



**CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S. C.**

Programa de Estudios de Posgrado

**DEMOGRAFÍA DEL PEZ GUITARRA, *Rhinobatos productus*
(AYRES, 1854), DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

**Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Pesquerías)**

Presenta

J. Fernando Márquez Farías

La Paz, Baja California Sur, .octubre 2007

COMITÉ TUTORIAL Y JURADO

Dra. Juana López Martínez
Director
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Unidad Sonora

Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata
Co-Director
Instituto Nacional de la Pesca

Dr. Daniel Lluch Cota
Co-Tutor
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. Gregor M. Cailliet
Co-Tutor
Moss Landing Marine Laboratories, EUA

Dr. Alfredo González Becerril
Co-Tutor
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:30 horas del día 27 del Mes de Septiembre del 2007, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

DEMOGRAFÍA DEL PEZ GUITARRA, *Rhinobatos productus* (AYRES, 1854), DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Presentada por el alumno:

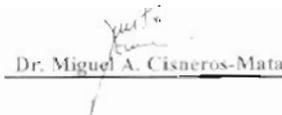
Juan Fernando Márquez Farías

Aspirante al Grado de **DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN**
Pesquerías

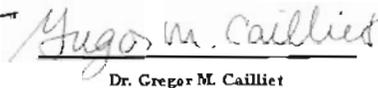
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA


Dra. Juana López Martínez


Dr. Miguel A. Cisneros-Mata


Dr. Daniel Lluich Cota


Dr. Gregor M. Cailliet


Dr. Alfredo González Becorri


Dra. Thelma Rosa Castellanos Cervantes
Directora de Estudios de Posgrado

SUPLENTE

Dr. Enrique Morales Bojorques
Instituto Nacional de la Pesca

RESUMEN

El pez guitarra, *Rhinobatos productus* (Ayres, 1856) es la especie pez guitarra más abundante capturada en pesquerías del Pacífico de México (especialmente Sonora), principalmente en aguas someras. Este estudio analiza diferencias entre aspectos biológicos de las poblaciones del Pacífico y golfo de California. Los objetivos del presente estudio fueron: 1) determinar la biología reproductiva; 2) describir su pesquería; 3) estimar los parámetros poblacionales y su productividad en relación a su resiliencia potencial a la pesca. Los especímenes de *R. productus* fueron examinados a partir de desembarques de la pesca artesanal de rayas en diferentes localidades de Sonora durante 1998 a 2005 y de captura incidental de cruceros de investigación en camaroneros arrastreros conducidos por el Instituto Nacional de la Pesca. Al analizar la captura por viaje se determinó un patrón estacional, mostrando un marcado pico de abundancia a finales de la primavera y el verano. Un modelo basado en máxima-verosimilitud, utilizado para estimar los parámetros de selectividad para la guitarra, produjo los parámetros $\theta_1 = 105.7$ y $\theta_2 = 21\ 741$ para aberturas de malla de 3.5, 5, 6, 8, y 8.5 pulgadas. La frecuencia de longitudes y la relación peso-longitud fueron analizadas por sexo (incluyendo hembras grávidas). La longitud y la madurez fueron utilizadas para determinar las ojivas de madurez de machos y hembras, y para calcular la longitud de madurez al 50%. Los embriones y su saco vitelino fueron medidos y analizados en función de los meses para describir el patrón anual de desarrollo. Para los machos, el desarrollo de los claspers y testículos indicó que las guitarras alcanzan la madurez a los 53 cm. LT. La madurez de las hembras, caracterizada por óvulos amarillos en el ovario, tamaño de la glándula oviducal, ancho del útero, además de la evidencia de gravidez, capsulas blastodicas depositadas en útero y presencia de embriones, indicaron que las hembras >57 cm. TL ya están maduras. Esta especie tiene dos ovarios funcionales, y el ciclo del ovario y la gestación son concurrentes. El análisis histológico de las glándulas oviducal no mostró evidencia de almacén de esperma, pero las hembras con cápsulas uterinas fueron observadas por periodos extensos de tiempo, lo cual sugiere la posibilidad de diapausa al inicio del desarrollo embrionario. Después de un desarrollo embrionario de 4-5 meses, el nacimiento se da a finales de junio y octubre, con un periodo de gestación de 11-12 meses. El ancho del saco vitelino se correlaciona inversamente con la longitud del embrión. La tasa de reducción del saco vitelino sugiere que el embrión depende del saco hasta su nacimiento. La fecundidad promedio se estimó en 5 (intervalo 1-10, d.s. = 2.24) con proporción sexual 1:1. La talla promedio de nacimiento fue de 175 mm LT. Estacionalmente, las hembras grávidas se aproximan a las aguas someras para alumbrar, siendo extremadamente vulnerables a las redes de enmalle utilizadas en la pesquería artesanal de rayas. Estimaciones de crecimiento, fueron determinadas examinando las secciones con un microscopio de disección de luz transmitida, observado las bandas anchas y delgadas las cuales representan el verano e invierno, respectivamente. Las bandas fueron contadas dos veces por espécimen, y la precisión de las lecturas fue analizada con el porcentaje promedio de error (APE). La formación estacional fue aproximada con un Análisis del Incremento Marginal Relativo (MIR). Las estimaciones de edad variaron de 0 a 8 años para machos y de 0 a 10 años para hembras. Los parámetros de crecimiento se estimaron por medio de la lectura de las bandas de crecimiento en las vértebras.

Con la información de crecimiento, reproducción y de una estimación teórica de la tasa instantánea de mortalidad natural (M) en base anual, se construyó una matriz de Leslie para hembras a fin de calcular los parámetros demográficos de la población bajo cuatro escenarios hipotéticos. Los escenarios incluyen el efecto de M constante y variable a partir de la talla de primera madurez (E_{pm}); y el efecto de considerar la madurez como “filo de navaja” a partir de E_{pm} y la ojiva de madurez. Los parámetros de crecimiento fueron estimados por medio de la lectura de bandas de crecimiento de la vértebra. Se obtuvieron secciones delgadas de cada vértebra utilizando una cortadora Isomet de baja velocidad. Cada sección fue montada en porta-objetos de vidrio con resina transparente. Dos modelos de crecimiento fueron empleados, el de von Bertalanffy y el de Gompertz, ambos con intercepto en la talla de nacimiento (L_0), y fueron ajustados a datos observados de talla-edad para cada sexo. Se realizaron enfoques frecuentistas (determinísticos) y Bayesianos (probabilísticos) para estimar los parámetros de crecimiento en cada modelo. El procedimiento de ajuste se realizó para dos (L_∞ and k) y tres (L_∞ , k and L_0) parámetros. Cada caso fue evaluado con una función de máxima verosimilitud, con la suma de diferencias cuadradas y con el criterio de información de Akaike (AIC). El valor adoptado como mejor ajuste fue el del modelo de von Bertalanffy con enfoque Bayesiano con los parámetros para machos $L_\infty = 62.9$ cm LT, $k = 0.44/\text{año}$, $L_0 = 20.59$ cm. LT ($t_0 = -0.90$ años), y para hembras $L_\infty = 90.4$ cm LT, $k = 0.181/\text{año}$, $L_0 = 20.3$ cm. LT, ($t_0 = -1.41$ años). Con información de edad/crecimiento (v.g.: longevidad), reproducción (v.g.: edad de primera madurez, E_{pm} ; y fecundidad), y una estimación teórica de mortalidad natural anual ($M = 0.42$), se construyó una matriz de Leslie determinística para calcular la tasa neta reproductiva ($R_0 = 1.58$), tiempo generacional ($G = 6.46$), tasa finita de crecimiento ($\lambda = 1.074$) y el tiempo de duplicación de la población ($tx_2 = 9.72$ años). Estos parámetros demográficos fueron determinados considerando cuatro escenarios variando M y E_{pm} . El escenario 4 (reducción de M a la mitad ($M = 0.42 \times 0.5$) y el efecto de la ojiva de madurez fue el mejor caso. El resultado de variar valores hipotéticos de mortalidad por pesca (F) y edad de primera captura ($E_{pc} = 0$ años) mostró que solo un nivel de $F = 0.0713$ permitiría mantener el equilibrio de la población ($\lambda = 1$). Al aumentar la E_{pc} al nivel de E_{pm} , el equilibrio se alcanza con un valor de $F = 0.2$. El análisis de elasticidad indicó que la contribución relativa para el ajuste de la fertilidad, supervivencia de juveniles y supervivencia de adultos fue 15%, 47% y 37%, respectivamente. Con base en estas estimaciones, se considera que la población de *R. productus* representa una especie de bajo potencial reproductivo como ha sido descrito para otros elasmobranchios. El valor reproductivo (V_x) del mejor escenario (4) sugiere que los individuos que contribuyen mayormente a la tasa de crecimiento de la población son los de 4 y 5 años de edad. Las características de la pesquería y los aspectos demográficos derivados del presente estudio sugieren que dada la selectividad de los sistemas de captura, es posible que la tasa de explotación actual no es sostenible a largo plazo para la población de *R. productus*. Se vislumbran restricciones específicas de las aberturas de malla de las redes, así como zonas y temporadas de no pesca como alternativas de regulación para proteger la salud de la población.

ABSTRACT

The shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus* (Ayres, 1856) is the most abundant guitarfish caught in Mexican Pacific fisheries (especially Sonora), mainly in coastal shallow waters. This study analyzed differences in life history of the Pacific and Gulf of California populations. The objectives of the present study were to: 1) determine its reproductive biology; 2) describe its fishery; and 3) estimate its population parameters and productivity, relative to its potential resilience to fishing. Specimens of *R. productus* were examined from landings in Sonora's artisanal ray fishery during 1998-2005, and from incidental catch of research cruises of shrimp trawlers of the Instituto Nacional de la Pesca. Catch per trip were analyzed for seasonal patterns, and showed a marked peak of abundance in late spring and summer. A likelihood-based model used to estimate the selectivity parameters for this guitarfish produced the parameters $\theta_1 = 105.7$ and $\theta_2 = 21741$ for 3.5, 5, 6.8, and 8.5 inch mesh sizes. Size frequency and weight-length relationships were analyzed by sex (including pregnant females). Length and maturity were used to determine maturity ogives for males, females and to calculate the 50% maturity length. Embryos and their yolk sac were measured and analyzed as a function of month to describe the annual pattern of development. For males, the development of claspers and testes indicated that they first reach maturity at 53 cm TL. Female maturity, characterized by yellow ova in the ovary, size of oviducal glands, uterus width, plus evidence of pregnancy, blastodisc capsules deposited in the uterus, and presence of embryos, indicated that females >57 cm TL are mature. This species has two functional ovaries, and the ovarian cycle and gestation run concurrently. Histological analyses of oviducal glands did not provide evidence of sperm storage, but females carrying uterine capsules were observed over an extended period, suggesting the possibility of diapause in the early embryonic development. Following 4–5 months of embryonic growth, neonates were typically born from late June to October after a gestation period of approximately 11–12 months. Width of yolk sac was inversely related to embryo length. The rate of reduction of yolk sac width suggests that embryos depend on the sac until birth. Mean fecundity is 5 (range 1–10, s.d. = 2.24) with a 1:1 sex ratio. Average size at birth was 175 mm TL. Seasonally, gravid females enter shallow waters for parturition, becoming extremely vulnerable to gill nets used in the artisanal ray fishery. Age estimates were determined by examining the sections with dissecting microscope with transmitted light and broad and narrow bands were observed representing summer and winter growth, respectively. Bands were counted at least twice per specimen and precision analyzed using average percent error (*APE*). Seasonal formation of growth bands was studied using the relative marginal increment analysis (*MI*). Vertebral age estimates ranged from 0 to 8 years for males and 0 to 10 years for females. Growth parameters were estimated from growth bands in sagittal sections of vertebral centra. Two growth models, the von Bertalanffy and the Gompertz, were used, both with size-at-birth intercept (L_0), and were fitted to sex-specific observed size at-age data. Frequentist (deterministic) and Bayesian (probabilistic) analyses estimated the growth parameters in each model. The fitting procedures were done with two (L_∞ and k) and three parameters (L_∞ , k and L_0). Each case was evaluated by the maximum likelihood function, least square error and the Akaike Information Criteria (*AIC*). The values adopted as the best fit were from the von Bertalanffy growth model under Bayesian approach, with male

parameters $L_{\infty} = 62.9$ cm TL, $k = 0.44$ /year, $L_0 = 20.59$ cm TL ($t_0 = -0.90$ years), and females $L_{\infty} = 90.4$ cm TL, $k = 0.181$ /year, $L_0 = 20.3$ cm TL, ($t_0 = -1.41$ years). Using parameters on age/growth (ie.: life span), reproduction (ie.: age at first maturity, A_{fm} ; and fecundity) and a theoretical estimation of annual natural mortality ($M = 0.42$), a deterministic Leslie matrix was constructed to calculate the net reproductive rate ($R_0 = 1.58$), generation time ($G = 6.46$), finite growth rate ($\lambda = 1.074$) and doubling time ($tx2 = 9.72$ years). These demographic parameters were estimated under four hypothetical scenarios, varying M and A_{fm} values. Scenario 4 (reduction of M by half ($M = 0.42 \times 0.52$) and including the effect of the maturity ogive) was the best case. Results of varying hypothetical values of fishing mortality (F) and age at first capture ($A_{fc} = 0$ years) showed that only a level of $F = 0.0713$ allows population be in equilibrium ($\lambda = 1$). Increasing A_{fc} to A_{fm} , the equilibrium is reached with $F = 0.2$. The elasticity analysis indicated that the relative contribution to fitness of the fertility, juvenile survival and adult survival was 15%, 47% y 37%, respectively. Thus, the population of *R. productus* has low reproductive potential as has been described for other elasmobranchs. The reproductive value (V_x) suggests that individuals that contribute the most to the growth rate of the population are of 4 and 5 years. The characteristics of the fishery and the demographic aspects of the present study suggest that, given the selectivity of the fishing gears, it is possible that the current exploitation rate is not sustainable in the long term for the population of *R. productus*. Mesh sizes, zone and area restrictions are identified as alternative regulation to protect the health of the stock.

DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo a la vida y labor de mi madre, quien murió durante estos estudios de doctorado. Mamá, se que hubieras sonreído por esto. Te extraño.

De igual manera, dedico este trabajo a mi Padre Gerardo Márquez Jasso y a mis queridos hermanos por su inmenso apoyo de siempre.

A mi querida esposa Martha Rosales quien se aseguro que pudiera terminar este trabajo, y a mi cazón Fernando, con amor.

De manera muy especial, quiero dedicar este estudio al M. en C. Fernando J. Rosales Juárez y a la M. en C. Ma. Concepción Rodríguez de la Cruz, por su ejemplo e inspiración.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis tutores Dra. Juana López y Dr. Miguel Cisneros, y miembros del comité Dr. Gregor Cailliet, Dr. Alfredo González, Dr. Daniel B. Lluch por su apoyo y confianza, todos ellos amigos y colegas, ¡Gracias!

Se extiende el agradecimiento a las instituciones SAGARPA-CONACYT quienes por medio del financiamiento del proyecto “Evaluación del impacto que ocasionan las redes de arrastre para camarón y escama demersal en los fondos marinos del golfo de California” con No. de registro: 089, fue posible cubrir parte de los objetivos planteados en este estudio.

Al Dr. Miguel A. Cisneros Mata por su apoyo de siempre y su entusiasmo por ver terminado este trabajo. Gracias Miguel por tu ayuda desde donde estuviste.

Al profesor Gregor M. Cailliet por su confianza y apoyo a pesar de la gran dificultad del idioma y la distancia. Greg, es un honor para mí haber sido su estudiante.

Al Dr. Daniel B. Lluch Cota también por su apoyo y por haber recomendado atinadamente no extender más el proyecto durante la etapa de propuesta, lo cual seguramente nunca hubiera terminado. Gracias Daniel.

Al Dr. Alfredo González Becerril por apoyarme y acompañarme desde la maestría y ahora el doctorado. Gracias Alfredo por ofrecerme el “rato relajado de mis estudios” y hacerme ver las cosas menos difíciles en este proyecto.

Al Dr. Guillermo Compeán y Luis Beléndez por el apoyo institucional brindado.

Al Dr. Enrique Morales por su asesoría en el tópico selecto de análisis multivariado.

A mis queridos amigos y colegas Wade Smith y Joe Bizzarro por su apoyo durante mi estancia en Moss Landing Marine Laboratories. Gracias Wade por tu asesoría en la técnica para la determinación de edad.

A la Dra. Thelma Castellanos, Osvelia Ibarra, y Betty Gálvez de la Dirección de Posgrado del CIBNOR por su siempre amable consideración a mi persona por vivir fuera de La Paz, y por su flexibilidad administrativa cuando fue posible. A Eduardo Balart y personal del Laboratorio de Ictiología del CIBNOR-La Paz por su apoyo durante los primeros cortes de las vértebras para la determinación de edad. A Leticia Peraza Millán del CIBNOR-Guaymas por su amable apoyo con tramites que hubieran sido difíciles para mí durante mi estancia en Guaymas. Al Profesor Ira Fogel por su enseñanza y apoyo en la edición inicial del artículo del anexo 1.

Dra. Yanira Green y Alfredo por su apoyo y asesoría en las instalaciones del Laboratorio de Edad y Crecimiento del CRIP-Mazatlán.

Dr. Casimiro Quiñónez, Dr. Felipe Galván y Dra. Sofía Ortega de CICIMAR por su participación y orientación en el examen predoctoral.

Al M. en C. Lázaro Cadena Cárdenas y M. en C. Pilar Blanco, por su valiosa ayuda en el muestreo de campo y la colecta de vértebras.

A Humberto Ortega, Ricardo Rojas, Maritza Serrano y Gracia Salas por su ayuda en el laboratorio y apoyo en el corte, pulido, y fotografías de vértebras, gracias.

CONTENIDO

1. Introducción	22
2. Antecedentes	24
2.1 Contexto internacional.....	24
2.2 Contexto nacional	25
2.3 La pesquería artesanal de rayas.....	25
2.3.1 Desarrollo de la pesquería de rayas en el golfo de California	26
2.3.2 Producción de rayas en el golfo de California.....	27
2.4 Sinopsis biológica de la especie.....	29
2.4.1 Taxonomía.....	29
2.4.1.1 <i>Afinidades</i>	29
2.4.1.2 <i>Morfología</i>	30
2.4.2 Distribución.....	31
2.4.3 Generalidades de la historia natural.....	33
2.4.4 Hábitat	33
2.4.5 Tamaño.....	34
2.4.6 Reproducción.....	34
2.4.6.1 <i>Desarrollo</i>	34
2.4.6.2 <i>Madurez</i>	34
2.4.6.3 <i>Apareamiento</i>	35
2.4.6.4 <i>Fertilización y fecundidad</i>	36
2.4.6.5 <i>Gónadas</i>	36
2.4.6.6 <i>Alumbramiento</i>	38
2.4.6.7 <i>Área de crianza</i>	38
2.4.7 Migración y movimientos locales.....	39
2.4.8 Estructura espacial poblacional	40
3. Objetivo general	41
3.1 Objetivos específicos	41
4. Área de estudio	42
4.1 Morfología y Topografía.....	42
4.2 Dinámica Oceánica	45
4.3 Mareas.....	47
5. Material y métodos	48
5.1 Prospecciones de campo y muestreo biológico.....	48
5.2 Abundancia estacional	49
5.3 Selectividad de las redes de enmalle.....	50
5.4 Longitudes, pesos y aspectos reproductivos	53
5.4.1 Relación peso-longitud	53
5.4.2 Biología reproductiva	53
5.4.2.1 <i>Proporción de madurez</i>	54
5.4.2.2 <i>Crecimiento embrionario</i>	56
5.5 Edad y crecimiento	57

5.5.1 Relación entre el diámetro de la vértebra y la talla	58
5.5.2 Lectura de bandas de crecimiento	58
5.5.3 Verificación y precisión de las lecturas	59
5.5.4 Incremento marginal.....	59
5.5.5 Parámetros de crecimiento.....	60
5.6 Demografía	65
5.6.1 Parámetros demográficos	66
5.6.2 Análisis de perturbación	69
5.6.3 Modelación.....	70
6. Resultados	72
6.1 Aspectos de la pesquería.....	72
6.1.1 Unidades de pesca, sistemas de captura y faenas de pesca.....	72
6.1.2 Diversidad de especies en las capturas	74
6.1.3 Esfuerzo de pesca estacional y por zona.....	76
6.1.4 Captura por zona.....	77
6.1.5 Participantes en la pesquería, captura incidental y aspectos socioeconómicos	81
6.2 Selectividad de las redes de enmalle.....	83
6.3 Interacción entre la selectividad y la madurez	85
6.4 Biología.....	89
6.4.1 Peso y longitud	89
6.4.2 Madurez sexual.....	91
6.4.3 Fecundidad	97
6.4.4 Periodo reproductivo, desarrollo embrionario y gestación.....	98
6.5 Edad y crecimiento	100
6.5.1 Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total.....	100
6.5.2 Evaluación del error de lectura.....	100
6.5.3 Incremento marginal.....	102
6.5.4 Parámetros de crecimiento.....	103
6.6 Demografía	110
6.6.1 Determinación de los parámetros demográficos.....	110
6.6.1.1 Tasa neta reproductiva.....	112
6.6.1.2 Tiempo generacional.....	112
6.6.1.3 Tasa de crecimiento de la población.....	113
6.6.1.4 Tiempo de duplicación de la población.....	113
6.6.1.5 Valor reproductivo.....	113
6.6.1.6 Distribución estable por edades.....	114
6.6.2 Análisis de perturbación	115
6.6.2.1 Análisis de sensibilidad.....	115
6.6.2.2 Análisis de elasticidad.....	115
6.6.3 Efecto de la pesca sobre los parámetros demográficos	117
7. Discusión.....	120
7.1 Aspectos biológicos y pesqueros	120
7.2 Edad y crecimiento	125
7.3 Demografía	130
8. Conclusiones.....	135
9. Referencias	137

10. Anexos.....	148
------------------------	------------

ABREVIATURAS

CITES	Convención Internacional para el Comercio de Especies en Peligro de Flora y Fauna
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
PANMCT	Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México
IPOA-Sharks	International Plan of Action
NPOA-Sharks.	National Plan of Action
CONAPESCA	Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura
MLML	Moss Landing Marine Laboratories
CIBNOR	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
CRIP	Centro Regional de Investigación Pesquera
APE	Average Percent Error (Porcentaje Promedio de Error)
IM	Incremento Marginal
SIR	Sampling Importance Resampling
VE	Valor Esperado
SF	Factor de Estandarización
CSIRO	CommonWealth Scientific and Industrial Research Organization
CICESE	Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

Lista de Figuras

Pag.

Figura 1. Series de producción de rayas y similares de los estados del golfo de California (incluyendo costa occidental de la península de Baja California). Fuente: Anuarios Estadísticos de Pesca, CONAPESCA 2003.	28
Figura 2. Guitarra común, <i>Rhinobatos productus</i> , del golfo de California.	30
Figura 3. Distribución de la guitarra, <i>Rhinobatos productus</i> , de acuerdo con la FAO (1995). Zonas de mayor abundancia en el Pacífico Mexicano (a) y dentro del golfo de California (b).	32
Figura 4. Comparación del tamaño de los claspers de organismos juveniles (a) y adultos (b) de <i>Rhinobatos productus</i> .	35
Figura. 5. Comparación del tamaño de los testículos de organismos juveniles (a) y adultos (b) de <i>Rhinobatos productus</i> . Escala 10 mm	37
Figura 6. Provincias topográficas del golfo de California propuestas por Rusnak <i>et al.</i> (1964). Modificado de Tovilla (1991).	43
Figura 7. Zonas de pesca de rayas para las localidades de El Choyudo, El Sahuimaro y Bahía de Kino, Sonora (Zonas II y III). La tabla de la derecha muestra las coordenadas de cada zona y los números progresivos indican los puntos de unión de cada polígono.	49
Figura 8. Región del espécimen de donde se extrajeron las vértebras (marca negra).	57
Figura 9. Vértebra de la guitarra, <i>R. productus</i> . I = intermedialia, CC = corpus calcareum, RV = Radio de la vértebra. DO = distancia de la última marca a la orilla de la vértebra, AUB = ancho de la última banda. Los números representan las edades y la marca de crecimiento es n.	60
Figura 10. Matriz de transición A compuesta por elementos a_{ij} que representan la probabilidad de clase de edad j aporte o contribuya a la clase de edad i .	65
Figura. 11. Componentes de la Matriz de transición. F = tasa de reclutamiento per-capita, P = probabilidad de supervivencia anual de la edad x a la $x+1$.	66
Figura 12. Proporción de la captura (%) del pez guitarra, <i>R. productus</i> , por zona y trimestre. La gráfica de barras expresa la proporción del número de viajes de pesca con diferente abertura de malla durante 1999.	78
Figura 13. Patrón estacional de la captura del pez guitarra, <i>R. productus</i> , por zona durante 1999. Captura nominal por viaje (a). Captura por viaje omitiendo valores extremos para destacar el patrón (b).	79

Figura 14. Distribución de frecuencia relativa de la captura de la guitarra, <i>R. productus</i> , por trimestre (a) y por zona (b) durante 1999.	80
Figura 15. Curvas de selectividad de las redes de enmalle utilizadas en la pesca artesanal de rayas para la captura de la guitarra, <i>R. productus</i> , en Sonora.	84
Figura 16. Distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra, <i>R. productus</i> , capturada por la flota artesanal de Sonora (a). Comparación de la distribución de frecuencia de longitudes de machos y hembras (barras blancas) con los machos (líneas) y los machos maduros (barras negras) (b). Comparación de la distribución de frecuencia de longitudes de machos y hembras (barras blancas) con las hembras (líneas) y las hembras maduras (barras negras) (c).	87
Figura 17. Distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra, <i>R. productus</i> , capturada con redes de enmalle de diferentes aberturas de malla utilizados en la pesquería artesanal de Sonora. Las líneas representan a los machos (a-e) y hembras (f-j) de la población y las barras negras a los individuos maduros de cada sexo.	88
Figura 18. Relación entre la longitud total y el peso (entero) para machos (a) y hembras (b) del pez guitarra, <i>R. productus</i> .	90
Figura 19. Relación entre la longitud total y la longitud del clasper de la guitarra, <i>R. productus</i> . Los puntos negros representan a los organismos maduros.	91
Figura 20. Relación entre la longitud total y la longitud del testículo de la guitarra, <i>R. productus</i> . Los puntos negros representan a los organismos maduros.	92
Figura 21. Corte transversal del testículo de la guitarra, <i>R. productus</i> , mostrando las agrupaciones de esperma (S).	92
Figura. 22. Tracto reproductor de la guitarra, <i>R. productus</i> , mostrando las agrupaciones de esperma (S); ostium (Os); oviducto superior (Uo); ovario (Ov) conteniendo ovocitos en crecimiento (voo) y óvulos maduros (mo); glándula oviducal (go); útero (u) conteniendo óvulos fertilizados (cápsulas uterinas); vagina (Va). El órgano epigonal fue removido del tracto para mayor apreciación. Escala = 5 cm.	94
Figura 23. Relación entre la longitud total y el diámetro del óvulo más grande de la guitarra, <i>R. productus</i> .	95
Figura 24. Relación entre la longitud total y el ancho de la glándula oviducal de la guitarra, <i>R. productus</i> .	95
Figura 25. Corte transversal de la glándula oviducal de la guitarra, <i>R. productus</i> , sin rastros de almacenamiento de esperma.	96
Figura 26. Relación entre la longitud total y el ancho del útero de la guitarra, <i>R. productus</i> .	96

Figura 27. Proporción de madurez en función de la longitud para machos (círculos) y hembras (cuadros) de la guitarra, <i>R. productus</i> . La línea punteada es el 50% de madurez o talla crítica.	97
Figura 28. Desarrollo del embrión. (a) Crecimiento embrionario (líneas verticales) y ancho del saco vitelino (cuadros). (b) Relación entre el peso del embrión (W) y la longitud total (LT) (puntos negros), y relación entre el índice, <i>I</i> , de consumo (ancho del saco vitelino/LT embrión) y la longitud total del embrión. El índice, <i>I</i> , representa la tendencia del consumo del vitelo durante el crecimiento del embrión.	99
Figura 29. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total de la guitarra, <i>R. productus</i> , mostrando la línea de regresión (continua), el intervalo de confianza de la regresión (punteada larga) y el intervalo de confianza de los datos (punteada corta).	100
Figura 30. Patrón del incremento marginal en las vértebras de <i>R. productus</i> . Las barras representan el intervalo de confianza (95%). Los rombos representan el valor promedio.	102
Figura 31. Relación entre los parámetros de crecimiento (L_{∞} , k y L_0) que resultaron de la simulación con el algoritmo <i>SIR</i> .	105
Figura 32. Distribución de la probabilidad posterior de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy (L_{∞} , k y L_0) que resultaron de la simulación con el algoritmo <i>SIR</i> .	106
Figura 33. Comparación de las curvas de crecimiento de machos (a) y hembras (b) que resultaron del ajuste frecuentista y el ajuste Bayesiano con dos y tres parámetros. La línea más gruesa representa el mejor caso. El valor de los parámetros se presenta en la Tabla IX.	108
Figura 34. Curvas de crecimiento de machos (a) y hembras (b) y valores observados de la lectura de bandas de crecimiento de la guitarra, <i>R. productus</i> , del golfo de California. Las barras verticales representan los máximos y mínimos de las longitudes de cada grupo de edad. La curva de crecimiento representa el mejor caso que corresponde al ajuste Bayesiano con tres parámetros utilizando la función de von Bertalanffy. Ver Tabla IX.	109
Figura 35. Supervivencia, lx (a) y tasa reproductiva, l_{mx} (b) de la guitarra, <i>R. productus</i> . Los números son los escenarios contemplados.	111
Figura 36. Valor reproductivo (Vx) de la guitarra, <i>R. productus</i> , del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por grupo de edad.	114
Figura 37. Distribución estable por edades (Cx) de la guitarra, <i>R. productus</i> , del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por clase de edad.	115
Figura 38. Sensibilidad a la edad (Sx) de la guitarra <i>R. productus</i> del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por clase de edad.	116

- Figura 39. Elasticidad a la edad (E_x) de la guitarra, *R. productus*, del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por clase de edad. 116
- Figura 40. Superficie de respuesta de la tasa neta reproductiva (R_0) y el tiempo generacional (G) ante variaciones de mortalidad por pesca (F) y edad de primera madurez (E_{pc}). Se presentan las isopletras respectivas de cada parámetro. 118
- Figura 41. Superficie de respuesta de la tasa de crecimiento (λ) y el tiempo de duplicidad poblacional (tx_2) ante variaciones de F y E_{pc} . Se presentan las isopletras respectivas de cada parámetro. 119

Tabla I. Posición taxonómica del pez guitarra, <i>Rhinobatos productus</i> , con respecto a las rayas (batoidea). De acuerdo con McEachran y Aschliman (2004).	30
Tabla II. Dimensión y características de los sistemas de captura utilizados para la pesca de elasmobranquios (rayas y tiburones) en el golfo de California.	73
Tabla III. Porcentaje de la captura y diversidad de especies cuantificadas durante las prospecciones de la pesca artesanal de Sonora durante 1998 y 1999. P= Primavera; V= Verano; O= Otoño; I = Invierno.	75
Tabla IV. Inventario taxonómico de las rayas de importancia comercial en la pesquería artesanal de rayas de Sonora. Clasificación de acuerdo a McEchran y Aschliman (2004).	76
Tabla V. Número de rayas medidas y contadas, número de viajes por panga contados y factor de estandarización (SF) para cada paño con diferente abertura de malla.	83
Tabla VI. Número de <i>R. productus</i> capturado por cada 10 viajes, en intervalos de 5 cm por cada paño con diferente abertura de malla.	84
Tabla VII. Porcentaje promedio de concordancia de las lecturas y conteo de las bandas de crecimiento por sexo y por intervalo de clase de longitud LT cada 5 cm. El porcentaje de concordancia se presenta para lecturas sin diferencia (0), con diferencia de (± 1) y (± 2). Los valores en paréntesis son los casos en número.	101
Tabla VIII. Resultado de la prueba de curvas coincidentes (CC) y prueba de razón de verosimilitud (RV) para las estimaciones frecuentista y Bayesiana (Bayes), utilizando el modelo de von Bertalanffy (VB) y el modelo de Gompertz. # Par = número de parámetros.	103
Tabla IX. Valor esperado de los parámetros de crecimiento obtenidos, considerando estimación frecuentista (Frec) y Bayesiana (Bayes) utilizando el modelo de von Bertalanffy (VB) y el modelo de Gompertz. # Par = número de parámetros, n= pares de datos edad-talla, ssq= mínimos cuadrados, Ver= verosimilitud, AIC (Criterio de Información de Akaike).	107
Tabla X. Valor de los parámetros demográficos de los cuatro escenarios contemplados para la guitarra, <i>R. productus</i> , del golfo de California.	112
Tabla XI. Proporción de la elasticidad (<i>Ex</i>) en la fertilidad y supervivencia de juveniles ya adultos para cada escenario.	117

Relación de Anexos

Anexo 1 Reproductive biology of shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) from the eastern Gulf of California, México.

Anexo 2 Gillnet mesh selectivity for the shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) from fishery-dependent data in the artisanal ray fishery of the Gulf of California, México.

Anexo 3 Matriz de Leslie del escenario 4 (mejor caso) de el pez guitarra (*Rhinobatos productus*) del golfo de California, México.

Anexo 4 Interacción madurez-selectividad en el pez guitarra (*Rhinobatos productus*) del golfo de California, México

1. Introducción

Los peces elasmobranquios o Condrichthios se encuentran distribuidos en todos los océanos del mundo, y en un amplio rango de profundidades: desde aguas someras hasta 200 m (55%), en la plataforma continental (35%), en zona oceánica (2%) y en ambientes variados (8%) (Compagno 1990). Los tiburones y las rayas exhiben una extraordinaria diversidad en tamaños, formas, conductas, biología y ecología. Un aspecto particularmente interesante de los elasmobranquios es la reproducción, ya que se han reconocido por lo menos cinco formas de reproducción entre los tiburones y rayas (Wourms 1977; 1981; Compagno 1990; Wourms y Demski 1993) y en términos generales, las formas de reproducción se pueden agrupar fundamentalmente en: ovíparos, vivíparos placentarios y vivíparos aplacentarios (también llamados ovovivíparos). Este último es una derivación de la viviparidad pero sin conexión con la placenta. A pesar de toda esta variedad de formas de reproducción, la mayoría de los tiburones son vivíparos (~70%) y una minoría ovípara. Por su parte, en las rayas las características reproductivas son menos variadas que en los tiburones ya que con excepción de los Rajiformes (que son ovíparos), el resto de los órdenes de rayas son vivíparos aplacentarios (incluyendo variantes).

A diferencia de otros recursos pesqueros que soportan una intensa explotación comercial, como la sardina y el camarón, las poblaciones de elasmobranquios pueden ser abatidas más fácilmente, inclusive con niveles modestos de mortalidad por pesca (Holden 1974; Walker 1998; Musick 1999). Lo anterior se debe esencialmente a los atributos biológicos de los elasmobranquios como son el lento crecimiento individual, alta longevidad, baja

fecundación, tardía madurez y una supuesta estrecha relación denso dependiente entre los reclutas y la población adulta. Como estrategia evolutiva, dichos atributos los asemejan más a mamíferos marinos que a los mismos peces, y son con frecuencia considerados como estrategias tipo *K* (MacArthur y Wilson 1967), especies con una tasa de renovación de la población muy baja, hecho que debe ser considerado con fines de conservación y manejo de las pesquerías de elasmobranquios (Cortés 2004).

Una situación característica de las pesquerías de elasmobranquios es la carencia de datos sobre esfuerzo de pesca y registros históricos de producción que permitan evaluar el estado de las poblaciones (Simpfendorfer 2004). Las evaluaciones de las poblaciones de tiburones han sido cuestionadas esencialmente por la insuficiencia de datos o por el uso de modelos que incorporan supuestos inválidos (Anderson 1990). Alternativamente, las poblaciones de elasmobranquios y sus pesquerías se han evaluado utilizando modelos demográficos. En las últimas dos décadas se ha propuesto (Hoenig y Gruber 1990) y enfatizado (Cortés 1998) que los análisis demográficos pueden ser útiles para la evaluación y el manejo de las poblaciones de tiburones y otros elasmobranquios (Cailliet 1992; Cailliet *et al.* 1992; Cortés, 1995, 1999, 2002, 2004, 2007; Cortés y Parsons 1996; Sminkey y Musick 1996; Au y Smith 1997; Smith *et al.* 1998; Márquez-Farías y Castillo-Géniz 1998, Márquez-Farías *et al.* 1998; Simpfendorfer 1999a,b; Simpfendorfer 2000; Brewster-Geisz y Millar 2000; Xiao y Walker 2000; Neer y Cailliet 2001; Mollet y Cailliet 2002; Frisk *et al.* 2002). Las técnicas demográficas utilizadas en dichos estudios requieren del conocimiento de la estrategia reproductiva como la proporción de madurez, fecundidad, gestación, frecuencia reproductiva; estimaciones confiables de edad y crecimiento para determinar la edad de madurez y longevidad (Cailliet y Goldman 2004); así como estimaciones de tasas de

supervivencia. De este modo, es posible determinar los parámetros demográficos para identificar el nivel de resistencia o resiliencia que puede tener una población, así como identificar sus puntos vulnerables a la mortalidad por pesca.

2. Antecedentes

2.1 Contexto internacional

A finales de los años ochentas y principios de los noventas se desató una creciente preocupación sobre la sustentabilidad de las pesquerías de tiburón en el mundo (Bonfil 1994; Rose 1996), consecuencia de la demanda de tiburón y otros subproductos (aletas) en el sudeste de Asia. De tal modo que en 1994 en la XIX Conferencia de Partes de CITES se adoptó la Resolución sobre el Tratado Internacional de las Especies de Tiburón (incluyendo rayas y quimeras). La FAO convocó a la comunidad científica de expertos en elasmobranquios para desarrollar el Plan de Acción Internacional para la Conservación y Manejo de los Tiburones (IPOA-Sharks) el cual fue adoptado en 1999. Los lineamientos del IPOA-Sharks (FAO, 2000) establecen que: *i*) las naciones que de alguna manera contribuyen con la mortalidad por pesca sobre poblaciones de tiburón deben participar en su conservación y manejo; *ii*) las pesquerías de tiburones deben ser manejadas de manera sostenida y *iii*) los descartes y desperdicios deben de ser minimizados. De este modo, el IPOA-Sharks solicita a las naciones tiburonerías la evaluación para implementar sus respectivos Planes Nacionales de Acción (NPOA-Sharks). Es así que México publicó su Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México (PANMCT) en el año 2004 (CONAPESCA-INP, 2004).

