

Assessment of the impact of gillnets on the population structure of the shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* from the Gulf of California, Mexico

Evaluación del impacto de las redes agalleras en la estructura de la población de la guitarra común *Rhinobatos productus* del Golfo de California, México

JF Márquez-Farías

Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, Col. Los Pinos, CP 82000, Mazatlán, Sinaloa, México. E-mail: fermqz@yahoo.com

ABSTRACT. The shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* is the most abundant species in the artisanal ray fishery of the Gulf of California. This ray is captured when it approaches the coast for reproductive purposes and is highly vulnerable to gillnets used in the fishery. Despite the high production of elasmobranchs in the Gulf of California, studies on reproductive and technological aspects are scarce. In the present study, we analyzed the interaction between size-at-maturity and size-selectivity, which are represented by a logistic function and gamma distribution, respectively. Interaction of such vectors is applied to the size-frequency distribution of the population monitored in Sonora (Mexico) during 1998–2004. The effect of maturity ogives revealed a proportion of mature individuals of 68% and 83% for males and females, respectively. Gillnet selectivities with different mesh sizes had a varied effect on the size structure given that males reach smaller sizes than females. For males, selectivity curves of nets with mesh sizes of 3.5, 5.0, 6.0, 8.0, and 8.5 inches reduced the original length-frequency distribution by 59%, 9%, 8%, 85%, and 94%, respectively. The same nets reduced the original length-frequency distribution of females by 79%, 41%, 16%, 48%, and 63%. Gillnets with mesh sizes of 5.0 and 6.0 inches had higher selectivity for both sexes coinciding in the size interval of maximum abundance. The results of the present study revealed a negative impact of the fishery on the adult structure of the population and to a lesser extent on juveniles. A demographic analysis of this population incorporating both maturity and selectivity vectors will allow determining the resilience to the current exploitation pattern by elasticity analysis.

Key words: rays, fisheries, vulnerability, Gulf of California, *Rhinobatos productus*.

RESUMEN. La guitarra común *Rhinobatos productus* es la especie más importante de la pesquería artesanal de rayas en el Golfo de California. Esta guitarra es capturada al aproximarse a la costa con fines reproductivos y es susceptible a las redes utilizadas en la pesquería. A pesar de los niveles elevados de captura de elasmobranchios en el Golfo de California, los estudios sobre los aspectos reproductivos y tecnológicos son escasos. En el presente estudio se analiza la interacción entre la talla de madurez y la selectividad de talla, las cuales están representadas por la función logística y la distribución gamma, respectivamente. La interacción de dichos vectores se aplica a la distribución de frecuencia de talla de la población monitorizada en Sonora (México) de 1998 a 2004. El efecto de las ojivas de madurez reveló que la proporción de organismos maduros es de 68% y 83% para machos y hembras, respectivamente. La selectividad de las redes agalleras con diferentes aberturas de malla tuvo un efecto variado sobre la estructura de tallas dado que los machos alcanzan tallas menores que las hembras. En los machos, las curvas de selectividad de las redes con aberturas de malla de 3.5, 5.0, 6.0, 8.0 y 8.5 pulgadas representaron reducciones de la distribución original de frecuencia de longitudes de 59%, 9%, 8%, 85% y 94%, respectivamente. En las hembras, las mismas redes representaron reducciones de la distribución original de frecuencia de longitudes de 79%, 41%, 16%, 48% y 63%. Las redes de 5.0 y 6.0 pulgadas tuvieron la mayor selectividad para ambos sexos, que coinciden con los intervalos de longitud de mayor abundancia. El presente estudio revela que la pesquería está impactando negativamente la estructura de adultos de la población y, en menor medida, los jóvenes. Un análisis demográfico de esta población que incorpore los vectores de madurez y selectividad permitirá determinar la resiliencia de la población al esquema de explotación actual por medio del análisis de elasticidades.

Palabras clave: rayas, pesquerías, vulnerabilidad, Golfo de California, *Rhinobatos productus*.

INTRODUCTION

The largest proportion of batoids (rays) of the Mexican Pacific Ocean is caught in the Gulf of California, with landings exceeding 6000 t in 1996 but decreasing to 3000 t in 2006 (SAGARPA 2007). Like most Mexican fisheries, the Gulf of California ray fishery is artisanal and socioeconomically important. A survey of the elasmobranch fishery in the Gulf of California revealed that the fishery operates over a

INTRODUCCIÓN

En el Golfo de California se captura la mayor proporción de batoideos (rayas) del océano Pacífico mexicano, donde los desembarques del golfo excedieron 6000 t en 1996 pero disminuyeron a 3000 t en 2006 (SAGARPA 2007). Al igual que la mayoría de las pesquerías de México, la de rayas en el Golfo de California es artesanal y de gran relevancia socioeconómica. Los resultados de un estudio de la pesquería

complex multispecific assemblage of about 24 ray species that are diversely captured in different stages of development (Márquez-Farías 2002, Bizzarro *et al.* 2009). Rays also form an important part of the bycatch of the industrial shrimp fishery in the Gulf of California (Flores *et al.* 1995, García-Caudillo 2000). Despite the high production of rays in the Gulf of California, knowledge of the biology of most species is scant. Official Mexican Norm 029 (NOM-029-PESC-2006, Guidelines for responsible shark and ray fisheries, *Diario Oficial de la Federación*, 14/02/2007), implemented in May 2007, establishes the initial guidelines for regulating the exploitation of the resource while more biological information is generated to assess the impact on the batoid populations.

The shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* is one of the most important species in the artisanal fishery of the Gulf of California, representing 45% of the landings in number (Márquez-Farías 2002). Like other elasmobranchs (Castro 1993), this species approaches shallow coastal areas to breed and is highly susceptible to capture by bottom-set gillnets typically used in the ray fishery of the region (Márquez-Farías 2005; Bizzarro *et al.* 2007, 2009). Differences in size at maturity, fecundity, and individual length have been reported for the guitarfish population on the west coast of the Baja California Peninsula and in the Gulf of California (Downton-Hoffmann 2001, Márquez-Farías 2007). Such differences in reproductive patterns have important implications for the proper regulation and management of the fishery.

Elasmobranchs are characterized by high longevity and low fecundity. They tend to exhibit late maturity and low individual growth rates, which among other discrete biological attributes, make them very susceptible to overfishing (Holden 1973, 1974). Elasmobranch fisheries generally lack catch and effort series making it impossible to evaluate the stocks using biomass dynamic models or size- and age-structured models. Consequently, demographic techniques have been proposed that incorporate the best available biological information on reproduction, age/growth, and survival to determine the productivity of the species and project the effects of fishing on the population growth rate (Cortés 2002, 2004). In addition to these quantitative approaches, rapid assessment techniques have been developed and proposed to assess ecological risk and the effects of fishing on elasmobranchs based on scant information (Walker 2005a, Braccini *et al.* 2006). These approaches require information on maturity and selectivity (both as a function of length) to assess the impact of fishing on the population. This study aimed to evaluate the interaction between the proportion of maturity and selectivity of the shovelnose guitarfish *R. productus* in order to determine the fraction of organisms retained in nets with mesh sizes of 3.5, 5.0, 6.0, 8.0, and 8.5 inches used in the artisanal fishery and thus determine the population's level of vulnerability to these nets.

de elasmobranchios en el Golfo de California revelaron que la pesquería opera sobre un complejo multiespecífico de alrededor de 24 especies de rayas que son capturadas variadamente en diferentes estadios de desarrollo (Márquez-Farías 2002, Bizzarro *et al.* 2009). Las rayas también forman una parte importante de la captura incidental de la pesca industrial de camarón que opera en el Golfo de California (Flores *et al.* 1995, García-Caudillo 2000). No obstante el nivel alto de producción de rayas en el Golfo de California, el estado del conocimiento sobre la biología de la mayoría de las especies es aún incipiente. En la Norma Oficial Mexicana 029 (NOM-029-PESC-2006; Pesca responsable de tiburones y rayas, Especificaciones para su aprovechamiento; *Diario Oficial de la Federación*, 14/02/2007), la cual entró en vigor en mayo de 2007, se establecen las bases iniciales para regular el aprovechamiento del recurso mientras se genera mayor información biológica pesquera que permita evaluar el impacto sobre las poblaciones de batoideos.

