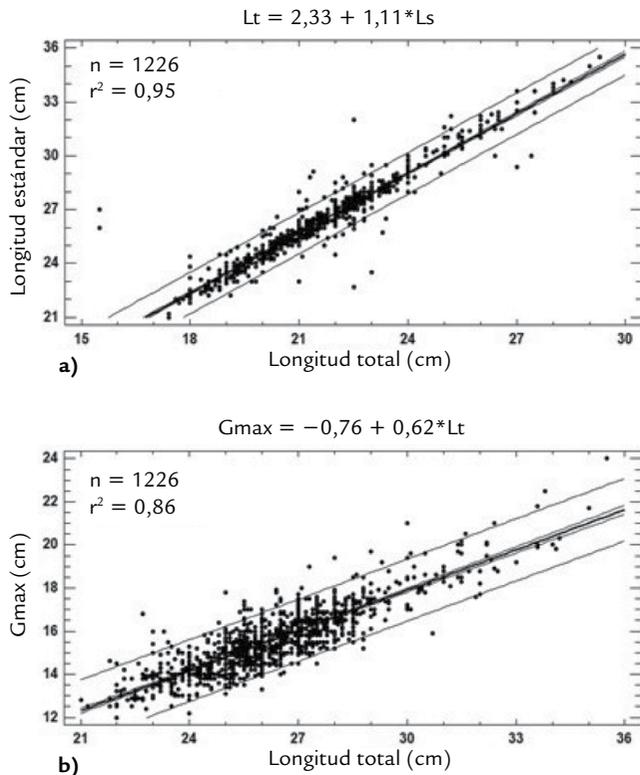


Figura 3. Relaciones morfométricas lineales del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), que describen: a) longitud total y longitud estándar y b) longitud total y circunferencia perimetral (Gmax).

criterio económico y de eficiencia, para la formulación de una medida basada en la regulación del arte de pesca, que asegure una exitosa implementación por parte de los pescadores. De hecho, los pescadores continuamente modifican y adaptan sus artes de pesca con el fin de mejorar la efectividad, ello sin importar que aumenten las capturas de especies y tamaños no deseados, por tanto, es importante tener en cuenta la tecnología del arte y los mercados de comercialización quienes en últimas son los determinantes de las especies que se van a capturar (Hall et al., 2000). En ocasiones, acentuar el poder de selección de un arte de pesca para capturar un rango de longitud restringida de la especie objetivo puede resultar no beneficioso para el ecosistema e incluso puede contradecir el objetivo de proteger la biodiversidad (Zhou, 2008; Zhou et al., 2010). El foco se centra en que la selectividad contribuye a capturar especies, sexos y tamaños en proporciones que difieren de su presencia en el ecosistema. Por ello, recientemente otras líneas de investigación señalan la captura balanceada o equilibrada (BH por sus siglas en inglés) como la estrategia más efectiva para combatir los efectos ecológicos adversos de la pesca, al tiempo que respalda la pesca sostenible (García et al., 2012). Sin embargo, los científicos aún discuten sobre asuntos ecológicos, económicos, legales, sociales y operativos que rodean los objetivos clave de

este tipo de gestión (Kolding et al., 2016). Aunque el concepto ha atraído gran interés también ha sido objeto de críticas; por ahora el examen revela problemas y desafíos no resueltos desde una perspectiva científica y de gestión (Zhou et al., 2019). De hecho, algunos concluyen que es más útil como una herramienta heurística para comprender las diferencias en el manejo local de las pesquerías que como una estrategia de manejo exacta (Burgess y Plank, 2020). Entre tanto, los estudios de selectividad de especies y tamaños siguen siendo las estrategias válidas para reducir la pesca acompañante y la no deseada (Ford et al., 2020) por lo que recientemente se siguen incorporando a los modelos de producción basados en edad y tamaños (Feddern et al., 2019; Winker et al., 2020).

En Colombia son escasos los documentos que describen los parámetros constructivos y operativos de los artes y métodos de pesca que se utilizan en los litorales del Caribe y Pacífico y mucho menos para las pesquerías continentales del país (Altamar et al., 2015). Además de estas dificultades, la selectividad de un arte de pesca pasivo como la red de enmalle es menos conocida que la selectividad del arte de arrastre, y para la mayoría de las artes, por tanto, no hay consenso sobre la forma más adecuada de las curvas de selección (Fauconnet y Rochet, 2016), lo que dificulta la comparación de los tamaños de mallas descritos anteriormente con otros estudios.