2.2 Contexto nacional

En México, los esfuerzos para regular el aprovechamiento de las especies de tiburones y rayas llevan más de 10 años. Después de un complicado y complejo proceso, el 14 de febrero del 2007 se publicó la Norma Oficial Mexicana-029, entrando en vigor el 15 de mayo del 2007. Este instrumento brinda las bases para regular el aprovechamiento de los tiburones y rayas de ambos litorales del país. Complementariamente, la autoridad pesquera, motivada por el compromiso con la FAO, elaboró el Plan Nacional de Acción que establece las directrices que garanticen una explotación responsable del recurso. No obstante los esfuerzos por regular la pesquería, el estado del conocimiento de los aspectos biológicos de las especies de importancia comercial en México es aun incipiente.

2.3 La pesquería artesanal de rayas

Al igual que otras pesquerías ribereñas de la región como la de jaiba, camarón y escama, por citar algunas, la pesquería artesanal de rayas del golfo de California es una actividad de suma relevancia socioeconómica en la región, que la ubica como una alternativa de subsistencia para cientos de familias de pescadores cuando otros recursos de mayor valor económico como la sierra (*Scomberomorus* spp.), jaiba (*Callinectes* spp.) y camarón escasean o se encuentran en veda. Esa actividad pesquera, al igual que otras de la misma naturaleza artesanal, representa una fuente generadora de empleo y alimento que opera con base en la abundancia estacional. La pesquería se realiza todo el año, con máximos de esfuerzo durante cuaresma. La composición de las capturas varía de acuerdo a la temporada, el método de pesca y la zona de operación. Durante el verano la mayoría de las

rayas se desplazan a zonas costeras de aguas someras para el alumbramiento. Cuando las rayas se acercan a la costa se vuelven extremadamente vulnerables a las redes utilizadas en la pesca artesanal (Márquez-Farías 2002; Bizzarro *et al.* 2006). En el golfo de California, las rayas no solamente son capturadas en la pesca artesanal, también forman parte importante de la fauna de acompañamiento en pesquerías de escama y de arrastre para el camarón, la cual puede ser de grandes dimensiones (Márquez-Farías 2002).

2.3.1 Desarrollo de la pesquería de rayas en el golfo de California

Comparada con la pesquería de tiburones que comenzó en la década de los 30's, la captura de rayas en México es una actividad relativamente nueva, aunque en la década de los 40's las grandes mantas (*Mobula* spp. y *Dasyatis* spp.) se capturaban junto con los tiburones para la obtención de vitamina "A" de su hígado. Sin embargo, no se tiene un registro de que la utilización con fines comerciales haya sido importante en la región del presente estudio (Cudney-Bueno y Turk-Boyer 1998). A finales de la década de los 80's, la demanda por manta en el país incrementó y los barcos de arrastre camaroneros comenzaron a comercializar las rayas que eran parte de la fauna de acompañamiento. A principios de los 90's, a raíz de la caída en la producción del tiburón bironche (*Rhizoprionodon longurio*) y su creciente demanda, los pescadores ribereños empezaron a dedicarse formalmente a su pesca (Cudney-Bueno y Turk-Boyer 1998).

En el Océano Pacífico, la pesca de rayas se desarrolló con la introducción de las redes agalleras de fondo en el Alto golfo de California, en donde los pescadores las utilizaban para la captura de peces de escama. La pesquería de rayas es artesanal (Márquez-Farías

2002) y de características muy similares a la pesquería del tiburón (Castillo-Géniz *et al.* 1998). Las rayas forman parte importante de la fauna de acompañamiento del camarón y su aprovechamiento se ha incrementado en los últimos años. Actualmente existen en Sonora comunidades pesqueras de diferentes tipos desde donde se dirige el esfuerzo de pesca a las rayas. Las características de dichas comunidades van desde poblados y ciudades de regular tamaño, como Yavaros, Guaymas, Bahía de Kino, Puerto Peñasco, hasta asentamientos con limitada infraestructura, como el Choyudo, El Cardonal, El Sahuimaro, entre otros (una figura ayudaría a quien no conozca la geografía de Sonora).

2.3.2 Producción de rayas en el golfo de California

Recientemente (CONAPESCA 2001) los tiburones y rayas dejaron de agruparse en los Anuarios Estadísticos de Pesca que publica la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). Ahora las rayas se reportan en un grupo aparte como “Rayas y similares”. De acuerdo con el Anuario Estadístico de Pesca (2003), el 83% de la producción total de la costa del Océano Pacífico durante 1999-2003 se dio en los estados que se encuentran en el golfo de California. El registro nacional oficial de las rayas inició con menos de 500 t. en 1986, alcanzando su máximo de 6,666 t. en 1996. Posteriormente, se presentó una disminución en las capturas registradas que llegó a 5,254 t. en el 2003 (Figura 1). Estas cantidades son comparables con las reportadas para la pesquería de tiburón de la década de 1960. En 1999, el total de la captura reportada para Sonora fue de 2,757 t., lo que representó el 30% de la captura total de México y el 56% del Pacífico mexicano. Con base en el nivel alcanzado de la pesquería de tiburón en la región el cual promedia 1,226 t entre 2002 y 2003, se podría especular que actualmente la pesquería artesanal de rayas en el

golfo de California se encuentra en desarrollo con un promedio de 788 t entre 2002 y 2003 para los estados del golfo de California, sin embargo, la realidad de los niveles de producción que esta pesquería podría alcanzar permanecen inciertos.

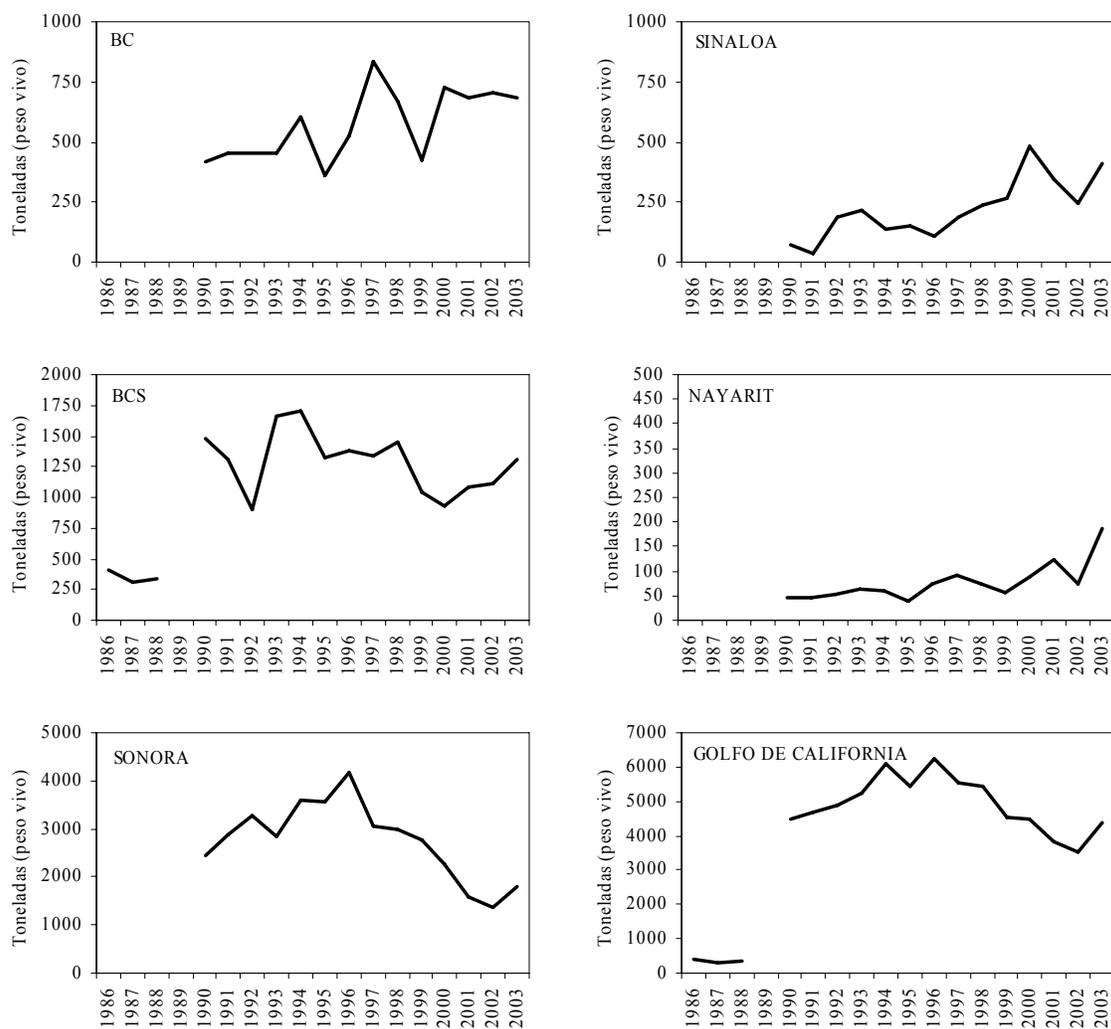


Figura 1. Series de producción de rayas y similares de los estados del golfo de California (incluyendo costa occidental de la península de Baja California). Fuente: Anuarios Estadísticos de Pesca, CONAPESCA 2003.

2.4 Sinopsis biológica de la especie

En esta sección se presenta una sinopsis que resume el conocimiento actual sobre la biología de la especie objeto del presente estudio. Se siguió la estructura típica de una sinopsis de FAO, con los apartados que se consideraron de mayor relevancia para fines de la tesis.

2.4.1 Taxonomía

2.4.1.1 Afinidades

El pez guitarra o payaso, *Rhinobatos productus* (Ayres 1854), es una de las tres especies del género *Rhinobatos* (*R. productus*, *R. glaucostigma* y *R. leucorhynchus*, FAO 1995) presentes en aguas del Océano Pacífico de México. La clasificación taxonómica de los batoideos es aun motivo de debate entre los especialistas debido a que sus interrelaciones no han podido ser completamente resueltas. Tras una exhaustiva revisión de los antecedentes de estudios taxonómicos sobre los batoideos, McEachran y Aschliman (2004) proponen una hipótesis de trabajo que resume y combina en cierto modo el conocimiento actual sobre las posición taxonómica de la guitarra, *Rhinobatos productus* (Tabla I).

Tabla I. Posición taxonómica del pez guitarra, *Rhinobatos productus*, con respecto a las rayas (batoidea). De acuerdo con McEachran y Aschliman (2004).

Clase	Chondrichthyes
Subclase	Neosalachii
Cohorte	Batoidea
Orden	Torpediniformes Myliobatiformes Pristiformes Rajiformes
	Familia Rhinobatidae
	Especie <i>Rhinobatos productus</i>

2.4.1.2 Morfología

El pez guitarra, *R. productus*, es color café olivo sin manchas (Figura 2). Tiene la cabeza deprimida en forma de rombo. La cabeza se une en su parte posterior con las aletas pectorales y forma el disco (típico de batoideos). Presenta dos áreas translúcidas laterales al cartílago rostral. Los márgenes de las aletas pectorales o disco son también semi translúcidas. La parte ventral es blanca, en ocasiones con manchas negras. Presenta espiráculos inmediatamente por detrás de los ojos, con pliegues conspicuos.



Figura 2. Guitarra común, *Rhinobatos productus*, del golfo de California.

Las narinas cuentan con una valva anterior delgada y lóbulos moderados. Presenta dos aletas dorsales semejantes en tamaño y forma. La primera aleta dorsal inicia detrás de las aletas pélvicas. Tiene una serie de denticulos desde la mitad del disco hasta la parte final del pedúnculo caudal. Presenta un par de aletas dorsales del mismo tamaño. Cuenta con un pliegue lateral en forma de quilla en toda la longitud de la cola.

2.4.2 Distribución

El pez guitarra, *R. productus*, se distribuye desde las costas de California, EEUU, hasta las costas de Guerrero, incluyendo el golfo de California (Beebe y Tee-Van 1941; Fisher *et al.* 1995) (Figura 3). En aguas mexicanas del Océano Pacífico, esta especie es capturada comúnmente en la costa occidental de la Península de Baja California y golfo de California, y es frecuente en la fauna acompañante en pesca de arrastre del camarón a profundidades de hasta 30 brazas (bz).

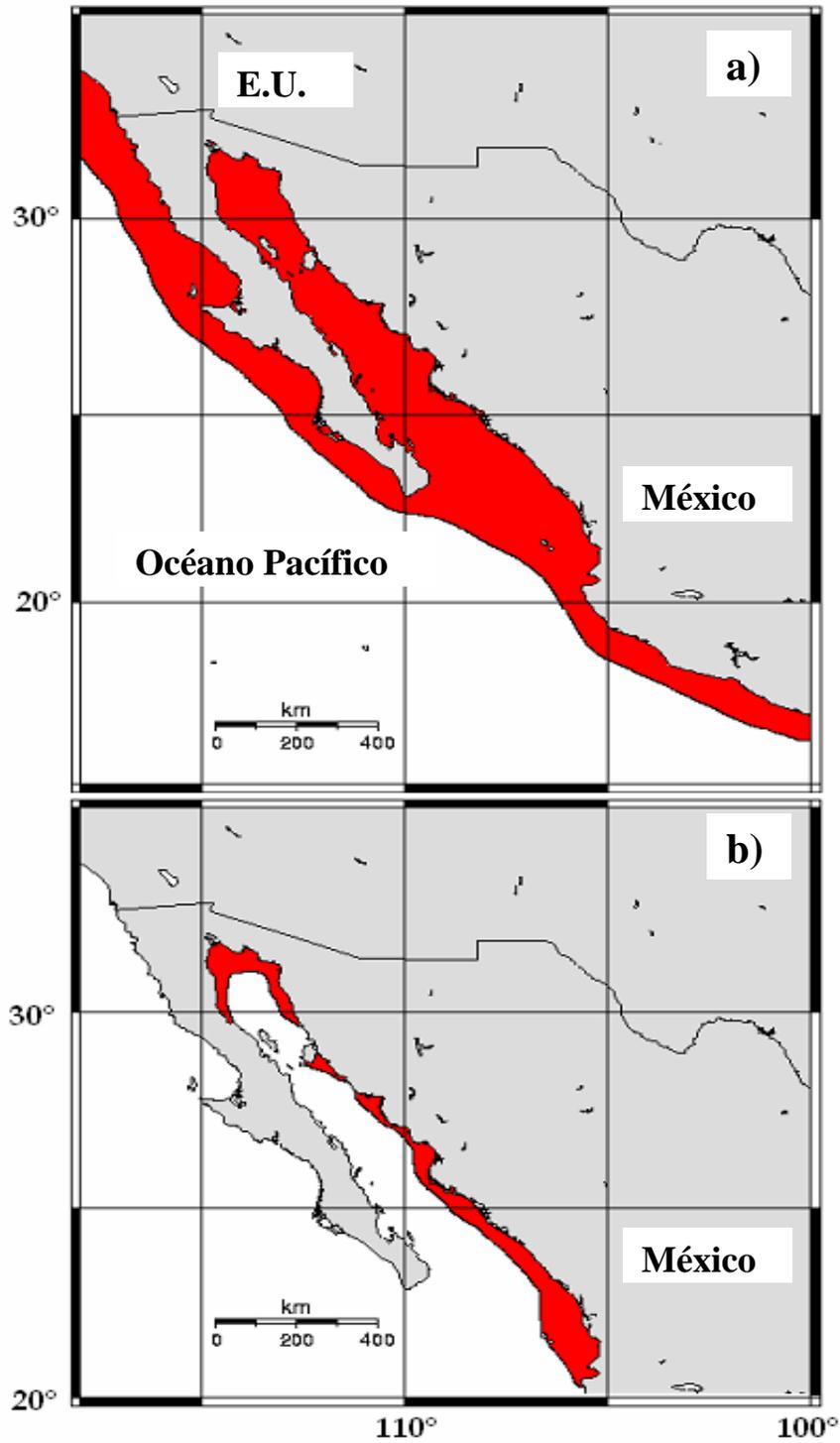


Figura 3. Distribución de la guitarra, *Rhinobatos productus*, de acuerdo con la FAO (1995). Zonas de mayor abundancia en el Pacífico Mexicano (a) y dentro del golfo de California (b).

2.4.3 Generalidades de la historia natural

La guitarra, *R. productus*, ha sido reportada principalmente en listados fáusticos (Castro-Aguirre 1965) y expediciones (Beebe y Tee-Van 1941), mientras que los aspectos de su biología son poco conocidos (Villavicencio 1993). Recientemente se han reportado diferencias en el desarrollo entre individuos de la costa occidental de la península de Baja California Sur con individuos examinados provenientes de la plataforma del litoral de Sonora en el golfo de California (Villavicencio 1993; González-García 1998; Sandoval-Castillo *et al.* 2004; Márquez-Farías 2007). Entre las principales diferencias se identificaron las tallas de primera madurez, longitudes máximas de hembras y machos, así como la fecundidad. (Estos aspectos son comentados más adelante y detallados en el apartado sobre biología reproductiva.) Estos resultados tienen implicaciones sustanciales para el manejo de la especie ya que la resiliencia de la población de ambas regiones puede ser distinta debido a sus características de desarrollo.

2.4.4 Hábitat

La guitarra, *R. productus*, es una especie demersal que se encuentra en fondos blandos lodoso-arenosos de aguas someras de bahías, lagunas costeras y estuarios. Se alimenta de una gran variedad de invertebrados y algunos peces. En el golfo de California es común encontrarla en aguas someras durante el verano (obs. personal).

2.4.5 Tamaño

La talla máxima reportada para los machos y hembras de la guitarra, *R. productus*, de la costa oeste Baja California es de 114 cm. de longitud total (LT) y 156 cm. LT, respectivamente (Downton-Hoffmann 1996), mientras que los machos y hembras de la costa de Sonora es de 66 cm. LT y 101 cm. LT, respectivamente (Márquez-Farías 2007).

2.4.6 Reproducción

2.4.6.1 Desarrollo

El pez guitarra es una especie ovovivípara (vivípara aplacentaria) (Musick y Ellis 2005). Las cápsulas fertilizadas se depositan en el útero y están envueltas en una membrana elástica café semitransparente en donde el embrión se desarrollará. No existe conexión placentaria y el embrión consumirá gradualmente el contenido del saco vitelino mientras crece y dependerá de este hasta su nacimiento.

2.4.6.2 Madurez

Se han encontrado diferencias significativas en la longitud de madurez reportada para la guitarra en aguas de California, EU, costa occidental de la Península de Baja California y la guitarra del golfo de California. En aguas de California los machos presentan su madurez a los 91-100 cm. LT (Timmons y Bray 1997), 92 cm. LT (Dubois 1981), 110 cm. LT (Talent 1985) y las hembras de 99 cm. LT (Timmons y Bray 1997). En la costa occidental Baja

California la madurez de los machos se ha reportado de <67 cm. LT (Villavicencio-Garayza, 1993) y 80 cm. LT (Downton-Hoffmann 1996) y en las hembras de 66 cm. LT y 87 cm. LT (Downton-Hoffmann 1996). En la población estudiada que corresponde a la costa de Sonora los machos son notablemente más pequeños que las hembras. A diferencia de las hembras, el estado de desarrollo de los machos se puede juzgar externamente por la condición de los claspers, los cuales se observan delgados y flácidos en organismos juveniles e inmaduros (Figura 4). La talla de madurez para machos y hembras de la costa de Sonora es de 53 cm. LT y 57 cm. LT, respectivamente (**Anexo 1**).



Figura 4. Comparación del tamaño de los claspers de organismos juveniles (a) y adultos (b) de *Rhinobatos productus*.

2.4.6.3 Apareamiento

Dado que la fecundación es interna, es necesaria la cópula para la fertilización. El pez guitarra *R. productus*, se aparea durante una estación muy marcada, la cual se asocia a los meses de verano posterior al alumbramiento. Este patrón es similar para las poblaciones de

la costa occidental de Baja California y para la del golfo de California. No se cuenta con estudios que reporten sobre la participación de varios machos en la cópula, como se ha reportado para otros elasmobranquios (Pratt y Carrier 2005)

2.4.6.4 Fertilización y fecundidad

Una vez realizada la cópula, los gametos masculinos son depositados en los oviductos de la hembra por medio del clasper. El semen recorre el oviducto inferior (que posteriormente formará el útero durante la preñez) y la fertilización de los óvulos se realiza presumiblemente en la glándula oviducal, de forma similar a lo que ocurre en otros elasmobranquios. Debido a la presencia tanto de óvulos maduros como a la presencia de embriones en desarrollo dentro del útero, se pudo determinar que *R. productus* tiene una reproducción continua. Se ha reportado que la población de la costa occidental de Baja California tiene una fecundidad de 6 a 16 embriones (Villavicencio-Garayzar 1993), mientras que dentro del golfo de California la fecundidad es de 1 a 10 (Anexo 1).

2.4.6.5 Gónadas

Hembras.- Las hembras del pez guitarra presentan dos ovarios funcionales de tipo externo (Pratt 1988) con dos oviductos a todo lo largo de la cavidad visceral. En medio trayecto de la parte anterior a la parte posterior se localiza una glándula oviducal en cada oviducto. En hembras grávidas, la parte posterior del oviducto se extiende notablemente ya que en estos se almacenan las cápsulas fertilizadas en las glándulas oviducuales. En las hembras inmaduras el ovario se aprecia como una carnosidad granulosa semitransparente sobre el órgano epigonal. A medida que crece, el ovario es más distintivo del órgano epigonal y

presenta numerosos folículos de diferentes tamaños. Cuando maduran, estos óvulos son liberados del ovario, y al igual que en los tiburones, los óvulos pasan por el “ostium” o bifurcación superior de los oviductos superiores para iniciar su viaje hacia la glándula oviducal donde son fecundados.

Machos.- Los machos presentan dos testículos alargados semicilíndricos. En machos juveniles pequeños es difícil identificarlos ya que están localizados sobre la pared superior del órgano epigonal. En organismos de mayor tamaño, los testículos se observan de color rosa y con aspecto granuloso (Figura 5). En adultos, los testículos se observan engrosados.

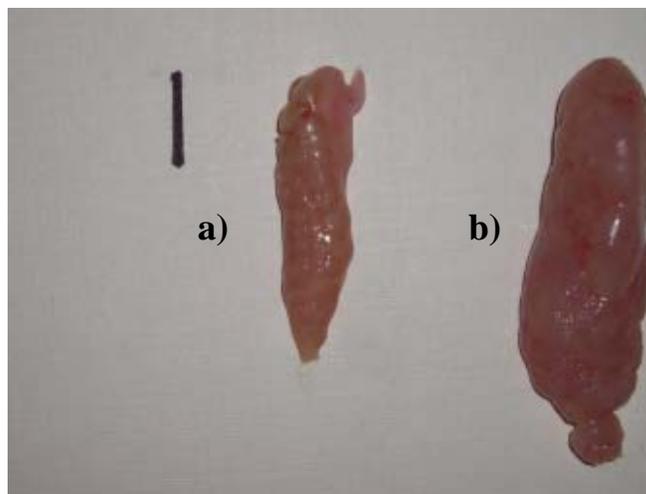


Figura. 5. Comparación del tamaño de los testículos de organismos juveniles (a) y adultos (b) de *Rhinobatos productus*. Escala 10 mm

2.4.6.6 Alumbramiento

En la costa de Sonora, los individuos del pez guitarra nacen durante el verano con una talla de 175 mm de LT después de cuatro a cinco meses de desarrollo embrionario. Se han documentado diferencias en la talla de nacimiento (175 mm LT) del pez guitarra de la costa de Sonora (Márquez-Farías 2007) comparada con organismos de la costa occidental de Baja California (240 mm LT), siendo estos últimos de mayor tamaño (Downton-Hoffmann 2001).

2.4.6.7 Área de crianza

El pez guitarra, al igual que otros elasmobranquios (tiburones) utiliza zonas someras como bahías o sistemas lagunares para el nacimiento de sus crías y probablemente también para el apareamiento (Castro 1993, Heupel *et al.* 2007). La utilización de áreas de crianza conlleva una serie de ventajas para garantizar la supervivencia de los recién nacidos. En dichas áreas de alta productividad los neonatos encuentran abrigo y alimento durante sus primeros días de vida, para posteriormente migrar hacia zonas de juveniles mayores y adultos (Castro 1993). Una de las principales desventajas de esta estrategia es, sin duda, la interacción con las actividades humanas, que frecuentemente modifican e impactan negativamente estos hábitats críticos que son las áreas de crianza.

El pez guitarra, *R. productus*, es notablemente abundante en los meses de primavera, justamente cuando las hembras grávidas se aproximan a la costa para el alumbramiento. La incidencia de neonatos en la pesquería artesanal de rayas es casi nula debido al reducido tamaño del nacimiento y a su morfología que les permite escapar por la apertura de malla

de las redes. De tal modo que a pesar de que existe una coincidencia de los caladeros de pesca con las áreas de crianza de esta y otras especies de batoideos, la probabilidad de captura de neonatos es baja. Se desconoce el impacto de los asentamientos humanos en las áreas de crianza de esta especie en la zona del presente estudio, aunque se considera que la principal amenaza para los recién nacidos es el arrastre de los barcos de la flota camaronera que opera en aguas costeras de Sonora y Sinaloa (obs. personal), en el ámbito de distribución de la especie. El resultado de estudios recientes (Hueter *et al.* 2000) ha permitido inferir que la sonda de Bahía de Kino (Isla Tiburón en dirección al Norte de San Carlos) es una importante zona de agregación de hembras grávidas de la especie.

2.4.7 Migración y movimientos locales

Se conoce muy poco sobre los movimientos migratorios de esta especie; hasta la fecha lo más consistente ha sido una estacionalidad inferida con base en índices de abundancia relativa que parece estar correlacionada con la temperatura del mar (INP, datos no publicados) golfo de California. La presencia de todos los estadios del desarrollo embrionario en las hembras grávidas indica que éstas permanecen todo el periodo de preñez hasta el alumbramiento en aguas cercanas a la costa. Adicionalmente, se ha observado una correspondencia entre la longitud mensual del embrión y la temperatura mensual del agua (INP, datos no publicados), lo cual sugiere que los desplazamientos de las hembras pudieran ser gobernados por factores externos, como la temperatura, que propician condiciones favorables para el desarrollo y nacimiento de las crías.

2.4.8 Estructura espacial poblacional

No se han realizado estudios sobre la segregación espacial de esta especie, pero es probable que presente un patrón de segregación más asociado al sexo que al estadio de desarrollo ontogenético. Esto es lo que parece indicar la gran incidencia de hembras grávidas en áreas de crianza. Es difícil apreciar la segregación por tallas con base el muestreo de la pesca artesanal, porque esta actividad es altamente selectiva sobre las tallas y se es posible capturar organismos de las mismas tallas que no necesariamente representan la proporción sexual de la población.

3. Objetivo general

Determinar las características demográficas del pez guitarra, *Rhinobatos productus*, capturado en la costa de Sonora.

3.1 Objetivos específicos

- Describir los aspectos generales de la pesquería y la selectividad a la talla de los sistemas de captura.
- Describir la biología del pez guitarra, con énfasis en los aspectos relacionados a la reproducción como talla de madurez, fecundidad, proporción sexual embrionaria, periodo de gestación.
- Determinar la edad y el crecimiento de manera directa.
- Estimar la tasa intrínseca de incremento de la población y otros parámetros demográficos.
- Inferir la resiliencia de la especie a la mortalidad por pesca.

4. Área de estudio

La descripción del área de estudio que a continuación se presenta fue esencialmente tomada de los trabajos de De la Lanza (1991), Lavin (1997) y Marinone (1997) por considerar que estos autores resumen a cabalidad el estado del conocimiento oceanográfico del golfo de California. Las explicaciones más aceptadas sobre el origen y evolución geológica del golfo de California, se basan en la teoría de la Tectónica de Placas. El golfo de California se localiza en la parte noroeste de México. Tiene orientación NO-SE, una superficie aproximada de 150,000 km², mide 1,400 Km. de longitud con una anchura promedio de 150 Km.; su menor anchura es en el paralelo 29°35' N.

4.1 Morfología y Topografía

Al golfo de California se le ha dividido en tres provincias topográficas: Norte, Centro y Sur (Figura 6). La Norte está delimitada desde la desembocadura del Río Colorado hasta una línea imaginaria de Cuenca Salsipuedes a Guaymas. La provincia Centro se delimita al sur con una línea imaginaria entre Santa Rosalía y el Sur de Topolobampo. La provincia Sur tiene su límite en una línea imaginaria de Cabo San Lucas hasta Cabo Corrientes, Jalisco (Tovilla 1991).

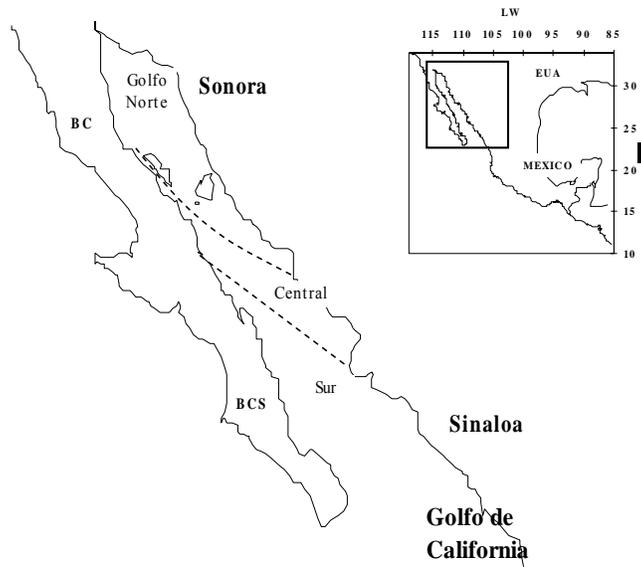


Figura 6. Provincias topográficas del golfo de California propuestas por Rusnak *et al.* (1964). Modificado de Tovilla (1991).

La plataforma continental de la provincia Norte se delimita por la isobata de 180 m a unos 175 Km. al sur de la desembocadura del Río Colorado, formando un abanico aluvial el cual se cree pudo haber rellenado las irregularidades topográficas de la provincia que pudieron formarse desde la formación del Golfo. El 30% de esta plataforma tiene profundidades menores a 35 m. Hacia el sur de esta provincia la plataforma continental se reduce de 40 a 5 Km. en la Isla Tiburón y frente a Guaymas, respectivamente. En el margen occidental de esta provincia (lado peninsular) la plataforma es prácticamente inexistente. Dentro de esta provincia se ubican las mayores Islas (Tiburón, San Esteban y San Lorenzo) del golfo de California, con plataformas propias alrededor de ellas, cuyo límite inferior se delimita por la isobata de los 180 m. En esta provincia la cuenca más profunda es Salsipuedes, con 1450 m (Tovilla 1991).

La provincia Central del golfo de California es más ancha y profunda que la provincia Norte. La mayor profundidad de esta provincia es de 1898 m en la cuenca de Guaymas, en la cual se incluyen dos pequeñas trincheras con un área aproximada de 560 km². En esta provincia la plataforma es estrecha continuando desde Guaymas, con 5 Km. de plataforma, hasta la desembocadura del Río Mayo. Al Sur de este río la plataforma continental se amplía 25 Km. mientras que el talud se modifica haciéndose más abrupto. El lado peninsular de la Provincia es más escarpado, con pendientes mayores a 45°; la plataforma es prácticamente inexistente y el talud va de 40 a 750 m, a 12 Km. de la costa.

La provincia Sur es la más compleja de las tres y su batimetría irregular incluye montes y cañones submarinos. Esta provincia tiene 240 km. de amplitud (paralelo 24° N), la más amplia de todo el golfo. En su margen peninsular existe una gran cantidad de islas de origen volcánico. La plataforma continental es irregular y con poca amplitud (<5 Km.) y solo se amplía en la Bahía de la Paz hasta alcanzar 20 km. En el margen continental, la plataforma es estrecha a la altura de Topolobampo, Sinaloa con un talud de 40 m. de profundidad a 2.5 km. de la costa cayendo en vertical hasta 1260 m. en la llanura abisal del Farallón. A partir de este punto hasta Mazatlán, el talud posee una pendiente moderada de 80-700 m. Al Sur de Mazatlán la plataforma alcanza su máxima amplitud de 82 km. frente a las Islas Marías. El talud del lado occidental de las Islas Marías desciende de 180 a 2,550 m. La mayor profundidad de esta provincia es de 3,712 m. en la cuenca Pescadero.

4.2 Dinámica Oceánica

El golfo de California se puede considerar como una gran cuenca oceánica, y que a diferencia de la propuesta de Rusnak *et al* (1964), Klimek y Arpi (1972) ha sido dividido en cuatro provincias oceanográficas: “I golfo Superior”, “II Canal de Ballenas y fosa Salsipuedes”, “III golfo Inferior”, y “IV Entrada del golfo” (Tovilla 1991).

La provincia I comprende desde la desembocadura del Río Colorado hasta la Isla Tiburón. Presenta grandes variaciones espaciales y estacionales de temperatura, las cuales son mayores en el lado peninsular que en el continental, particularmente en la desembocadura del Río Colorado con registros mínimos de 10° C en invierno a >32° C en verano, respectivamente. En la costa de Sonora el intervalo de temperatura es de 12° C a 30° C. En esta provincia los movimientos de agua son controlados principalmente por las corrientes de mareas. Las islas Ángel de la Guarda y Tiburón crean condiciones de semiaislamiento en el golfo superior con lo cual se producen masas de agua con dinámica estacional con dirección gobernada por el efecto de Coriolis. En la región del delta a nivel superficial se forma un giro anticiclónico provocando apilamiento y hundimiento de las aguas.

La provincia II está delimitada entre las islas Ángel de la Guarda, San Lorenzo y Baja California. En esta zona la temperatura permanentemente es baja por intercambios de agua superficial que mezclan las masas de agua profunda de Salsipuedes con las masas de agua de la provincia I. El agua fría de alta salinidad de la provincia I se desplaza a la zona de Salsipuedes a profundidades de 150-200 m. con una salinidad de 35‰ provocando un

mecanismo de “aireación” de aguas profundas en esta zona. El agua profunda del Canal de Ballenas y Fosa Salsipuedes es una mezcla de agua del golfo superior. El agua de la porción Sur se mezcla con aguas de las corrientes que penetran al golfo con velocidad de 1.5 m/seg. y debido también a fuertes vientos del Noroeste.

La provincia III se localiza entre la Isla Tiburón y una línea imaginaria que une Mazatlán y Cabo San Lucas. La temperatura superficial de agua es, en promedio, mayor que en el resto de las provincias. Se ha documentado un sitio de convergencia de corrientes en la parte central de esta provincia a la altura del Río Mayo. En esta provincia se realiza una mezcla de masas de agua con salinidades de 35.2‰ que provienen del golfo superior con aguas oceánicas de las corrientes de California (33.6-34‰) y Norecuatorial (34.5-35.5‰). El agua superficial entra al golfo mayormente por el lado Este, mientras que el flujo a 200 m. de profundidad penetra al golfo por el eje central. Frente a Cabo San Lucas, la corriente corre paralela a la costa con dirección Sur-Suroeste durante todo el verano.

La provincia IV se delimita en un área imaginaria que triangula Cabo San Lucas con Mazatlán y Cabo Corrientes en la parte continental. En esta zona se mezcla la masa de agua con temperaturas de 18°C de con masas de agua de 15°C-20°C de la corriente de California y masas de agua de 26°C de la corriente Norecuatorial, provocando frentes termohalinos. La mezcla de estas importantes corrientes provoca una dinámica compleja. La entrada de agua hacia el golfo esta relacionada con bajas salinidades y la salida con valores altos. Este tipo de intercambio evita la acumulación excesiva de sal en el interior del golfo debido principalmente a la intensa evaporación.

4.3 Mareas

En el golfo de California la entrada mareal ocurre en mayor magnitud por el lado Este y la salida es por el lado Oeste. Las constantes armónicas indican que las características iniciales de la marea semidiurna en el Océano Pacífico, presenta una amplitud moderada de 30 cm. y de 52 cm. para mareas semidiurnas y diurnas las cuales muestran una progresión de diferentes fases a lo largo del golfo. Al penetrar en el golfo su amplitud inicial decrece en su trayecto hasta alcanzar 13 cm. a la altura de Guaymas. Las amplitudes de marea en el golfo de California oscilan de 1.2 a 7.2 pies.

5. Material y métodos

5.1 Prospecciones de campo y muestreo biológico

Los datos utilizados en el presente estudio fueron colectados durante prospecciones de la pesquería artesanal de rayas realizadas por el Instituto Nacional de la Pesca (INP) desde 1998 hasta 2004 en las principales localidades de Sonora. Las salidas de campo comprendieron visitas a campamentos pesqueros temporales o permanentes. Se colectó información sobre tiempo de duración de la jornada de pesca, características del sistema de captura, profundidad, y otra información relevante referente a la captura. Otra fuente de información, aunque esporádica pero muy valiosa, fue la captura incidental o fauna de acompañamiento de la pesca de arrastre para el camarón realizada por cruceros de prospección del INP en la costa central de Sonora durante los periodos de primavera y verano, principalmente.

Los especímenes colectados fueron llevados congelados al Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas-INP en donde fueron examinados. Los muestreos de los especímenes incluyeron el registro de la longitud total (cm.), peso (Kg.) y sexo. Todas las mediciones externas se tomaron al centímetro más cercano, salvo la medición de los órganos internos, que se tomó al milímetro más cercano.

5.2 Abundancia estacional

Con la finalidad de determinar un patrón espacio - temporal en la abundancia de *R. productus* en la pesquería artesanal de rayas, se hizo un esfuerzo por identificar las zonas de pesca con base en entrevistas realizadas en los campos pesqueros de El Choyudo, El Sahuimaro y Bahía de Kino (Sonora) durante una prospección de 1998-1999. En la Figura 7 se muestran las cuatro zonas definidas en la pesca de rayas del centro de Sonora.