La guitarra común *Rhinobatos productus* es una de las especies más importantes en la pesquería artesanal del Golfo de California, representando 45% de los desembarques en número (Márquez-Farías 2002). Al igual que otros elasmobranchios (Castro 1993), esta guitarra se acerca a las zonas someras costeras con fines reproductivos y es susceptible a ser capturada con las redes agalleras de fondo típicamente utilizadas en la pesquería de rayas de la región (Márquez-Farías 2005; Bizzarro *et al.* 2007, 2009). Se han observado diferencias en la talla de madurez, fecundidad y longitud individual de la población de guitarra de la costa occidental de la península de Baja California y del Golfo de California (Downton-Hoffmann 2001, Márquez-Farías 2007). Dichas diferencias en los patrones reproductivos tienen implicaciones importantes para una adecuada regulación y administración de la pesquería.

Los elasmobranchios son peces longevos que presentan baja fecundidad. Por lo general, tienen una madurez tardía y bajas tasas de crecimiento individual que, entre otros atributos biológicos y discretos, los hacen muy susceptibles a la sobreexplotación (Holden 1973, 1974). Las pesquerías de elasmobranchios, por lo general, carecen de series de captura y esfuerzo, lo que hace imposible la evaluación de sus poblaciones utilizando modelos dinámicos de biomasa o estructurados (talla y edad). En virtud de lo anterior, se han propuesto técnicas demográficas que permiten incorporar la mejor información biológica disponible sobre reproducción, supervivencia y edad/crecimiento para determinar la productividad de las especies y proyectar el efecto de la pesca sobre la tasa de crecimiento poblacional (Cortés 2002, 2004). Aunado a dichos enfoques cuantitativos, se han desarrollado y propuesto técnicas de evaluación rápida para valorar el riesgo ecológico y el efecto de la pesca sobre los elasmobranchios con base en poca información (Walker 2005a, Braccini *et al.* 2006). Estos enfoques requieren de información sobre

MATERIAL AND METHODS

Sampling

Landed specimens of *R. productus* were identified at several fishing camps along the coast of Sonora (Mexico) during the period 1998–2004 (fig. 1). The organisms were examined according to protocols established by the Mexican Fisheries Institute (Instituto Nacional de Pesca). Total length (TL) was measured from the tip of the snout to the extreme tip of the caudal fin with the organism placed on the stomach. Disc width was measured as the straight-line distance from one end to the other. Measurements were made to the nearest centimeter. Sex was determined based on the presence or absence of claspers.

Size at maturity

The maturity of the organisms was determined by examining internal organs and secondary sexual characteristics (clasper). Male organisms were considered mature when the clasper was calcified and could rotate backwards (Carrier *et al.* 2004). Clasper length was measured from the axil formed between the pelvic fin and base of the clasper to the tip of the clasper. Juveniles have short, flexible claspers. The testes were measured and correlated with length. Females were examined for evidence of pregnancy and internal organs were measured (oviducal gland, uterus width, and ovarian egg diameter). The frequency of mature and immature organisms was used to determine the proportion of maturity

madurez y selectividad (ambos en función de la longitud) para evaluar el impacto de la pesca sobre la población. El objetivo del presente estudio fue evaluar la interacción entre la proporción de madurez y la selectividad de la guitarra *R. productus*, con la finalidad de determinar la fracción de organismos que es retenida en las redes con aberturas de malla de 3.5, 5.0, 6.0, 8.0 y 8.5 pulgadas utilizadas en la pesca artesanal y con ello determinar el nivel de vulnerabilidad de la población a dichas redes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo

Los especímenes de la guitarra *R. productus* fueron identificados durante las descargas en varios campamentos pesqueros de la costa de Sonora (México) durante el periodo 1998–2004 (fig. 1). Los organismos se examinaron de acuerdo con los protocolos de monitorización del Instituto Nacional de Pesca. La longitud total (LT) de la guitarra se tomó de la punta de la cabeza al extremo de la aleta caudal, colocando el organismo con el vientre hacia abajo. El ancho del disco se midió de un extremo a otro evitando la curvatura del cuerpo. Las mediciones fueron realizadas al centímetro más cercano. El sexo se determinó con base en la presencia o ausencia de los gonopterigios.

Talla de madurez

La madurez de los organismos se determinó mediante la inspección de los órganos internos y caracteres sexuales secundarios (gonopterigios). Los machos fueron considerados como maduros cuando el gonopterigio se encontraba calcificado y con capacidad de rotar hacia la parte posterior (Carrier *et al.* 2004). La longitud del gonopterigio se midió de la axila formada entre la aleta pélvica y la base del gonopterigio hasta la punta de éste. En los jóvenes el gonopterigio se observa flácido y corto. Los testículos se midieron y correlacionaron con la longitud. En las hembras, se examinó la evidencia de preñez y se midieron los órganos internos (la glándula oviducal, el ancho del útero y el diámetro de los óvulos del ovario). Con la frecuencia de organismos maduros e inmaduros se determinó la proporción de madurez en función de la longitud para ambos sexos (Márquez-Farías 2007). Los valores observados de proporción de madurez fueron ajustados por la función logística de la siguiente forma:

$$M_L = \frac{1}{1 + \exp(-(L - L_{50\%})/\phi)} \quad (1)$$

donde M_L es la proporción de madurez, L es la longitud, $L_{50\%}$ es la longitud a la cual la mitad de la población ha alcanzado la madurez y ϕ representa la pendiente de la función. Los

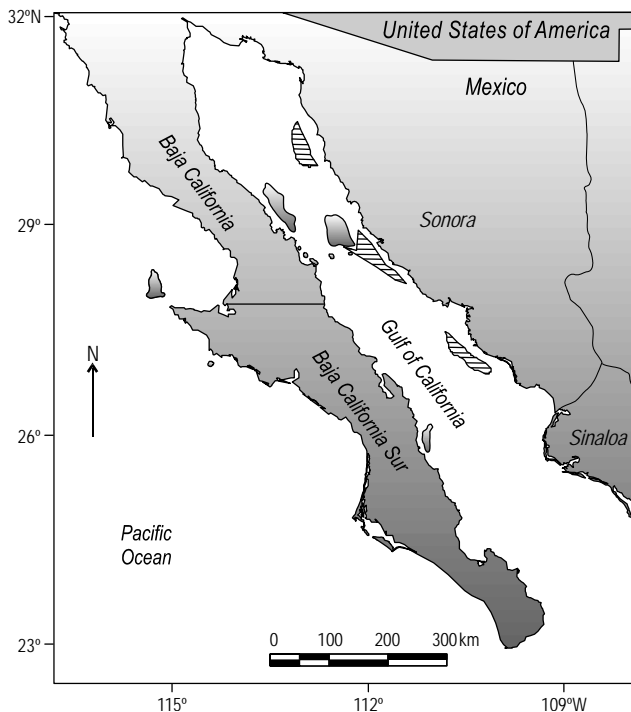


Figure 1. Study area. The striped zones represent the fishing areas.
Figura 1. Área de estudio. Las zonas rayadas representan la zona de pesca.

as a function of length for both sexes (Márquez-Farías 2007). The proportion of maturity values were fitted by the logistic function as follows:

$$M_L = \frac{1}{1 + \exp(-(L - L_{50\%})/\phi)} \quad (1)$$

where M_L is the proportion of maturity, L is the length, $L_{50\%}$ is the length at which half of the population has reached maturity, and ϕ represents the slope of the function. The parameters used to generate the maturity curves were $L_{50\%} = 55$ cm and $\phi = 2.05$ for males, and $L_{50\%} = 57$ cm and $\phi = 2.46$ for females. A detailed description of the reproductive aspects and the procedure used to fit the logistic function can be found in Márquez-Farías (2007).