En la pesca artesanal marina y continental las redes de enmalle son el principal arte de pesca utilizado (Gómez-Canchong et al., 2004), las cuales son constantemente modificadas por los pescadores, tanto en sus parámetros constructivos como en los modos de operación, esto acompañado de la disminución en las abundancias implica un aumento en las dimensiones del arte utilizado para las faenas de pesca, trayendo consigo un mayor poder de pesca y generando menor probabilidad de escape de aquellos individuos que se encuentran aún por debajo de su talla óptima de captura, lo que causa un efecto negativo en la constante renovación de los stocks explotados (Altamar et al., 2015). La selectividad de las redes de enmalle depende principalmente de la interacción entre las características del arte y la morfología del pez (Halliday y Pinhorn, 2002). Por lo tanto, se debe trabajar en la tecnología del arte de pesca, es decir, en la adaptación de su geometría, los materiales, la forma en que se manipula y las tácticas de pesca (hora, profundidad y duración de la faena).

Teniendo en cuenta el manejo sostenible de los recursos pesqueros es importante determinar áreas y épocas donde se puedan realizar capturas sostenibles del recurso e iniciar procesos de consenso con los pescadores para aprovechar su profundo conocimiento ecológico tradicional y avanzar en programas de evaluación y sustitución de artes de pesca con el fin de asegurar el éxito de cualquier medida de manejo que se implemente y así contribuir a la sostenibilidad de la pesquería en la ciénaga de Zárate.

CONCLUSIONES

Los parámetros de selectividad estimados para la especie *Prochilodus magdalenae* que habita el ecosistema acuático continental de la ciénaga de Zárate, demuestran que la especie es afectada por las capturas con redes de enmalle de 5,72 cm o menores; este método sugiere el uso de redes con tamaño de malla de 6,35 cm o mayores. Sin embargo, el tamaño óptimo de malla calculado basado en el principio de similitud geométrica resultó ser mayor (6,99 cm). En cualquier caso, utilizar medidas de manejo para una especie como el bocachico, basadas en el control del arte de pesca, tendrían el efecto ecológico que produce la estrategia “especie sombrilla” con lo cual se protegerían paralelamente otras especies con menor circunferencia máxima perimetral a la talla de su madurez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad del Magdalena, que a través de la convocatoria de trabajos de grado 2019 financió la propuesta que dio origen a esta contribución.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Altamar, J., Manjarrés, L., Duarte, L., Cuello, F., y Escobar, F. (2015). *¿Qué tamaños deberíamos pescar?* AUNAP.
- AUNAP-UNIMAGDALENA. (2014). *Caracterización de los principales artes de pesca de Colombia y reporte del consolidado del tipo y número de artes, embarcaciones y uep's empleadas por los pescadores vinculados a la actividad pesquera. contrato de prestación de servicios no. 190, suscrito entre la autoridad nacional de acuicultura y pesca y la Universidad del Magdalena.* AUNAP-UNIMAGDALENA.
- Aponte Sierra, E., y Sánchez, R. (1995). *Evaluación de la fase extractiva de las pesquerías de la Ciénaga de Zárate Municipio de Plato* [Trabajo de pregrado]. Departamento de Ingeniería Pesquera, Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena de Colombia.
- Bjorndal, A. (2005). Uso de técnicas en la pesca responsable: regulación de artes de pesca. En K. L. Cochran, (Ed). *Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación* (pp. 19-35). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Burgess, M., y Plank, M. (2020). What unmanaged fishing patterns reveal about optimal management: applied to the balanced harvesting debate. *ICES Journal of Marine Science*, 77(3), 901-910. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa012>
- De la Hoz, J., y Manjarres, L. (2018). *Parámetros biológico-pesqueros obtenidos a partir de la información colectada en las diferentes cuencas y litorales del país durante el período julio-diciembre de 2018.* [Informe técnico]. AUNAP.
- De la Hoz, J., Bustamante, C., y Manjarrés, L. (2017). *Análisis de la estructura de tallas de captura de las principales especies ícticas explotadas por las pesquerías artesanales de Colombia durante el período marzo-diciembre de 2017.* [Informe técnico]. AUNAP.
- Doria-González, M. A, Espitia-Galvis, A. Segura-Guevara, F., y Olaya-Nieto, C. (2020). Biología reproductiva del bocachico *Prochilodus magdalenae* (Prochilodontidae) en el Río San Jorge, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 26(1), 54-61. <https://doi.org/10.15446/abc.v26n1.82907>
- Fauconnet, L., y Rochet, M.-J. (2016). Rochet M. Fishing selectivity as an instrument to reach management objectives in an ecosystem approach to fisheries. *Marine Policy*, 64, 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.11.004>
- Feddern, M., Bassett, H., McElroy, K., Ree, M., Gho, M., y Hilborn, R. (2019). A novel method for modeling age and length selectivity of sockeye salmon as applied to the Bristol Bay Port Moller test fishery. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 76(6), 989-997. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0018>
- Ford, J., Maxwell, D., Muiruri, E. W., y Catchpole, T. (2020). Modifying selectivity to reduce unwanted catches in an English trammel net and gill net common sole fishery. *Fisheries Research*, 227, 105531. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105531>
- Fridman, A., y Carrothers P. (1986). *Calculations for fishing gear designs.* (3ª ed). Pierides Press.
- García, S. M, Kolding, J., Rice, J., Rochet, M., Zhou, S., Arimoto, T., Beyer, J. E., Borges, L., Bundy, A., Dunn, D., Fulton, E. A., Hall, M., Heino, M., Law, R., Makino, M., Rijnsdorp, A. D., Simard, F., y Smith, D. M. (2012). Reconsidering the consequences of selective. *Science*, 335(6072), 1045-1047. <https://doi.org/10.1126/science.1214594>
- Gómez, P., Manjarrés, L., Duarte, L., y Altamar, J. (2004). *Atlas Pesquero del área norte del Mar Caribe de Colombia* (1ª ed). Unimagdalena.
- Hall, M. A., Alverson, D. L., y Metuzals, K. I. (2000). By-Catch: Problems and Solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 41(1-6), 204-219. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00111-9)
- Halliday, R. G., y Pinhorn, A. T. (2002). A review of the scientific and technical bases for policies on the capture of small fish in North Atlantic groundfish fisheries. *Fisheries Research*, 57(3), 211-222. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00079-6)
- Jiménez-Segura, L., Palacio, J. y Leite, R. (2010). River flooding and reproduction of migratory fish species in the Magdalena River basin, Colombia. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(2), 178-186. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2009.00402.x>