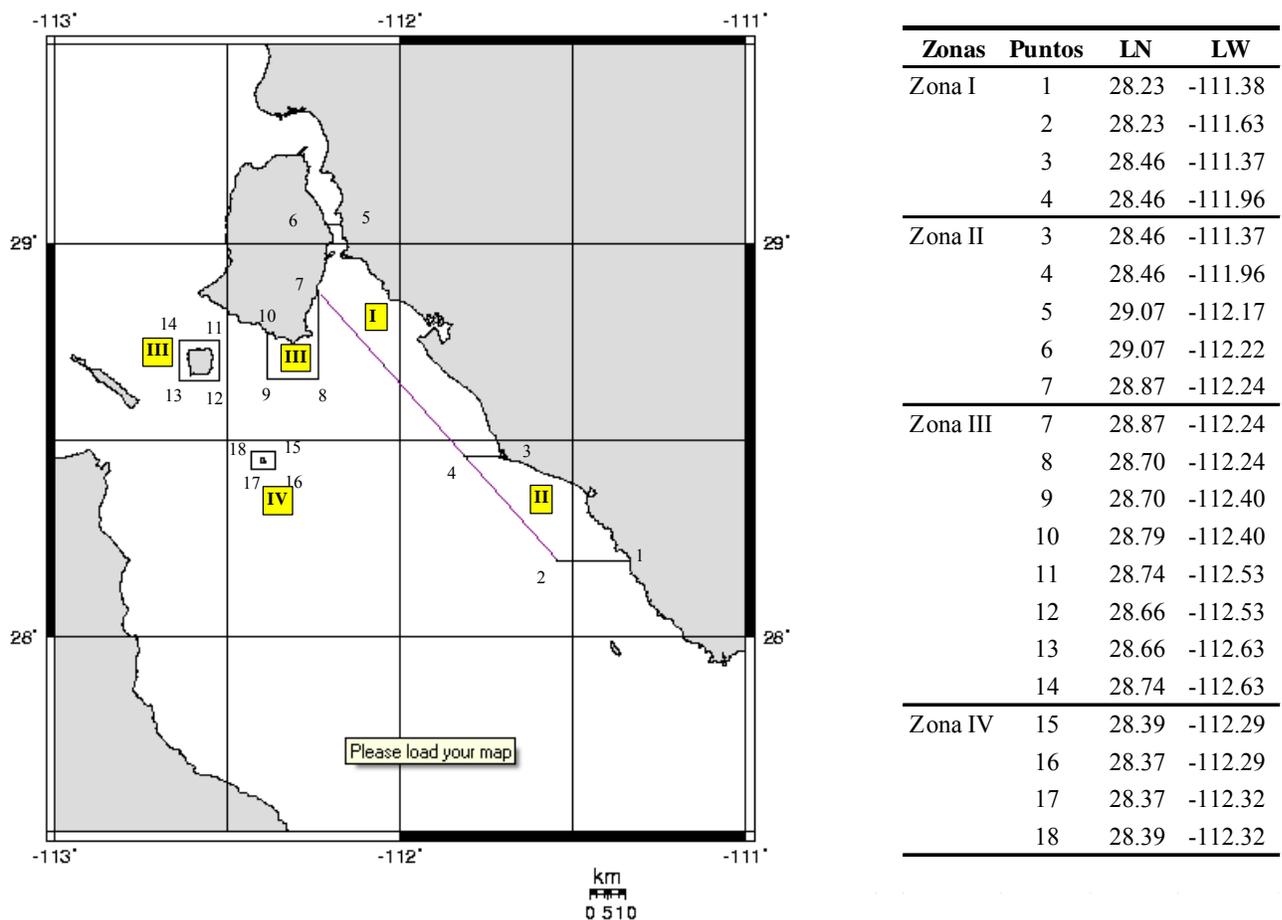


Figura 7. Zonas de pesca de rayas para las localidades de El Choyudo, El Sahuimaro y Bahía de Kino, Sonora (Zonas II y III). La tabla de la derecha muestra las coordenadas de cada zona y los números progresivos indican los puntos de unión de cada polígono.

De dicho periodo, se analizó el esfuerzo, la captura, y la *cpue* (captura por unidad de esfuerzo) de cada zona por trimestre. Para cada una de las variables, se construyeron histogramas de frecuencia por zona, trimestre y abertura de la malla con la finalidad de inferir la distribución funcional.

5.3 Selectividad de las redes de enmalle

Los datos disponibles para el análisis de selectividad incluyeron la distribución de frecuencia de longitudes para aberturas de mallas 3.5", 5", 6", 8" y 8.5". Dado que los datos utilizados no provienen de un experimento, sino de datos directamente tomados de la pesquería, estos fueron tratados para estandarizar el poder de pesca entre los paños con diferente abertura de malla y hacerlos comparables (Márquez-Farías 2005). El primer paso fue calcular la distribución de frecuencia de longitudes observadas, expresada en intervalos de longitudes de 50 mm. LT, a una distribución de frecuencia con todos los viajes para producir histogramas de frecuencia de toda la captura. El segundo paso fue ponderar la distribución de frecuencia de toda la captura por medio de un factor de estandarización (SF) que permite expresar los rendimientos como captura por cada 10-viajes de pesca. El SF se multiplicó por las frecuencias observadas por paño de diferente abertura de malla y se obtuvo una frecuencia estandarizada, reduciendo así las variaciones en el poder de pesca.

Las curvas de selectividad de las redes de enmalle con diferente abertura de malla se determinaron aplicando el modelo de Kirkwood y Walker (1986) a datos de la guitarra, *R. productus*, de la pesquería de rayas de Sonora. Este método permitió la estimación de

parámetros mediante un ajuste simultáneo de la distribución de frecuencia de longitudes de paños con distintas aberturas de malla, derivado de la función de densidad de probabilidad de la distribución Gamma con los parámetros α , β y el argumento x :

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

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

El modelo de Kirkwood y Walker (1986) es un modelo flexible de dos parámetros (θ_1 y θ_2) que permite operar con distribución de frecuencia de longitudes con sesgos positivos pronunciados. Las selectividades S_{ij} fueron modeladas en función del tamaño de la malla m_i y de la longitud l_j , al igual que la moda y la varianza. La forma funcional usada para modelar las selectividades en función de la longitud l_j , y la abertura de la malla m_i es

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

donde:

α_i y β_i están especificados en términos de la abertura de la malla m_i y la clase de longitud l_j ,

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. La longitud a la máxima selectividad de la red agallera i es proporcional al tamaño de la malla por lo que

$$\alpha_i \beta_i = \theta_1 m_i,$$

donde:

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

La función de verosimilitud utilidad para la estimación de los parámetros (θ_1 y θ_2) fue:

$$L = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [n_{ij} \ln(\mu_j S_{ij}) - \mu_j S_{ij}],$$

dado que:

$$\mu_j = \left(\frac{\sum_{i=1}^I n_{ij}}{\sum_{i=1}^I S_{ij}} \right),$$

donde:

n es la frecuencia en número por intervalo de clase i de la malla j , y S es la selectividad por intervalo de clase de longitud i de la malla j .

Para determinar la fracción retenida por cada abertura de malla, se partió de una estructura de longitudes de la población expresada como distribución de frecuencias derivada de los muestreos en la costa de Sonora de 1998 a 2004. Primero se calculó la proporción de

organismos maduros por intervalo de clase de longitud de acuerdo con la ojiva de madurez respectiva para cada sexo (ver mas adelante el apartado de proporción de madurez). El histograma de frecuencia resultante representa la proporción de organismos maduros, los cuales son multiplicados por la selectividad de aberturas de malla descritos anteriormente utilizados en la pesquería (3.5", 5.0", 6.0", 8.0" y 8.5"). De este modo, se generó para cada sexo un histograma de frecuencia de longitudes que representa la proporción de organismos maduros que son retenidos.

5.4 Longitudes, pesos y aspectos reproductivos

5.4.1 Relación peso-longitud

Se utilizaron las longitudes y los pesos de las rayas colectadas para calcular, mediante estimación no lineal, los parámetros de la relación entre estas variables por medio del modelo: $W = aLT^b$, donde a y b son constantes de ajuste, LT es la longitud total (cm.) y W es el peso entero (gr.).

5.4.2 Biología reproductiva

A cada organismo se le asignó un estadio de madurez (maduro o inmaduro) con base en características internas y externas. En el caso de los machos se registró el tamaño y la condición del clasper. La longitud del clasper se tomó de la punta a la axila formada entre la aleta pélvica y el abdomen. Los organismos fueron considerados sexualmente maduros cuando: 1) tuvieran el clasper calcificado, 2) el clasper pudiera ser rotado hacia la parte

frontal de organismo, y 3) el rhipiodon se libera fácilmente del cuerpo del clasper. Se midió el largo de los testículos, observando su nivel de desarrollo, coloración y otras características. Complementariamente, se observó la presencia de fluido seminal en la ámpula del epidídimo haciendo un corte transversal en la misma, así como en los conductos eferentes. A las hembras se las consideró maduras cuando sus gónadas presentaron ovocitos color amarillo intenso y vascularizados; en ese caso se registró su número y diámetro. Se midió el ancho de la glándula oviducal así como del útero, como un indicador del desarrollo y actividad reproductiva de la hembra. Las hembras grávidas se detectaron por observación de cápsulas blastódicas uterinas o por la presencia de embriones en desarrollo. Se contaron y midieron las cápsulas y los embriones en desarrollo; estos fueron también pesados y se midió su saco vitelino. En el caso de los fetos, el sexo fue registrado en la medida de lo posible, lo cual dependió del nivel de desarrollo. Se tomaron muestras de glándula oviducal de las hembras y de testículos en los machos para su análisis histológico. Las secciones de las gónadas fueron deshidratadas por medio de una serie de alcoholes, incluidas en parafina, cortadas y teñidas con hematoxilina de Harris y eosina (Castro y Wourms 1993).

5.4.2.1 Proporción de madurez

Para determinar el desarrollo y la madurez de machos y hembras, se analizó gráficamente la relación entre los órganos internos y la longitud total (LT) de los especímenes. En el caso de los machos se analizó la relación entre la longitud del clasper y la longitud del testículo con LT; para las hembras se analizó la relación de LT, con el diámetro del óvulo más grande, ancho de la glándula oviducal y ancho del útero. En cada gráfica se identificó el estado de desarrollo de los organismos. Para cada sexo, se calculó la proporción de

madurez por clase de tamaño utilizando la frecuencia de organismos maduros y la frecuencia total por intervalo de clase de longitud. A la proporción de madurez observada se ajustó un modelo logístico de la forma:

$$ML = \left(\frac{1}{1 + \exp(-(LT - L_{50\%}) / \Phi)} \right),$$

donde:

M_L es la proporción de madurez estimada, LT es la longitud total, $L_{50\%}$ es la longitud donde el 50% de los organismos alcanzan la madurez (talla crítica), y Φ es la pendiente de la curva. El ajuste del modelo a los datos se realizó optimizando una función de verosimilitud que supone una estructura de error binomial:

$$P(X) = \frac{n!}{X!(n-X)!} p^x (1-p)^{n-X},$$

donde:

X es el número de organismos maduros, n es el número de organismos por clase de longitud ($X \leq n$), y $n!$ es el factorial de n .

Las ojivas de madurez estimadas con el modelo logístico para machos y hembras fueron comparadas utilizando un análisis de residuales de suma de cuadrados, RSS (Chen *et al.* 1992). Se calculó un estadístico F para probar la hipótesis de coincidencia entre las ojivas de madurez generadas para machos y hembras:

$$F = \frac{\frac{RSS_p - \sum RSS_i}{3(K-1)}}{\frac{\sum RSS_i}{N - 3(K)}}$$

donde:

F es el estadístico con $3(K-1)$ grado de libertad,

RSS_p es la suma de cuadrados de los datos combinando machos y hembras,

RSS_i es la suma de cuadrados de cada sexo,

K es el número de curvas comparadas, y

N es el tamaño de muestra total.

5.4.2.2 Crecimiento embrionario

El desarrollo y crecimiento de los embriones se describió graficando su longitud total y el ancho del saco vitelino por mes. Se determinó la relación peso-longitud de los embriones y se calculó un índice que relaciona el ancho del saco vitelino con el tamaño del embrión. Este índice representa la tasa de consumo del vitelo conforme el embrión crece, y está dado por la siguiente relación:

$$I = Y/Le,$$

donde

Y es el ancho del saco vitelino y Le es la longitud del embrión (Anexo 1).

5.5 Edad y crecimiento

Para la determinación de la edad, se colectó una sección de 4-5 vértebras de la región entre la intersección del disco y la aleta pélvica por ser las de mayor tamaño (Figura 8).

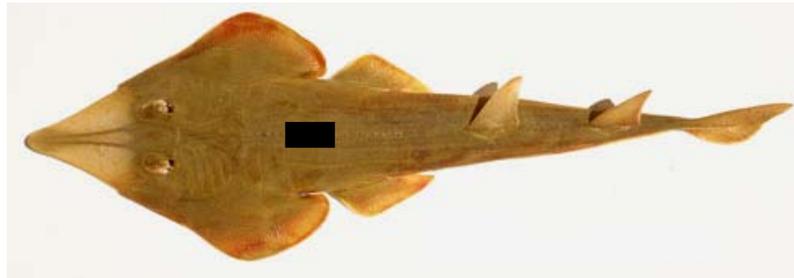


Figura 8. Región del espécimen de donde se extrajeron las vértebras (marca negra).

Las vértebras fueron limpiadas, etiquetadas y congeladas hasta ser procesadas. En el laboratorio, las vértebras fueron limpiadas quitando el tejido conectivo y el arco neural y fueron lavadas en agua corriente. A cada vértebra se le midió su diámetro y se secó. Las vértebras fueron luego pegadas y cubiertas con resina transparente a una base de madera para facilitar el corte y evitar la ruptura de la sección resultante. Cada vértebra fue cortada con navajas gemelas de punta de diamante utilizando una cortadora eléctrica de baja velocidad. Las navajas se separaron de 0.3-0.5 mm. entre sí dependiendo del tamaño de la vértebra. Durante el corte, la vértebra fue humedecida con agua corriente. Los cortes se realizaron por la cara frontal pasando sobre el centro de la vértebra. Como resultado de cada corte se obtuvo una delgada sección en forma de moño o reloj de arena. Las secciones se montaron en portaobjetos para su lectura en el microscopio. Para resaltar las bandas de

crecimiento se realizaron ensayos de lecturas sin tinción, con violeta de cristal y rojo de alizarina (Cailliet 1990; Moulton *et al.* 1992). La capacitación para la técnica utilizada fue proporcionada por Wade Smith, Laboratorio de Ictiología de Moss Landing Marine Laboratories (MLML), CA, EUA. Los cortes se realizaron en el Laboratorio de Ictiología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, BCS y en el Centro Regional de Investigación Pesquera de Mazatlán (CRIP), Sinaloa. Dado que no se observaron ventajas significativas entre la lectura de las bandas con las tinciones y sin tinción, se optó por leer los anillos sin tinción.

5.5.1 Relación entre el diámetro de la vértebra y la talla

Como un requerimiento para proceder a utilizar la lectura de anillos de crecimiento, es necesario evaluar la proporcionalidad entre el diámetro de la vértebra y la longitud total. Para ello se realizó un análisis de regresión lineal entre el diámetro de la vértebra (x) y el tamaño de los especímenes (y) para evaluar su correspondencia.

5.5.2 Lectura de bandas de crecimiento

Para determinar la edad, con ayuda de un microscopio compuesto se identificaron y contaron las bandas de crecimiento de verano e invierno, mismas que aparecen como opacas y translúcidas, respectivamente (Cailliet y Goldman 2004; Cailliet *et al.* 2006). La lectura se realizó sobre el *corpus calcareum* (Goldman *et al.* 2006), identificando y contando las bandas translúcidas. El criterio adoptado consistió en la doble lectura de cada vértebra por el autor. Se seleccionó este método como preferible a la lectura por otra

persona debido a la dificultad de homogenizar el criterio, lo cual puede verse reflejado en la varianza de las longitudes por grupo de edad. Las vértebras en donde hubo diferencia entre el número de bandas fueron leídas nuevamente. Si existía discrepancia la vértebra fue omitida del análisis.

5.5.3 Verificación y precisión de las lecturas

La precisión entre las lecturas de las bandas fue evaluada con el Porcentaje Promedio del Error (*APE*) de acuerdo a lo recomendado por Beamish y Fournier (1981):

$$APE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right] \times 100,$$

donde: N es el número de muestras, R , es el número de veces que se leyó la muestra, X_{ij} es la edad i , determinada para el pez j , X_j es el promedio de las edades determinadas para el pez j .

5.5.4 Incremento marginal

Para verificar la periodicidad en la formación de las bandas de crecimiento se realizó un análisis del incremento marginal (*IM*) (Cailliet y Goldman 2004) utilizando la técnica propuesta por Conrath *et al.* (2002) y recomendada para condriictios (Cailliet *et al.* (2006). El análisis del *IM* se basa en el índice $IM = DO/AUB$, donde *IM* = la razón de incremento marginal; *DO* = el ancho del margen o ultima banda el cual puede estar formado o

parcialmente formada (Figura 9); y AUB = el ancho de la última banda completamente formada (o penúltima banda). El valor promedio de IM se comparó por trimestre del año y se probaron las diferencias estadísticas por medio de un análisis de varianza de una vía (ANOVA).

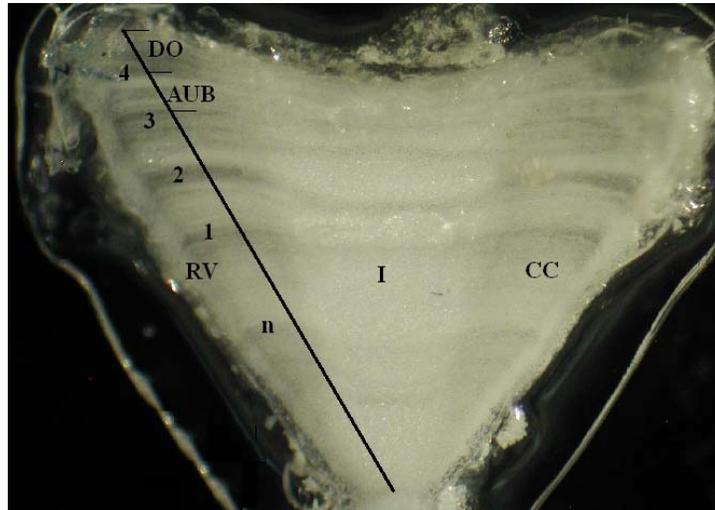


Figura 9. Vértebra de la guitarra, *R. productus*. I = intermedialia, CC = corpus calcareum, RV = Radio de la vértebra. DO = distancia de la última marca a la orilla de la vértebra, AUB = ancho de la última banda. Los números representan las edades y la marca de crecimiento es n.

5.5.5 Parámetros de crecimiento

Una vez que se obtuvieron los pares de edad-longitud para cada sexo, se les ajustó una función de crecimiento utilizada en estudios de edad y crecimiento en chondrichthios (von Bertalanffy 1934):

$$L_t = L_\infty - (L_\infty - L_0) \exp^{-kt},$$

donde:

L_t es la longitud a la edad t (años),

L_∞ es la longitud asintótica o la longitud máxima teórica,

k es la tasa constante de crecimiento

L_o es la longitud de nacimiento.

Cailliet y Goldman (2004) y Cailliet *et al.* (2006) sugieren que la ecuación anterior debe de ser utilizada preferentemente sobre la ecuación convencionalmente utilizada:

$$L_t = L_\infty \left(1 - \exp^{-k(t-t_o)}\right)$$

La primera ecuación tiene una gran ventaja sobre la segunda, ya que utiliza el valor de la longitud de nacimiento L_o la cual es fácil de obtener en elasmobranchios vivíparos, de tal modo que la curva de crecimiento parte del eje “y” en la talla de nacimiento. En el presente estudio, se reporta el valor de t_o que corresponde al estimado de L_o para facilitar la comparación con estudios previos.

Con el propósito de evaluar otra alternativa para describir el crecimiento de la guitarra se exploró el desempeño una versión del modelo de Gompertz (Ricker 1975) utilizando los mismos términos del modelo de von Bertalanffy

$$L_t = L_o(\exp)^{-G(1-\exp^{-kt})},$$

donde: $G = \ln (L_o / L_\infty)$

La estimación de los parámetros de crecimiento con dicha ecuación se efectuó utilizando el algoritmo *SIR* (*Sampling Importance Resampling*), basado en el Teorema de Bayes propuesto por Gelman *et al.* (1995). Dicho algoritmo permite la asignación de probabilidades a cada parámetro, llamada probabilidad previa, y representa el conocimiento previo de cada parámetro antes del análisis.

Para estimar el valor de los parámetros de crecimiento se identificaron varios procedimientos que permitieran un ajuste más robusto del modelo a los datos. Tales procedimientos se agrupan en tres escenarios de análisis. En los escenarios 1 y 2 se realiza el ajuste del modelo a los datos de manera determinística (frecuentista) estimando dos parámetros (L_∞ y k), fijando el valor de $L_o = 17.5$ cm. LT para ambos sexos (Márquez-Farías 2007). El segundo escenario se realizó ajustando el modelo estimando tres parámetros (L_∞ , k y L_o). La estimación de los parámetros en los escenarios 1 y 2 se realizó utilizando la herramienta “Solver” de Excel. En el escenario 3, los parámetros se estimaron con el algoritmo *SIR* asignándose probabilidades previas uniformes de L_∞ (58-70 cm.) y k (0.2-0.7) para machos y de L_∞ (70-110 cm.) y k (0.05-0.3) para hembras. La probabilidad previa de L_o fue informativa con distribución triangular (min.=17.5, sup.=20, mas=23) para ambos sexos. De acuerdo con lo recomendado por Punt y Hilborn (1997) quienes señalan que utilizar información auxiliar de otras poblaciones o zonas puede ser útil para la construcción de probabilidades previas, en este caso, la probabilidad previa para la longitud de nacimiento (L_o) fue construida con las tallas máximas de los embriones de *R. productus*

de la región del Noroeste (Villavicencio 1993; Downton-Hoffmann 1996; González-García 1998; Downton-Hoffmann 2001; Márquez-Farías 2007) y aguas de California, EUA (Eschmeyer *et al.* 1983; Timmons y Bray 1997). Se realizaron 3,000 simulaciones con el algoritmo *SIR* para determinar la probabilidad posterior de los parámetros de crecimiento en hembras y machos. El algoritmo fue aplicado con un programa desarrollado en Visual Basic con una interfase para *Excel* (Mendiola 2006). El perfil marginal de la probabilidad posterior conjunta de L_{∞} , k y L_o se obtuvo aplicando el Teorema de Bayes (Gelman *et al.* 1995) en su versión continua integrando el denominador, en donde $\int \Pr(d|\theta) \Pr(\theta) \partial x = 1$, por definición:

$$\Pr(\theta | d) = \frac{\Pr(d | \theta) \Pr(\theta)}{\int \Pr(d | \theta) \Pr(\theta) \partial x}$$

donde:

$\Pr(\theta | d)$ es la probabilidad posterior del parámetro dados los datos,

$\Pr(d | \theta)$ es la verosimilitud de los datos dado el parámetro y

$\Pr(\theta)$ es a probabilidad previa del parámetro.

Para comparar los valores entre los escenarios y con otros estudios se calculó del valor esperado (*VE*) de la probabilidad posterior de cada parámetro,

$$VE = \sum_{i=1}^n (h_i)(Pr_i),$$

donde:

VE es la probabilidad ponderada promedio del parámetro;

h es la hipótesis alternativa i del parámetro θ ; y

Pr es la probabilidad posterior de cada hipótesis alternativa i .

Para el ajuste del modelo a los datos se utilizó la siguiente función de verosimilitud suponiendo que el error se distribuye normalmente:

$$-L = \left(\frac{n-1}{2} \right) \text{Log} \sum_{t=1}^n (Lt_{est} - Lt_{obs})^2,$$

donde:

Lt_{obs} , es la longitud a la edad t observada;

Lt_{est} es la longitud a la edad t estimada con la función de crecimiento y

n es el número de pares de datos de longitud - edad.

Se utilizó la prueba de curvas coincidentes (Chen *et al.* 1992) y la prueba de razón de verosimilitud (Kimura 1981) para determinar diferencias estadísticamente significativas entre machos y hembras.

5.6 Demografía

Con la información obtenida sobre edad de primera madurez, $\alpha = 3$ años, fecundidad, $mx = 5$ embriones hembra por cada hembra (2.5, con proporción sexual 1:1), longevidad, $\omega = 10$ años y mortalidad natural, $M = 0.42/\text{año}$, se construyó una matriz de Leslie y se estimaron los parámetros demográficos de la guitarra, *R. productus* (Krebs 1985, Caswell 1989). Se construyó una matriz cuadrada A (Leslie, 1954) con dimensión de 10×10 (Caswell 1989). La combinación de elementos a_{ij} de la matriz representa la probabilidad de que la clase de edad j aporte o contribuya a la clase de edad i (Figura 10). De tal modo que a_{21} representa la probabilidad de que un individuo de clase de edad 1 contribuya a la clase de edad 2.

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & a_{1,4} & a_{1,5} & a_{1,6} & a_{1,7} & a_{1,8} & a_{1,9} & a_{1,10} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & a_{2,4} & a_{2,5} & a_{2,6} & a_{2,7} & a_{2,8} & a_{2,9} & a_{2,10} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & a_{3,5} & a_{3,6} & a_{3,7} & a_{3,8} & a_{3,9} & a_{3,10} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & a_{4,3} & a_{4,4} & a_{4,5} & a_{4,6} & a_{4,7} & a_{4,8} & a_{4,9} & a_{4,10} \\ a_{5,1} & a_{5,2} & a_{5,3} & a_{5,4} & a_{5,5} & a_{5,6} & a_{5,7} & a_{5,8} & a_{5,9} & a_{5,10} \\ a_{6,1} & a_{6,2} & a_{6,3} & a_{6,4} & a_{6,5} & a_{6,6} & a_{6,7} & a_{6,8} & a_{6,9} & a_{6,10} \\ a_{7,1} & a_{7,2} & a_{7,3} & a_{7,4} & a_{7,5} & a_{7,6} & a_{7,7} & a_{7,8} & a_{7,9} & a_{7,10} \\ a_{8,1} & a_{8,2} & a_{8,3} & a_{8,4} & a_{8,5} & a_{8,6} & a_{8,7} & a_{8,8} & a_{8,9} & a_{8,10} \\ a_{9,1} & a_{9,2} & a_{9,3} & a_{9,4} & a_{9,5} & a_{9,6} & a_{9,7} & a_{9,8} & a_{9,9} & a_{9,10} \\ a_{10,1} & a_{10,2} & a_{10,3} & a_{10,4} & a_{10,5} & a_{10,6} & a_{10,7} & a_{10,8} & a_{10,9} & a_{10,10} \end{pmatrix}$$

Figura 10. Matriz de transición A compuesta por elementos a_{ij} que representan la probabilidad de clase de edad j aporte o contribuya a la clase de edad i .

Los elementos de la matriz están expresados por la fecundidad per capita F_x en el primer renglón y la probabilidad de supervivencia de la edad x a la $x+1$ P_x en la subdiagonal (Figura 11). En este caso, F_x representa el número de hembras producida por cada hembra de la clase de edad x . Para la determinación de los parámetros demográficos se adoptó el supuesto de una población con un solo pulso de nacimiento anual y con censo posterior al

periodo de reproducción. Para el cálculo de los parámetros demográficos se utilizó el complemento de *Excel* Poptools de CSIRO (www.dwe.csiro.au/vbc/poptools/).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & F_7 & F_8 & F_9 & F_{10} \\ p_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_9 & 0 \end{pmatrix}$$

Figura. 11. Componentes de la Matriz de transición. F = tasa de reclutamiento per-capita, P = probabilidad de supervivencia anual de la edad x a la $x+1$.

5.6.1 Parámetros demográficos

Con la matriz de Leslie se determinó la tasa neta reproductiva como (Caswell 1989):

$$Ro = \sum_{x=0}^{x=n} lxmx ,$$

donde:

lx y mx son la supervivencia y la fecundidad a la edad x , respectivamente.

La supervivencia anual del número de prerreclutas No de la cohorte inicial afectada solamente por la mortalidad natural está dada por:

$$l_x = N_0 \cdot \exp^{-Mx}$$

La tasa de mortalidad total (Z) en base anual se estimó utilizando la ecuación de Hoenig (1983) suponiendo que $Z \approx M$ para una población en condición virgen o con explotación pesquera ligera. Dicha ecuación ha sido frecuentemente utilizada para elasmobranchios (v.g. Cortés 2007):

$$\ln(Z) = 1.46 - 1.01 (\omega),$$

donde:

ω es la longevidad, expresada en años.

La supervivencia de los individuos de la población incluyendo la mortalidad por pesca está dada por

$$l_x = \exp^{-M-F}$$

El tiempo generacional fue determinado con base en (Caswell 1989)

$$G = \left(\frac{\sum_{x=0}^{x=n} l_x \cdot m_x \cdot x}{\sum_{x=0}^{x=n} l_x \cdot m_x} \right) = \left(\frac{\sum_{x=0}^{x=n} l_x \cdot m_x \cdot x}{R_0} \right)$$

Para el cálculo de la tasa intrínseca de incremento de la población se utilizó la ecuación fundamental de demografía (FED) de Euler-Lotka (Caswell 1989):

$$\sum_{x=0}^{x=n} l_x m_x e^{-rx} = 1,$$

donde:

r es la tasa intrínseca de incremento de la población y es calculada resolviendo FED por iteración. La forma de expresar la tasa anual neta de crecimiento poblacional es por medio de λ , la cual se obtiene de: $\lambda = \exp^r$

La tasa de incremento poblacional por generación se calculó de acuerdo con Fowler (1988):

$$rG = \ln(\lambda) \left(\frac{\sum_{x=0}^{x=n} l_x \cdot m_x \cdot x}{R_0} \right)$$

El valor teórico (en años) del tiempo de duplicidad poblacional se determinó por medio de (Caswell 1989):

$$T_{x2} = \left(\frac{\ln(2)}{r} \right)$$

El valor reproductivo de cada grupo de edad x se determinó por medio de (Caswell 1989):

$$V_x = \left(\frac{\exp^{r(x+1)}}{lx \cdot \sum_{x=y}^n \exp^{-r(y+1)} \cdot lxm_x} \right)$$

y la distribución de edades de una población estable se determinó por medio de (Caswell 1989):

$$C_x = \left(\frac{\exp^{-rx} lx}{\sum_{x=0}^{x=n} \exp^{-rx} lx} \right)$$

5.6.2 Análisis de perturbación

Para evaluar la influencia de los valores de los parámetros de la población (fecundidad y supervivencia) de la matriz de Leslie sobre el desempeño de la población de la guitarra, se realizó un análisis de perturbación prospectiva. (Caswell 1989). Para esto, se calculó la sensibilidad (S_{ij}) y la elasticidad (E_{ij}) de los parámetros sobre λ , lo cual mide los cambios absolutos y relativos en λ , respectivamente.

La sensibilidad se determinó por medio de (Caswell 1989):

$$S_{ij} = \left(\frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}} \right) = \left(\frac{v_i w_j}{\langle w, v \rangle} \right)$$

La elasticidad se determinó por medio de (Caswell 1989):

$$E_{ij} = \left(\frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}} \frac{a_{ij}}{\lambda} \right) = \left(\frac{\partial \ln(\lambda)}{\partial \ln(a_{ij})} \right)$$

Los parámetros demográficos se estimaron en condiciones naturales, incorporando solo el efecto de la mortalidad natural M y en condiciones de explotación considerando el efecto de valores teóricos de mortalidad por pesca F que afectan la supervivencia l_x por intervalo de edad x . El efecto de F se incorporó a partir de la edad de primera captura E_{pc} desde la edad 0 hasta la edad 10 años, en intervalos de un año.

5.6.3 Modelación

El valor de los parámetros que mejor representan la población de la guitarra, *R. productus* del golfo de California incorporando la mejor información biológica disponible, fue determinado estableciendo cuatro hipótesis de trabajo o escenarios posibles. Los escenarios fueron construidos para evaluar el efecto de la mortalidad natural (M) constante en toda la estructura de edades, y la fecundidad a partir de un valor absoluto de edad de primera madurez (E_{pm}). Los escenarios fueron:

- Escenario 1: M constante en todas las clases de edad y fecundidad constante (filo de navaja) a partir de $E_{pm} = 4$ años;
- Escenario 2: M constante en todas las clases de edad y efecto de la ojiva de madurez (descrita en la sección 5.3.2.1);

- Escenario 3: M disminuye a la mitad ($0.5M$) a partir de $E_{pm} = 4$ años y fecundidad constante (filo de navaja) a partir de $E_{pm} = 4$ años;
- Escenario 4: M disminuye a la mitad ($0.5M$) a partir $E_{pm} = 4$ años y efecto de la ojiva de madurez.

Debido a que es difícil de apreciar visualmente la combinación de varios parámetros en la matriz, los resultados de la modelación descrita se presentan en dos formatos. Los vectores de l_x , m_x , C_x , V_x , S_x y E_x son presentados en gráficas de líneas en función de la edad x . Para ilustrar el efecto bivariado de incluir E_{pc} y F se prepararon gráficas en 3-D con la finalidad de presentar la superficie de respuesta de los parámetros demográficos al cambio en los valores de E_{pc} y F . La superficie de respuesta se preparó para R_0 , G , λ , rG , tx^2 . De manera exploratoria, se prepararon matrices de respuesta para S_x debido a que ésta representa cambios absolutos en los valores de entrada y no tiene la restricción de sumar 1.

6. Resultados

6.1 Aspectos de la pesquería

6.1.1 Unidades de pesca, sistemas de captura y faenas de pesca

La pesquería de rayas del noroeste, y en particular del golfo de California, es muy similar a la pesca artesanal de tiburón, debido principalmente a que los sistemas de captura son modificados y adaptados por los mismos pescadores, además de la limitada autonomía de las embarcaciones utilizadas. Las embarcaciones utilizadas son tipo panga de 22-25 pies de eslora construidas de fibra de vidrio. Utilizan motores fuera de borda con una potencia que varía de 85-115 caballos de fuerza. Las pangas no cuentan con sistema de conservación a bordo y por ello, los viajes difícilmente exceden de dos días de pesca. Los caladeros son seleccionados cuando la producción disminuye o cuando la red se satura de algas u objetos en suspensión atrapados en la red por efecto de las corrientes. La pesca de las rayas puede efectuarse de 2 a 80 brazas, dependiendo de las especies que se pretenden capturar.

La pesca de rayas comparte la característica de las pesquerías ribereñas, esto es, las artes de pesca son de tipo artesanal, muy variadas y frecuentemente modificadas por el mismo pescador con el fin de maximizar la captura. El sistema de captura más utilizado para la pesca de rayas es la red de enmalle con diferentes aberturas de malla dependiendo de la especie que se pretende capturar. La dimensión de las redes de enmalle puede variar debido a las posibilidades económicas del pescador para reparar o comprar más equipo. Algunas

veces, las variaciones son deliberadas cuando el pescador busca maximizar la captura acoplando paños de diferentes aberturas de malla en una sola red. El uso de palangres para la captura de rayas y tiburones es menos común.

Las dimensiones de las artes de pesca pueden variar de acuerdo con la región (Tabla II). Así, se pueden ver: a) chinchorros manteros de monofilamento de 8 a 8.5” de luz de malla, con longitud de entre 400 y 1000 metros. El “tiranteo” es el método más utilizado por Puerto Peñasco y San Felipe, y consiste en atar cabos de la relinga superior a la de fondo entre cada boya. Este arte de pesca es sumamente eficiente en el Alto golfo de California ya que las corrientes forman bolsas con el paño.

Tabla II. Dimensión y características de los sistemas de captura utilizados para la pesca de elasmobranquios (rayas y tiburones) en el golfo de California.

		Sonora	Sinaloa	BCS	BCN
Red agallera	Intervalo de longitud	150-3600	600-1500	100-600	250-1050
	Mas común	750-1500	600-1500	300-450	450-600
	Abertura de malla (pulgadas)	2.5"-13"	4"-14"	2"-18"	3"-16"
		3.5,6,8,8.5,13	4,6,8,14	8,10,12	5,8,10
Palangre	Intervalo de longitud	1000-3240	1300-2000	100-3000	n.d.
	Mas común	1000-2000	1300-2000	300-1500	n.d.

Las pangas son tripuladas por un máximo de tres pescadores, pero por lo regular son dos. El pescador revisa diariamente la red y desembarca la captura en playa. Aunque en general existe un patrón de pesca que depende de la fase lunar, las condiciones del mar o la escasez de las capturas provocan que el pescador revise la red cada dos o tres días, ocasionando que el producto se descomponga o sea consumido por copépodos (“tecamones”). El deterioro de la captura ocasionado por estos organismos puede llegar a ser significativo. El producto

en la red tiende a descomponerse más lentamente en temporada de invierno cuando las corrientes de agua son de baja temperatura.

6.1.2 Diversidad de especies en las capturas

Hasta la fecha se han documentado 21 especies de rayas en la pesquería artesanal del golfo de California (Tabla III). Las Familias con más especies son Rhinobatoidea (4) y Urolophidae (4) que en conjunto conforman el 38% de las especies capturadas (Tabla IV). La siguiente Familia en importancia por el número de especies es Mobolidae (3), seguida de Dasyatidae (2), Gymnuridae (2) y Myliobatidae (2). De las Familias Narcinidae y Rhinopteridae solo se cuentan una especie cada una. A nivel de Orden, los Myliobatiformes representan 14 especies, seguido del Orden Rajiformes con 6; ambos contribuyen con el 95% de la diversidad de rayas.

En algunas especies varía su vulnerabilidad a la pesca debido a su morfología, patrones migratorios, y estacionalidad, entre otros factores. Los muestreos en la costa del estado de Sonora han sido sistemáticamente realizados, por lo que las proporciones por familia son las más confiables. Las cuatro familias más importantes arriba señaladas, representan el 90% de las capturas de rayas en el golfo de California.

Tabla III. Porcentaje de la captura y diversidad de especies cuantificadas durante las prospecciones de la pesca artesanal de Sonora durante 1998 y 1999. P= Primavera; V= Verano; O= Otoño; I = Invierno.