Size selectivity

The selectivity curves used were determined by applying the model developed by Kirkwood and Walker (1986) to data obtained for *R. productus* from the Sonoran ray fishery (Márquez-Farías 2005). This method allows the estimation of parameters by simultaneously fitting the length-frequency distribution of nets with different mesh sizes. It is derived from the probability density function of a gamma distribution with parameters α and β and argument x , and has the probability density

$$[x^\alpha \exp(-x/\beta)/\Gamma(\alpha + 1)]/\beta^{(\alpha+1)} \quad (2)$$

with a single mode at $x = \alpha\beta$ and variance $(\alpha + 1)\beta^2$. In this expression, $\Gamma(\cdot)$ is the standard gamma function.

Kirkwood and Walker’s (1986) model is a flexible, two-parameter model ($\theta_1 = \text{mode}$, $\theta_2 = \text{variance}$) that can operate with length-frequency distributions with pronounced positive skew, characteristic of gillnet catch data. The selectivity, S_{ij} , can be modeled as a function of mesh size, m_i , and length, l_j , as well as mode and variance. The functional form used to model the selectivities as a function of l_j and m_i is:

$$S_{ij} = \left(\frac{l_j}{\alpha_i\beta_i}\right)^{\alpha_i} \exp\left(\alpha_i - \frac{l_j}{\beta_i}\right) \quad (3)$$

where α_i and β_i are specified in terms of m_i and l_j class, and the length at maximum selectivity of net i is proportional to the mesh size such that θ_2 is constant for all the nets used:

$$\alpha_i\beta_i = \theta_1 m_i \quad (4)$$

where

$$\beta_i = -0.5[\theta_1 m_i - (\theta_1^2 m_i^2 + 4\theta_2)^{0.5}] \quad (5)$$

parámetros utilizados para generar las curvas de madurez fueron $L_{50\%} = 55$ cm y $\phi = 2.05$ para machos, y $L_{50\%} = 57$ cm y $\phi = 2.46$ para hembras. Una descripción detallada de los aspectos reproductivos y el procedimiento para el ajuste de la función logística utilizada en el presente estudio se encuentra en Márquez-Farías (2007).

Selectividad de la talla

Las curvas de selectividad utilizadas se determinaron con la aplicación del modelo de Kirkwood y Walker (1986) a datos de *R. productus* de la pesquería de rayas de Sonora (Márquez-Farías 2005). Este método permite la estimación de parámetros mediante un ajuste simultáneo de la distribución de frecuencia de longitudes de paños con distintas aberturas de malla. El modelo se deriva de la función de densidad de probabilidad de la distribución gamma con los parámetros α , β y el argumento x , y con una densidad de probabilidad

$$[x^\alpha \exp(-x/\beta)/\Gamma(\alpha + 1)]/\beta^{(\alpha+1)} \quad (2)$$

con una moda única de $x = \alpha\beta$ y varianza $(\alpha + 1)\beta^2$. En esta expresión, $\Gamma(\cdot)$ es la función gamma estándar.

El modelo de Kirkwood y Walker (1986) es un modelo flexible de dos parámetros ($\theta_1 = \text{moda}$, $\theta_2 = \text{varianza}$) que permite operar distribuciones de frecuencia de longitudes con sesgos positivos pronunciados, muy característicos de datos de captura con redes agalleras. La selectividad, S_{ij} , puede ser modelada en función del tamaño de abertura de la malla, m_i , y de la longitud, l_j , así como de la moda y la varianza. La forma funcional usada para modelar las selectividades en función de l_j y m_i es la siguiente:

$$S_{ij} = \left(\frac{l_j}{\alpha_i\beta_i}\right)^{\alpha_i} \exp\left(\alpha_i - \frac{l_j}{\beta_i}\right) \quad (3)$$

donde α_i y β_i están especificados en términos de m_i y la clase l_j , y la longitud a la máxima selectividad de la red i es proporcional a la abertura de malla de tal modo que θ_2 es constante para todas las redes utilizadas:

$$\alpha_i\beta_i = \theta_1 m_i \quad (4)$$

donde

$$\beta_i = -0.5[\theta_1 m_i - (\theta_1^2 m_i^2 + 4\theta_2)^{0.5}] \quad (5)$$

Los parámetros utilizados para modelar la selectividad de las redes agalleras utilizadas para la captura de *R. productus* fueron $\theta_1 = 105.7$ y $\theta_2 = 21,741$ (Márquez-Farías, 2005).

The parameters used to model the selectivity of the gillnets used to catch *R. productus* were $\theta_1 = 105.7$ and $\theta_2 = 21,741$ (Márquez-Farías 2005).

Fraction retained by nets of different mesh size

The fraction retained by each mesh size was determined based on the length structure of the population sampled on the coast of Sonora between 1998 and 2004. First, the proportion of mature organisms per length class was calculated by multiplying the length structure by the respective maturity ogive for each sex; the resulting histogram represents the proportion of mature organisms. Second, the proportion of mature organisms was multiplied by the selectivity curves for the gillnet mesh sizes (3.5, 5.0, 6.0, 8.0, and 8.5 inches) used in the Sonoran ray fishery. A length-frequency histogram representing the proportion of mature organisms vulnerable to gillnets was thus generated for each sex.

RESULTS

A total of 1144 individuals (32.5% males, 67.5% females) were used to represent the structure of the *R. productus* population targeted by the Sonoran artisanal fleet (fig. 1). The length-frequency distribution of the population showed two peaks: a prominent one at 56–58 cm TL and a less prominent one at 78–80 cm TL. The maximum peak for males occurred at 56–58 cm TL and for females at 64–66 cm TL (fig. 2a). Due to biometric differences between sexes, males have a size difference of 48 cm TL (22–70 cm TL) and females of 72 cm TL (22–94 cm TL). The overlap between the maximum male and female peaks comprised a size range of 58–66 cm TL. The frequency distribution of combined sexes was reduced when the mature organisms were removed by the logistic function. Numerically, this reduction was 32% for males and 17% for females, and the amplitude for mature males was 22 cm TL (48–70 cm TL) and for mature females, 48 cm TL (50–98 cm TL) (fig. 2b, c).