- Kolding, J., Garcia, S., Zhou, S., y Heino, M. (2016). Balanced harvest: utopia, failure, or a functional strategy? *ICES Journal of Marine Science*, 73(6), 1616-1622. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw060>
- King, M. (2007). *Fisheries biology, assessment and management* (2ª ed). WileyBlackwell.
- Martínez-Viloria, H., Narváez, J. C., Rivera, R., y Solano, O. D. (2006). Evaluación de la selectividad del trasmallo en la pesquería artesanal de la zona deltaica estuarina del río Sinú, Caribe colombiano. *Intropica*, 3, 33-41.
- Marrugo, C., Altamar, J., y Duarte, L. O. (2015). Caracterización tecnológica e índices de captura de elasmobranchios, con redes de enmalle que incorporan anzuelos, utilizadas en el golfo de Salamanca (Caribe colombiano). *Intropica*, 10, 84-92.
- Martínez, A., Altamar, J., y Erzini, K. (2016). *Conocimiento del comportamiento del pargo rayado (Lutjanus synagris) como una herramienta para mejorar la selectividad de nasas e implementar ventanas de escape para disminuir el By-catch y la pesca fantasma* [monografía en línea]. Proceedings of the 68th Gulf and Caribbean Fisheries Institute.
- Millar, R., y Holst, R. (1997). Estimation of gillnet and hook selectivity using log-linear models. *Ices Journal of Marine Science*, 54(3), 471-477. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0196>
- Millar, R. (1992). Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch. *Journal of the American Statistical Association*, 87(420), 962-968. <https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10476250>
- Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, R., Walters, C. J., Watson, R., y Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418, 689-695. <https://doi.org/10.1038/nature01017>
- Pitcher, A. (1996). Reinventing fisheries management. *Naga, the ICLARM Quarterly*, 19(3), 15-17.
- Punt, A. E., Hurtado-Ferreó, F., y Whitten, A. W. (2013). Model selection for selectivity in fisheries stock assessments. *Fisheries Research*, 158, 124-134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2013.06.003>
- Stevens, J. D., Bonfil, R., Dulvy, N. K., y Walker, P. (2000). The effects of fishing on sharks, rays and chimaeras (Chondrichthyan), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 476-479. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0724>
- Winker, H., Carvalho, F., Thorson, J. T., Kell, L. T., Parker, D., Kapur, M., Sharma, R., Anthony, J. B., y Kerwath S. E. (2020). JABBA-Select: Incorporating life history and fisheries' selectivity into surplus production models. *Fisheries Research*, 222, 105355. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105355>
- Wileman, D. (1996). Ferro R, Fonteyne R, Millar R. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. *ICES Cooperative Research Report*, 215, 132.
- Zhou, S., Kolding, J., Garcia, S. M., Plank, M. J., Bundy, A., Charles, A., Hansen, C., Heino, M., Howell, D., Jacobsen, N. S., Reid, D. G., Rice, J. C., y van Zwieten, P. A. M. (2019). Balanced harvest: concept, policies, evidence, and management implications. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 29(3), 711-733. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09568-w>
- Zhou, S. (2008). Fishery by-catch and discards: a positive perspective from ecosystem-based fishery management. *Fish and Fisheries*, 9(3), 308-315. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00291.x>
- Zhou, S., Smith, A., Punt, A., Richardson, A., Gibbs, M., Fulton, E., Pascoe, S., Bulman, C, Bayliss, P., y Sainsbury, K. (2010). Ecosystem-based fisheries management requires a change to the selective fishing philosophy. *PNAS*, 107(21), 9485-9488. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912771107>