Especies	1998					1998-99					Gran total	Acumulado
	P	V	O	I	1998	P	V	O	I	1999		
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<i>Rhinobatos productus</i>	0.00	49.27	4.70	56.00	48.37	19.23	11.43	36.90	26.34	46.26	45.95	45.95
<i>Dasyatis dipterura</i>	12.50	7.29	8.05	16.23	28.37	40.20	2.86	5.86	17.97	15.59	15.62	61.57
<i>Rhinoptera steindachneri</i>	0.00	9.11	31.41	12.05	4.71	13.56	14.29	1.03	17.71	10.74	10.85	72.42
<i>Gymnura marmorata</i>	0.00	8.64	43.49	7.65	5.62	14.14	60.00	10.34	24.98	9.26	9.51	81.93
<i>Narcine entemedor</i>	37.50	6.47	2.28	2.57	2.88	3.81	0.00	10.34	2.70	4.83	4.79	86.72
<i>Rhinobatos glaucostigma</i>	0.00	6.92	0.00	2.58	0.00	1.30	0.00	4.14	0.00	4.63	4.55	91.28
<i>Gymnura crebripunctata</i>	0.00	5.58	0.00	0.79	0.00	0.65	0.00	4.48	0.00	3.27	3.22	94.50
<i>Myliobatus californica</i>	12.50	1.65	5.37	0.09	0.00	5.80	8.57	2.07	2.83	1.87	1.88	96.38
<i>Zapteryx exasperata</i>	0.00	2.56	0.27	0.75	0.39	0.16	2.86	6.90	0.39	1.61	1.59	97.97
<i>Raja velezi</i>	0.00	1.32	0.00	0.12	0.13	0.34	0.00	15.86	0.06	0.83	0.82	98.79
<i>Urobatis maculatus</i>	0.00	0.42	0.00	0.39	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.39	0.38	99.17
<i>Dasyatis spp.</i>	0.00	0.29	0.13	0.13	0.52	0.00	0.00	0.00	0.32	0.19	0.19	99.36
<i>Dasyatis longus</i>	0.00	0.05	0.00	0.16	0.13	0.14	0.00	0.00	0.06	0.10	0.10	99.46
<i>Mobula spp.</i>	0.00	0.01	0.27	0.30	0.52	0.00	0.00	0.00	0.39	0.10	0.10	99.56
<i>Mobula japonica</i>	0.00	0.05	0.00	0.04	6.67	0.01	0.00	0.00	3.28	0.04	0.09	99.65
<i>Urotrygon chilensis</i>	0.00	0.10	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	99.72
<i>Narcine spp.</i>	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	99.77
<i>Urobatis spp.</i>	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	99.81
<i>Urobatis halleri</i>	0.00	0.03	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	99.85
<i>Gymnura spp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	99.89
<i>Myliobatis longirostris</i>	0.00	0.02	0.81	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.39	0.02	0.03	99.92
<i>Mobula munkiana</i>	0.00	0.00	1.34	0.01	1.05	0.01	0.00	0.00	1.16	0.00	0.02	99.94
<i>Urotrygon rogersi</i>	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	99.96
<i>Myliobatis spp.</i>	0.00	0.01	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.84	0.00	0.02	99.98
<i>Raja spp.</i>	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.34	0.13	0.01	0.01	99.98
<i>Rhinobatos spp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	99.99
<i>Hydrolagus colliciei</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	0.01	0.00	99.99
<i>Raja inornata</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
<i>Mobula thurstoni</i>	0.00	0.00	0.13	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	100.00
<i>Rhinobatos leucorhynchus</i>	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	100.00
<i>Urotrygon sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Tabla IV. Inventario taxonómico de las rayas de importancia comercial en la pesquería artesanal de rayas de Sonora. Clasificación de acuerdo a McEchran y Aschliman (2004).

Familia	Orden			Total		
	Myliobatiformes	Rajiformes	Torpediniformes	No.	%	(% Acum.)
Rhinobatidae		4		4	19.0	19
Urolophidae	4			4	19.0	38
Mobulidae	3			3	14.3	52
Dasyatidae	2			2	9.5	62
Gymnuridae	2			2	9.5	71
Myliobatidae	2			2	9.5	81
Rajidae		2		2	9.5	90
Narcinidae			1	1	4.8	95
Rhinopteridae	1			1	4.8	100
Total	14	6	1	21		
%	66.7	28.6	4.8			
(% Acum.)	66.7	95.2	100.0			

6.1.3 Esfuerzo de pesca estacional y por zona

En el primer trimestre del año, el 36% de los viajes se realizaron con redes de abertura de malla de 8" seguido de la red de 6" con 23% (Figura 12). Los viajes con redes de 3" y 13" representaron el 17% cada uno. En ese trimestre, de la zona I provino el 98% de la captura de la especie bajo estudio. Durante el segundo trimestre la proporción del número de viajes con redes de 6", 8" y 13", fue 35%, 24%, y 21%, respectivamente. La captura de este trimestre fue en su mayoría realizada en las zonas I y II, con 61% y 33%, respectivamente. En el tercer trimestre, los viajes con red de 13" representaron el 45% del total y los viajes con red de 8" el 38%. Las zonas I y II fueron nuevamente las más representativas, con el 71% y el 24%. En el cuarto trimestre, los viajes con redes de abertura de malla de 8" y 13" representaron el 45% y 24%, mientras que los viajes con redes de 3" y 10" contribuyeron ambos con el 10% cada uno. En la zona II se realizó 99% de la captura en este cuarto trimestre.

6.1.4 Captura por zona

La mayor variabilidad de la captura se observó durante el segundo trimestre, en la zona I. Con excepción de la zona II, en el resto de las zonas durante el segundo trimestre se presentó la mayor variabilidad en la captura. Las mayores capturas de la zona II se observaron en el cuarto trimestre del año (Figura 13a). La mayor frecuencia de capturas de *R. productus* de la zona I, se presentó durante el segundo trimestre del año. En la zona II, se observó un decremento abrupto en la frecuencia de captura por viaje con máximos en el primer trimestre y mínimos en el tercero (Figura 13b).

La distribución de frecuencia de la captura por viaje por trimestre y por zona, reveló un patrón característico de la captura con una gran cantidad de viajes sin captura y algunos valores extremadamente altos (Figura 14). La proporción de los viajes sin captura varió por trimestre: 1 (6%), 2 (17%), 3 (11%), y 4 (5%) y fueron estadísticamente diferentes ($G = 12.03$; $P < 0.01$) de la proporción de viajes con 1 a 50 organismos 1 (10%), 2 (26%), 3 (1%) y 4 (5%). La proporción de los viajes de pesca sin captura varió por zona: I (15%), II (17%), III (7%), y IV (4%), mientras que la frecuencia con capturas de 1 a 50 organismos por viaje fue: I (11%), II (26%), III (3%) y IV (1%). No se observaron diferencias significativas entre la proporción de viajes sin captura y con captura de 1 a 50 organismos al compararlos por zona ($G = 5.7$; $P = 0.12$).

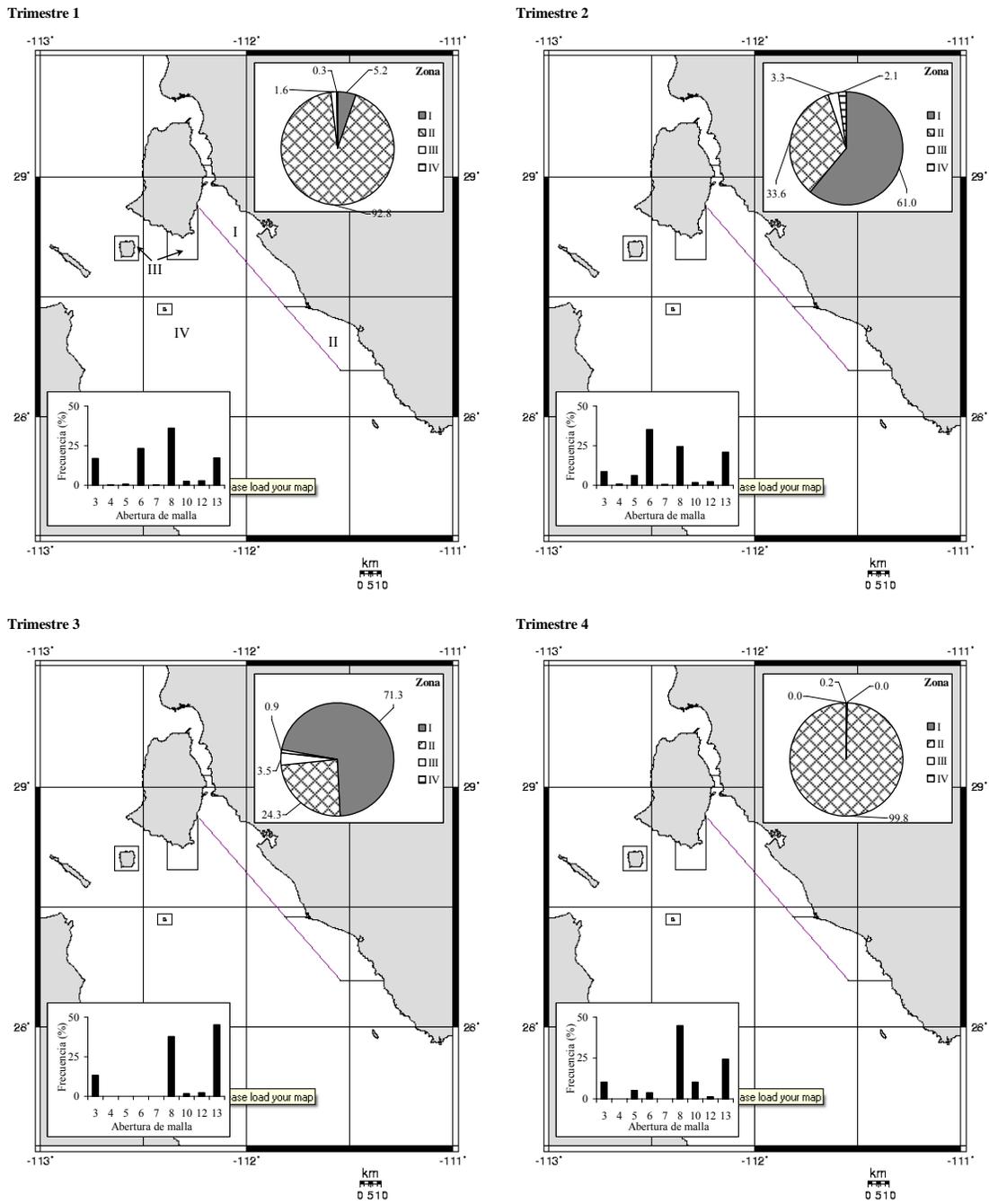


Figura 12. Proporción de la captura (%) del pez guitarra, *R. productus*, por zona y trimestre. La gráfica de barras expresa la proporción del número de viajes de pesca con diferente abertura de malla durante 1999.

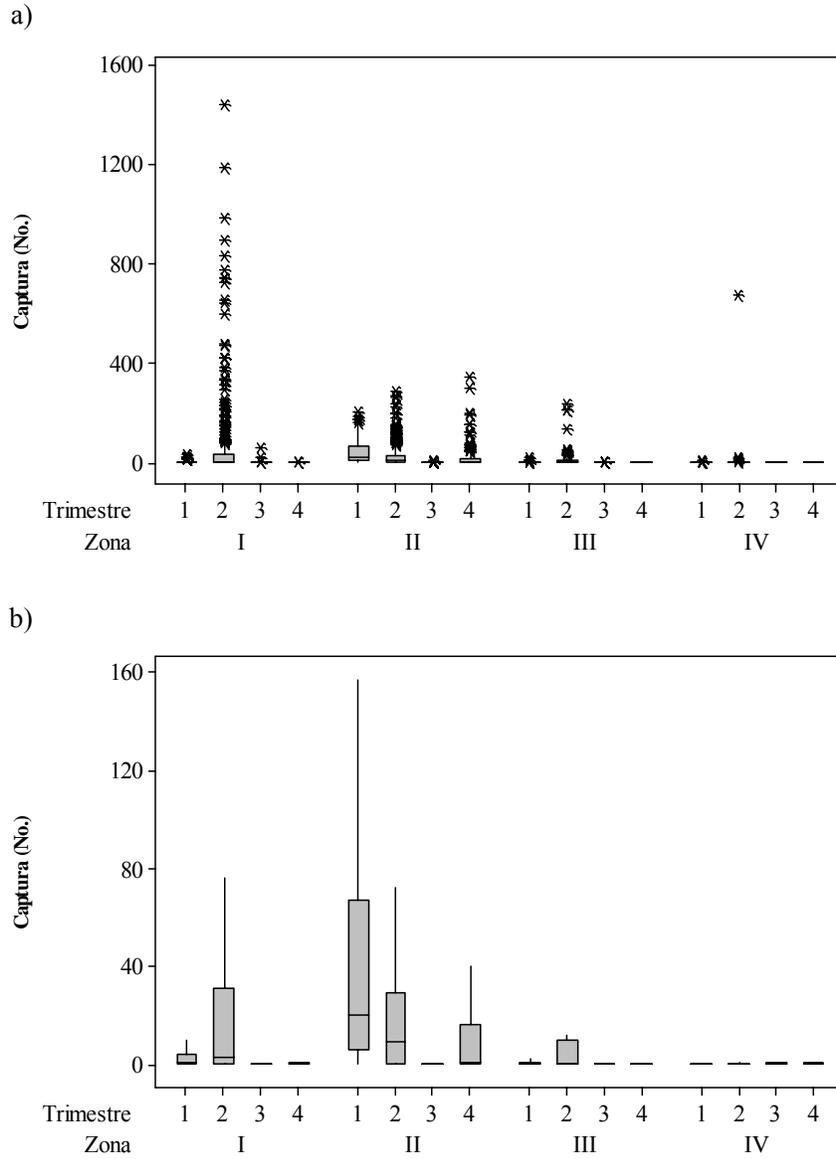


Figura 13. Patrón estacional de la captura del pez guitarra, *R. productus*, por zona durante 1999. Captura nominal por viaje (a). Captura por viaje omitiendo valores extremos para destacar el patrón (b).

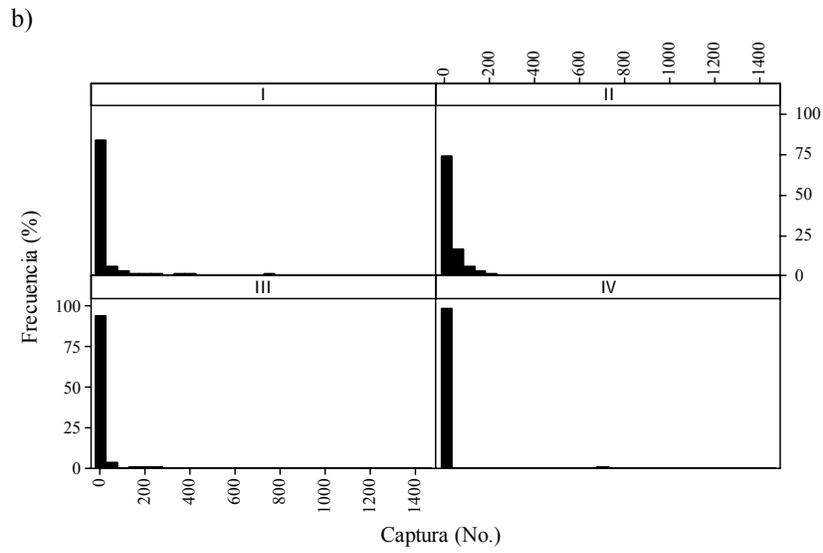
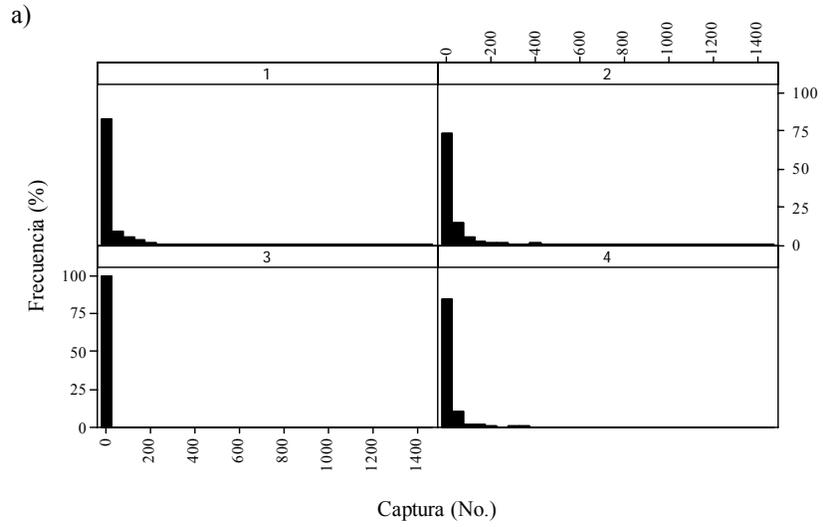


Figura 14. Distribución de frecuencia relativa de la captura de la guitarra, *R. productus*, por trimestre (a) y por zona (b) durante 1999.

6.1.5 Participantes en la pesquería, captura incidental y aspectos socioeconómicos

La explotación comercial de las rayas en la región del golfo de California la realizan cooperativas, pescadores libres, y permisionarios. No se sabe que exista una actividad de pesca industrial dirigida a la captura de rayas, aunque se reconoce que embarcaciones de mediana altura de gran autonomía que operan al amparo de un permiso de pesca de escama capturan gran cantidad de elasmobranquios (Leonardo Castillo, Com. Pers. CRIP-Ensenada).

Anteriormente, los batoideos o rayas, no se aprovechaban comercialmente; en la actualidad, las rayas son de importancia comercial e inciden variadamente en muchas pesquerías regionales que operan con diversos sistemas de captura. Además de ser una actividad comercial, la pesquería artesanal de rayas tiene un componente social de suma importancia pues en gran parte de las localidades los miembros de la familia nuclear juegan un papel esencial. Se observó que la familia participa con actividades que incluyen el eviscerado del producto, incluyendo amas de casa y niños que lavan el producto, mujeres que se dedican al fileteado, por mencionar algunos.

En el noroeste de México, el pez guitarra, *R. productus*, se utiliza para elaborar artesanías en la región de Sonora y la península de Baja California. Por lo general no existe un control de calidad en el manejo del producto. Una vez en la playa la captura es eviscerada y procesada con un bajo nivel de infraestructura e higiene. Su carne fresca y seca-salada es destinada al consumo humano directo.. La carne fileteada es almacenada en cámaras de congelación para su distribución regional. En algunas localidades con vocación turística,

algunas rayas se utilizan como artesanía, en otras son apreciadas por el sabor de su carne y se utiliza en comida regional (v.g. “caguamanta” y tacos de pescado). Debido a la sustancial captura incidental de rayas y otras especies de importancia comercial en las embarcaciones de arrastre utilizadas para la captura del camarón de alta mar, algunas rayas son comercializadas por grupos de personas denominados “guateros”. Estas personas compran las rayas a los barcos camaroneros y las venden en el mercado local.

Uno de los vicios más agudos de esta pesquería es el abuso del intermediario o comprador hacia el pescador, ya que el primero controla discrecionalmente el precio de la carne y la capacidad de almacenar el producto en hieleras. En estas circunstancias, el pescador se ve forzado a vender su producto barato. Las principales víctimas de este abuso es el pescador libre (no cuenta con permiso de pesca y se le permite la pesca con fines de supervivencia) por carecer de una organización legal que les permita buscar nuevas alternativas de comercialización.

6.2 Selectividad de las redes de enmalle

El número de organismos capturados y medidos de *R. productus* utilizados en el análisis de selectividad, así como el esfuerzo en número de viajes se presenta en la tabla V. Un total de 4,510 organismos capturados en 474 viajes de pesca fueron utilizados para el análisis de selectividad. En el periodo de estudio, los desembarques con red de enmalle de 6'' representaron el 35.7% de los viajes. Las capturas de las redes de enmalle examinadas utilizadas para el análisis de selectividad fueron comparables entre sí con excepción de la capturas con red de 3.5''.

Tabla V. Número de rayas medidas y contadas, número de viajes por panga contados y factor de estandarización (SF) para cada paño con diferente abertura de malla.

Variable	Abertura de malla (pulgadas)					Total
	3.5''	5.0''	6''	8''	8.5''	
Rayas medidas	35	99	189	129	146	598
Rayas contadas	90	1061	2442	330	587	4510
Viajes con captura incluyendo cualquier especie ¹	13	37	132	169	123	474
Factor de estandarización, SF (Numero de rayas cada 10 viajes) ²	1.98	2.9	0.98	0.15	0.33	6.33

1. Viajes sin captura no incluidas

2 Números medidos/ numero de viajes de pesca

La distribución de frecuencia de longitudes tabulada y ponderada con el factor de estandarización (SF) por abertura de malla se presenta en la tabla VI. Se observaron valores extremos en el paño de 3.5'' en los intervalos de 25.0-29.9 cm y 80.0-84.9 cm LT los cuales fueron también utilizados por el modelo de selectividad.

Tabla VI. Número de *R. productus* capturado por cada 10 viajes, en intervalos de 5 cm. por cada paño con diferente abertura de malla.

LT (cm)	Abertura de malla (pulgadas)					Total
	3.5"	5.0"	6"	8"	8.5"	
25.0-29.9	2.0					2
30.0-34.9	5.9					5.9
35.0-39.9		11.6	1.0	0.2	0.3	
40.0-44.9	5.9	8.7	4.9	0.5	0.7	19
45.0-49.9	21.8	69.5	28.4	3.2	6.5	36.4
50.0-54.9	19.8	144.8	43.1	3.3	7.5	127
55.0-59.9	7.9	49.2	39.2	3.2	8.8	207
60.0-64.9	2.0	2.9	32.3	2.3	7.8	102
65.0-69.9			9.8	1.2	5.2	45.3
70.0-74.9			13.7	3.3	4.9	16.2
75.0-79.9			8.8	1.1	4.6	21.9
80.0-84.9	4.0		3.9	1.4	1.0	18.4
85.0-89.9					0.3	6.3
90.0-94.9						0.3

Los parámetros de selectividad derivados del ajuste del modelo a los datos de la tabla VI fueron $\theta_1 = 105.7$ y $\theta_2 = 21,741$. Las curvas resultantes de dichos parámetros correspondientes a las mallas disponibles, se presentan en la figura 15 (Anexo 2).

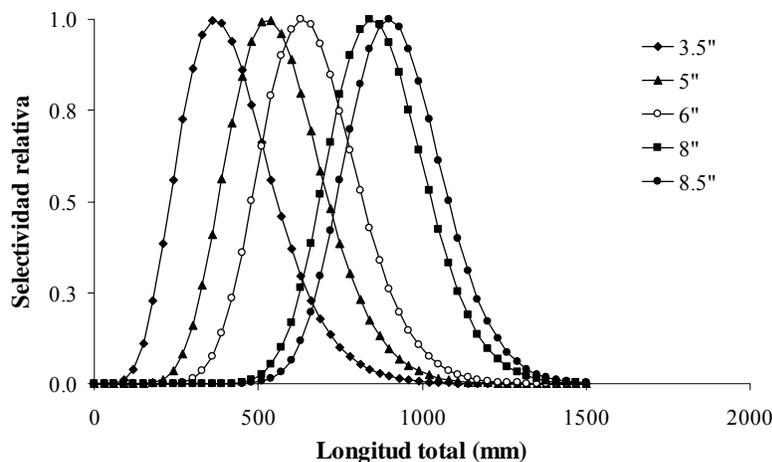


Figura 15. Curvas de selectividad de las redes de enmalle utilizadas en la pesca artesanal de rayas para la captura de la guitarra, *R. productus*, en Sonora.

6.3 Interacción entre la selectividad y la madurez

Un total de 1,144 individuos fueron utilizados para representar la estructura de la población de la guitarra, *R. productus*, capturada por la flota artesanal de Sonora. La distribución de frecuencia de longitudes mostró dos máximos, uno muy prominente en el intervalo de clase de 56-58 cm. LT y otro más tenue en el intervalo de clase de 78-80 cm. LT correspondiendo a machos y hembras, respectivamente (Figura 16). Debido a diferencias morfométricas entre sexos, los machos tienen una amplitud en las tallas de 48 cm. (22 a 70 cm. LT) y las hembras de 72 cm. (22 a 94 cm. LT). El traslape entre los máximos picos de hembras y machos abarcó un intervalo de longitudes de 58-66 cm. LT. La distribución de frecuencia de sexos combinados se vio reducida al extraer los organismos maduros por medio de la función logística. Es decir, los organismos maduros están representados por las tallas más grandes de ambos sexos.

La reducción del intervalo de tallas para los machos fue de 32% y para las hembras fue de 17%, y la amplitud de organismos maduros de machos y hembras fue de 22 cm (48 a 70 cm LT) y 48 cm (50 a 98 cm LT), respectivamente (Figura 16b,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", 8.5" representaron reducciones en el total de individuos de la distribución de frecuencia de longitudes de 0.59%, 0.09%, 0.08%, 0.85% y 0.94%, respectivamente. Mientras que las mismas redes para las hembras representaron reducciones de 0.79%, 0.41%, 0.16%, 0.48%, 0.63%. Dichas proporciones fueron influenciadas esencialmente por la abundancia en las clases de la distribución de

frecuencias de la población, el sexo y la abertura de malla. Por ejemplo, la distribución de frecuencia de longitudes de machos maduros con una red de 3.5" (Figura 17a) es más conspicua que la distribución de longitudes de las hembras maduras con la misma abertura de malla (Figura 17f). Esta última presenta mayor distribución hacia organismos de mayor talla. Los machos maduros fueron más vulnerables a las redes con aberturas de malla de 5.0" y 6.0" debido a que redes con aberturas de malla mayores tienen su máxima selectividad en longitudes que rebasan la talla más grande observada para los machos.

Por su parte, la distribución de frecuencia de longitudes de las hembras maduras se mostró con un sesgo hacia la derecha con la mayor frecuencia en los intervalos de clase de longitud de 54-72 cm. (Figura 17f,h), cambiando notablemente la distribución hacia tallas más grandes con redes de 8.0" y 8.5" de abertura de malla (Figura 17i,j).

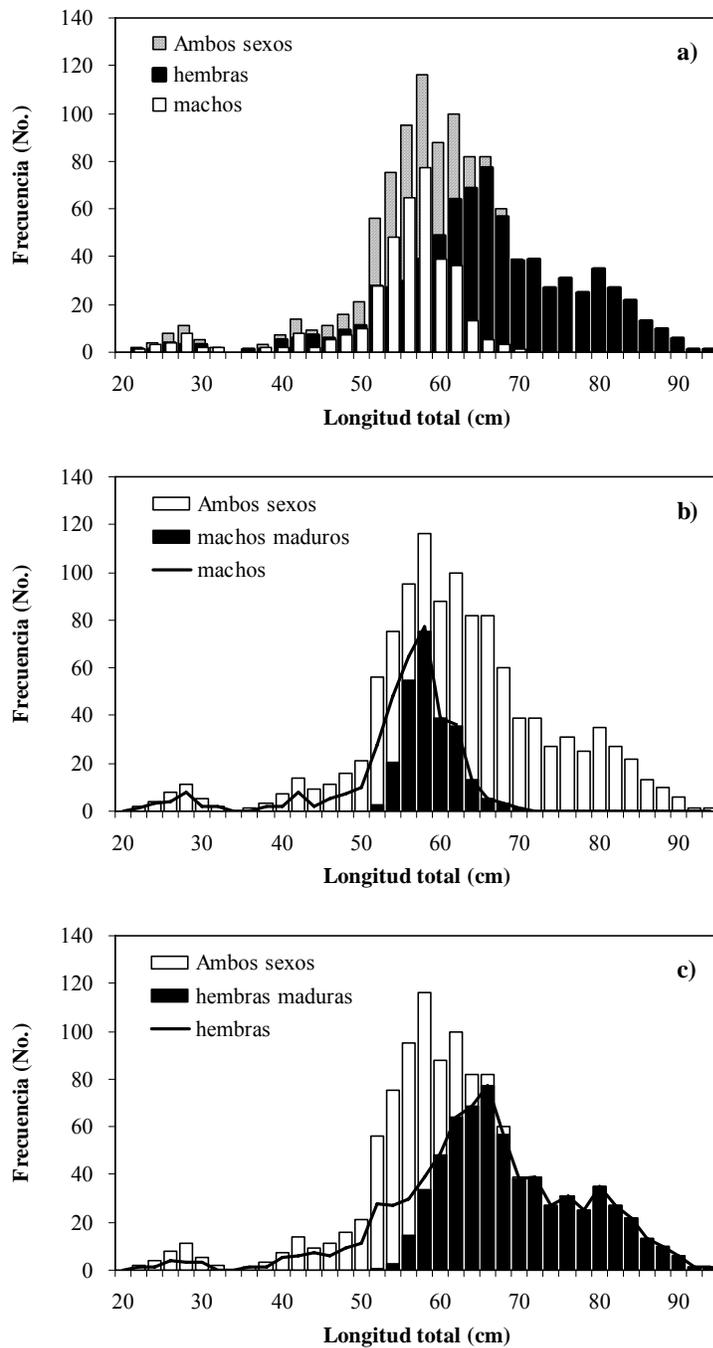


Figura 16. Distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra, *R. productus*, capturada por la flota artesanal de Sonora (a). Comparación de la distribución de frecuencia de longitudes de machos y hembras (barras blancas) con los machos (líneas) y los machos maduros (barras negras) (b). Comparación de la distribución de frecuencia de longitudes de machos y hembras (barras blancas) con las hembras (líneas) y las hembras maduras (barras negras) (c).

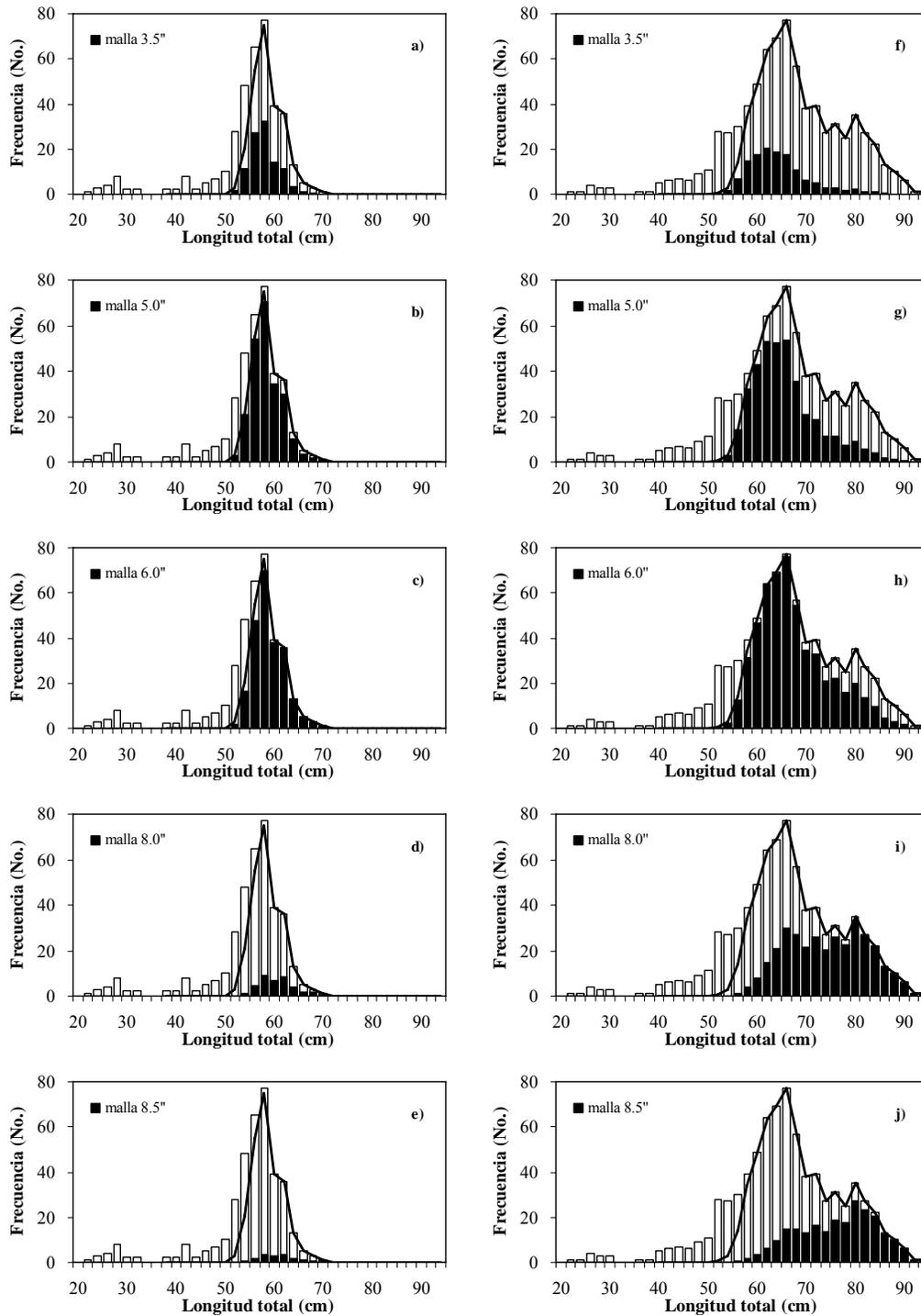


Figura 17. Distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra, *R. productus*, capturada con redes de enmalle de diferentes aberturas de malla utilizados en la pesquería artesanal de Sonora. Las líneas representan a los machos (a-e) y hembras (f-j) de la población y las barras negras a los individuos maduros de cada sexo.

6.4 Biología

6.4.1 Peso y longitud

No obstante que la distribución de frecuencia de longitudes es influenciada por la selectividad de las redes de enmalle, en las muestras analizadas estuvieron bien representados todos los estadios de desarrollo de la guitarra. El intervalo de tallas de los machos fue de 21-66 cm. de longitud total (LT) con una media de 50 cm. LT (d.s = 11.9, n = 120) y de las hembras fue de 21-101 cm. LT (d.s = 16, n = 183). El intervalo de peso (entero) de los machos fue de 26.6-800 g con una media de 368 g (s.d = 225, n = 84) y el intervalo de las hembras fue de 30-3,980 g. con una media de 1,150 g. (d.s = 969, n = 90). Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.0001$) en la relación peso-longitud entre hembras y machos por lo que esta relación fue calculada para cada sexo. Los valores de las constantes de la ecuación $W = aL^b$ fueron $a = 8.07 \times 10^{-7}$ y $b = 3.34$, $r^2 = 0.97$ para machos y $a = 5.76 \times 10^{-7}$, $b = 3.34$, $r^2 = 0.98$ para hembras (Figura 18).

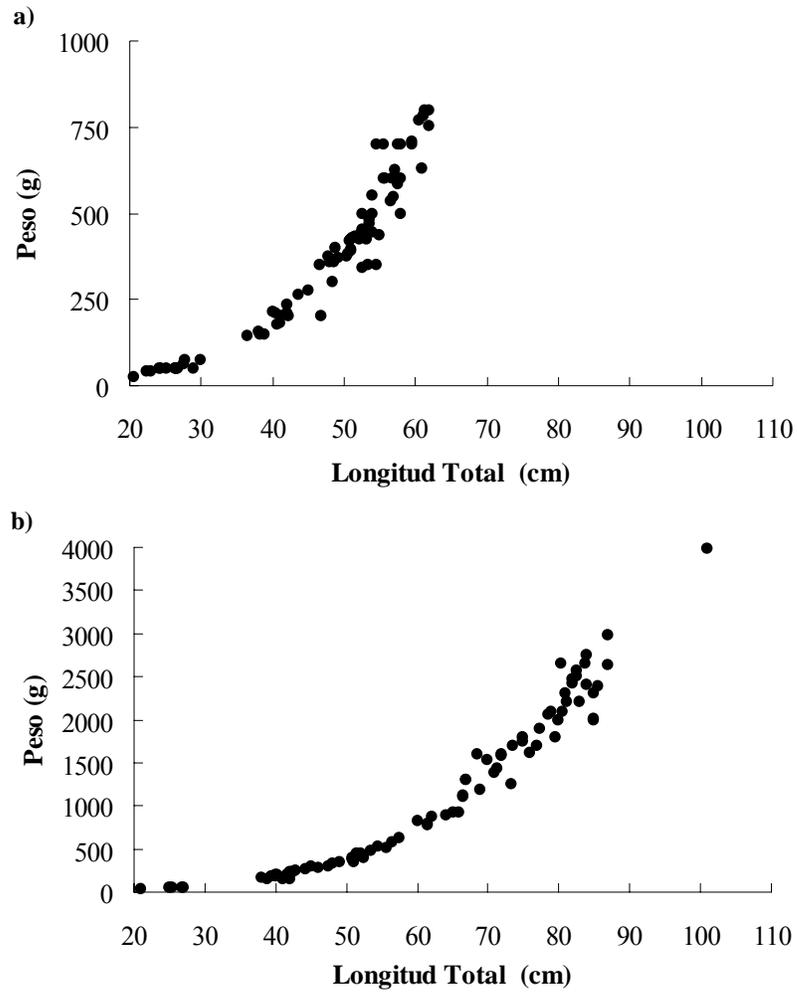


Figura 18. Relación entre la longitud total y el peso (entero) para machos (a) y hembras (b) del pez guitarra, *R. productus*.

6.4.2 Madurez sexual

Machos.- En los machos el desarrollo de los claspers es gradual, mostrándose flácidos en los juveniles e incrementándose abruptamente a partir de los 45 cm. LT. Se observaron claspers calcificados a partir de los 53 cm. LT. Los organismos de 48-53 cm. se encontraron en la etapa de transición de madurez incluyendo algunos organismos con claspers parcialmente calcificados (Figura 19). El macho más pequeño con claspers calcificados midió 53 cm. LT. Todos los machos mayores a 55 cm. LT estuvieron maduros, con claspers calcificados y con capacidad de rotar hacia la parte frontal del organismo. El intervalo de longitud de los claspers de organismos maduros fue de 8-11 cm. Por otro lado, el crecimiento de los testículos es gradual con tendencia positiva en función de LT (Figura 20). En organismos maduros, los testículos midieron 22-52 mm. La madurez de los machos fue corroborada con cortes histológicos de los testículos revelando un arreglo radial de los espermatozoides en los folículos seminíferos (Figura 21).

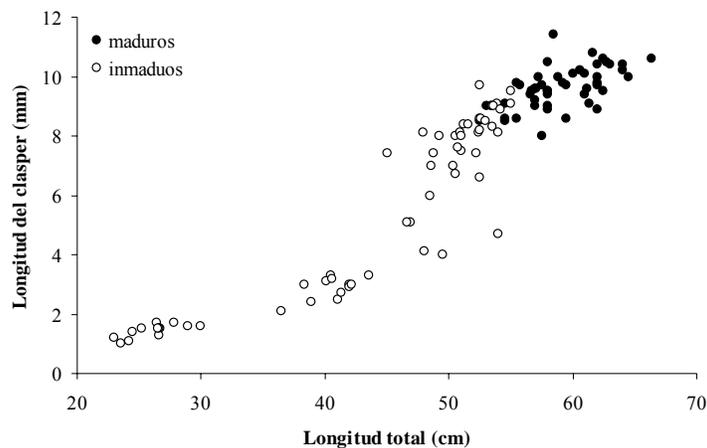


Figura 19. Relación entre la longitud total y la longitud del clasper de la guitarra, *R. productus*. Los puntos negros representan a los organismos maduros.

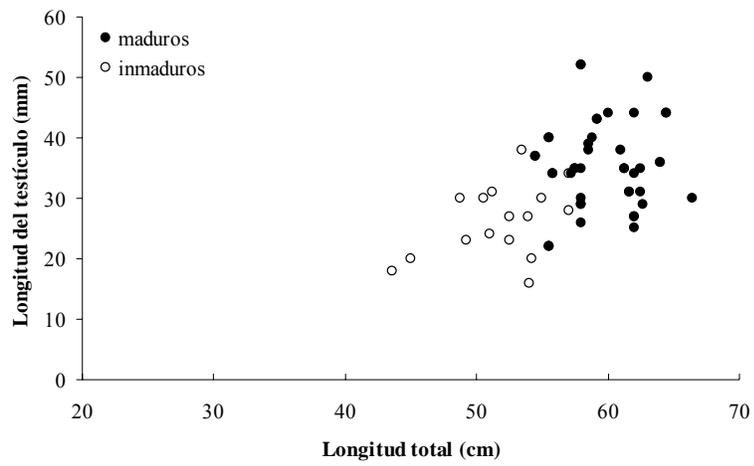


Figura 20. Relación entre la longitud total y la longitud del testículo de la guitarra, *R. productus*. Los puntos negros representan a los organismos maduros.