The selectivity of nets with different mesh sizes had a varied effect on the size structure of adult organisms. In the case of males, the selectivity curves of the nets with mesh sizes of 3.5, 5.0, 6.0, 8.0, and 8.5 inches represented a reduction in the total of individuals in the length-frequency distribution of 59%, 9%, 8%, 85%, and 94%, respectively, whereas in the case of females, they represented a reduction of 79%, 41%, 16%, 48%, and 63%, respectively (fig. 3). The length-frequency distribution of mature males with the 3.5-inch mesh net (fig. 3a) was more conspicuous than that of mature females with the same net (fig. 3f); this mesh size showed greater affinity towards larger organisms. Mature males were more vulnerable to the 5.0- and 6.0-inch mesh nets since the larger mesh sizes showed a higher selectivity for lengths exceeding the largest size observed for males (fig. 3b, c). The length-frequency distribution of mature

Fración retenida por redes de diferente abertura de malla

Para determinar la fracción retenida por cada abertura de malla, se parte de la estructura de longitudes de la población muestreada en la costa de Sonora de 1998 a 2004. Primero, se calculó la proporción de organismos maduros por intervalo de clase de longitud multiplicando la estructura de longitudes por la ojiva de madurez respectiva para cada sexo; el histograma generado de tal procedimiento representa la proporción de organismos maduros. Segundo, se multiplicó tal proporción de organismos maduros por las curvas de selectividad de aberturas de malla (3.5, 5.0, 6.0, 8.0 y 8.5 pulgadas) utilizadas en la pesquería de rayas de Sonora. De este modo, se generó para cada sexo un histograma de frecuencia de longitudes que representa la proporción de organismos maduros vulnerables a las redes agalleras.

RESULTADOS

Se utilizaron 1144 individuos (32.5% machos, 67.5% hembras) para representar la estructura de la población de *R. productus* capturada por la flota artesanal de Sonora (fig. 1). La distribución de frecuencia de longitudes de la población de *R. productus* se observa con dos picos: uno muy prominente en el intervalo de clase de 56–58 cm LT y otro más tenue en el de 78–80 cm LT. El pico máximo para los machos se observó en el intervalo de 56–58 cm LT y para las hembras en 64–66 cm LT (fig. 2a). Debido a las diferencias biométricas entre sexos, los machos tienen una diferencia de tallas de 48 cm LT (22 a 70 cm LT) y las hembras de 72 cm LT (22 a 94 cm LT). El traslape entre los picos máximos de hembras y machos abarcó un intervalo de longitudes de 58–66 cm LT. La distribución de frecuencia de los sexos combinados se vio reducida al extraer los organismos maduros por medio de la función logística. Numéricamente, esta reducción fue de 32% para los machos y de 17% para las hembras, y la amplitud para los machos maduros fue de 22 cm LT (48–70 cm LT) y para las hembras maduras, 48 cm LT (50–98 cm LT) (fig. 2b, c).

La selectividad de las redes con diferentes aberturas de malla tuvo un efecto variado sobre la estructura de tallas de los organismos adultos. En los machos, las curvas de selectividad de las redes con aberturas de malla de 3.5, 5.0, 6.0, 8.0 y 8.5 pulgadas representaron reducciones en el total de individuos de la distribución de frecuencia de longitudes de 59%, 9%, 8%, 85% y 94%, respectivamente, mientras que en el caso de las hembras, estas curvas representaron reducciones de 79%, 41%, 16%, 48% y 63%, respectivamente (fig. 3). La distribución de frecuencia de longitudes de machos maduros con una red de 3.5 pulgadas (fig. 3a) es más conspicua que la distribución de longitudes de las hembras maduras con la misma abertura de malla (fig. 3f). Esta abertura de malla presenta mayor afinidad hacia organismos de mayor talla. Los machos maduros fueron más vulnerables a las redes con

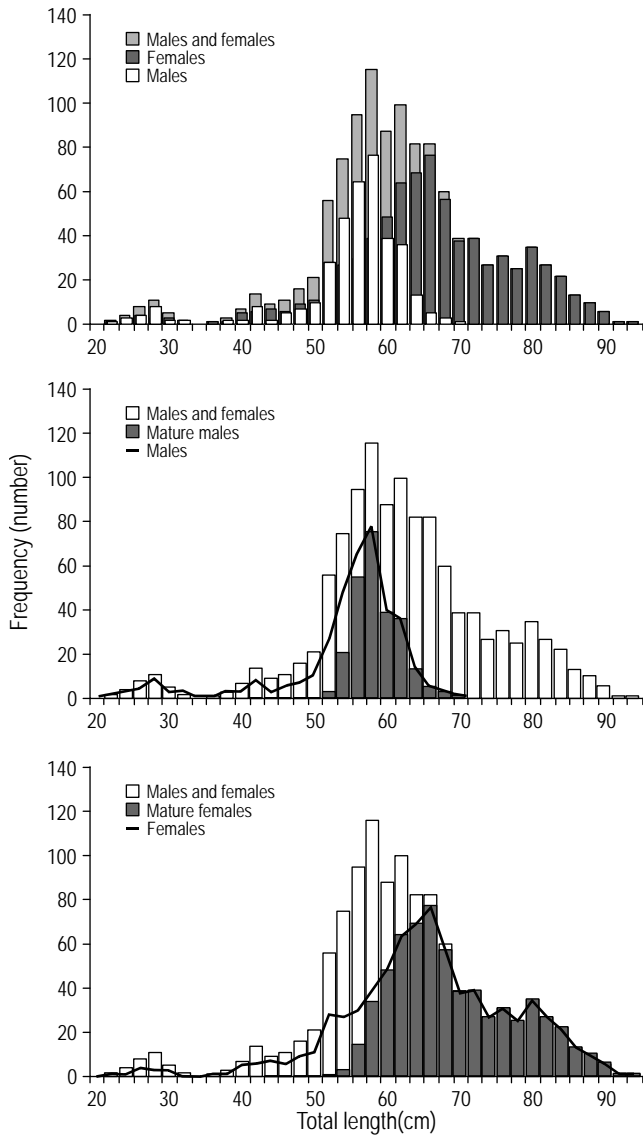


Figure 2. (a) Length-frequency distribution of the shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* caught by the Sonoran artisanal fleet. (b) Comparison of the length-frequency distribution of males and females (white bars) with that of males (black line) and mature males (black bars). (c) Comparison of the length-frequency distribution of males and females (white bars) with that of females (black line) and mature females (black bars).

Figura 2. (a) Distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra *Rhinobatos productus* capturada por la flota artesanal de Sonora. (b) Comparación de la distribución de frecuencia de longitudes de machos y hembras (barras blancas) con la de los machos (línea negra) y la de los machos maduros (barras negras). (c) Comparación de la distribución de frecuencia de longitudes de machos y hembras (barras blancas) con la de las hembras (línea negra) y la de las hembras maduras (barras negras).

females was right-skewed, with greatest frequency in the size range of 54–72 cm (fig. 3f–h), the distribution shifting notably to larger sizes with the 8.0- and 8.5-inch mesh nets (fig. 3i, j).

aberturas de malla de 5.0 y 6.0 pulgadas debido a que las redes con aberturas de malla más grandes tienen su máxima selectividad en longitudes que rebasan la talla más grande observada para los machos (fig. 3b, c). La distribución de frecuencia de longitudes de las hembras maduras mostró un sesgo hacia la derecha, con la mayor frecuencia en los intervalos de longitud de 54–72 cm (fig. 3f–h); la distribución cambió notablemente hacia tallas más grandes con redes de 8.0 y 8.5 pulgadas de abertura de malla (fig. 3i, j).

DISCUSIÓN

Conforme se ha incrementado el conocimiento sobre los aspectos biológicos de las poblaciones de peces y la tecnología de captura, se ha logrado obtener mejor interpretación de la forma en que estos procesos intervienen en la evaluación de poblaciones y en la formulación de alternativas para el manejo pesquero. Una de las ventajas de orientar la investigación pesquera de los elasmobranquios hacia la estimación de la proporción de madurez y la selectividad relativa es evitar el supuesto de “filo de navaja” utilizado frecuentemente en modelos de evaluación pesquera, como los modelos de rendimiento por recluta (Beverton y Holt 1957). El proceso de madurez de los organismos es gradual y proyecta una ojiva en función de la longitud, de tal modo que la proporción de madurez a la talla puede ser descrita adecuadamente por una función logística gobernada por parámetros que pueden ser convertidos desde una interpretación estadística, como la constante a y la pendiente de regresión b , hasta una interpretación biológica, como $L_{50\%}$ y $L_{95\%}$ (Walker 2005b). Idealmente, la estimación de los parámetros demográficos debe incluir la ojiva de madurez de las hembras, que es una representación más realista de la estrategia reproductiva de la especie en estudio. Las especies longevas son, en particular, vulnerables a la sobrepesca (Musick 1999). La mayoría de las especies de elasmobranquios son susceptibles debido a que tienen una tasa intrínseca de crecimiento poblacional muy baja, lo cual resulta de la conjugación de esquemas reproductivos y de supervivencia muy discretos (Cortés 2002). Los casos de colapso de poblaciones y pesquerías de tiburones han sido bien documentados (Bonfil 1994). En estudios recientes, se ha reportado el colapso de las pesquerías de batoideos en otras partes del mundo debido a la intensidad de pesca dirigida e inclusive incidental (Musick 2005). Debido a su baja elasticidad a la pesca, algunos batoideos están siendo sobreexplotados aun como componentes de la pesca incidental de otras pesquerías (Dulvy *et al.* 2000, Dulvy y Reynolds 2002). En vista de lo anterior y dada la creciente preocupación por la situación actual de sus pesquerías y poblaciones, algunas especies de elasmobranquios han sido propuestas como candidatas para protección por parte del Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de los Estados Unidos (Díaz-Soltera 1999).

Las rayas del Golfo de California están siendo sometidas a una alta mortalidad por pesca. Por un lado, la pesca

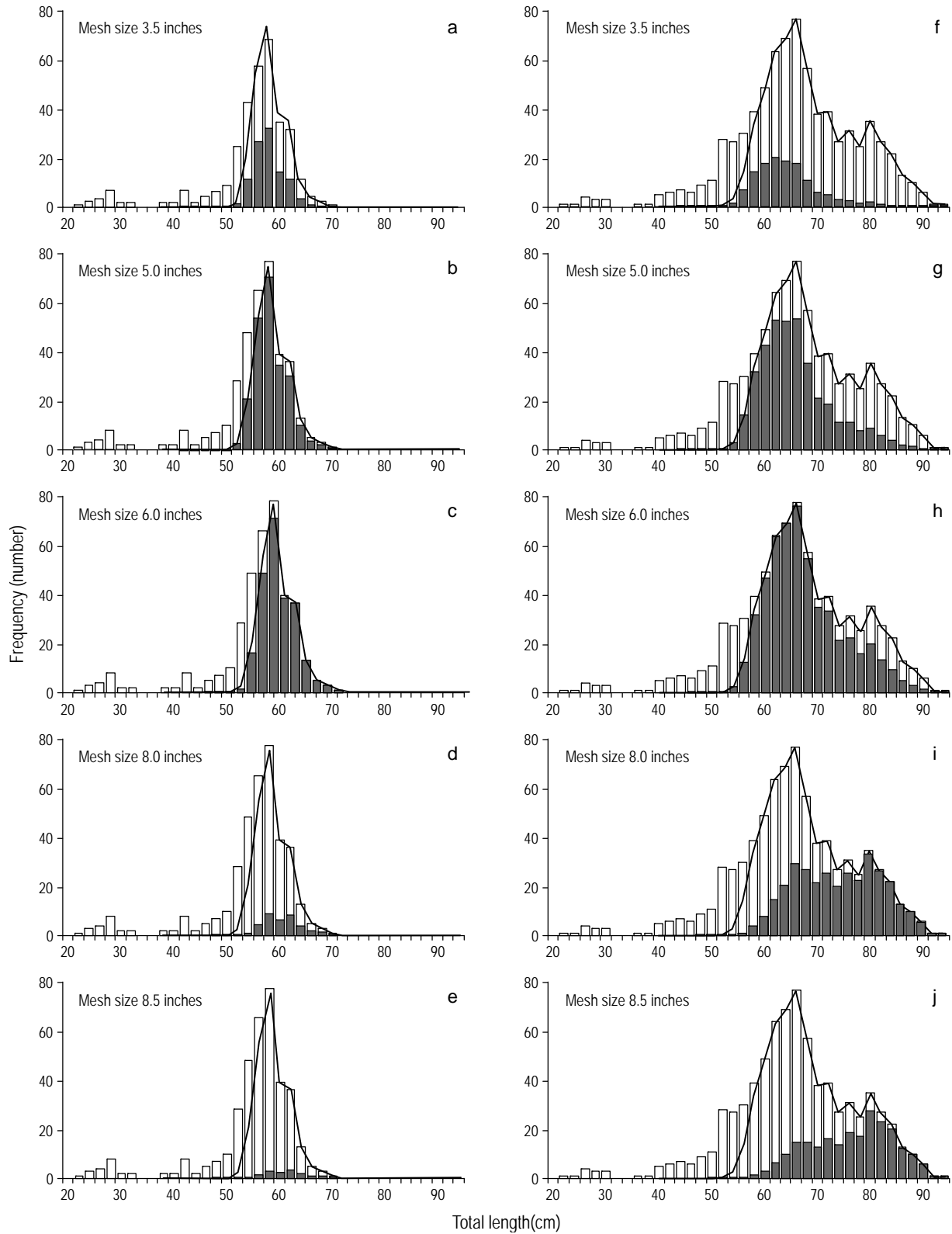


Figure 3. Length-frequency distribution of the shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* caught by gillnets with different mesh sizes used in the Sonoran artisanal fishery. The lines represent males (a–e) and females (f–j) of the population and the black bars represent the mature individuals of each sex.

Figura 3. Distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra *Rhinobatos productus* capturada con redes agalleras con diferentes aberturas de malla utilizadas en la pesquería artesanal de Sonora. Las líneas representan a los machos (a–e) y las hembras (f–j) de la población y las barras negras a los individuos maduros de cada sexo.

DISCUSSION

Greater knowledge of the biological aspects of fish stocks and fishing technology has enabled a better understanding of how these processes intervene in stock assessment and the formulation of alternatives for fisheries management. One of the advantages of steering elasmobranch fishery research towards estimating the proportion of maturity and relative selectivity is to avoid the knife-edge assumption often used in fishery assessment models, such as yield-per-recruit models (Beverton and Holt 1957). The maturation process of organisms is gradual, forming an ogive as a function of length, such that the proportion of maturity can be adequately described by a logistic function governed by parameters that can be converted from a statistical interpretation, such as constant a and regression slope b , to a biological interpretation, such as $L_{50\%}$ and $L_{95\%}$ (Walker 2005b). Ideally, the estimation of demographic parameters should include the female maturity ogive, which is a more realistic interpretation of the reproductive strategy of the species under study. Long-living species are particularly vulnerable to overfishing (Musick 1999). Most elasmobranch species are susceptible because they have a very low intrinsic population growth rate as a result of the combination of discrete reproductive and survival patterns (Cortés 2002). Cases of collapsed shark fisheries and populations have been documented (Bonfil 1994). The collapse of batoid fisheries in other parts of the world due to the intensity of targeted and even incidental fishing has recently been reported (Musick 2005). Because of their low resilience to fishing, some batoids are being overfished even as components of the bycatch in other fisheries (Dulvy *et al.* 2000, Dulvy and Reynolds 2002). In view of the above and the growing concern for the current situation of the elasmobranch fisheries and stocks, some of the species have been proposed as candidates for protection by the US National Marine Fisheries Service (Díaz-Soltera 1999).