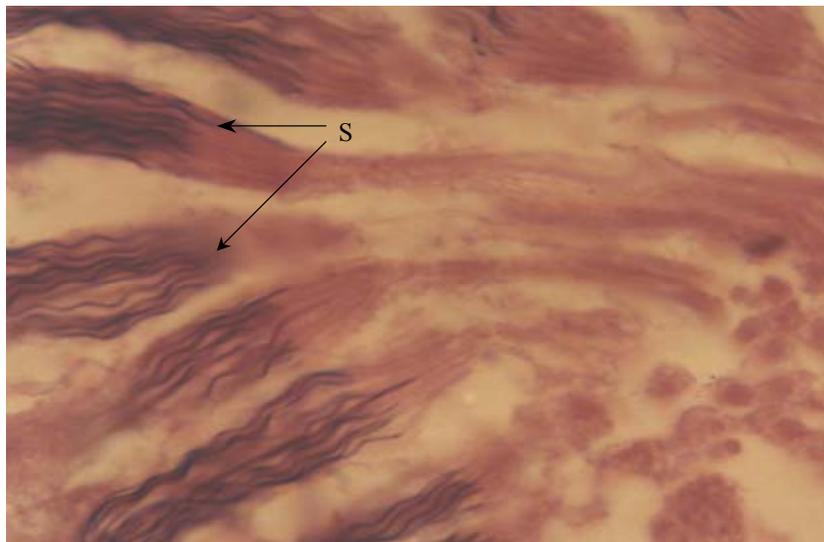


Figura 21. Corte transversal del testículo de la guitarra, *R. productus*, mostrando las agrupaciones de esperma (S).

Hembras.- Las hembras poseen dos ovarios externos adheridos al límite superior del órgano epigonal (Figura 22). En organismos juveniles, los ovarios están poco desarrollados con ovocitos menos de 5 mm. de diámetro. En organismos maduros, los ovarios contienen óvulos de diferentes tamaños. Los óvulos se tornan amarillos cuando maduran, creciendo al acumularse el vitelo.

El diámetro máximo de los óvulos tiene una tendencia positiva en función de la longitud de la hembra (Figura 23). En hembras maduras (incluyendo hembras grávidas) el intervalo del diámetro del óvulo más grande es de 5-28 mm. La relación entre el número de óvulos y la longitud de la hembras fue positiva y significativa, y es descrita por la función lineal $y = -13.58 + b 0.29 (LT), r^2 = 0.72 (n = 39, P < 0.0005)$.

En organismos juveniles la glándula oviducal es difícil de distinguir del resto del oviducto. En organismos inmaduros el ancho de la glándula oviducal mide 1-7 mm. En hembras de entre 55-65 cm. LT el ancho de la glándula oviducal es 8-15 mm, mientras que en organismos maduros el intervalo de la glándula oviducal es de 9-19 mm. (Figura 24). El análisis histológico de la glándula oviducal no reveló evidencia de almacenamiento de esperma (Figura 25).

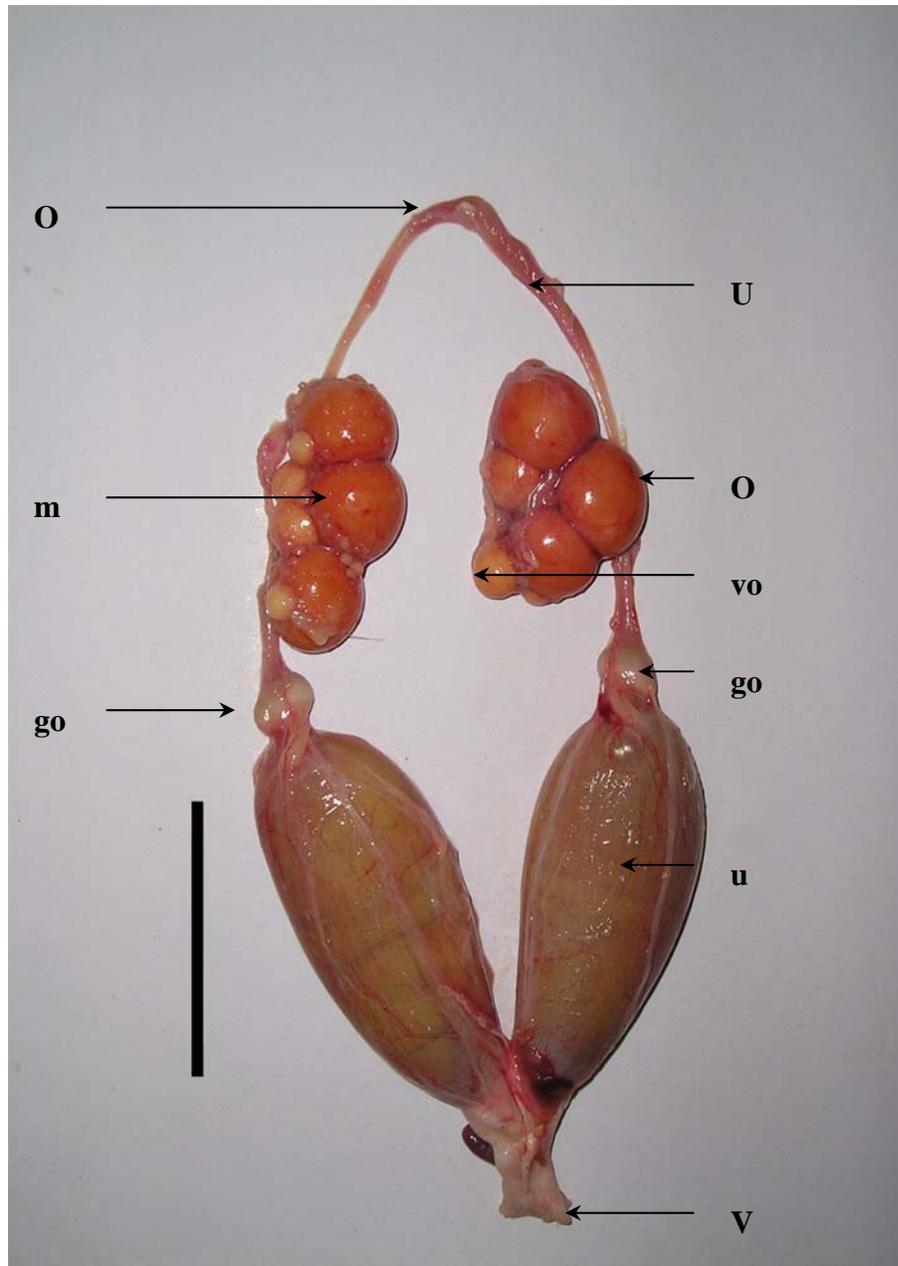


Figura. 22. Tracto reproductor de la guitarra, *R. productus*, mostrando las agrupaciones de esperma (S); ostium (Os); oviducto superior (Uo); ovario (Ov) conteniendo ovocitos en crecimiento (voo) y óvulos maduros (mo); glándula oviducal (go); útero (u) conteniendo óvulos fertilizados (cápsulas uterinas); vagina (Va). El órgano epigonal fue removido del tracto para mayor apreciación. Escala = 5 cm.

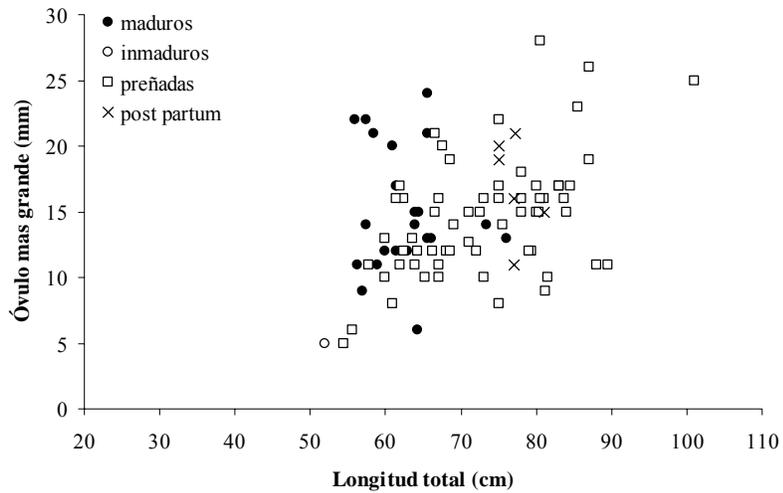


Figura 23. Relación entre la longitud total y el diámetro del óvulo más grande de la guitarra, *R. productus*.

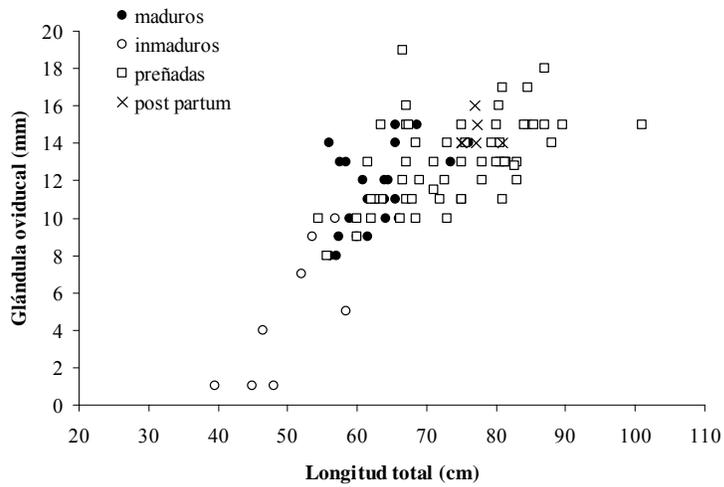


Figura 24. Relación entre la longitud total y el ancho de la glándula oviducal de la guitarra, *R. productus*.



Figura 25. Corte transversal de la glándula oviducal de la guitarra, *R. productus*, sin rastros de almacenamiento de esperma.

En organismos juveniles el ancho del útero varió de 1-12 mm. y en los maduros de 3-49 mm. con una media de 22 mm. (d.s = 11.5) El útero inicia un crecimiento abrupto cuando las hembras alcanzan los 60 cm. LT (Figura 26). Las hembras en reposo pueden presentar úteros adelgazados debido a que se contrae después del alumbramiento.

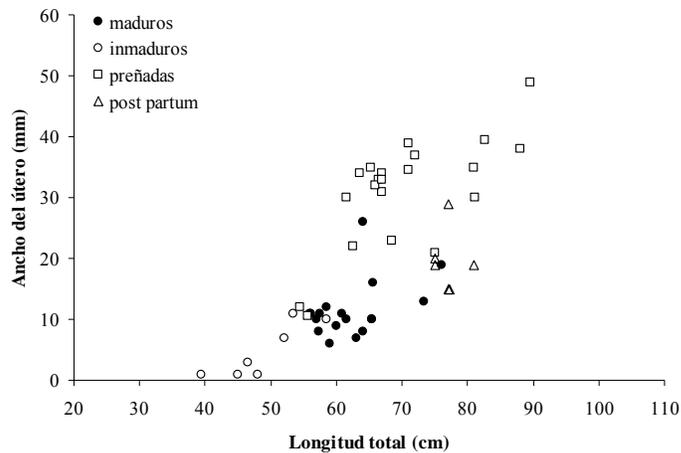


Figura 26. Relación entre la longitud total y el ancho del útero de la guitarra, *R. productus*.

La proporción de madurez en función de la longitud de machos y hembras fue descrita con la función logística (Figura 27). El valor de los parámetros para machos fue $M_L = 1/(1+\exp(-(LT-55)/2.05))$ y para hembras fue de $M_L = 1/(1+\exp(-(LT-57)/2.46))$. La prueba de curvas coincidentes reveló que no existen diferencias significativas entre la curvas de machos y hembras ($F = 1.639, P = 0.27$).

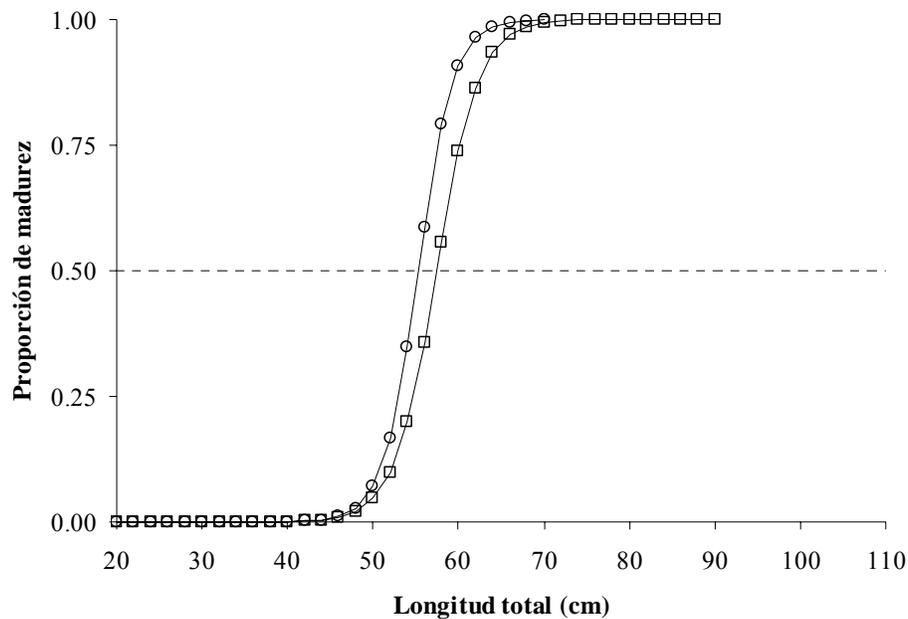


Figura. 27. Proporción de madurez en función de la longitud para machos (círculos) y hembras (cuadros) de la guitarra, *R. productus*. La línea punteada es el 50% de madurez o talla crítica.

6.4.3 Fecundidad

Se observó que las hembras preñadas contenían al mismo tiempo óvulos maduros en el ovario y cápsulas fertilizadas en el útero. La fecundidad de las hembras varió de 1-10 embriones, con un promedio de 5 (d.s = 2.24) y una proporción sexual 1:1.

6.4.4 Periodo reproductivo, desarrollo embrionario y gestación

En las hembras preñadas los óvulos pueden tener tamaños variables debido a la presencia de dos cohortes de óvulos, unos de tamaño grande que ovularán después del apareamiento, y otra cohorte que crecerá y ovulará el próximo año. Son comunes las hembras con cápsulas uterinas en los meses de julio a marzo del año siguiente.

Los embriones inician su desarrollo en marzo, pudiendo alcanzar 20 mm. de LT y en mayo-junio presentaron un intervalo amplio de longitudes (Figura 28a). El saco vitelino mostró un abrupto descenso en tamaño con intervalos variables en abril y mayo. El patrón de crecimiento embrionario tiene forma de “S” y dura de 4-5 meses. El nacimiento se da de finales de junio a octubre. La talla promedio de nacimiento es de 175 mm. LT después de un periodo de gestación de 12 meses. La ovulación ocurre poco después del alumbramiento. Los valores de las constantes de la relación peso-longitud de los embriones fueron $a = 6 \times 10^{-7}$, $b = 2.965$, $r^2 = 0.861$ ($n = 44$). Para expresar el consumo del saco vitelino, se determinó un índice dividiendo el tamaño del embrión entre el tamaño del saco vitelino. Este índice I , tuvo un patrón descendiente en función del tamaño del embrión. La ecuación que mejor describe este patrón fue de la forma $I = a^{b(LT)}$ donde $a = 1.73$, $b = -0.0183$, y LT es la longitud total del embrión (Figura 28b).

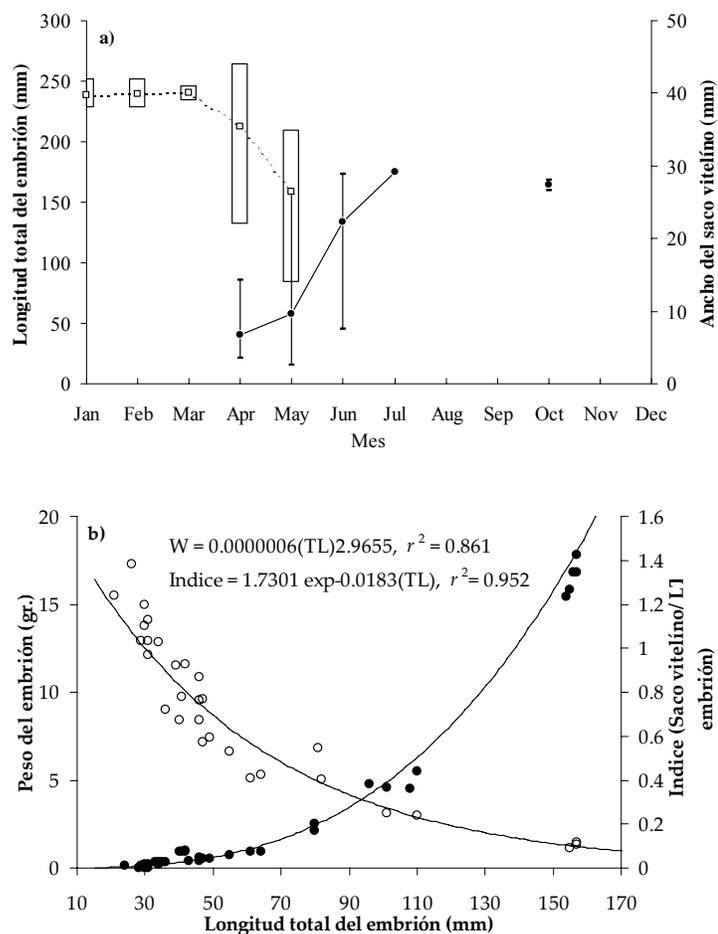


Figura 28. Desarrollo del embrión. (a) Crecimiento embrionario (líneas verticales) y ancho del saco vitelino (cuadros). (b) Relación entre el peso del embrión (W) y la longitud total (LT) (puntos negros), y relación entre el índice, *I*, de consumo (ancho del saco vitelino/LT embrión) y la longitud total del embrión. El índice, *I*, representa la tendencia del consumo del vitelo durante el crecimiento del embrión.

6.5 Edad y crecimiento

6.5.1 Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total

Se encontró una relación lineal positiva, $LT = 10.63 + 19.82(RV)$ y significativa ($r^2 = 0.94$, $n = 106$, $P < 0.0005$) entre el radio de la vértebra (RV, mm.) y la longitud total de los organismos (LT, cm.) combinando ambos sexos (Figura 29).

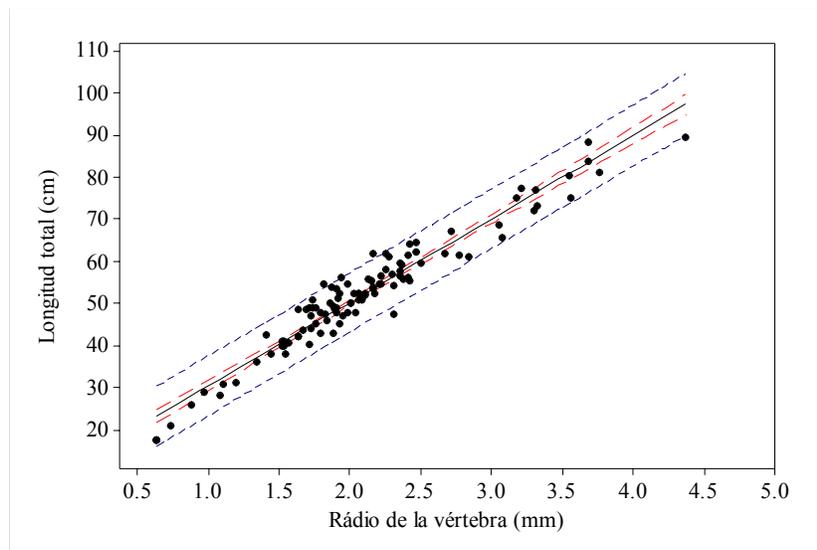


Figura 29. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total de la guitarra, *R. productus*, mostrando la línea de regresión (continua), el intervalo de confianza de la regresión (punteada larga) y el intervalo de confianza de los datos (punteada corta).

6.5.2 Evaluación del error de lectura

El porcentaje de error promedio (Average Percent Error, *APE*) de las lecturas del conteo de las bandas de crecimiento fue de 5.92%, 6.17% y 6.17% para machos, hembras y sexos combinados, respectivamente. Las lecturas tuvieron un intervalo de error de -2, -1, 0,1 y 2 años de edad. Se utilizó el valor absoluto de la diferencia para expresar el porcentaje de

concordancia para ambos sexos, que fue del 61% para 0 años, 32% para ± 1 año y 7% para ± 2 años, respectivamente (Tabla VII).

Tabla VII. Porcentaje promedio de concordancia de las lecturas y conteo de las bandas de crecimiento por sexo y por intervalo de clase de longitud LT cada 5 cm. El porcentaje de concordancia se presenta para lecturas sin diferencia (0), con diferencia de (± 1) y (± 2). Los valores en paréntesis son los casos en número.

LT (cm)	machos				hembras				ambos sexos			
	0	1	2	Tot.	0	1	2	Tot.	0	1	2	Tot.
15.1 - 20	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (2)	0 (0)	0 (0)	(2)
20.1 - 25	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	100 (1)	0 (0)	0 (0)	(1)	100 (1)	0 (0)	0 (0)	(1)
25.1 - 30	67 (2)	33 (1)	0 (0)	(3)	100 (4)	0 (0)	0 (0)	(4)	86 (6)	14 (1)	0 (0)	(7)
30.1 - 35	100 (1)	0 (0)	0 (0)	(1)	100 (1)	0 (0)	0 (0)	(1)	100 (2)	0 (0)	0 (0)	(2)
35.1 - 40	0 (0)	100 (2)	0 (0)	(2)	67 (4)	33 (2)	0 (0)	(6)	50 (4)	50 (4)	0 (0)	(8)
40.1 - 45	80 (8)	20 (2)	0 (0)	(10)	33 (3)	56 (5)	11 (1)	(9)	58 (11)	37 (7)	5 (1)	(19)
45.1 - 50	62 (8)	38 (5)	0 (0)	(13)	88 (7)	0 (0)	13 (1)	(8)	71 (15)	24 (5)	5 (1)	(21)
50.1 - 55	67 (10)	33 (5)	0 (0)	(15)	62 (8)	31 (4)	8 (1)	(13)	64 (18)	32 (9)	4 (1)	(28)
55.1 - 60	62 (8)	31 (4)	8 (1)	(13)	75 (3)	25 (1)	0 (0)	(4)	65 (11)	29 (5)	6 (1)	(17)
60.1 - 65	57 (4)	43 (3)	0 (0)	(7)	60 (3)	40 (2)	0 (0)	(5)	58 (7)	42 (5)	0 (0)	(12)
65.1 - 70	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	20 (1)	80 (4)	0 (0)	(5)	20 (1)	80 (4)	0 (0)	(5)
70.1 - 75	0 (0)	0 (0)	100 (1)	(1)	0 (0)	50 (2)	50 (2)	(4)	0 (0)	40 (2)	60 (3)	(5)
75.1 - 80	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	50 (1)	50 (1)	(2)	0 (0)	50 (1)	50 (1)	(2)
80.1 - 85	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	100 (4)	0 (0)	0 (0)	(4)	100 (4)	0 (0)	0 (0)	(4)
85.1 - 90	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	100 (2)	(2)	0 (0)	0 (0)	100 (2)	(2)
90.1 - 95	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
95.1 - 100	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
100.1 - 105	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
% entre sexo (n)	63 (41)	34 (22)	3 (2)	(65)	57 (39)	31 (21)	12 (8)	(68)	61 (82)	32 (43)	7 (10)	(135)
% todo	30	16	1		29	16	12		61	32	7	
% por sexo	48				56				100			

6.5.3 Incremento marginal

La banda del primer año fue fácilmente identificable, y generalmente tenía mayor distancia de separación de la marca de nacimiento que la separación entre bandas subsiguientes. El valor del incremento marginal (*IM*) se obtuvo de las vértebras de organismos de dos y tres años de edad para facilitar su medición (figura 30). Debido a que no se contó con material de análisis para todos los meses del año, la distribución de *IM* se presenta por trimestre, y no obstante que se observa un patrón ascendente de *IM* en los trimestres 3 y 4, no se observaron diferencias significativas en los valores de *IM* por trimestre (ANOVA $F = 2.16$, $P = 0.141$). Sin embargo, la formación de la nueva banda podría ocurrir durante el segundo trimestre, lo cual coincide con el aumento estacional de la temperatura superficial del golfo de California y con la temporada de nacimiento.

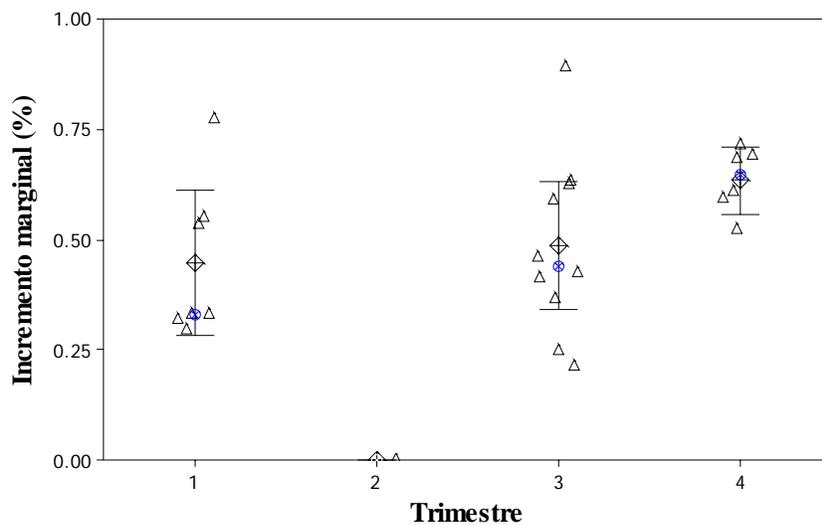


Figura 30. Patrón del incremento marginal en las vértebras de *R. productus*. Las barras representan el intervalo de confianza (95%). Los rombos representan el valor promedio.

6.5.4 Parámetros de crecimiento

Edades fueron estimadas utilizando un total de 138 vértebras (65 hembras y 68 machos) colectadas en los lugares de desembarque de rayas en Sonora. Los organismos utilizados para el análisis de edad tuvieron un intervalo de longitud de 26.0–62.0 cm. LT (0–8 años) y 21.0–89.5 cm. LT (0–10 años) para machos y hembras, respectivamente.

Tanto la prueba de curvas de coincidentes (Chen *et al.* 1992) como la prueba de razón de verosimilitud de Kimura (1980) revelaron diferencias significativas entre sexos en todas las estimaciones realizadas (Tabla VIII). Por tal motivo, la estimación de los parámetros se realizó para cada sexo por separado.

Tabla VIII. Resultado de la prueba de curvas coincidentes (CC) y prueba de razón de verosimilitud (RV) para las estimaciones frecuentista y Bayesiana (Bayes), utilizando el modelo de von Bertalanffy (VB) y el modelo de Gompertz. # Par = número de parámetros.

Estimación	Modelo	# Par	CC		RV	
			<i>F</i>	<i>P</i>	<i>X</i> ²	<i>P</i>
Frecuentista	VB	2	8.76	< 0.005	21.14	< 0.0005
	VB	3	6.71	< 0.005	17.82	< 0.0005
	Gompertz	3	6.11	< 0.05	16.75	< 0.005
Bayes	VB	3	20.70	< 0.0001	33.90	< 0.0001
	Gompertz	3	7.29	< 0.005	18.82	< 0.0005

La relación entre los parámetros (L_∞ , k y L_o) mostró un patrón variado. La relación de los valores de L_∞ y k es típica, para ambos sexos (Figura 31). En la relación entre L_∞ y L_o y la de k y L_o no se observa una tendencia definida como el caso de L_∞ y k , pero sí se aprecia un patrón de agrupación en los valores posteriores que resultaron del muestreo con re-muestreo de importancia (Sampling Importance Resampling, *SIR*).

En los machos, la distribución de la probabilidad posterior de L_∞ es notablemente sesgada a la derecha y en las hembras se aprecia en forma de campana con mayor amplitud (Figura 32). La probabilidad posterior de k en los machos se observa en forma de campana mientras que en las hembras tiende a tener un sesgo positivo. La distribución de la probabilidad posterior de L_o es muy similar en ambos sexos con un valor esperado, $VE = 20$ cm.

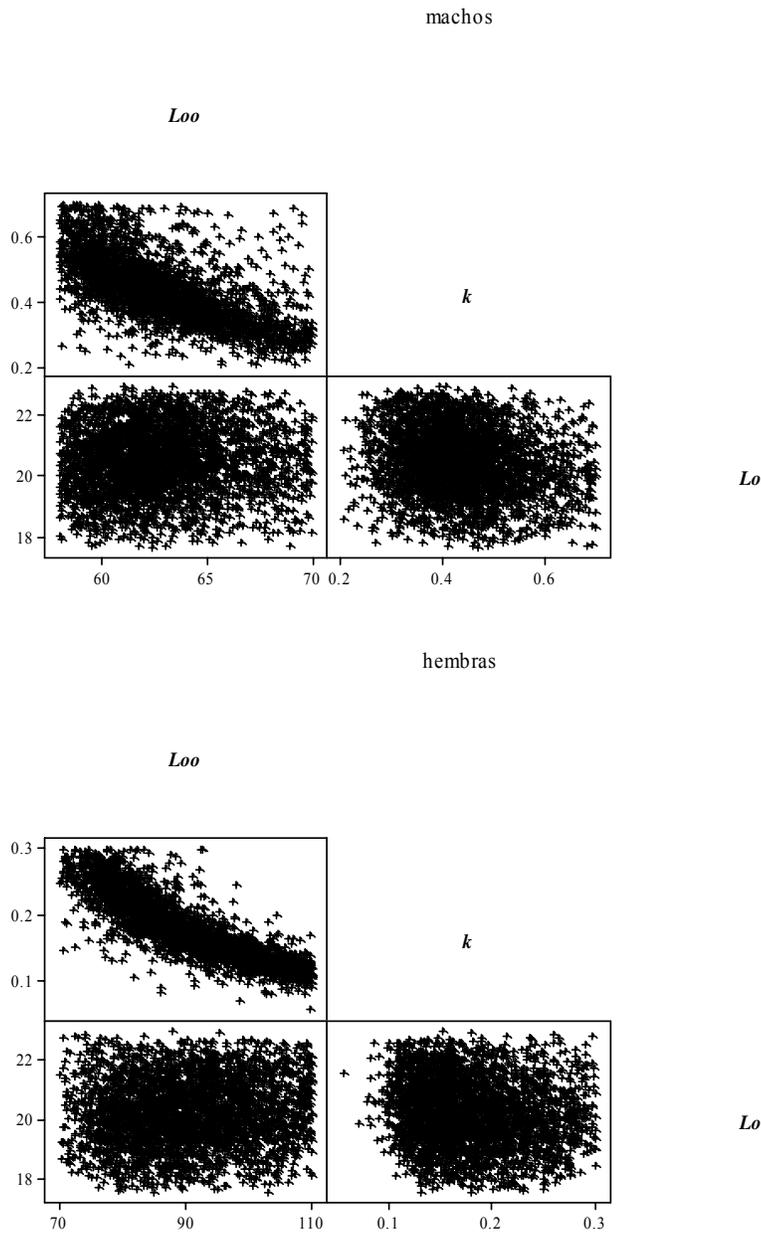


Figura 31. Relación entre los parámetros de crecimiento (L_{oo} , k y L_o) que resultaron de la simulación con el algoritmo *SIR*.

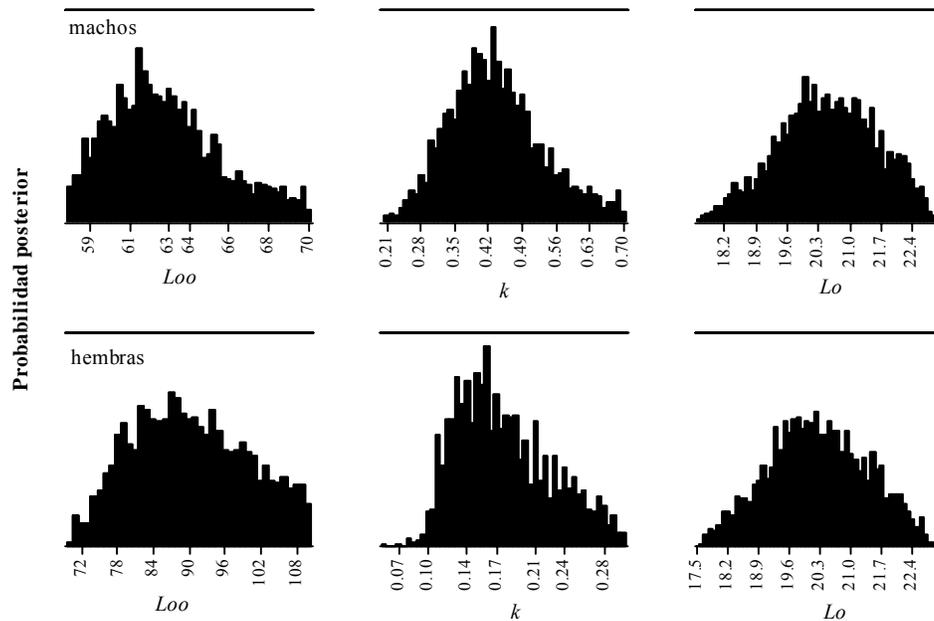


Figura 32. Distribución de la probabilidad posterior de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy (L_{oo} , k y L_o) que resultaron de la simulación con el algoritmo *SIR*.

En la tabla IX se presentan los resultados de la estimación determinística de parámetros de crecimiento de la función de von Bertalanffy (FVB) con dos y tres parámetros; el resultado del ajuste probabilístico utilizando el algoritmo *SIR* incorporando incertidumbre en tres parámetros. Para fines explicativos, los ajustes se dividieron en 10 casos. La dedición del mejor modelo se tomo separando el tipo de estimación frecuentista y Bayesiana. Para seleccionar el modelo que mejor describe a los datos se tomo en cuenta tanto el valor de verosimilitud verosimilitud (Ver) y la suma de cuadrados (ssq), así como el Criterio de Información de Akaike (*AIC*).

Tabla IX. Valor esperado de los parámetros de crecimiento obtenidos, considerando estimación frecuentista (Frec) y Bayesiana (Bayes) utilizando el modelo de von Bertalanffy (VB) y el modelo de Gompertz. # Par = número de parámetros, n= pares de datos edad-talla, ssq= mínimos cuadrados, Ver= verosimilitud, *AIC* (Criterio de Información de Akaike).

Sexo	Caso	# Par	L_{∞}	k	L_o	n	Ver	ssq	Modelo	Estimación	<i>AIC</i>
machos	1	2	61.5	0.47	17.5	9	6.8	50.4	VB	Frec	45.0
	2	3	63.3	0.37	23.2	9	4.6	14.1	VB	Frec	35.6
	3	3	61.6	0.52	23.8	9	5.1	18.9	Gompertz	Frec	38.2
	4	3	62.9	0.44	20.6	9	5.9	29.1	VB	Bayes	42.1
	5	3	62.4	0.56	20.7	9	6.3	36.8	Gompertz	Bayes	44.2
hembras	6	2	88.6	0.18	17.5	11	10.9	149.0	VB	Frec	63.8
	7	3	100.5	0.13	23.3	11	10.2	109.5	VB	Frec	62.5
	8	3	88.4	0.23	24.6	11	10.6	132.6	Gompertz	Frec	64.6
	9	3	90.4	0.18	20.3	11	11.0	159.0	VB	Bayes	66.6
	10	3	91.2	0.24	20.6	11	11.4	189.0	Gompertz	Bayes	68.5

No obstante que el ajuste frecuentista con tres parámetros presenta el valor mas bajo de Ver ssq tanto en machos y hembras (caso 2 y 7), el valor de L_o es muy elevado comparado con el reportado para la especie de 17.5 cm. LT. Al comparar los ajustes probabilísticos (caso 4 vs 5, y 9 vs 10) entre el modelo de Bertalanffy y de Gompertz se aprecia que el primero presenta valores de Ver y ssq menores que el segundo (Tabla IX, resaltado). El valor de *AIC* es también menor denotando un mejor ajuste. Notablemente, ambos modelos rindieron una estimación de L_o más realista con respecto a los otros casos. La comparación e las curvas de todos los casos explorados se presenta en la figura 33.

Considerando el ajuste estadístico de los datos y la aceptable congruencia biológica de los valores de L_{∞} , y L_o , principalmente, el valor de los parámetros de FVB adoptados como mejor ajuste para machos fueron $L_{\infty} = 62.9$ cm LT, $k = 0.44$, $L_o = 20.6$, ($to = -0.90$), y para hembras $L_{\infty} = 90.4$, $k = 0.18$, $L_o = 20.3$ cm LT, ($to = -1.41$), en donde se aprecia que estas

ultimas crecen más grandes y son más longevas que los machos (Figura 34). La tasa de crecimiento de los machos es mucho mayor que la de las hembras. La curva de crecimiento de las hembras parece sufrir un cambio a partir de los cuatro años de edad.