The rays of the Gulf of California are subject to heavy fishing mortality. On the one hand, artisanal fishing for rays is intense on both coasts of the gulf and the Baja California Peninsula, where some species are caught in critical habitat (nursery grounds where neonates and pregnant females are vulnerable), such as the Magdalena Bay lagoon complex on the west coast of Baja California Sur (Salazar-Hermoso and Villavicencio-Garayzar 1999). On the other hand, elasmobranchs constitute an important part of the intense and long-established (1947–2007, INP 2000) shrimp trawl fishery (Pérez-Mellado and Findley 1985, García-Caudillo *et al.* 2000). The effect of bycatch on this fishery is substantial, not only for the commercially important species, but also for those that are not commercially exploited and for which there is scant knowledge about their biology. Once the catch has been deposited on the deck of the boat, given the time spent sorting shrimp from the bycatch, the animals are returned to the sea already dead or dying with a low probability of survival.

artesanar de rayas es intensa en ambas costas del golfo y de la península de Baja California, donde algunas especies se capturan en su hábitat crítico (áreas de crianza donde los recién nacidos y las hembras grávidas son vulnerables), como es el caso del complejo lagunar de Bahía Magdalena en la costa occidental de Baja California Sur (Salazar-Hermoso y Villavicencio-Garayzar 1999). Por otro lado, los elasmobranchios forman parte importante de la fauna de acompañamiento de la intensa y longeva (1947–2007, INP 2000) pesquería de arrastre del camarón (Pérez-Mellado y Findley 1985, García-Caudillo *et al.* 2000). El efecto de la captura incidental en esta pesquería es sustancial, no solamente para las especies de importancia comercial, sino también para aquellas que no se aprovechan comercialmente y cuyo conocimiento sobre su biología es notablemente escaso. Una vez que la captura de la red se deposita en la cubierta de la embarcación, dado el tiempo de búsqueda de camarón, los animales son devueltos al mar ya muertos, o moribundos con baja probabilidad de supervivencia.

En la pesca artesanal de rayas, que opera esencialmente con redes agalleras, los organismos de diferente tamaño no son igualmente vulnerables a la captura, ya que los pequeños nadan a través de las redes y son progresivamente más vulnerables conforme crecen. Esto significa que, dentro de una cohorte, los individuos que crecen más lentamente son vulnerables a las redes por más tiempo que los individuos que crecen más rápidamente (Walker *et al.* 1998). Debido a esto, la selectividad de las redes agalleras puede influenciar no sólo los rendimientos de la captura, sino también la estimación de los parámetros de crecimiento (Moulton *et al.* 1992, Walker *et al.* 1998). Esto es porque las redes con aberturas de malla más frecuentes tienden a colar la estructura de tallas disponible en la zona de pesca y esto, a su vez, provoca una distorsión en las curvas de crecimiento. Dicho proceso se conoce como “fenómeno de cambio aparente de la tasa de crecimiento” y, en gran medida, depende de la intensidad de pesca en el tiempo (Walker *et al.* 1998). En un estudio reciente, Walker (2007) invocó la hipótesis de que el efecto de las redes agalleras puede influir, también, en la estimación de los parámetros para describir ojivas de madurez y maternidad debido a que éstas son generalmente estimadas en función de la talla o edad. Este efecto de la selectividad en la ojiva de madurez o maternidad podría tener consecuencias serias en los análisis demográficos puesto que las ojivas pueden estar distorsionadas y producir valores sesgados de estimaciones posteriores que dependan de estos valores.

Excepto Beerkircher *et al.* (2003), quienes incorporaron explícitamente el efecto de la selectividad en los parámetros demográficos del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* del Atlántico, los escenarios de explotación evaluados en estudios de demografía de elasmobranchios consideran el efecto de la mortalidad por pesca como “filo de navaja”, lo cual provoca estimaciones pesimistas de la tasa de crecimiento poblacional, al igual que ocurre al utilizar vectores de mortalidad natural constante en la estructura de edad

In the artisanal ray fishery, in which gillnets are primarily used, the organisms of different sizes are not equally vulnerable to fishing, but rather their vulnerability increases as they grow since small-sized individuals can swim out of the nets. Thus, within a cohort, the individuals that grow more slowly are vulnerable to fishing for a longer period of time than those that grow more rapidly (Walker *et al.* 1998). The selectivity of the gillnets can therefore influence not only the catch yields, but also the estimation of growth parameters (Moulton *et al.* 1992, Walker *et al.* 1998). This is because the nets with the most common mesh size tend to filter the available size structure in the fishing area leading to a distortion in the growth curves. This process is known as “phenomenon of apparent change in growth rate” and largely depends on fishing intensity over time (Walker *et al.* 1998). Recently, Walker (2007) hypothesized that the effect of gillnets could also influence the estimation of parameters describing maturity and maternity ogives because they are generally estimated as a function of size or age. This effect of selectivity based on the maturity or maternity ogive could have serious consequences in demographic analyses since the ogives may be distorted and produce skewed values in subsequent estimations that depend on these values.

Except for Beerkircher *et al.* (2003), who explicitly incorporated the effect of selectivity that influenced the demographic parameters of the Atlantic silky shark *Carcharhinus falciformis*, the exploitation scenarios assessed in demographic studies of elasmobranchs consider the effect of mortality due to fishing as knife-edged, which produces pessimistic estimates of population growth rate, as occurs when using constant natural mortality vectors in the age structure (Walker 1998). Like the maturation process of organisms, the impact of the fishery on the population depends on the selective properties of the fishing gear, and considering the effect of selectivity could indicate greater resilience (Stevens 1999) of the stocks to fishing mortality when assessing management scenarios that contemplate technological modifications.

In targeted fisheries, the catchability of individuals largely depends on the interaction between the availability, catch probability, and selectivity of the fishing gear (Arreguín-Sánchez 1996, Walker 2005a). The results of the present study indicate that the gillnets used in the ray fishery affect the population of *R. productus* in the Gulf of California differently. On the one hand, the proportion of organisms retained by the 3.5-inch mesh net influences the structure of the juvenile population; however, the proportion retained is not that large since this mesh size is mostly used for other resources (e.g., *Scomberomorus sierra*, *S. concolor*) that are seasonally available to the artisanal fishery (Cisneros-Mata and Montemayor-López 2000), so the fishing power of these nets is minor in the case of *R. productus*. The nets with mesh sizes of 5.0 to 8.5 inches are frequently used in the ray fishery with relatively similar fishing power. On the other hand, the sex of the individuals accessible to the fishery plays

(Walker 1998). Al igual que el proceso de maduración de los organismos, el impacto de la pesquería sobre la población depende de las propiedades selectivas de los sistemas de captura, de tal modo que considerar el efecto de la selectividad pudiera indicar mayor elasticidad (Stevens 1999) de las poblaciones a la mortalidad por pesca al evaluar los escenarios de manejo que contemplen modificaciones tecnológicas.