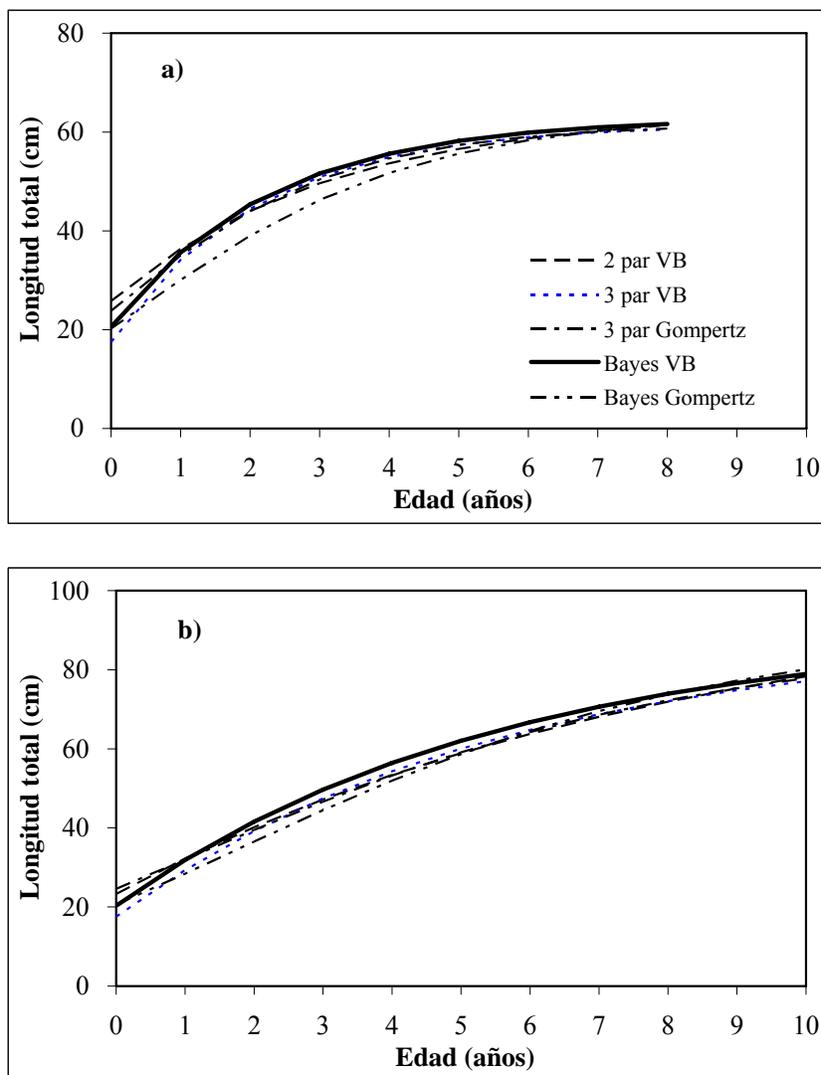


Figura 33. Comparación de las curvas de crecimiento de machos (a) y hembras (b) que resultaron del ajuste frecuentista y el ajuste Bayesiano con dos y tres parámetros. La línea más gruesa representa el mejor caso. El valor de los parámetros se presenta en la Tabla IX.

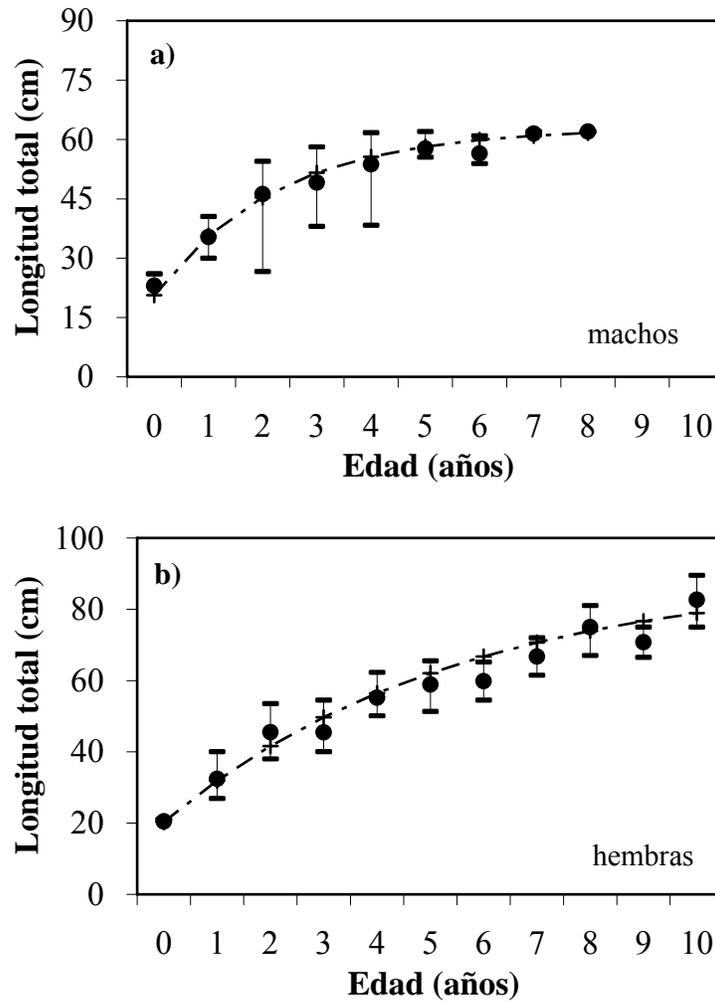


Figura 34. Curvas de crecimiento de machos (a) y hembras (b) y valores observados de la lectura de bandas de crecimiento de la guitarra, *R. productus*, del golfo de California. Las barras verticales representan los máximos y mínimos de las longitudes de cada grupo de edad. La curva de crecimiento representa el mejor caso que corresponde al ajuste Bayesiano con tres parámetros utilizando la función de von Bertalanffy. Ver Tabla IX.

6.6 Demografía

6.6.1 Determinación de los parámetros demográficos

Los escenarios evaluados incluyeron: M y fecundidad constante en todas las clases de edad (Escenario 1); M constante en todas las clases de edad y fecundidad proporcional a la ojiva de madurez (Escenario 2); fecundidad constante (filo de navaja) y M disminuyendo a la mitad a partir de los 4 años (Escenario 3); M disminuye a la mitad a partir de los 4 años y fecundidad proporcional a la ojiva de madurez (Escenario 4).

Los cambios en la supervivencia anual (lx) y la tasa reproductiva (lxx) son evidentes a partir de los 4 años (Figura 35). El incremento de la supervivencia en los escenarios 3 y 4 (Figura 35a) y el efecto de la proporción de la madurez provocan un aumento en lxx en los escenarios 3 y 4 (Figura 35b).

La determinación de los parámetros demográficos en condiciones naturales (considerado solo M) para los cuatro escenarios contemplados se presenta en la tabla X. En el Anexo 3 se presenta la matriz de Leslie del escenario considerado como el mejor caso.

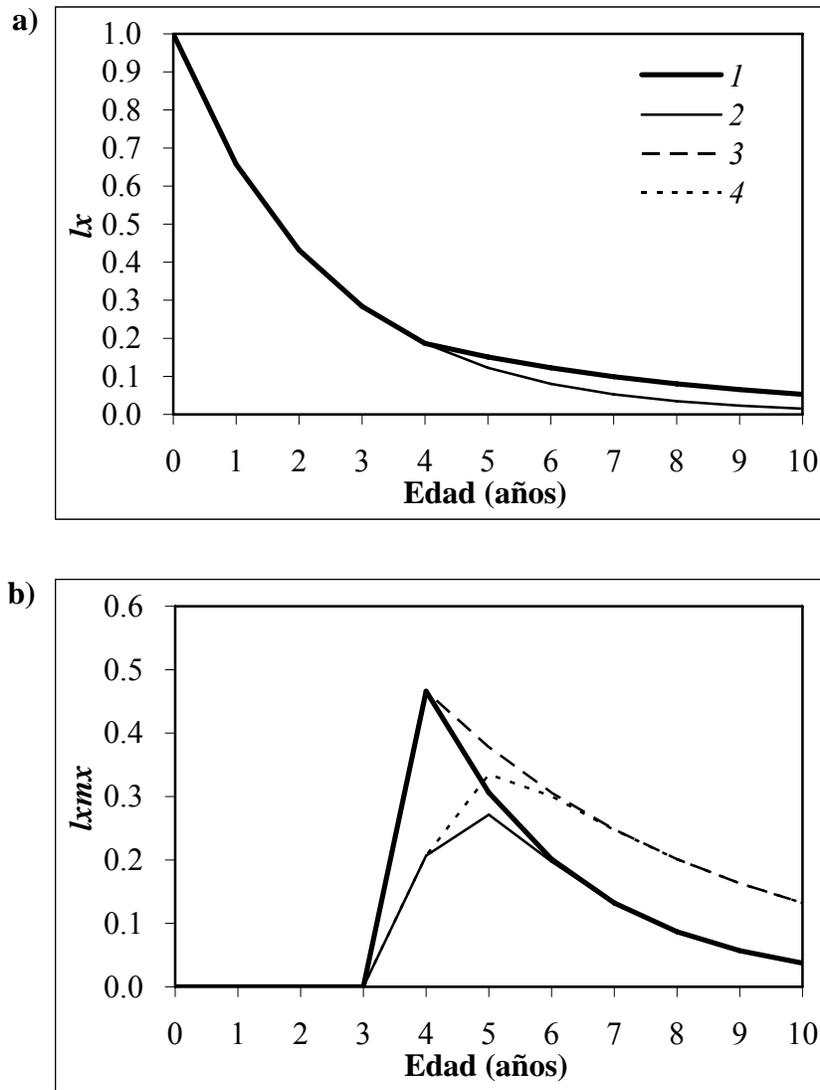


Figura 35. Supervivencia, l_x (a) y tasa reproductiva, $l_x m_x$ (b) de la guitarra, *R. productus*. Los números son los escenarios contemplados.

Tabla X. Valor de los parámetros demográficos de los cuatro escenarios contemplados para la guitarra, *R. productus*, del golfo de California.

Parametros	Escenarios			
	1	2	3	4
R_o	1.287	0.989	1.894	1.586
G	5.464	5.943	6.005	6.463
r	0.046	-0.002	0.106	0.071
λ	1.047	0.998	1.112	1.074
rG	0.252	-0.011	0.639	0.461
tx_2	15.02	-361.27	6.52	9.72

6.6.1.1 Tasa neta reproductiva

Con excepción del escenario 2 (M constante en todas las clases de edad y ojiva de madurez), en el resto de los escenarios se observaron valores de la tasa neta reproductiva (R_o) mayores a 1.2. El intervalo del valor de R_o en todos los escenarios fue de 0.99–1.89. Los valores más altos de R_o se observaron en los escenarios 3 y 4 con 1.894 y 1.586, respectivamente (tabla X).

6.6.1.2 Tiempo generacional

El intervalo del valor del tiempo generacional (G) fue de 5.46–6.46 años. El valor más alto fue en el escenario 4 con 6.463 años y el más bajo en el escenario 1 con 5.464 años (tabla X).

6.6.1.3 Tasa de crecimiento de la población

Con excepción del escenario 2, en el resto de los escenarios se obtuvieron valores positivos de r . El intervalo de los valores de r fue de -0.002 – 0.106 ($rG = -0.11$ - 0.639) que corresponde a un intervalo de λ de 0.998 – 1.112 . El valor más alto de λ fue con el escenario 3, el cual indica que la población podría aumentar 11% anualmente ($rG = 0.639$). En los escenarios 1 y 4 se obtuvieron valores de r que representan un incremento esperado de la población de 5% y 7% anual, respectivamente (tabla X).

6.6.1.4 Tiempo de duplicación de la población

Los valores del tiempo de duplicidad de la población (tx_2) fueron positivos en todos los escenarios, con excepción del 2. El escenario 3 refleja que la población requeriría de menor tiempo para duplicarse (6.52 años) seguido del escenario 4 y 1, con 9.72 y 15.02 años, respectivamente.

6.6.1.5 Valor reproductivo

En el escenario 1, el valor reproductivo (V_x) mostró su máximo nivel a los 3 años (4.05) después de incrementar abruptamente de la edad 0 ($V_x = 1$). Después de los 3 años de edad descendiendo gradualmente hasta llegar a 1, a los 10 de edad. En el escenario 2, el pico máximo del V_x es a los 4 años (4.21) y continúa con valores superiores al escenario 1, igualándose al alcanzar los 10 años de edad. El escenario 3 tiene su máximo pico en los 3 años ($V_x = 4.85$) pero a mayor nivel que el escenario 1. En el escenario 4, el pico máximo del V_x es a los 4 años de edad con 4.88 y es el valor más alto de todos los escenarios (Figura 36).

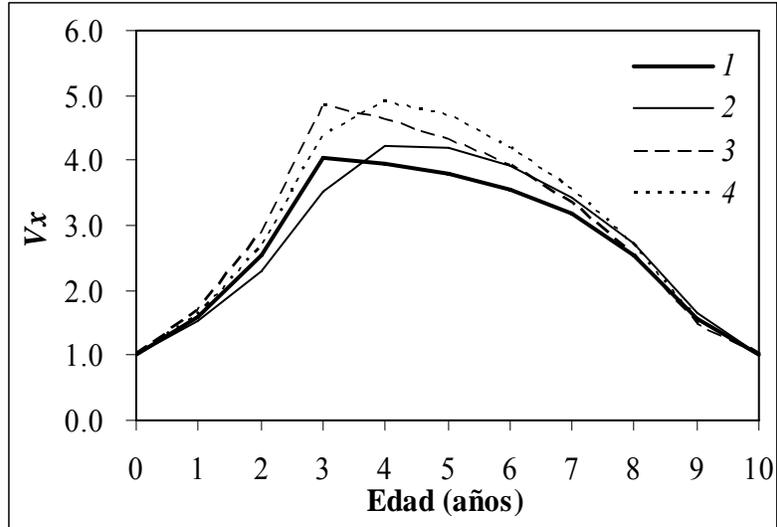


Figura 36. Valor reproductivo (V_x) de la guitarra, *R. productus*, del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por grupo de edad.

6.6.1.6 Distribución estable por edades

La estructura por edades de la población (C_x), la cual se alcanza una vez que ha pasado el periodo de oscilaciones, se observó típicamente con un decremento con respecto a la edad (Figura 37). En todos los escenarios, la edad 0 representa más del 30% de los individuos de la población. La proporción de individuos de edad 0 tuvo un intervalo de 35%-38%. La proporción de adultos en la población para los escenarios 1, 2, 3 y 4 fue 15%, 18%, 18% y 21%, respectivamente.

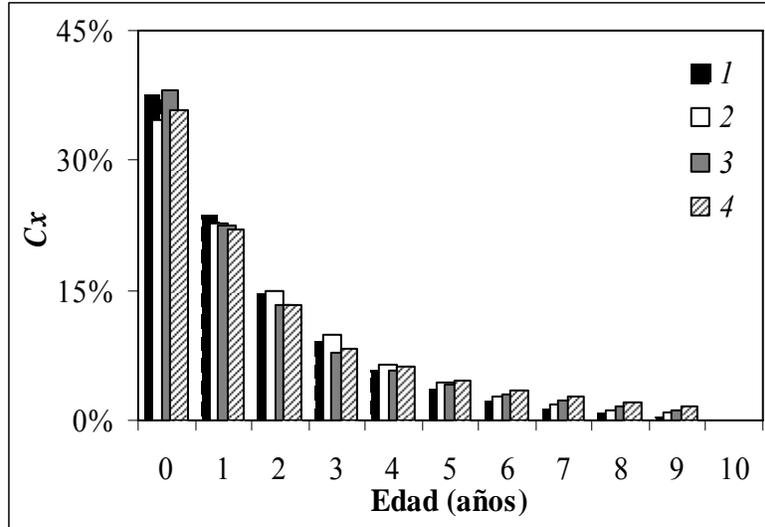


Figura 37. Distribución estable por edades (C_x) de la guitarra, *R. productus*, del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por clase de edad.

6.6.2 Análisis de perturbación

6.6.2.1 Análisis de sensibilidad

En todos los escenarios evaluados, se observó un patrón proporcional en los cambios absolutos de λ . La contribución de los recién nacidos a λ es comparable con las clases de 5-6 años de edad. Posteriormente, la sensibilidad (S_x) aumenta abruptamente en los intervalos de edad de 1 a 3 años (Figura 38). Las características biológicas de la guitarra revelan una mayor contribución a λ de los grupos de edad de 1 a 3 años que del resto de la estructura, debido los cambios absolutos. En todos los casos, S_x disminuye a partir de E_{pm} .

6.6.2.2 Análisis de elasticidad

La contribución relativa expresada por la elasticidad (E_x) refleja un perfil uniforme de los 0 a los 3 años de edad para todos los escenarios (Figura 39). En este mismo intervalo de edad (0-3 años), el escenario 1 presenta los valores más elevados de E_x , seguido del escenario 3 y el escenario 4 mostró el valor más bajo. A partir de la edad 4 el escenario 4 presenta un valor mayor de elasticidad que el resto de los escenarios.

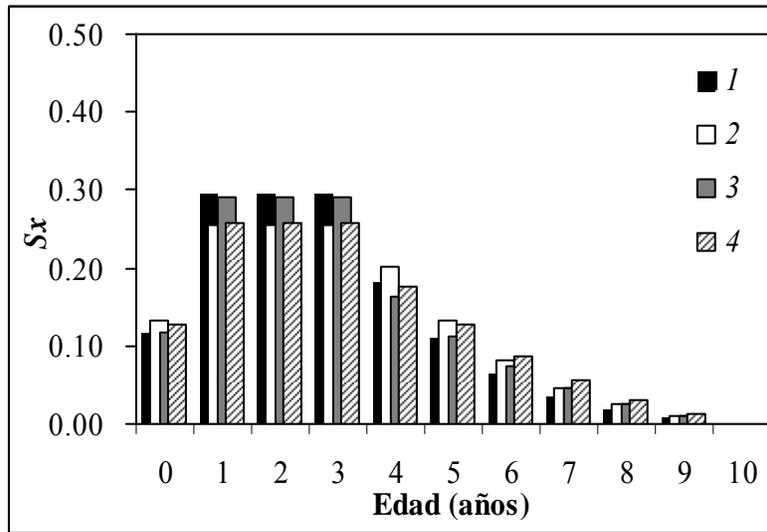


Figura 38. Sensibilidad a la edad (S_x) de la guitarra *R. productus* del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por clase de edad.

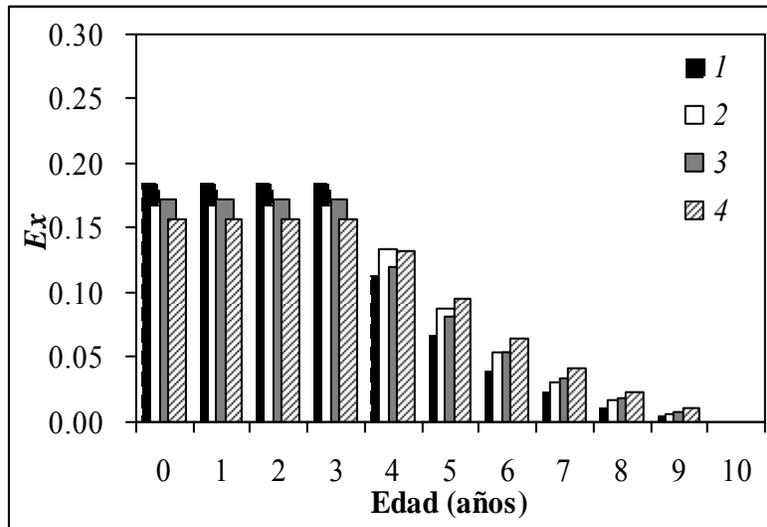


Figura 39. Elasticidad a la edad (E_x) de la guitarra *R. productus*, del golfo de California bajo diferentes escenarios de supervivencia por clase de edad.

Al agrupar las clases de edad por estadios de desarrollo se observa que en todos los escenarios, la mayor elasticidad se obtiene con la supervivencia de juveniles, con un intervalo de 47.3%-55.5%, seguido de la supervivencia de adultos con un intervalo de 26%-37% (Tabla XI). El intervalo de elasticidad de la fertilidad es de 15.8%-18.5%.

Tabla XI. Proporción de la elasticidad (Ex) en la fertilidad y supervivencia de juveniles ya adultos para cada escenario.

Elasticidad (%)	Escenarios			
	1	2	3	4
Fertilidad	18.5%	16.8%	17.2%	15.8%
Superviv. Juveniles	55.5%	50.5%	51.5%	47.3%
Superviv. Adultos	26.0%	32.7%	31.4%	37.0%

6.6.3 Efecto de la pesca sobre los parámetros demográficos

Una vez seleccionado el escenario 4 como el mejor caso, con este escenario se simuló el efecto de la mortalidad por pesca (F) en de 0 a 0.9 intervalos de 0.1 variando la edad de primera captura (Epc) en intervalos de 1 año para los parámetros demográficos R_0 , G , λ , tx_2 . La superficie de respuesta de R_0 muestra un patrón decreciente al aumentar F . La pendiente de la curva característica es menor al aumentar Epc . Los valores de $R_0 \geq 1$ representan un estado de crecimiento de la población (Figura 40). El valor de G es muy estable y oscila en intervalos pequeños. El mínimo tiempo generacional se observa cuando Epc esta de 3-4 años con $F = \geq 0.5$.

La superficie de respuesta de λ es muy similar a la de Ro ya que son proporcionales. Los valores de $\lambda \geq 1$ se obtienen a diferentes combinaciones de F y Epc que por lo general incluyen valores bajos de F y de moderado a altos de Epc . Por ejemplo, con Epc de 4 y 5 años los valores de F son 0.2 y 0.3, respectivamente; en el caso de Epc de 6 años, los valores de F están en un intervalo de 0.5 a 0.9 (Figura 41).

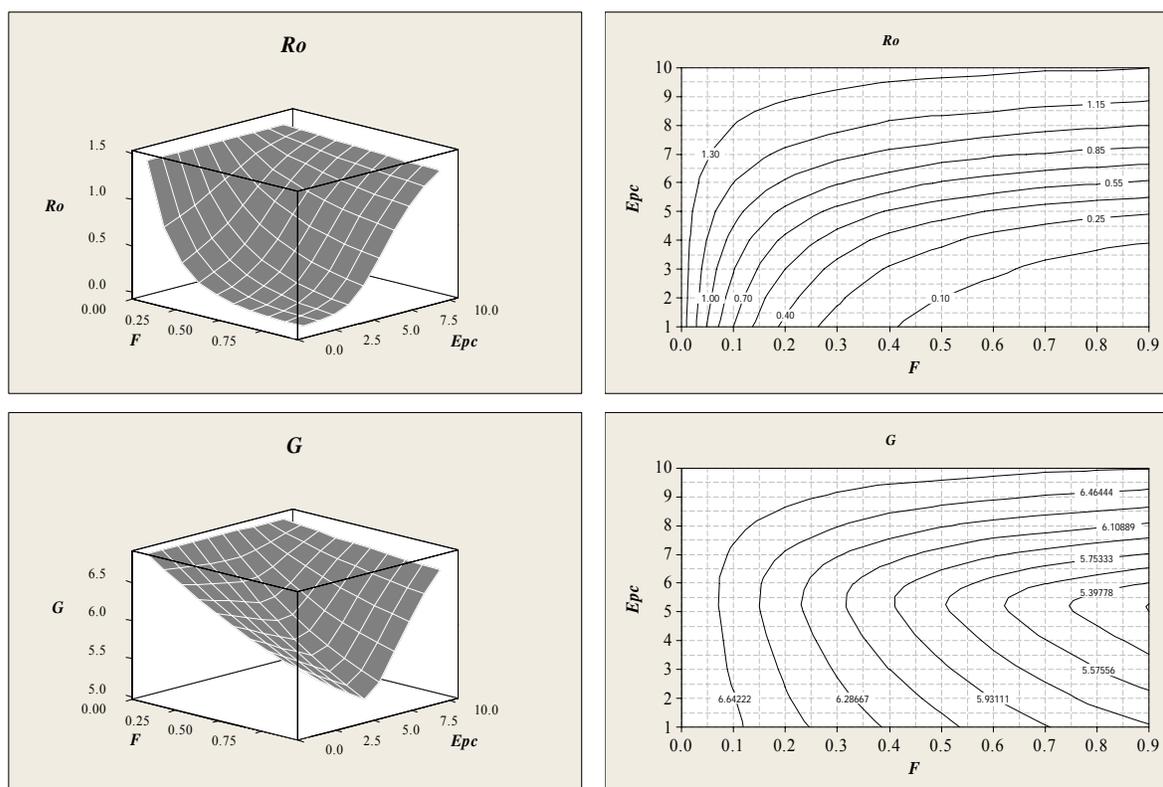


Figura 40. Superficie de respuesta de la tasa neta reproductiva (Ro) y el tiempo generacional (G) ante variaciones de mortalidad por pesca (F) y edad de primera madurez (Epc). Se presentan las isopletas respectivas de cada parámetro.

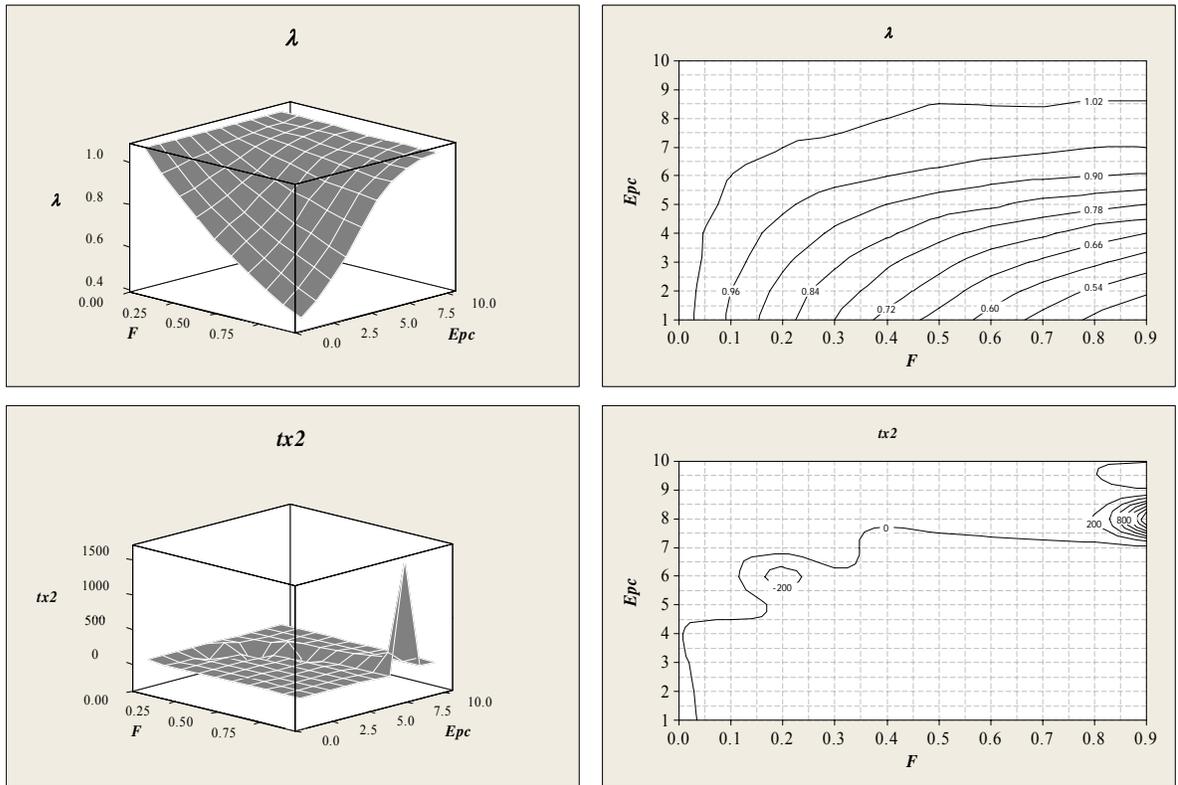


Figura 41. Superficie de respuesta de la tasa de crecimiento (λ) y el tiempo de duplicidad poblacional ($tx2$) ante variaciones de F y Epc . Se presentan las isopletas respectivas de cada parámetro.

7. Discusión

7.1 Aspectos biológicos y pesqueros

No obstante que la guitarra, *R. productus*, es numéricamente la especie más abundante en las capturas de la pesca artesanal de rayas de Sonora, y que forma parte importante de la captura incidental en otras pesquerías principalmente la de arrastre para camarón en la flota mayor, su biología ha sido pobremente documentada dentro del golfo de California. La mayoría de los estudios que se refieren a la guitarra son listados faunísticos. Inclusive, en el catálogo de especies de FAO, en la descripción de la especie, los aspectos sobre su distribución e historia natural son muy generales (Fisher *et al.* 1995).

En la costa oeste de la Península de Baja California los aspectos de la biología de la guitarra han sido más detallados por Villavicencio (1993) y Downton-Hoffmann (1996). Sin embargo, al comparar la longitud total y la talla de madurez reportada en estos estudios con los organismos capturados dentro del golfo de California se consideró que los estudios de la costa occidental de la península de Baja California representan solo la estructura de la población disponible en los sistemas lagunares de Bahía Magdalena y Laguna San Ignacio, BCS hasta no contar con un estudio que incluya todas las regiones dentro y fuera del golfo de California. En el presente estudio, se describe con detalle la biología reproductiva de *R. productus* y se manifiestan las diferencias entre las regiones. Dichas diferencias incluyen la talla de madurez, fecundidad, edad y crecimiento. Por ejemplo, Villavicencio (1993) reporto una talla máxima de 137 cm. LT para las hembras de Bahía almejas. Downton-

Hoffmann (2001) reportan para guitarras de la misma zona, tallas de 106 cm. LT y 142 cm. LT para machos y hembras, respectivamente. Mientras que en el presente estudio, se reportan tallas máximas de 66.4 cm. LT y 105 cm. LT, respectivamente. Dichas diferencias son también notables en la relación peso longitud de ambos sexos entre los individuos de la costa de Sonora y las del Pacífico. Los detalles sobre los aspectos de la biología reproductiva de *R. productus* de la costa de Sonora y las diferencias observadas con respecto a los individuos del pacífico son reportadas en el Anexo 1.

Las redes de enmalle como sistema de captura “pasivo” dependen en gran medida de que el pez al ir nadando se tope con la red y sea capturado por ésta. De tal modo que la selectividad intrínseca de la red es el producto de la probabilidad de encuentro con la red y la probabilidad de ser retenido por esta (Hamley 1975; Regier y Robson 1966; Hamley y Regier 1973; Kirkwood y Walker 1986). La probabilidad de que el organismo sea retenido por la red, opera bajo el principio fundamental de que 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 (Walker *et al.* 1998). En todo caso, dentro de una cohorte los individuos que crecen lentamente son vulnerables a las redes por más tiempo que los individuos que crecen más rápido (Walker *et al.* 1998). Debido a esto, la selectividad de las redes de enmalle puede influenciar no solo los rendimientos de la captura, sino también la estimación de los parámetros de crecimiento (Walker *et al.* 1998, Moulton *et al.* 1992) dado que redes con aberturas de malla más utilizadas en una pesquería, tienden a colar la estructura de tallas disponible en la zona de pesca provocando una distorsión en las curvas de crecimiento. Dicha distorsión es un “cambio aparente de la tasa de crecimiento” y en gran medida depende de la intensidad de

pesca en escala temporal (Walker *et al.* 1998). Recientemente, Walker (2007) planteó la hipótesis de que el efecto de las redes de enmalle, puede tener influencia en la determinación de parámetros de madurez y maternidad en elasmobranquios, lo cual podría tener consecuencias serias en los análisis demográficos, ya que las ojivas pudieran estar distorsionadas y producir sesgos a las estimaciones posteriores que dependan de estos valores. Con excepción de Beerkircher *et al.* (2003) quienes incorporaron explícitamente el efecto de la selectividad que afecta la estimación de los parámetros demográficos del tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) del Atlántico, los estudios de demografía de elasmobranquios disponibles consideran el efecto de la mortalidad por pesca como “filo de navaja”, lo cual provoca subestimaciones de la tasa de crecimiento poblacional (Walker 1998). Simultáneamente al 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 puede revelar mayor resiliencia de las poblaciones a la mortalidad por pesca (Stevens 1999).

Las curvas de selectividad utilizadas en el presente estudio, provienen de una investigación con datos no experimentales en donde se incluyeron organismos que fueron atrapados por enredo. 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 retenida por una red con una abertura de malla dada (Márquez-Farías 2005). En el trabajo antes citado, el modelo de selectividad utilizado se basa en la distribución gama, que es una alternativa conveniente para estimar los parámetros de selectividad ya que la distribución de frecuencia de longitudes de una red de enmalle con determinada abertura de malla frecuentemente presenta sesgo hacia la derecha,

lo cual representa la captura de organismos muy grandes. Los métodos clásicos suponen que la selectividad se distribuye normalmente (Baranov 1948) lo cual en ocasiones provoca un sesgo en la interpretación de la selectividad máxima de una red, particularmente cuando la distribución de frecuencias presenta más de un grupo modal (Rojo-Vásquez *et al.* 1999). Es decir que la distribución funcional resultante que representaría la selectividad a la talla es simétrica, y no es capaz de representar la captura de individuos con sesgo hacia tallas grandes y pequeñas que no tengan la misma proporción. El modelo basado en la distribución Gama favorece la determinación de parámetros de selectividad para las especies dorsoventralmente aplanadas y puntiagudas, aunque algunas rayas son aplanadas pero son muy anchas (ej.: *Dasyatidae*, *Mobulidae*, *Urolophidae*, *Myliobatidae*, entre otras) por lo que es difícil determinar la selectividad de las redes de enmalle para estas especies. Especies como la guitarra, *R. productus*, tienden a ser retenidas fácilmente por su forma puntiaguda, inclusive 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, como lo observaron Salazar-Hermoso y Villavicencio (1999) en la pesquería de *R. productus* en Bahía Almejas, BCS, señalado que 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.

Conforme se ha incrementado el conocimiento sobre los aspectos biológicos de las poblaciones de peces y la tecnología de captura, se ha logrado una mejor interpretación de la forma en que estos procesos intervienen en la evaluación de poblaciones y 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 superar el

supuesto de “filo de navaja”, frecuentemente utilizado 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, formando una ojiva en función de la longitud, de tal modo que la proporción de madurez a la talla puede ser adecuadamente descrita por una función logística gobernada por parámetros que tienen una interpretación biológica (Walker 2005b). La estimación de los parámetros demográficos debe incluir la ojiva de madurez de las hembras, lo cual es una representación más realista de la estrategia reproductiva de la especie en estudio.

En 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 permiten identificar que las redes de enmalle utilizadas en la pesquería de rayas, afectan de manera variada a la población de la guitarra del golfo de California. Por un lado, la proporción de organismos retenidos con redes pequeñas 3.5” tiene influencia sobre la estructura de la población de juveniles. Sin embargo, la proporción no es muy grande ya que esa abertura de malla es mayormente utilizada para otros recursos como la sierra, *Scomberomorus sierra* y *S. concolor*, estacionalmente disponibles en la pesca ribereña (Cisneros-Mata y Montemayor-López 2000); de tal modo, que el poder de pesca de la guitarra con estas redes es menor. Las redes de 5.0” a 8.5” de abertura de malla son utilizadas frecuentemente en la pesquería de rayas con poder de pesca relativamente similar. Por otro lado, el sexo de los individuos accesible 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” y en mayor grado a las redes

con aberturas de malla de 5.0" y 6.0". La red de malla pequeña de 3.5" también captura hembras pero en un intervalo más amplio, ya que estas crecen a mayor talla. Las redes con aberturas de malla de 5.0" y 6.0" tienen la mayor selectividad en machos y hembras ya que coinciden con los intervalos de longitudes de mayor abundancia accesibles en la pesquería. La proporción de machos capturado con redes de 8.0" y 8.5" es notablemente menor que la proporción retenida con abertura de malla inferiores. La selectividad de las hembras tiende hacia organismos adultos, particularmente abundantes en el intervalo de clase de longitud de 78-80 cm. LT.

7.2 Edad y crecimiento

Organismos marinos migratorios como la mayoría de los elasmobranquios, dificultan los estudios sobre edad principalmente debido a su movilidad de las zonas de pesca. Dado que se requiere que la colecta de datos sobre las especies sea representativa de la población, es necesario localizar diferentes fuentes de datos lo cual en muchos casos requiere del monitoreo de varias pesquerías. Adicionalmente a la falta de representatividad de las muestras asociadas a la estacionalidad de los elasmobranquios, la determinación de la edad se dificulta ya que a diferencia de otros organismos marinos, los elasmobranquios carecen de otolitos calcáreos y otras estructuras óseas que permitan determinar la edad (Cailliet *et al.* 1983). El análisis de distribución de frecuencia de longitudes para la determinación de la edad en peces, es de limitada utilidad para elasmobranquios debido a su alta longevidad (Musick 1999) y a las dificultades asociadas a la identificación de grupos modales de la distribución de frecuencia de longitudes (Bhattacharya 1967). Del mismo modo, los estudios de marcado-recaptura presentan inconvenientes de logística y dado que los

elasmobranquios tienen por lo general una lenta tasa de crecimiento individual, los estudios requieren de programas de largo plazo. Alternativamente, se ha reconocido que la edad en los elasmobranquios puede ser determinada a través de la lectura e interpretación de las bandas concéntricas depositadas en las vértebras, espina dorsal, espinas caudales y arcos neurales (Cailliet *et al.* 1983; Cailliet 1990; Gallagher y Nolan, 1999; McFarlane *et al.* 2002).

El valor de 6.17% del porcentaje promedio del error (*APE*) del presente estudio, es más bajo a lo reportado para otras especies de batoideos. Smith (2005) y Smith *et al.* 2007 reporta un valor de 8.4% para la raya arenosa, *Dasyatis dipterura*, y Villavicencio (2000) reportó un valor de 10.4% para la guitarra eléctrica, *Narcine entemedor*, ambos del complejo lagunar Bahía Magdalena (BCS, México). El valor resultante en el presente estudio puede en cierto modo estar asociado a la longevidad de la especie. Es decir, especies de mayor longevidad tienen vértebras con mayor número de marcas de crecimiento, por lo tanto se generaría un mayor error en la determinación de la edad. Debido a la variedad de fuentes de error que pueden influir en la identificación e interpretación de las bandas de crecimiento, en el presente estudio todas las vértebras fueron leídas por el autor, definiendo previamente un protocolo para la interpretación. Algunas vértebras fueron descartadas debido a la falta de claridad de las bandas de crecimiento. No se sabe con precisión si dicha falta de claridad es debido a la complejidad de la estructura de la vértebra o al tiempo de almacenaje en congelación. Algunos de estos problemas han sido previamente discutidos en otros estudios de edad y crecimiento de elasmobranquios, en donde el tiempo y tipo de almacenamiento pudiera jugar un papel importante (Natanson *et al.* 2002; Wintner y Cliff 1996; Smith 2004; Smith *et al.* 2007).

Aunque no se observaron diferencias significativas entre el incremento marginal (IM) por trimestre, se observa una tendencia positiva de este valor en el segundo semestre del año. No obstante la falta información sobre crecimiento durante el segundo trimestre del año, se considera que la formación de las bandas es de naturaleza anual y consistente con los cambios de la temperatura estacional y dinámica oceánica fisicoquímica del golfo de California en el entorno ecológico de la especie. En otros estudios de edad y crecimiento en batoideos en el noroeste de México se reporta que el patrón de formación de las bandas de crecimiento es anual (Villavicencio 2000, Smith *et al.* 2007). Cailliet *et al.* (1983) enfatizan que las diferencias en la densidad de las bandas se pueden deber a variación del depósito de minerales durante las diferentes etapas de crecimiento, coincidiendo con otros autores (Ishiyama 1951; Jones y Geen 1977) en que el patrón de mineralización puede ser influenciado por el ambiente. Un estudio de validación en ambiente controlado inyectando Oxytetraciclina (Timmons y Bray 1997) permitirá aclarar el supuesto de la periodicidad en la formación de las bandas de crecimiento de la guitarra ya que representa una alternativa más convincente (Cailliet y Goldman 2004).

Entre los factores que pueden influir en la interpretación de las bandas de crecimiento y la estimación de los parámetros de la función de von Bertalanffy está el efecto de la selectividad de las redes agalleras, además de un sesgo asociado a la muy probable situación de sobre explotación de la especie en donde la abundancia de los organismos de gran tamaño ya ha decrecido. Las especies muy longevas son particularmente vulnerables a la sobre pesca (Musick, 1999) debido a que son vulnerables durante más tiempo a la captura (Walker *et al.* 1998).

El valor de los parámetros de crecimiento del presente estudio, difiere de los reportados para organismos de la misma especie en aguas de la costa occidental de Baja California Sur (Downton-Hoffmann 2001) quien reporta para hembras y machos valores de L_{∞} de 136 cm. y 100.5 cm. de LT, respectivamente. Diferencias inclusive mayores fueron reportadas para organismos de las costas de California, EU (Timmons y Bray 1997) quienes estimaron para hembras y machos valores de L_{∞} de 254 cm. LT y 228 cm. LT, respectivamente. En el presente estudio, en las hembras, el valor de L_{∞} fue de 90.4 cm. y en machos de 62.9 cm. Del mismo modo, el valor de k es notablemente distinto de los estudios de organismos de Baja California y California, EU. Mientras que Downton-Hoffmann (2001) reportan una k de 0.16/año en hembras y 0.24/año en machos para los organismos de la población de la costa occidental de Baja California Sur, Timmons y Bray (1997) reportan para hembras y machos una k de 0.016/año y 0.095/año, respectivamente. El coeficiente de crecimiento general encontrado en el presente estudio, cae dentro del intervalo de valores de k para guitarras, torpedos y rayas (0.2-0.5) reportado por Cailliet y Goldman (2004). Pero en el presente estudio el valor encontrado de k fue de 0.18/año para hembras y de 0.44/año para machos, por lo que solo los machos caen dentro de dicho intervalo. Villavicencio (2000) reportó valores de k de 0.30-0.37/año, y 0.14-0.31/año para hembras y machos, respectivamente, para la guitarra eléctrica, *Narcine entemedor*, de la costa oeste de la Península de Baja California; estos valores caen dentro del intervalo reportado por Cailliet y Goldman (2004).

La probabilidad posterior de Bayes de L_o que resultó del algoritmo *SIR* arrojó un valor esperado (VE) de 20.6 cm. LT para machos y 20.6 cm. LT para hembras, ambos superior al

obtenido (17.5 cm. LT) por Márquez-Farías (2007). Tales diferencias son debido a la conjugación de la probabilidad previa de L_o y el contraste de los datos derivados de las lecturas de marcas de crecimiento. La estimación de la talla de nacimiento derivado del modelo de Downton-Hoffmann (2001) parece representar adecuadamente la talla de nacimiento observada para los individuos de la costa occidental de Baja California, lo que no se observa con la curva de crecimiento reportada por Timmons y Bray (1997), sugiriendo que las hembras y machos nacen a los 35 y 44 cm. LT, respectivamente. La estimación de L_o tiene que ver con la distribución y representatividad de los datos utilizados para la estimación de parámetros de crecimiento. Por ejemplo, Villavicencio (2000) exploró el ajuste del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para la guitarra eléctrica, *N. entemedor*, con dos ($L_o = 15$ cm LT) y tres parámetros ($L_o = 32.37$ cm LT) obteniendo diferencias sustanciales en L_o para los machos. Las diferencias también son notorias en cuanto a la longevidad. Por ejemplo, Timmons y Bray (1997) reportan una longevidad de 11 años para ambos sexos, mientras que Downton-Hoffmann (2001) reportan una longevidad de 16 y 11 años para hembras y machos, respectivamente. En el presente estudio, las longevidades reportadas son de 10 y 8 años para hembras y machos, respectivamente. Las longitudes a estas edades corresponden a los 5 y 3 años del estudio realizado por Downton-Hoffmann (2001) para el *R. productus* de la costa occidental de BCS. No obstante que las curvas de crecimiento no son estadísticamente comparables, una explicación que sustenta las diferencias en los patrones de crecimiento es la diferencia en la estructura de la poblaciones dentro y fuera de golfo de California recientemente reportada por Sandoval *et al.* (2004), aunque factores como el tamaño de muestra, la técnica de tinción, los criterios de lectura de las bandas, así como los protocolos y algoritmos utilizados para el ajuste del modelo a los datos, pudieran jugar también un papel en las

diferencias (Tanaka *et al.* 1990). En contraste con las aproximaciones realizadas en aguas de México en el presente estudio y las reportadas por Downton-Hoffmann (2001), se considera que los valores de los parámetros reportados por Timmons y Bray (1997) son provisionales y no reflejan las características biológicas de la especie. Ismen *et al.* (2009) reportan parámetros de crecimiento de $L_{\infty} = 128.6$, $k = 0.29/\text{año}$ y $t_0 = -0.89$ años y $L_0 = 31$ cm LT (min = 22.2, max= 46.3 cm LT) para *R. rhinobatos* del sureste del Mediterráneo. Dichos valores son similares a los reportados para la región del noroeste de México; sin embargo, la longevidad es notablemente menor (5 años) que la reportada previamente para *R. productus*.

7.3 Demografía

Los escenarios contemplados en el presente estudio, se diseñaron para contrastar la práctica común de considerar la mortalidad natural (M) y la madurez constante en todas las edades. De tal modo, que en cuatro escenarios se pretende combinar el efecto de la mortalidad natural y la madurez constante y variable. Las curvas de supervivencia reflejan un patrón muy similar en los escenarios 1 y 2, así como de los escenarios 3 y 4. La tasa reproductiva l_{mx} , por su parte, refleja el efecto de reducir la mortalidad natural a la mitad (escenarios 3 y 4), y el incorporar la ojiva de madurez (escenarios 2 y 4).

Con base en los resultados del presente estudio se considera el escenario 4 puede ser considerado como el que mejor describe los parámetros demográficos de la población de *R. productus* ya que combina una reducción de M a 0.21 a partir de $L_{50\%}$ y la ojiva de madurez. El valor de $\lambda = 1.074$ obtenido en el escenario 4 está dentro del intervalo

reportado para otros elasmobranquios (Cortés 2002) y coincide notablemente con lo reportado para la guitarra, *R. productus* ($\lambda = 1.075$) de la costa occidental de Baja California (Downton-Hoffmann 2007). No obstante las diferencias en longevidad, supervivencia, edad de primera madurez y supervivencia. El valor de λ también coincide con lo reportado para el tiburón sedoso, *Carcharhinus falciformis*, del Atlántico Oeste (Beerkircher *et al.* 2003). Estudios previos sobre los aspectos demográficos de batoideos han arrojado valores de $\lambda = 1.2$ para *Torpedo californica* (Neer y Cailliet 2001), $\lambda = 1.2$ para *Dasyatis violacea* (Mollet y Cailliet 2002) y $\lambda = 1.14$ para *D. dipterura* (Smith 2005). Dichas estimaciones han sido estimadas con procedimientos determinísticos. Otros enfoques incorporando incertidumbre en los parámetros de entrada de los modelos demográficos planteados han arrojado valores de $\lambda = 1.233$ para *Leucoraja erinacea*, $\lambda = 1.221$ para *Dipturus leváis*, y $\lambda = 1.139$ para *L. ocellata* (Frisk *et al.* 2002); y $\lambda = 1.060$ *D. dipterura* (Smith 2005). De acuerdo con (escenario 4) las características biológicas de la población de *R. productus*, los valores de mortalidad por pesca (F) que resultan en $\lambda \geq 1$ son de 0.1 para E_{pc} de cuatro años que sería equivalente a la edad de primera madurez (E_{pm}) considerada como filo de navaja. Dicho valor de F es similar al que pueden tolerar otros elasmobranquios (Cortés 2002).

El análisis de elasticidad reveló la importancia para la tasa neta de crecimiento poblacional de la supervivencia de los juveniles (47.3%), seguido de la supervivencia de los adultos (37%), y complementado por la contribución de la fertilidad (15.8%). Estas contribuciones relativas sobre λ son muy similares a las reportadas para otros elasmobranquios, en donde la supervivencia de juveniles tiene la mayor contribución al crecimiento de la población. En

el presente estudio no se intentó incorporar incertidumbre en el valor de los parámetros, lo algo que deberá de atenderse posteriormente.

En el estudio de dinámica de poblaciones de elasmobranquios, mamíferos marinos, peces y aves, se utilizan técnicas demográficas que conjugan patrones de reproducción y supervivencia para determinar la productividad de las especies o poblaciones, determinando parámetros de salida con amplio significado biológico (Musick 1999, Hoenig y Gruber 1990). Dada la carencia general de datos de captura y esfuerzo necesarios para la evaluación de poblaciones y manejo pesquero, estas técnicas demográficas se han recomendado como una herramienta alternativa útil para el manejo pesquero (Cortés 1998).

La modelación demográfica de elasmobranquios, requiere de la construcción de tablas de vida y matrices de transición para determinar la tasa de crecimiento poblacional, y otros parámetros útiles para caracterizar la vulnerabilidad de una especie o población bajo diferentes regímenes de explotación (Cailliet 1992). Una de las principales bondades de los análisis demográficos, es que permiten evaluar en primera instancia el potencial de una especie proyectando la susceptibilidad de su población a la pesca (Cortés 1998). Esto es particularmente importante, ya que la información tradicionalmente utilizada para la evaluación de poblaciones requiere de series más o menos largas de captura y esfuerzo de pesca, los cuales no existen para la mayoría de las pesquerías (Walker 1998). Esta situación es una problemática que aqueja a la mayoría de las pesquerías de tiburones y rayas en el mundo incluyendo a México (Bonfil 1994; Castillo *et al.* 1998). No obstante que los análisis demográficos representan un atajo metodológico conveniente para determinar la productividad de las especies de elasmobranquios, dichas herramientas hasta la fecha se han

elaborado suponiendo, entre otros aspectos ecológicos y genéticos, que el reclutamiento es constante, y no existe una respuesta denso-dependiente (Walker 1992; Walker 1998) de la población. Cortés (2007) realizó un ensayo reflexionando sobre el uso y abuso de dichos modelos demográficos, alertando sobre los sesgos potenciales de utilizar modelos temporalmente estáticos sin mecanismos compensatorios denso-dependientes que orillen a conclusiones incorrectas sobre la productividad o vulnerabilidad de las especies en estudio. Mas recientemente, en los estudios sobre la demografía de elasmobranquios se han incorporado procesos probabilísticos en los parámetros de entrada, que permitan lidiar con la incertidumbre asociada a estos parámetros (Cortes 2002; Cortés 2007). Sin embargo, aunque el propósito es incorporar mayor realismo y congruencia en los procesos de modelación demográfica, el componente probabilístico como se ha utilizado hasta en estudios previos sobre demografía de elasmobranquios, representa solo variabilidad y no estocasticidad demográfica, propiamente. No obstante las limitaciones señaladas y las dificultades para justificar los supuestos y el desarrollo de modelos cuantitativos más complejos, Cortés (2007) confirma la utilidad del uso de modelos demográficos en ausencia de datos pesqueros (captura, esfuerzo, selectividad) como una alternativa para evaluar el efecto sobre la tasa de crecimiento poblacional (λ) que resultan de cambios en los parámetros biológicos. Este tipo de análisis de perturbación se enfoca en eigenvalores y eigenvectores cuando el modelo es denso-independiente como es el caso del presente estudio (Caswell 1997, Tuljapurkar y Caswell, 1997). Complementariamente, un análisis prospectivo permite predecir el resultado de las perturbaciones y detectar inclusive las que son biológicamente imposibles de ocurrir (Caswell, 1997).

La mayoría de las especies de elasmobranquios son susceptibles a la pesca sostenida debido a que por lo general tienen tasas crecimiento poblacional bajas lo cual resulta de la conjugación de esquemas reproductivos y supervivencia muy discretos (Cortés 2002). Los casos de colapso de poblaciones y pesquerías de tiburones han sido bien documentados (Bonfil 1994). Subsecuentemente, se ha reportado el colapso de pesquerías ahora de batoideos en otras partes del mundo como resultado de la intensidad de pesca dirigida e inclusive incidental (Musick 2005). Debido a su baja resiliencia, algunos batoideos están siendo sobre explotados aun como componentes de la pesca incidental de otras pesquerías (Dulvy y Reynolds *et al.* 2002, Dulvy *et al.* 2000). Resultado 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 de Pesquerías Marinas de los Estados Unidos (US- National Marine Fisheries Service) (Díaz-Soltera 1999). En el contexto de las rayas del golfo de California, se considera que las poblaciones están siendo sometidas a una fuerte mortalidad por pesca; por un lado la pesca artesanal de rayas que es intensa en ambas costas del Golfo y algunas especies están siendo capturadas en su hábitat crítico como las áreas de crianza en donde los recién nacidos y las hembras grávidas son vulnerables, como es el caso del complejo sistema laguna de Bahía Magdalena en la costa occidental de Baja California Sur (Salazar-Hermoso y Villavicencio-Garayzar 1999). Por otro lado está la intensa y longeva (1947-2007) pesquería de arrastre del camarón (INP 2000), en la cual los elasmobranquios forman parte importante de la fauna de acompañamiento (Pérez-Mellado y Findley 1985, García-Caudillo *et al.* 2000).

8. Conclusiones

En el presente estudio, el valor de los parámetros de crecimiento parece reflejar considerablemente bien el crecimiento de la guitarra. Se ha documentado suficiente evidencia de que los individuos de *R. productus* del Océano Pacífico alcanzan mayores tallas y tienen mayor longevidad que los individuos capturados en la costa de Sonora (Villavicencio 1993; Timmons y Bray 1997; González-García 1998; Downton-Hoffmann 2001; Márquez-Farías 2007). Sin embargo, probablemente la población de *R. productus* del golfo de California ha sido sometida a mayores niveles de mortalidad por pesca que la población del Pacífico, principalmente debido a su interacción con pesquerías artesanales y la pesca de arrastre de camarón, de tal modo que los parámetros sobre la biología de *R. productus* pueden representar de cierto modo características alteradas con respecto a la condición que guardaba antes del inicio de la actividad pesquera dentro del golfo de California. Aunque dicho efecto también tendría mucho que ver con la edad de los organismos vulnerables en dichas pesquerías.

Desafortunadamente, no se cuenta con estudios previos que permitan identificar algún posible mecanismo denso-dependiente, ya sea la tasa de crecimiento, talla de madurez o supervivencia, aspectos que tienen mucho que ver con la capacidad de resiliencia de las poblaciones basadas en sus parámetros demográficos. A pesar de la abundancia natural y diversidad de elasmobranquios en el golfo de California (Márquez-Farías 2002) y de la baja tecnología de pesca empleada en las embarcaciones menores, la sobreexplotación de las

poblaciones puede ser posible debido a la baja tasa de renovación de la población y por lo tanto vulnerabilidad de los elasmobranchios a moderados niveles de mortalidad por pesca (Musick 1999). Por lo anterior, el presente trabajo buscó estimar los parámetros demográficos de la guitarra (*Rhinobatos productus*), una de las especies más importantes en la pesca artesanal de rayas en el golfo de California y proyectar su vulnerabilidad a la pesca con la finalidad de obtener elementos de juicio que permitan identificar acciones de regulación en el corto plazo para ésta y otras especies de la pesquería de rayas del golfo de California. Downton-Hoffmann (2007) señala que la población *R. productus* de la costa Occidental de Baja California Sur se encuentra saludable y en crecimiento. Con base en el los resultados del presente estudio, se considera que la apreciación del estado de salud de la población de *R. productus* de la costa Occidental de Baja California Sur necesita ser reinterpretada dado que los valores de λ no reflejan mucho potencial de productividad de la especie, dado que los valores de λ de la guitarra de la costa Occidental de BCS fueron muy similares a los reportados en el presente estudio.

9. Referencias

- Anderson, E.D. 1990. Fishery models as applied to elasmobranch fisheries. In: H.L. Pratt, Jr., S.H. Gruber and T. Taniuchi (Eds). Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries, p. 473-484. NOAA Technical Report NMFS 90.
- Arreguín-Sánchez F. 1996. Catchability: a key parameter for fish stock assessment. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 6:1–22
- Au, D.W. and Smith, S.E. 1997. A demographic method with population density compensation for estimating productivity and yield per recruit. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 415–420.
- Baranov, F.I. 1948. The theory and assessment of fishing gear. Pishchepromisdat, Moscow (Ch. 7, Theory and fishing with gillnets.). Transl. from Russian by Ont. Dept. Lands. For. Maple, Ontario, 45 pp.
- Beebe W, Tee-Van J. 1941. Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society. 26. Fishes from the Tropical Eastern Pacific. Part 3. Rays, Mantas and Chimaeras. *Zoologica* 26:245–280
- Beerkircher L, Shivji M, and Cortés E. 2003. A Monte Carlo demographic analysis of the silky shark (*Carcharhinus falciformis*): implications of gear selectivity. *Fish. Bull.* 101:168–174.
- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. United Kingdom Ministry of Agriculture and Fisheries, Fisheries Investigations (Series 2) 19, 533 pp.
- Bhattacharya, C.G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics* 23, 115–135.
- Bizzarro, J., W. Smith, J.F. Márquez-Farías, and R.E. Hueter. 2007. Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri*, in the northern Mexican Pacific Ocean. *Fish. Res.* 84:137-146
- Bonfil, R. 1994. Overview of World Elasmobranch Fisheries. FAO Fisheries Technical Paper No. 341. Rome: FAO.

- Braccini, J.M, Gillanders, B.M, and Walker T.I. 2006. Hierarchical approach to the assessment of fishing effects on non-target chondrichthyans: case study of *Squalus megalops* in southeastern Australia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 2456–2466.
- Branstetter, S. 1990. Early life history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the northwest Atlantic. In. Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries. H. L. Pratt, Jr., D.H. Gruber, and T. Taniuchi, Eds. NOAA Tech. Rep. NMFS 90, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 17-28.
- Brewster-Geisz, K.K., and T.J. Miller. 2000. Management of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*: implications of a stage-based model. *Fish. Bull.* 98: 236-249.
- Cailliet, G.M. 1990. Elasmobranch age determination and verification: an updated review. In H. L. Pratt Jr., S. H. Gruber, and T. Taniuchi (eds.), Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries, p. 157–165. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 90. Tanaka, S. 1990.
- Cailliet, G.M., L.K. Martin, D. Kusher, P. Wolf, and B.A. Welden. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. In Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks (E. D. Prince and L. M. Pulos, eds.), p. 157–165. U.S. Dep. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS 8.
- Cailliet, G.M. 1992. Demography of the Central California population of the leopard shark (*Triakis semifasciata*). *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 43: 183-193.
- Cailliet, G.M., H.F. Mollet, G.G. Pittenger, D Bedford and L.J. Natanson. 1992. Growth and demography of the Pacific angel shark, (*Squatina californica*), based upon tag returns off California. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 43: 1313-1330.
- Cailliet, G.M. and K.J. Goldman 2004. Age and determination and validation on chondrichthyan fish. In. “Biology of sharks and their relatives”. (Eds. J.C., J.A. Musick and M.R. Heithaus.). pp. 399-447.(CRC Press: New York).
- Cailliet, G.M., W.D. Smith, H.F. Mollet and K.J. Goldman 2006. Age and growth studies of chondrichthyans fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Envir. Biol. of Fishes.* 77:211-228.
- Carrier C, Pratt H.L, Castro J.I. 2004. Reproductive biology of elasmobranchs. In: Carrier C, Musick JA Heithaus MR (eds) Biology of sharks and their relatives. CRC Press, Boca Raton, p 596

- Castillo-Geniz, J.L., Márquez-Farías, J.F., Rodríguez de la Cruz, M. C., Cortés, E., and Cid del Prado, A., 1998. The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery. *Mar. and Freshw. Res.* 49:611–20.
- Castro, J.I. 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. Bio. Fish.* 38:37–48
- Castro-Aguirre, J.L. 1965. Peces sierra, rayas, mantas y especies afines de México. *Anal Inst. Nac. Invest. Biol. Pesq.* 1:171–256
- Caswell, H. 1989. *Matrix Population Models*. Sinauer, Sunderland, MA.
- Caswell, H. 1997. Matrix Models for Population analysis. 19-58p (Tuljapurkar, S and H. Caswell, eds). *Structured-population models in marine, terrestrial, and freshwater systems. Population and community biology series, Volume 18*, Chapman & Hall.
- Cisneros-Mata M.A., Montemayor-López G. 2000. Sierra del golfo de California. 261-274. En: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999-2000*. Instituto Nacional de Pesca. México. pp 1111.
- CONAPESCA, 2001. ANUARIO ESTADISTICO DE PESCA. SAGARPA. 265 pp
- CONAPESCA-INP, 2004. Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Mazatlán, México. 80 p.
- Compagno, L.J.V. 1990. Alternate life history styles of cartilaginous fishes in time and space. *In: M. Bruton & E. Balon, eds. Alternative life history styles of fishes (Proceedings of the Zoological Society of South Africa symposium held in Grahamstown, 1987), Envir. Biol. Fish.* 28(1-4): 33-75.
- Cortés, E. 1995. Demographic analysis of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, in the Gulf of Mexico. *Fish. Bull.* 93: 57-66.
- Cortés, E. 1998. Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fish. Res.* 39:199–208.
- Cortés, E. 2000. Life history patterns and correlations in sharks. *Rev. Fish. Sci.* 8:299-344.
- Cortés, E. 2002. Incorporating uncertainty into demographic modeling: application to shark populations and their conservation. *Cons. Biol.* 16:1048–1062.

- Cortés, E. 2004. Life history patterns, demography, and population dynamics. *In*. Biology of sharks and their relatives. (Carrier, J. C., J A. Musick, M.R. Heithaus, eds.) CRC Press 449–469.
- Cortés, E. 2007. Chondrichthyan demographic modelling: an essay on its use, abuse and future. *Mar. and Freshw. Res.* 58, 4-6
- Cortés, E. and G.R. Parsons 1996. Comparative demography of two populations of the bonnethead shark (*Sphyrna tiburo*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 709-718.
- Cortés, E. 1999. A stochastic stage-based population model of the sandbar shark in the Western North Atlantic, p. 115-136. *In*: Life in the slow lane. Ecology and conservation of long-lived marine animals. J. A. Musick (ed.). American Fisheries Society Symposium 23, Bethesda, Maryland.
- Cudney-Bueno, R y P. Turk-Boyer. 1998. Pescando entre mareas del alto golfo de California; una guía sobre la pesca artesanal, su gente y sus propuestas de manejo. CEDO intercultural, Serie técnica No. 1. Sonora, México. 166 p.
- De la Lanza-Espino, G. 1991. Oceanografía de mares mexicanos. (Editor). A.G.T. Editor. México, DF. pp. 569
- Díaz-Soltera, H. 1999. Endangered and threatened species; revision of candidate species list under the Endangered Species Act. *Federal Register*, 64(120): 33166–33467.
- Downton-Hoffmann, C.A. 1996. Estrategia reproductiva de la guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856) en la costa Occidental de Baja California Sur (México). UABCS La Paz, BCS. Tesis de Licenciatura, p 51
- Downton-Hoffmann, C.A. 2001. Edad y crecimiento del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856), en la costa occidental de Baja California Sur, México. IPN Tesis de Maestría, p 72
- Downton-Hoffmann, C.A. 2007. Biología del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856), en Baja California Sur, México. IPN Tesis Doctoral, p 213.
- Dubois, A.J. 1981. Studies on fishes in Maguu Lagoon, California. M.A. thesis, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, CA.
- Dulvy, N.K, Reynolds J.D, Metcalfe J.D, Glanville J. 2000. Fisheries stability, local extinctions and shifts in community structure in skates. *Conserv.. Biol.* 14: 1–11.
- Dulvy, N.K, Reynolds J.D. 2002. Predicting extinction vulnerability in skates. *Conserv. Biol.* 16: 440–450.

- FAO. 2000. Fisheries Management: 1. Conservation and Management of Sharks. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries 4 (Supplement 1). 37 pp.
- Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter K.E, Niem V.H. 1995. Guía FAO para la identificación para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados—Parte 1 Guía Pesca. Pacífico Centro Oriental 647–1200
- Flores, O.J, 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 (1), 9–19.
- Fowler, C.W. 1988. Population dynamics as related to rate of increase per generation. *Evolutionary Ecology* 2:197-204
- Frisk, M.G., T.J. Miller, and M.J. Fogarty. 2001. Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:969-981
- Frisk, M.G., T.J. Miller, and M.J. Fogarty. 2002. The population dynamics of little skate *Leucoraja erinacea*, winter skate *Leucoraja ocellata*, and barndoor skate *Dipturus laevis*: predicting exploitation limits using matrix analyses. *ICES J. Mar. Sci.* 59:576–586.
- Gallagher, M.J., and C.P. Nolan. 1999. A novel method for the estimation of age and growth in rajids using caudal thorns. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:1590–1599.
- García-Caudillo, J.M, Cisneros-Mata M.A, Balmori A. 2000. Performance of a bycatch reduction device in the shrimp fishery of the Gulf of California, México. *Biol. Conserv.* 92, 199–205.
- González-García, M.J. 1998. Desarrollo embrionario de *Rhinobatos productus* (Girard, 1854) (Chondrichthyes: Rajiformes: Rhinobatidae). UABCS, La Paz, BCS. Tesis de Maestría, 91 pp
- Hamley, J.M. 1975. Review of gillnet selectivity. *J. Fish. Res. Board. Can.* 32:1943-1969
- Hamley, JM. and H.A. Reiger 1973. Direct estimates of gillnets selectivity to walleye (*S. vitreum*) *J. Fish. Res. Board. Can.* 30: 817-830
- Heupel, M.R, J.K, Carlson and C.A. Simpfendorfer 2007. Shark nursery areas: concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress Series.* 337: 287–297

- Hoening, J.M. and S.H. Gruber 1990. Life-history patterns in the elasmobranchs: implications for fisheries management. In: H. L. Pratt, Jr., S. H. Gruber and T. Tanuichi (Eds). Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. p. 1–16. NOAA Technical Report NMFS 90.
- Holden, M.J. 1973. Are long-term sustainable fisheries for elasmobranchs possible? *Rapp. P-V Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 34, 161–168.
- Holden, M.J. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. Jones, E. H., ed. *Sea fisheries research*. London: Logos, pp. 117-137.
- Hueter, R.E., G.M. Cailliet, J.F. Márquez Farías, J.L. Castillo Géniz, y C.J. Villavicencio 2000. Artisanal fisheries for elasmobranchs in the Gulf of California: a multi-institutional Project. American Elasmobranch Society 16th Annual Meeting. June 14-20,2000 La Paz, B.C.S., México, U.S.A.
- Instituto Nacional de la Pesca. 2000. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo,1999-2000. Instituto Nacional de Pesca. México. pp 1111.
- Ishiyama, R., 1951. Studies on the rays and skates belonging to the family Rajidae, found in Japan and adjacent regions. 2. On the age determination of Japanese black-skate *Raja fusca* Garman (Preliminary report). [In English.] *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 16(12)112-118
- Ismen, A.C. Yığın and P. Ismen 2007. Age, growth, reproductive biology and feed of the common guitarfish (*Rhinobatos rhinobatos* Linnaeus, 1758) in Iskenderun Bay, the eastern Mediterranean Sea. *Fish. Res.* 84; 263-269
- IUCN Species Survival Commission's Shark Specialist Group and TRAFFIC. 2002a. CITES Animals Committee Document (AC 18 Doc 19.2). <http://www.cites.org/eng/cop/index.shtml>
- IUCN Species Survival Commission's Shark Specialist Group and TRAFFIC. 2002b. The Role of CITES in the Conservation and Management of Sharks. <http://www.cites.org/eng/cop/index.shtml>
- Jones, B.C. and G.H. Geen. 1977. Reproduction and embryonic development of spiny dogfish (*Squalus acanthias*) in the Strait of Georgia, British Colombia. *J. Fish. Res. Board Can.* 34:1286–1292.
- Kirkwood, G.P. and T.I. Walker. 1986. Gill net mesh selectivities for gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günter, taken in south-eastern Australian waters. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 37: 689–697

- Klimek R. y Arpi B. 1972. Estudio de los recursos pesqueros demersales del golfo de California, 1968-1969. V. Estudios hidrográficos en la plataforma oriental del golfo de California. pp. 89-401. En: Memorias del IV Congreso Nacional de Oceanografía. (Ed. J. Carranza). México, D.F., 17-19 Noviembre 1969. 471 pp.
- Krebs, C.J. 1985. Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Third Edition. Harper and Row, New York. 800 pp.
- Lavín, M.F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del golfo de California: Escalas estacional e interanual. En: M.F. Lavín (Ed.), Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 141-171.
- MacArthur, R.H., and Wilson, E.O. 1967 The theory of Island Biogeography, Princeton University Press, Princeton.
- Marinone, S.G. y M.F. Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el golfo de California. En: M.F. Lavín (ed.), Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, 113-138 pp.
- Márquez-Farías, J.F. 2002. The artisanal ray fishery in the Gulf of California: Development, fisheries research and management issues. Shark News (Newsletter on the IUCN Shark Specialist Group) 14:12–13
- Márquez-Farías, J.F. 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. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 35: 443–452
- Márquez-Farías, J.F. 2007. Reproductive biology of shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) from the eastern Gulf of California México. *Mar. Biol.* 151:1445-1454
- Márquez-Farías, J.F. and J.L. Castillo-Geniz. 1998. Fishery biology and demography of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, in the southern Gulf of Mexico. *Fish. Res.* 39:183–198
- Márquez-Farías, J.F. J.L. Castillo-Geniz, and M.C. Rodríguez de la Cruz. 1998. Demography of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), in the southeastern Gulf of Mexico. *Cien. Mar.* 24:13–34.
- McEachran, J.D., Aschliman, N., 2004. Phylogeny of batoidea. In: Carrier, J.C., Musick, J.A., Heithaus, M.R. (Eds.), Biology of Sharks and Their Relatives. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 79–114

- Mcfarlane, G.A., J.R. King, and M.W. Saunders. 2002. Preliminary study on the use of neural arches in the age determination of bluntnose sixgill sharks (*Hexanchus griseus*). *Fish. Bull.* 100:861–864.
- Mollet, H.F. and G.M. Cailliet. 2002. Comparative population demography of elasmobranchs using life history tables, Leslie matrices and stage-based matrix models. *Mar. Freshwat. Res.* 53: 503-516.
- Moulton, P.L. Walker T.I, S.R. Sadler. 1992. Age and growth studies of gummy shark, *Mustelus antarcticus* (Gunther), and school shark, *Galeorhinus galeus* (Linnaeus), from southern Australian waters. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 43: 1241–1267
- Musick, J.A. 1999. (Editor), Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-Lived Marine Animals. American Fisheries Society Symposium No 23, Bethesda, Maryland.
- Musick, J.A. 1999. Ecology and conservation of long-lived marine animals. pp. 1-10. In: J. A. Musick. (ed.) Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-Lived Marine Animals. American Fisheries Society Symposium 23, Bethesda, MD.
- Musick, J.A. 2005. 1. Introduction: management of sharks and their relatives (Elasmobranchii). Pp 1-5. Musick, J.A.; Bonfil, R. (eds) Management techniques for elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 474. Rome, FAO. 2005. 251p.
- Musick, J.A and Ellis, J.K. 2005. Reproductive evolution of chondrichthyans. Pp 45-79. In: W.C. Hamlett (ed.), Reproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: Sharks, batoids and chimaeras. Science Publishers, Inc.
- Natanson, L.J., Mello, J.J., Campana, S. E. 2002. Validated age and growth of the porbeagle shark, *Lamna nasus* in the western North Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 100: 266–278
- Neer, J.A. and G.M. Cailliet. 2001. Aspects of the life history of the Pacific electric ray, *Torpedo californica* (Ayres). *Copeia* 2001:842–847.
- Pérez-Mellado, J. y L.T. Findley, 1985. Evaluación de la ictiofauna acompañante del camarón comercial capturado en las costas de Sonora y norte de Sinaloa, México. pp. 201–253. In A. Yáñez-Arancibia (ed.). Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de la Pesca. México.

- Pratt, H.L. 1988 Elasmobranch gonad structure: a description and survey. *Copeia* 3:719–729
- Pratt, H.L. and J. G. Casey 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth-parameters. In. Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries. H. L. Pratt, Jr., D.H. Gruber, and T. Taniuchi, Eds. NOAA Tech. Rep. NMFS 90, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 97-109.
- Pratt, H.L. and J. C. Carrier 2005. Elasmobranch courtship and mating behaviour. Pp 129-169. In. W.C. Hamlett (ed.), Reproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: Sharks, batoids and chimaeras. Science Publishers, Inc.
- Regier, H.A. and D.S. Robson, 1966. Selectivity of gillnets, especially to the lake whitefish. *J. Fish. Res. Board. Can.*, 23:423-454
- Ricker, W.E. 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. Bulletin of the Fisheries Research Board Canada 191, Ottawa. 382 pp.
- Rojo-Vázquez, J.A., Arreguin-Sánchez F, Godínez-Domínguez E, Ramírez-Rodríguez M. 1999. Selectividad de las redes de enmalle para el pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) y el pargo alazán (*L. Argentiventis*) en Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Cienc. Mar.* 25:145-152.
- Rose, D.A. 1996. An overview of world trade in sharks and other cartilaginous fishes. TRAFFIC International, 1996.
- SAGARPA 2002. Anuario Estadístico de Pesca 2002. México, Distrito Federal.
- Salazar-Hermoso, F. y 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
- Sandoval-Castillo, J., Rocha-Olivares A, Villavicencio-Garayzar C, Balart E. 2004. Cryptic isolation of Gulf of California shovelnose guitarfish evidenced by mitochondrial DNA. *Mar Biol* 145:983–988
- Simpfendorfer, C.A. 1999a. Mortality estimates and demographic analysis for the Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori*, from northern Australia. *Fish. Bull.* 97: 978-986.

- Simpfendorfer, C.A. 1999b. Demographic analysis of the dusky shark fishery in southwestern Australia, p. 149-160. In: Life in the slow lane. Ecology and conservation of long-lived marine animals. J. A. Musick (ed.). American Fisheries Society Symposium 23, Bethesda, Maryland.
- Simpfendorfer, C.A. 2000. Predicting population recovery rates for endangered western Atlantic sawfishes using demographic analysis. *Environ. Biol. Fish.* 58:371–377.
- Simpfendorfer, C.A. 2004. Demographic models, life tables, matrix models and rebound potential. In. Elasmobranch Fisheries Management Techniques (Musick, J.A. and R. Bonfil, eds.) APEC. 187-204
- Sminkey, T.R. and J.A. Musick. 1996. Demographic analysis of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in the western North Atlantic. *Fish. Bull.* 94:341–347.
- Smith, S.E., D.W. Au, and C. Show. 1998. Intrinsic rebound potential of 26 species of Pacific sharks. *Mar. Freshwat. Res.* 48:663-678.
- Smith, W.D., G.M. Cailliet, E. M. Melendez. 2007. Maturity and growth characteristics of a commercially exploited stingray, *Dasyatis dipterura*. *Mar. Freshwat. Res.* 58:54-66.
- Smith, W.D. 2004. Life history aspects and population dynamics of a commercially exploited stingray, *Dasyatis dipterura*. Master Thesis. MLML San Francisco State University. 221 p.
- Stevens, J.D. 1999. Variable resilience to fishing pressure in two sharks: the significance of different ecological and life history parameters. Pages 11-15. In: J.A. Musick. (ed.) Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-Lived Marine Animals. American Fisheries Society Symposium 23, Bethesda, MD.
- Tanaka, S., Cailliet, G.M. and Yudin, K.G. 1990. Differences in growth of the blue shark, *Prionace glauca*: technique or population? In: Pratt, H.L., Gruber, S.H. and Tanaka, T., ed. Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics, and the Status of the Fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90.
- Timmons, M. and Bray R.N. 1997. Age, growth, and sexual maturity of shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus* (Ayres). *Fish Bull* 95:349–359
- Tovilla, H.C. 1991. Golfo de California. Pp. 403-563. En. Oceanografía de mares mexicanos. (Ed. De la Lanza-Espino). A.G.T. Editor. México, DF. pp. 569

- Tuljapurkar, S and H. Caswell, 1997. Structured-population models in marine, terrestrial, and freshwater systems. Population and community biology series, Volume 18, Chapman & Hall.
- Villavicencio, G.C. 1993. Biología reproductiva de *Rhinobatos productus* (Pisces:Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. *Rev Biol Trop* 41:777–782.
- Villavicencio, G.C. 2000. Taxonomía, abundancia estacional, edad y crecimiento y biología reproductiva de *Narcine entemedor* Jordan y Starks (Chondrichthyes: Narcinidae), en Bahía Almejas, B.C.S, México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. 138 p.
- Walker, T.I. 1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Mar. Freshwat. Res.* 49: 553–72.
- Walker, T.I. 2005a. 13. Management measures. In. ‘Management techniques for elasmobranch fisheries’. 251 pp FAO Fisheries Technical Paper 474, 216–242
- Walker, T.I. 2005b. Reproduction in fisheries science. In. “Reproductive biology and phylogenia of Chondrichthyes: Sharks, Batoids, and Chimaeras”. (Ed. W. C. Hamlett.) pp.81-127. (Science Publishers: Enfield, NH.).
- Walker, T.I. 2007. Spatial and temporal variation in the reproductive biology of gummy shark *Mustelus antarcticus* (Chondrichthyes:Triakidae) harvested off southern Australia. *Mar. Freswat. Res.* 58, 67-97
- Walker, T.I. 2007. The state of research on chondrichthyan fishes. *Mar. Freshwat. Res.*, 58. 1-3.
- Walker, T.I., Taylor B.L., Hudson R.J, Cottier J.P. 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
- Wintner, S.A. and Cliff, G. 1996. Age and growth determination of the blacktip shark, *Carcharhinus limbatus*, from the east coast of South Africa. *Fish. Bull.* 94:135–144
- Xiao, Y. and Walker, T.I. 2000. Demographic analysis of gummy shark and school shark harvested off southern Australia by applying a generalized Lotka equation and its dual equation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 57: 214–222.

10. Anexos

Reproductive biology of shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* from the eastern Gulf of California México

J. Fernando Márquez-Farías

Received: 19 January 2005 / Accepted: 5 December 2006 / Published online: 24 January 2007
© Springer-Verlag 2007

Abstract Guitarfishes are a primary component of artisanal elasmobranch fisheries and are commonly taken as trawl fishery bycatch throughout the Gulf of California. However, little is known of the life history of this species. To address this lack of critical biological information, the reproductive biology of *Rhinobatos productus* was investigated in the eastern Gulf of California. Development of claspers and testes indicated that males reach maturity at 53 cm total length (TL). Measurements of oviducal gland, largest ovum diameter, and uterus width indicated that females >57 cm TL are mature. This species possesses two functional ovaries: the ovarian cycle and gestation run concurrently. Histological analysis of oviducal glands did not provide evidence of sperm storage, but females carrying uterine capsules were observed over an extended period, suggesting the possibility of diapause in the early embryonic development. Following 4–5 months of embryonic growth, pups were typically born from late June to October after a gestation period of approximately 11–12 months. Width of yolk sac was inversely related to embryo length. The rate of reduction of yolk sac width suggests that embryos de-

pend on the sac until birth. Mean fecundity was estimated to be 5 (range 1–10, s.d. = 2.24) with a 1:1 sex ratio. Average size at birth was 175 mm TL. Seasonally, gravid females enter shallow waters for parturition, becoming extremely vulnerable to gill nets used in the artisanal ray fishery.