En las pesquerías dirigidas, la capturabilidad de los individuos de una población depende en gran medida de la interacción entre la disponibilidad, la probabilidad de captura y la selectividad de los sistemas de captura (Arreguín-Sánchez 1996, Walker 2005a). Los resultados del presente estudio indican que las redes agalleras utilizadas en la pesquería de rayas afectan de manera variada a la población de *R. productus* del Golfo de California. Por un lado, la proporción de organismos retenidos con redes con abertura de malla de 3.5 pulgadas influye sobre la estructura de la población de juvenes; sin embargo, la proporción no es muy grande ya que esa abertura de malla es mayormente utilizada para otros recursos (e.g., *Scomberomorus sierra*, *S. concolor*) que están disponibles de manera estacional en la pesca ribereña (Cisneros-Mata y Montemayor-López 2000), de tal modo que el poder de pesca de estas redes es menor para *R. productus*. Las redes con aberturas de malla de 5.0 a 8.5 pulgadas son utilizadas frecuentemente en la pesquería de rayas con un poder de pesca relativamente similar. Por otro lado, el sexo de los individuos accesibles a la pesquería juega un papel importante en el proceso de captura, dado que los machos alcanzan tallas menores que las hembras y son moderadamente vulnerables a las redes de 3.5 pulgadas (fig. 3a) y en mayor grado a las redes con aberturas de malla de 5.0 y 6.0 pulgadas (fig. 3b, c). La red pequeña (3.5 pulgadas de abertura de malla) también captura hembras, pero en un intervalo más amplio ya que éstas crecen a mayor talla (fig. 3f). Las redes con aberturas de malla de 5.0 y 6.0 pulgadas tienen la mayor selectividad en machos y hembras, ya que coinciden con los intervalos de longitud de mayor abundancia accesibles en la pesquería (fig. 3b, c, g, h). La proporción de machos capturados con redes con aberturas de malla de 8.0 y 8.5 pulgadas es notablemente menor que la proporción retenida con aberturas de malla inferiores (fig. 3d, e). En el caso de las hembras, la selectividad tiende a ser hacia organismos adultos que son abundantes particularmente en el intervalo de clase de longitud de 78–80 cm LT (fig. 3i, j).

Las curvas de selectividad utilizadas en el presente estudio provienen de una investigación que utiliza datos no experimentales que incluyeron organismos que fueron atrapados por enredo y no solamente individuos que fueron capturados exclusivamente de las agallas (Márquez-Farías 2005). Aunque esto pudiera sesgar de cierto modo la estimación de los parámetros de selectividad, se considera que las distribuciones de frecuencia de longitudes representan de manera realista la fracción de la población que es retenida por

an important role in the catch process, since males attain smaller sizes than females and are moderately vulnerable to nets with a mesh size of 3.5 inches (fig. 3a) and to a greater extent to those of 5.0 and 6.0 inches (fig. 3b, c). The small net (3.5-inch mesh size) also captures females but a wider range of sizes since they grow to a larger size (fig. 3f). The nets with 5.0- and 6.0-inch mesh size have greater selectivity for males and females, as they both coincide in the most abundant length ranges accessible to the fishery (fig. 3b, c, g, h). The proportion of males caught with the 8.0- and 8.5-inch mesh nets is notably less than that retained with smaller mesh sizes (fig. 3d, e). In the case of females, the selectivity tends to be towards adult organisms that are particularly abundant in the 78–80 cm TL size range (fig. 3i, j).

The selectivity curves used herein come from a study using non-experimental data that included organisms caught by entanglement and not just individuals who were caught exclusively by the gills (Márquez-Farías 2005). Though this may in some way skew the estimation of the selectivity parameters, the length-frequency distributions are considered to realistically represent the fraction of the population that is retained by a net with a certain mesh size. This author indicates that the selectivity model used, based on gamma distribution, is a convenient alternative for estimating selectivity parameters because the length-frequency distribution of a gillnet with certain mesh size is frequently right-skewed, which represents the capture of very large organisms. The classical methods used to determine the selectivity assume that the resulting selectivity curve is normally distributed (Baranov 1948), occasionally producing a biased interpretation of the maximum net selectivity especially when the frequency distribution presents more than one modal group (Rojo-Vázquez *et al.* 1999). The model based on gamma distribution favours the estimation of selectivity parameters for dorsoventrally flattened and sharp-nosed species. As some of the rays caught are flattened but very wide (e.g., Dasyatidae, Mobulidae, Urolophidae, Myliobatidae, among others), the selectivity of the gillnets is difficult to determine, if it exists. Species with pointed snouts like *R. productus*, which is arrow-shaped, are easily retained by nets with small mesh sizes. At times, modifications to fishing gear can lead to changes in the catchability that mask the selective properties of the nets. Salazar-Hermoso and Villavicencio-Garayzar (1999) observed that in the *R. productus* fishery of Almejas Bay (Baja California Sur), fishermen tied nylon lines to the net to entangle the fish. Final retention depends largely on the animal's weight and struggle.

Diagnosis of the current exploitation pattern of the shovelnose guitarfish and other elasmobranchs in the Gulf of California should be based on a demographic analysis that incorporates biological information of the species. The proportion of maturity described by the maturity ogive and the selectivity of different mesh sizes should be considered in this analysis to assess their effects on the population growth rate and other demographic parameters and determine

una red con una abertura de malla dada. Dicho autor señala que el modelo de selectividad utilizado, que se basa en la distribución gamma, es una alternativa conveniente para estimar los parámetros de selectividad debido a que la distribución de frecuencia de longitudes de una red agallera con determinada abertura de malla presenta frecuentemente sesgo hacia la derecha, lo que representa la captura de organismos muy grandes. Los métodos clásicos para determinar la selectividad suponen que la curva de selectividad resultante se distribuye normalmente (Baranov 1948), lo que en ocasiones provoca una interpretación sesgada de la selectividad máxima de una red, particularmente cuando la distribución de frecuencias presenta más de un grupo modal (Rojo-Vázquez *et al.* 1999). El modelo basado en la distribución gamma favorece la determinación de parámetros de selectividad para las especies dorsoventralmente aplanadas y puntiagudas. Debido a que algunas rayas capturadas son aplanadas, pero muy anchas (e.g., Dasyatidae, Mobulidae, Urolophidae, Myliobatidae, entre otras), la selectividad de las redes agalleras es difícil de determinar, si es que existe. Las especies puntiagudas como *R. productus*, que tiene una forma de flecha, tienden a ser retenidas fácilmente con redes de abertura de malla pequeña. Algunas veces, las modificaciones en el sistema de captura pueden provocar cambios en la capturabilidad que enmascaran las propiedades selectivas de las redes. Salazar-Hermoso y Villavicencio-Garayzar (1999) señalaron que en la pesquería de *R. productus* de Bahía Almejas (Baja California Sur), los pescadores colocan tirantes en la red para provocar el enredo de los peces. La retención final depende mucho del peso y forcejeo del animal.

El diagnóstico de la situación del esquema actual de explotación de la guitarra y otros elasmobranchios del Golfo de California, debe basarse en un análisis demográfico que permita incorporar la información biológica de la especie. Es en este análisis en donde la proporción de madurez descrita por la ojiva de madurez y la selectividad de diferentes aberturas de malla deben ser incorporadas para evaluar sus implicaciones en la tasa de crecimiento poblacional y otros parámetros demográficos que permitan determinar la elasticidad de la especie bajo diferentes escenarios de explotación (Cortés 1998, Márquez-Farías *et al.* 1998).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado, parcialmente, por el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Fundación David y Lucile Packard. Se agradece al INAPESCA por facilitar los datos utilizados.

the resilience of the species under different exploitation scenarios (Cortés 1998, Márquez-Farías *et al.* 1998).

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partially funded by the National Fisheries Institute (INAPESCA, Mexico), the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT), and the David and Lucile Parker Foundation. Thanks to INAPESCA for the data provided.

English translation by Christine Harris.

REFERENCES

- Arreguín-Sánchez F. 1996. Catchability: A key parameter for fish stock assessment. *Rev. Fish Biol. Fish.* 6:1–22.
- Baranov FI. 1948. The theory and assessment of fishing gear. Pishchepromisdat, Moscow (Ch. 7, Theory and fishing with gillnets.). Translated from Russian by Ontario Department of Lands and Forests, Maple, Ontario, 45 pp.
- Beerkircher L, Shivji M, Cortés E. 2003. A Monte Carlo demographic analysis of the silky shark (*Carcharhinus falciformis*): Implications of gear selectivity. *Fish. Bull.* 101: 168–174.
- Bizzarro JJ, Smith WD, Márquez-Farías JF, Hueter RE. 2007. Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri*, in the northern Mexican Pacific Ocean. *Fish. Res.* 84: 137–146.
- Bizzarro JJ, Smith WD, Márquez-Farías JF, Tyminski JP, Hueter RE. 2009. Temporal variation in the artisanal elasmobranch fishery of Sonora, Mexico. *Fish. Res.* (97)1–2: 103–117.
- Beverton RJH, Holt SJ. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. UK Ministry of Agriculture and Fisheries, Fisheries Investigations (Ser. 2) 19, 533 pp.
- Bonfil R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper No. 341, Rome, 119 pp.
- Braccini JMB, Gillanders M, Walker TI. 2006. Hierarchical approach to the assessment of fishing effects on non-target chondrichthyans: Case study of *Squalus megalops* in south-eastern Australia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 2456–2466.
- Carrier C, Pratt HL, Castro JI. 2004. Reproductive biology of elasmobranchs. In: Carrier C, Musick JA, Heithaus MR (eds.), *Biology of Sharks and their Relatives*. CRC Press, Boca Raton, 596 pp.
- Castro JI. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. *Environ. Biol. Fish.* 38: 37–48.
- Cisneros-Mata MA, Montemayor-López G. 2000. Sierra del Golfo de California. In: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999–2000*. Instituto Nacional de Pesca, México, pp. 261–274.
- Cortés E. 1998. Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fish. Res.* 39: 199–208.
- Cortés E. 2002. Incorporating uncertainty into demographic modeling: Application to shark populations and their conservation. *Conserv. Biol.* 16: 1048–1062.
- Cortés E. 2004. Life history patterns, demography, and population dynamics. In: Carrier JC, JA Musick, MR Heithaus (eds.), *Biology of Sharks and their Relatives*, CRC Press, pp. 449–469.
- Díaz-Soltera H. 1999. Endangered and threatened species; revision of candidate species list under the Endangered Species Act. *Federal Register* 64: 33166–33467.
- Downton-Hoffmann CA. 2001. Edad y crecimiento del pez guitarra, *Rhinobatos productus* (Ayres 1856), en la costa occidental de Baja California Sur, México. M.Sc. thesis, Instituto Politécnico Nacional, México, 72 pp.
- Dulvy NK, Reynolds JD. 2002. Predicting extinction vulnerability in skates. *Conserv. Biol.* 16: 440–450.
- Dulvy NK, Reynolds JD, Metcalfe JD, Glanville J. 2000. Fisheries stability, local extinctions and shifts in community structure in skates. *Conserv. Biol.* 14: 1–11.
- Flores OJ, Rodríguez M, Shimizu M, Machii T. 1995. Evaluation of demersal fishery resources of the Gulf of California using Mexican shrimp trawlers. *J. Natl. Fish. Univ.* 44: 9–19.
- García-Caudillo JM, Cisneros-Mata MA, Balmori A. 2000. Performance of a bycatch reduction device in the shrimp fishery of the Gulf of California, Mexico. *Biol. Conserv.* 92: 199–205.
- Holden MJ. 1973. Are long-term sustainable fisheries for elasmobranchs possible? *Rapp. PV Reun. Cons. Int. Explor. Mer* 34: 161–168.
- Holden MJ. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. In: Jones EH (ed.), *Sea Fisheries Research*. Logos, London, pp. 117–137.
- INP. 2000. *Sustentabilidad y pesca responsable en México; evaluación y manejo, 1999–2000*. Instituto Nacional de Pesca, México, 1111 pp.
- Kirkwood GP, Walker TI. 1986. Gill net mesh selectivities for gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günther, taken in south-eastern Australian waters. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 37: 689–697.
- Márquez-Farías JF. 2002. The artisanal ray fishery in the Gulf of California: Development, fisheries research, and management issues. IUCN Shark Specialist Group. *Shark News* 14: 1–5.
- Márquez-Farías JF. 2005. Gillnet mesh selectivity for the shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) from fishery-dependent data in the artisanal ray fishery of the Gulf of California, Mexico. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* (35): 443–452.
- Márquez-Farías JF. 2007. Reproductive biology of the shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus*, from eastern Gulf of California, Mexico. *Mar. Biol.* 151: 1445–1454.
- Márquez-Farías JF, Castillo-Géniz JL, Rodríguez de la Cruz MC. 1998. Demografía del cazón pech, *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), en el sureste del Golfo de México. *Cienc. Mar.* 24:13–34.
- Moulton PL, Walker TI, SR Sadlier. 1992. Age and growth studies of gummy shark, *Mustelus antarcticus* (Gunther), and school shark, *Galeorhinus galeus* (Linnaeus), from southern Australian waters. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 43: 1241–1267.
- Musick JA (ed.). 1999. *Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-Lived Marine Animals*. American Fisheries Society Symposium No. 23, Bethesda, Maryland.
- Musick JA. 2005. Introduction: Management of sharks and their relatives (Elasmobranchii). Pp 1–5. Musick JA, Bonfil R (eds.), *Management Techniques for Elasmobranch Fisheries*. FAO Fisheries Technical Paper No. 474. Rome, 251 pp.
- Pérez-Mellado J, Findley LT. 1985. Evaluación de la ictiofauna acompañante del camarón comercial capturado en las costas de Sonora y norte de Sinaloa, México. In: Yáñez-Arancibia A (ed.), *Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón*. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de la Pesca, México, pp. 201–253.
- Rojo-Vázquez JA, Arreguín-Sánchez F, Godínez-Domínguez E, Ramírez-Rodríguez M. 1999. Selectividad de las redes agalleras para el pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) y el pargo alazán (*L. argentiventris*) en Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Cienc. Mar.* 25: 145–152.
- SAGARPA. 2007. *Anuario Estadístico de Pesca 2006*. México, Distrito Federal.

- Salazar-Hermoso F, Villavicencio-Garayzar C. 1999. Abundancia relativa de la guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856) (Pises: Rhinobatidae) en Bahía Almejas, Baja California Sur, de 1991 a 1995. *Cienc. Mar.* 25: 401–422.
- Stevens JD. 1999. Variable resilience to fishing pressure in two sharks: The significance of different ecological and life history parameters. In: Musick JA (ed.), *Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-lived Marine Animals*. American Fisheries Society Symposium No. 23, Bethesda, Maryland, pp. 11–15.
- Walker TI. 1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Mar. Freshw. Res.* 49: 553–572.
- Walker TI. 2005a. 13. Management measures. In: *Management Techniques for Elasmobranch Fisheries*. FAO Fisheries Technical Paper 474, pp. 216–242.
- Walker TI. 2005b. Reproduction in fisheries science. In: Hamlett WC (ed.), *Reproductive Biology and Phylogenia of Chondrichthyes: Sharks, Batoids, and Chimaeras*. Science Publishers, Enfield, NH, pp. 81–127.
- Walker TI. 2007. Spatial and temporal variation in the reproductive biology of gummy shark *Mustelus antarcticus* (Chondrichthyes: Triakidae) harvested off southern Australia. *Mar. Freshw. Res.* 58: 67–97.
- Walker TI, Taylor BL, Hudson RJ, Cottier JP. 1998. The phenomenon of apparent change of growth rate in gummy shark (*Mustelus antarcticus*) harvested by gill net and hooks off southern Australia. *Fish. Res.* 39: 139–163.

*Received December 2010;
accepted April 2011.*