Introduction

The shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* (Ayres) is one of five species of guitarfish found in the Mexican Pacific. It ranges from San Francisco, California, to the state of Guerrero, México, including the Gulf of California (Fischer et al. 1995), inhabiting sandy or muddy shallow waters of bays and estuaries. It feeds on benthic invertebrates (e.g. mollusks, crustaceans and worms) and fish (Talent 1982). In Mexican waters, this species is common along the west coast of the Baja California Peninsula and the Gulf of California, and is fished commercially by the artisanal fishery (Márquez-Farías 2002) or as by-catch in the shrimp-trawling fishery (García-Caudillo et al. 2000).

The shovelnose guitarfish is consumed by local residents and is also commercialized fresh, dried, and salted fillets. In northwestern México, the catch represents 93% of the Pacific coast's total batoid catch (CONAPESCA 2002). The effects of fishing on individual batoid species have not been evaluated. In the artisanal ray fishery of the Gulf of California, the shovelnose guitarfish was the most numerous commercial species (45% of the ray catch) caught during 1998–1999 (Márquez-Farías 2002). The catch is strongly seasonal, 75% of the catch is from March to

Communicated by P.W. Sammarco.

J. F. Márquez-Farías (✉)
Centro Regional de Investigación Pesquera de Mazatlán,
Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA,
Calzada Sábalo-Cerritos S/N, CP. 82010, Mazatlán,
Sinaloa, México
e-mail: fermqz@yahoo.com

J. F. Márquez-Farías
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,
Km. 2.5 Carr. a Las Tinajas, Predio El Tular,
Col. Las Tinajas, CP. 85460, Guaymas, Sonora, México

Jun peaking in April; mainly because pregnant females migrate to shallower waters, where they become vulnerable to bottom gill net used in the artisanal fishery.

In the Gulf of California, knowledge of shovelnose guitarfish is limited to its distribution (Castro-Aguirre 1965; McEachran and Notarbartolo di Sciara 1995). Aspects of its biology and estimation of age and growth parameters (Timmons and Bray 1997) have been reported for the southwest USA coast. Villavicencio (1993) reported on reproduction of the *R. productus* off the southernmost west coast of the Baja California Peninsula. González-García (1998) studied embryonic development, and Downton-Hoffmann (2001) studied age and growth near the area of Bahía Almejas and San Ignacio Lagoon, Baja California.

Elasmobranchs are generally long-lived with long gestation period, low fecundity and late maturity that make them susceptible to over fishing. Because of the growing of the ray fishery in the Gulf of California, it is important to understand as much as possible about their biology, life history and population dynamics to identify strategies for future management of the fishery. Since patterns of maturity on these Pacific coasts

appear to differ markedly from those on the mainland coast of Sonora, eastern Gulf of California (Márquez-Farías, personal observation), the objective of the present study was to investigate the reproductive biology of the shovelnose guitarfish from the eastern Gulf of California. Confirmation of differences in life history patterns has important management implications when fishery regulation options are evaluated.

Materials and methods

Specimens of *R. productus* were examined during off-loading of fish in several fishing camps along coastal Sonora (Fig. 1). From 1999 to 2003, 120 males and 183 females were examined. Total length (TL; from the tip of the snout to the extreme tip of the caudal fin) and disc width (DW; between the tips of the wings) were measured on the dorsal surface to the nearest centimeter. Body weight was measured using a digital balance. Internal organs of males and females, as well as embryos and yolk sacs, were measured in millimeters. The relationship between weight and length was esti-

Fig. 1 Area of study. *Dashed area* represents fishing ground where samples were collected



mated for males and females (including gravid females). The model describing this relationship is typically of the form

$$W = aL^b,$$

where W is the total weight (kg), L is the total length, and a and b are fitting constants. Test of coincident curves between males and females was applied according to Chen et al. (1992).

Sexual maturity in males was estimated from the level of calcification and capacity for rotation of the claspers (Carrier et al. 2004). Length of claspers was taken from the axil formed between the pelvic fin and the abdomen to the tip of the clasper. Length at first maturity was determined by the sudden increase of the clasper length as a function of TL. The testes were removed from the body cavity and measured. For some specimens with a length near maturity ($n = 18$, size range 50.5–66.4 cm TL), a section of testis was taken for histological analysis. Testis lengths was plotted to confirm changes in size with functional TL increment. Females were considered mature when exhibiting yellow ova in the ovary or evidence of pregnancy, from blastodic capsules deposited in the uterus to embryos. Ova were counted and the diameter of the largest measured. The width of the oviducal gland was analyzed as a function of TL, to observe changes in size associated with sexual maturity and reproductive activity. A section of the oviducal gland was prepared for histological analysis to determine whether this species storage sperm ($n = 42$, size range 57–93.5 cm TL). Samples for this purpose were randomly collected over the months of study and related to female length. Both testes and oviducal glands were removed and preserved in fixative. Sections of the gonads were dehydrated through a graded alcohol series, embedded in paraffin, cut and stained with hematoxylin and eosin (Castro and Wourms 1993). Width of the uterus was measured along with its condition (i.e. flaccid, occupied with capsules, development of embryos). The relationship between maturity and length was derived for females from maturity data for fish grouped into 5-cm TL size classes. The logistic function to describe the proportion of maturity was

$$M_L = 1/(1 + \exp(-(L - L_{50\%}))/\Phi)),$$

where M_L is the proportion of mature female guitarfish at length L , $L_{50\%}$ is the length at which 50% of females are mature, and Φ is steepness of the curve. The parameters were estimated by minimizing the sum of squares of differences between observed (proportion

of mature guitarfish) and predicted (logistic model) maturity values. Differences in the curves between males and females were tested following Chen et al. (1992). Fecundity was estimated by counting the number of embryos. The relationship between female's length and the number of embryos per litter was examined. Mean number of embryos per litter was calculated. Sex ratio was estimated using embryos to avoid the bias associated with sexual segregation and gear selectivity commonly reflected in the landings of gill net fishing. Embryos were measured and weighed. Yolk sacs were measured and plotted against TL of the embryo to describe the pattern of yolk consumption as a consequence of embryonic growth.

Results

Length–weight relationship

Although the frequency distribution of length is influenced by the mesh size of the gill net, specimens examined in the present study included neonates, juveniles and adults (including gravid females). Males ranged 21–66 cm TL with mean of 50 cm TL (s.d. = 11.9, $n = 120$) and females ranged 21–101 cm TL with mean 64 cm TL (s.d. = 16, $n = 183$). Regarding to weight, males ranged 26.6–800 g with mean of 368 g (s.d. = 225, $n = 84$) and females ranged 30–3,980 g with mean 1,150 g (s.d. = 969, $n = 90$). Significantly different length (L) to weight (W) relationship was identified between males and females ($P < 0.0001$), therefore, length (L) to weight (W) relationship was estimated for each sex (Fig. 2). The values of the constants in the equation $W = aL^b$ that describes the length–weight relationship were as follows: for males $a = 8.07 \times 10^{-7}$, $b = 3.34$, $r^2 = 0.97$ and for females, $a = 5.76 \times 10^{-7}$, $b = 3.43$, $r^2 = 0.98$. Females attained greater lengths and weights than did males. The heaviest male was 62 cm TL and weighed 800 g and the heaviest female was 101 cm TL and weighed 3,980 g.

Sexual maturity: males

Development of claspers is gradual; they appear flaccid in juvenile specimens and begin to grow rapidly once males reach 45 cm TL (Fig. 3). Calcification of claspers is observed from 53 cm TL onwards. Specimens from 48 to 53 cm TL were in transition to maturity, with partially calcified claspers. The smallest mature male with calcified claspers measured 53 cm TL. All males larger than 55 cm TL were mature and showed calci-

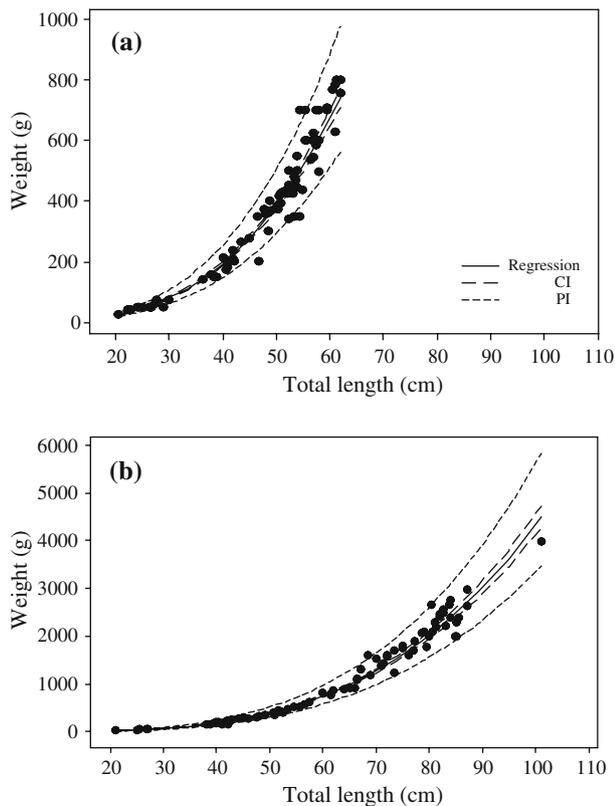


Fig. 2 Length–weight relationship of *Rhinobatos productus* from the eastern Gulf of California. **a** Males $Wt = 0.0023(TL)^{3.07}$, $r^2 = 0.97$, $n = 84$; and **b** Females, $Wt = 0.0006(TL)^{3.43}$, $r^2 = 0.98$, $n = 89$. For both sexes, regression line is presented with 95% confidence interval (CI) and 95% prediction intervals (PI)

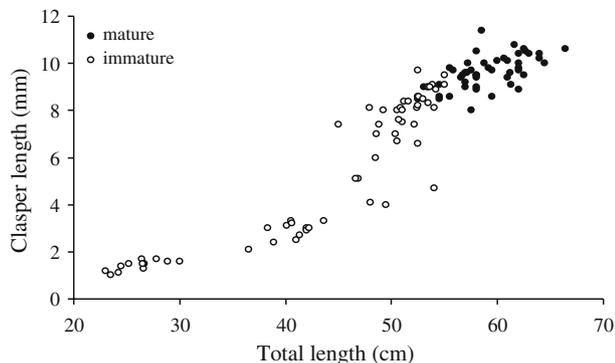


Fig. 3 Relationship between clasper length and the total length of *R. productus* males ($n = 119$)

fied claspers with a capacity for forward rotation. Claspers of mature specimens ranged from 8 to 11 cm with mean 9.6 cm (s.d. = 0.7, $n = 48$). Growth of testes is gradual with a positive trend of the scatter diagram as a function of TL (Fig. 4). In male juveniles testes appeared as a thin semi-transparent mass in the epigonal organ. In larger specimens, testes appeared

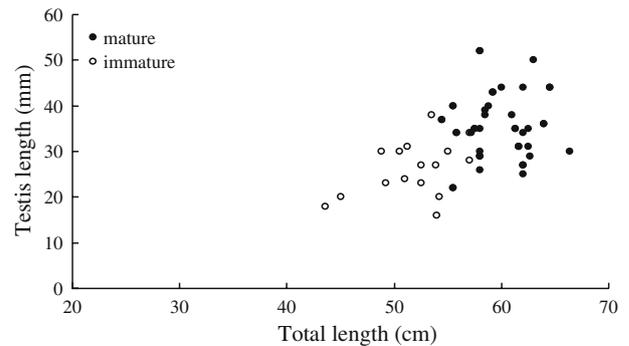


Fig. 4 Relationship between testis length and total length of mature males of *R. productus* ($n = 30$)

granular and more embedded in the dorsal surfaces of the epigonal organ. In mature specimens, testes ranged 22–52 mm with mean 35 mm (s.d. = 7, $n = 32$). Histological analysis of cross-sections of testes showed spermatozoa arranged radially in the seminiferous follicle.

Sexual maturity: females

Females possess two functional external-type ovaries, each attached to the anterior end of the epigonal organ (Fig. 5). In juvenile specimens, ovaries are undeveloped with oocytes less than 5 mm in diameter. In mature specimens, ovaries may contain ova of different sizes. Ova turn yellow as they ripen, increasing in size as yolk accumulates. Maximum ovum diameter tended to increase with increasing female TL (Fig. 6). In mature females (including pregnant females), maximum ovum diameter range from 5 to 28 mm diameter with mean 14.8 mm (s.d. = 4.55, $n = 89$). The relationship between number of ova (y) in an ovary and the size of the mother (x) is described by a linear equation where $y = -13.58$, $b = 0.29(x)$, $r^2 = 0.72$ ($n = 39$; $P < 0.0005$) (Fig. 7).

In juvenile specimens, the oviducal gland is difficult to distinguish from the rest of the oviduct. In immature specimens, the width of the gland ranged from 1 to 7 mm. In females between 55 and 65 cm TL, the width of this gland was 8–15 mm (Fig. 8). In mature specimens, the oviducal gland ranges from 9 to 19 mm with mean 12.7 mm (s.d. = 2.33, $n = 86$). In the largest female (101 cm TL), the oviducal gland was 15 mm. No evidence of sperm storage was found in the oviducal gland of females ranged 57–93.5 cm TL (s.d. = 9.1, $n = 42$). In juveniles, the uterus is a thin tube along the body cavity. In immature specimens, the uterus ranged from 1 to 12 mm. In mature specimens, the uterus width ranged 3–49 mm with mean 22 mm (s.d. = 11.5, $n = 44$). Uterus growth starts abruptly when females

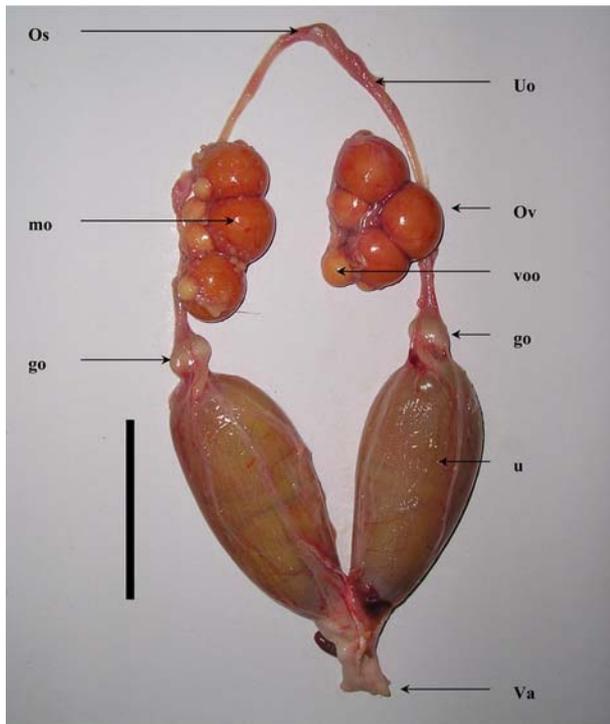


Fig. 5 Reproductive organs of a pregnant female of *R. productus*: ostium (*Os*), upper oviduct (*Uo*), ovary (*Ov*) containing both vitellogenic oocyte (*voo*) and mature ova (*mo*), oviducal gland (*go*), uteri (*u*) containing fertilized ova (uterine capsules), and vagina (*Va*). Epigonal organ was removed from the tract. Scale bar = 5 cm

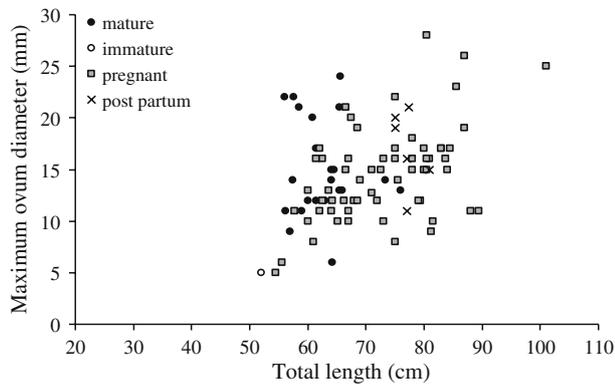


Fig. 6 Relationship between maximum ovum diameter (mm) and total length (cm) of *R. productus* ($n = 61$)

reach about 60 cm TL (Fig. 9). Depending on the size of the female, the width of the uterus in pregnant females carrying uterine capsules can measure >30 mm. Five females (75–81 cm TL) had a flaccid uterus ranging from 15 to 29 mm in width. Minimum length at maturity for females was 57 cm TL and all females were mature by 65 cm TL. Average length of pregnant females was 74 cm with a minimum size of 60 cm TL in

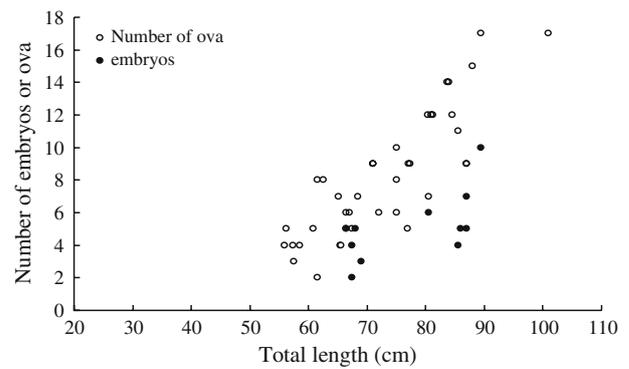


Fig. 7 Relationship between number of ova (open circle), ($n = 39$) or embryos (filled circle), ($n = 11$) and total length (cm) of female

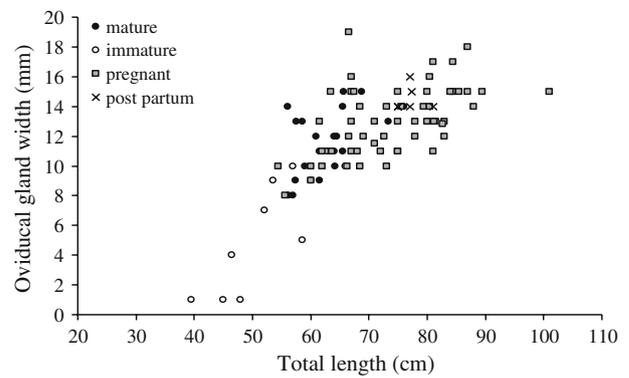


Fig. 8 Relationship between the width of oviducal gland (mm) and total length (cm) ($n = 95$)

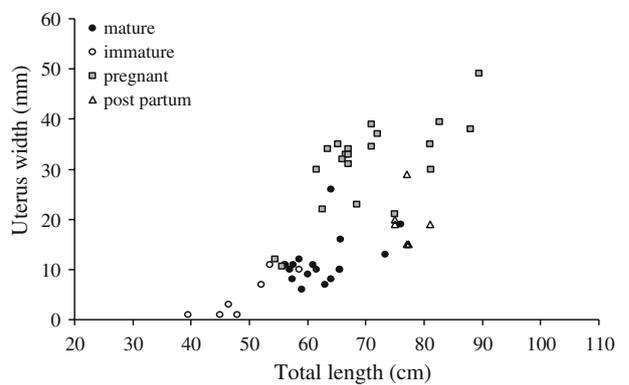


Fig. 9 Relationship of uterus width (mm) and total length (cm) ($n = 54$)

this sample. The proportion of mature for males and females (M_L) at length L was calculated from the logistic function. The function of the best fit for males was $M_L = 1/(1 + \exp -(L-55)/2.05)$ and for females was $M_L = 1/(1 + \exp -(L-57)/2.46)$ (Fig. 10). The test of coincident indicated no statistical differences in the

curves between males and females ($F = 1.639$, $P = 0.27$).

Fecundity

Pregnant females may contain large ripe ova in both ovaries and uterine capsules at the same time. Fertilized uterine capsules are enclosed in a brownish semi-transparent case. The fecundity of 19 pregnant females ranged from 1 to 10, with a mean of five embryos (s.d. = 2.24) with an embryonic sex ratio of 1:1.

Development, embryonic growth, and gestation

In pregnant females ova may differ in size. For instance, length distribution of ova in four pregnant females examined (March) showed two modes, 2–6 and 15 mm. The cohort of larger ripe ova is ovulated right after parturition and the cohort of smaller oocytes will complete their growth in the following year. Pregnant females carrying uterine capsules can be seen from July to the following March. Embryos start development in late March, averaging 20 mm TL and 40 mm width of the yolk sac. Average sizes of embryos in April and May are fairly similar with large-size intervals. Average width of yolk sacs showed an abrupt decline in length in April–May (Fig. 11). Embryo size was highly variable in May and June, when embryonic growth rate reached maximum. Embryonic growth rate is “S-shaped”, birth takes place from late June through October. Average birth size is 175 mm TL and embryonic growth takes 4–5 months. Ovulation occurs soon after parturition with the beginning of the embryonic growth until the following late March. From ovulation to parturition, gestation is around 12 months.

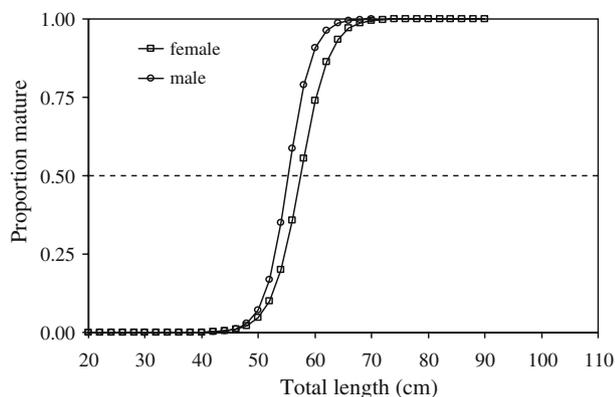


Fig. 10 Proportion of maturity against total length (cm) for males and females of *R. productus*. Dashed line is the 50% maturity

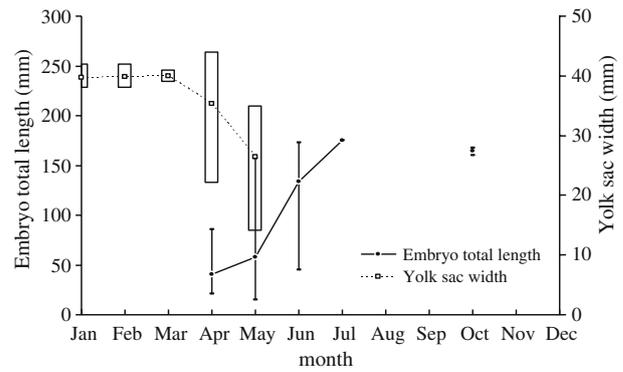


Fig. 11 Embryo total length (filled circle) and yolk sac width (open square) against month. Both types of vertical bars represent length interval

Embryos examined ranged from 24 to 175 mm TL (average: 59 mm TL). Weight of embryos ranged from 0.01 to 17.8 g (average: 2.7 g). The constants in the exponential equation describing the length–weight relationship for embryos of both sexes was: $a = 6.0 \times 10^{-7}$, $b = 2.96$, $r^2 = 0.86$ ($n = 44$). The pattern of yolk sac reduction from consumption by growing embryos is described by an index (I) relating the width of the yolk sac (Y) as a function of the embryo’s total length, L_e (Y/L_e). In this case, as a power function $I = 1.73 \exp -0.0183(TL)$, $r^2 = 0.95$ ($n = 30$). The length–weight relationship and the index (I) are presented in Fig. 12.

Discussion

Although the shovelnose guitarfish is abundant in the artisanal fishery and plays an important role as by-

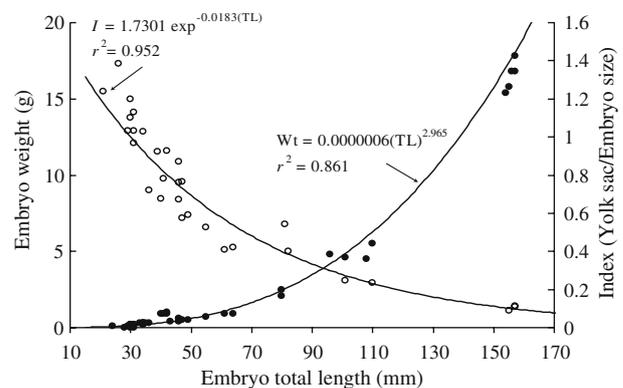


Fig. 12 Relationship between embryo weight (Wt) and embryo total length (filled circle). Relationship of the Index (I) of consumption (yolk sac width/embryo size) and embryo total length (open circle). The Index (I) of consumption represents the trends of the embryo consuming the yolks during growth

catch in the shrimp-trawling fishery along the coast of Sonora and Sinaloa, its biology is only partially understood. As is the case with other elasmobranchs of commercial importance in the artisanal fishery, most of the available knowledge refers to distribution and general characteristics of its habitat (Fischer et al. 1995).

Individuals of both sexes taken along the coast of Sonora were smaller than in previous reports of this species from the Pacific coast of Baja California Sur and California, USA, where its size might exceed 120 mm TL (Beebe and Tee-Van 1941). Such a measurement is consistent with the reported length for individuals from California (Timmons and Bray 1997), who reported a maximum size for males and females at 114 and 130 cm TL, respectively. Villavicencio (1993) reported maximum length of females at 137 cm TL for Bahía Almejas. In this same study area; Downton-Hoffmann (2001) reported the largest size for males as 106 cm TL and for female as 142 cm TL. The maximum length observed in the present study was 66.4 cm TL for males, and 105 cm TL for a single female. No other female exceeded 89.5 cm TL. Comparison of the length–weight relationship of individuals from Baja California and specimens presented here confirms that there are notable differences in individual growth.

In this study, the high proportion of pregnant females included in the length–weight analysis resulted in a higher value of the slope of the function ($b = 3.43$) than values previously reported for the Pacific coast populations in Bahía Almejas (24.5°N, 111.7°W), $b = 3.22$ and 3.09 (Villavicencio 1993; Downton-Hoffmann 2001), and Laguna San Ignacio (25.8°N, 113.2°W), $b = 3.10$ (Downton-Hoffmann 2001). The later author did not find statistically significant differences in the slopes between females of Bahía Almejas and Laguna San Ignacio; for males, the value of the slope of the length–weight relationship was a little higher ($b = 3.07$) for the individuals from Sonora than for Bahía Almejas ($b = 2.96$) and Laguna San Ignacio ($b = 2.90$) which mean heavier individuals. Information on length–weight relationship is required for stock assessment of commercially harvested species. The value of the constants of this relationship has important implications for fisheries management because biomass estimations depend on such parameters.

On the basis of observations of the condition of the claspers (rotation, calcification, and expansion of the rhipiodon) and development of the testes as a function of TL, all males larger than 55 cm TL were mature (Figs. 3, 4). Histological cross sections of testes ($n = 18$) revealed discrete groups of spermatozoa oriented to the edge of the seminiferous follicle, which in

turn helped to confirm the maturity stage of males. Similarly arranged spermatozoa were previously reported for *R. hynnicephalus* (Wenbin and Shuyuan 1993).

Villavicencio (1993) stated that females from Bahía Almejas mature at lengths greater than 70 cm TL. This report did not discuss maturity of males. Downton-Hoffmann (2001) reported a size at maturity of 80 cm TL for males and 99 cm TL for females. In the vicinity of Long Beach, California, Timmons and Bray (1997) reported males at maturity ranging from 90 to 100 cm TL, and females starting at 99 cm TL. They reported an abrupt increment of clasper length when the males are over 90 cm TL. In the present study, the ogive of maturity produced by the logistic function representing the proportion at maturity, as a function of TL, showed that 25, 50, and 75% maturity in the females was reached at 55.6, 57, and 58.2 cm TL, respectively (Fig. 10).

The reproductive cycle of *R. productus* from the coast of Sonora consists of a 4–5 months of embryonic growth and around 6-month ovarian cycle, whereas Villavicencio (1993) reported an annual cycle from Bahía Almejas on the west coast of the Baja peninsula. This same author noted that females of *R. productus* enter Bahía Almejas around late April to early May and move towards the Pacific Ocean in mid-August. The annual gestation period and birth season (late spring to summer) observed for *R. productus* corresponds well to that described for other rays such as the golden cawnose ray *R. steindachneri* from the Gulf of California and Bahía Almejas, Mexico (Bizzarro et al. 2006), the *R. bonasus* from Chesapeake Bay and the northern Gulf of Mexico (Smith and Merriner 1986; Neer and Thompson 2005, and *Dasyatis dipterura* from Bahía Almejas, Mexico (Mariano-Melendez 1997; Wade 2005). The present study based on concurrence of the ovarian cycle and gestation suggests that *R. productus* mates and gives birth every year. Thus, ovarian ova can be in developing and vitellogenic stages for a long period. Ovulation occurs directly after parturition and females become pregnant immediately.

From this study, the coast of Sonora from late summer to late winter contains a high proportion of pregnant females caught by the artisanal fishery. Pregnant females approach and remain in the coastal zone until late summer. However, in this season, not all large females are pregnant. For instance, three females (58.5, 62.5, and 67 cm TL) examined on 22 April 2004 were mature and carried large ovaries (ova 4–12, 4–17, and 4–22 mm in diameter, respectively) with well-developed uteri, suggesting readiness to mate after parturition occurred in mid-summer.

In *R. productus*, the ovaries are of external type (Pratt 1988) and both are functional. Histological sections of oviducal glands did not reveal evidence of sperm storage (Pratt 1993). Ovarian activity observed during this study was similar to the cycle reported for individuals along the coast of the Baja California Peninsula. Matting is in June–July, ovulation seems to occur quickly and pregnant females carrying uterine capsules can be seen from July of the previous year to March. This pattern is the same as in other fast-growing elasmobranchs (Castro and Wourms 1993) where pregnant females may have ripened ova in an ovary and uterine capsules (Fig. 8). Such a strategy suggests a continuum in the 1-year reproductive cycle.

Timmons and Bray (1997) suggested that Belmont Shores in the Long Beach, California, area is a nursery for the shovelnose guitarfish. In the Gulf of California, large territories along the coast of Sonora is used as nurseries. Such areas include shallow water with bottom composed of sand and mud. Aggregates of pregnant females in shallow waters for parturition are well documented for some coastal shark species (Castro 1993).

The pattern of embryonic growth starting in late April suggests a consistence with the increment of the temperature. Similarly, Villavicencio (1993) and Downton-Hoffmann (2001) reported embryonic growth from May to late July-early August for *R. productus* along the Pacific coast of Baja California. The present data indicated that birth size is 175 mm TL, which is notably smaller than the 200–240 mm TL reported for Bahía Almejas on the Pacific coast (Villavicencio 1993; Gonzalez-García 1998; Downton-Hoffmann 2001). González-García (1998) described embryonic development of *R. productus* and reported a typical birth size of 200 mm TL with no significant differences between specimens from Bahia Almejas on the west coast and San Francisquito (~28.4°N, ~112.9°W) on the east coast of the Baja California Peninsula. Such differences may be influenced by heredity, uterine environment and litter size, among other factors. The size of birth can represent a greater survival from natural mortality, which has important implications of conservation and management (Walker 1998).

The long presence of uterine capsules suggests the possibility of diapause in the development of embryos. Diapause in the early development of embryos has been reported for rhinobatids (Lessa and Vooren 1982). For *R. productus* in particular, Villavicencio (1993) described a reduction or cessation of growth in embryos in August, and continuation of growth in April–May in specimens from Bahia Almejas, but no supporting evidence was presented. A diapause phe-

nomenon was described for the Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori* (Simpfendorfer 1992), a fast-growing placental viviparous species. In *R. productus* specimens examined for this study, uterine capsules appeared in females directly after the beginning of the parturition season in late June and evidence of embryos can be seen in late March and April. It is not yet possible to be conclusive that diapause occurs. If diapause exists, endogenous and exogenous factors that trigger embryonic growth would need further study (Stacey 1984).

Average fecundity per female determined in this study was 5.4 (min = 2; max = 10, $n = 20$). Villavicencio (1993) reported that along the west coast of Baja California, fecundity ranged from 6 to 16 with a mode of 9–11 embryos. Similarly, Downton-Hoffmann (2001) reported fecundity in this species ranging from 4 to 18, also for Bahía Almejas and San Ignacio Lagoon on the west coast of Baja California. Timmons and Bray (1997) reported a fecundity of 9 for this species along the California coast. In this species, there is a direct relationship between fecundity and TL of pregnant females. Several factors may influence estimations of mean fecundity. For instance, sample size may lack representation of all the size classes of pregnant females. This is particularly relevant if any kind of statistical relationship exists between the length of the mother and the number of pups. Fishing gear may influence estimation of mean fecundity because gill nets tend to be selective, giving a quantifiable likelihood to retain certain sizes that are proportional to mesh size (Kirkwood and Walker 1986; Márquez-Farías 2005). Similar effects of mesh size in a gill net fishery activity were reported for the gummy shark *Mustelus antarcticus* from southern Australia (Walker et al. 1998) who investigated the apparent change in growth rate as an inherent effect of gill net length-selectivity in their samples. A length-selectivity effect on the interpretation of the measurements of internal organs of individuals sampled in a gill net could be similar to the effect observed for growth rate (Terry Walker, Primary Industries Research Victoria, Queenscliff, Australia, personal communication).

Differences in the reproductive pattern have been reported for other elasmobranchs in relatively close areas. Parsons (1993) found variations in the reproduction of the bonnet head shark, *Sphyrna tiburo* when comparing individuals from Tampa Bay and Florida Bay USA, suggesting that variations may be related to availability of food. Differences in population close to each other were reported by Snelson et al. (1988) who found differences in size of the Atlantic stingray, *Dasyatis Sabina* between Florida vs. North Carolina

and Georgia neighboring population. Although, these authors discuss that potential differences in the maximum size of the stingray between North Carolina and Georgia may include misidentification problems, the size data agrees with previous reports that Florida's stingray are smaller. Differences in the reproductive pattern between the west coast of Baja California and the east side of the Gulf of California (coast of Sonora) were recently explained (Sandoval-Castillo et al. 2004). They found high molecular diversity and significant genetic differentiation between samples from the Pacific coast of Baja California and those from Bahía Kino in Sonora, suggesting a pattern in the genetic structure and levels of differentiation that was consistent with the geological history of the region and a cryptic geographic isolation of this species. As such, populations from both regions warrant treatment as separate species. Whether or not the shovelnose guitarfish from Bahía Almejas and from the Gulf of California should be treated as single or separated stock, differences in life histories such as those reported in the present study must be considered accordingly for future management plans due to the potential resilience to fishing mortality (Stevens 1999).

Acknowledgments The author is grateful to Reyna Castro and Elvira Gonzalez from DICTUS, Universidad de Sonora, for their help in the histological preparations. Thanks are also extended to the fishermen from El Choyudo, El Sahuimaro, Bahía Kino, and El Desemboque Norte, Sonora for allowing the author to examine their catch. Tad Pfister from Prescott Marine Station (University of Arizona) in Bahía de Kino is also thanked. Ann Grant and the editor at Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste made many changes to improve the reading of the text. Instituto Nacional de la Pesca de México financed this study with partial support of Lucile and Packard foundation. The author was partially supported by Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.

References

- Beebe W, Tee-Van J (1941) Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society. 26. Fishes from the Tropical Eastern Pacific. Part 3. Rays, Mantas and Chimaeras. *Zoologica* 26:245–280
- Bizzarro JJ, Smith WD, JF Márquez-Farías, RE Hueter (2006) Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri* Evermann and Jenkins, 1891, in the northern Mexican Pacific. *Fisheries Research* (in press)
- 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, p 596
- Castro JI, Wourms JP (1993) Reproduction, placentation, and embryonic development of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*. *J Morph* 218:257–280
- 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
- Castro-Aguirre JL (1965) Peces sierra, rayas, mantas y especies afines de México. *Anal Inst Nac Invest Biol Pesq* 1:171–256
- Chen Y, Jackson DA, Harvey HH (1992). A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data. *Can J Fish Aquat Sci* 49:1228–1235
- CONAPESCA 2002. Anuario Estadístico de Pesca 2002.SAG-ARPA, p 266
- Downton-Hoffmann CA (2001) Edad y crecimiento del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856), en la costa occidental de Baja California Sur, México. IPN Masters thesis, p 72
- Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Niem VH (1995) Guía FAO para la identificación para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados—Parte 1 Guía Pesca. Pacífico Centro Oriental 647–1200
- García-Caudillo JM, Cisneros-Mata MA, Balmori-Ramírez A (2000) Performance of a by-catch reduction device in the shrimp fishery of the Gulf of California, México. *Biol Conser* 92:199–205
- González-García MJ (1998) Desarrollo embrionario de *Rhinobatos productus* (Girard, 1854) (Chondrichthyes: Rajiformes: Rhinobatidae). Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), La Paz, BCS, México. Masters thesis, 91 pp
- Kirkwood GP, Walker TI (1986) Gill net mesh selectivities for gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günther, taken in southeastern Australian waters. *Aust J Mar Freshw Res* 37:689–697
- Lessa R, Vooren CM (1982) Elasmobranch life cycles and the human factor in the coastal waters of South Brazil. *Atlantica* 2:1–17
- Márquez-Farías JF (2002) The artisanal ray fishery in the Gulf of California: development, fisheries research and management issues. *Shark News* (Newsletter on the IUCN Shark Specialist Group) 14:12–13
- Márquez-Farías JF (2005) Gill net mesh selectivity for the shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) from fishery-dependent data in the artisanal ray fishery of the Gulf of California, México. *J Northw Atl Fish Sci* 35:443–452
- Parsons GR (1993) Geographic variation in reproduction between two populations of the bonnethead shark. *Environ Biol Fish* 38:25–35
- Pratt HL Jr (1988) Elasmobranch gonad structure: a description and survey. *Copeia* 3:719–729
- Pratt HL Jr (1993) The storage of spermatozoa in the oviducal glands of Western North Atlantic sharks. *Environ Biol Fish* 38:139–149
- Sandoval-Castillo J, Rocha-Olivares A, Villavicencio-Garayzar C, Balart E (2004) Cryptic isolation of Gulf of California shovelnose guitarfish evidenced by mitochondrial DNA. *Mar Biol* 145:983–988
- Simpfendorfer CA (1992) Reproductive strategy of the Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori* (Elasmobranchii: Carcharhinidae), from Cleveland Bay, northern Queensland. *Aust J Mar Freshw Res* 43:67–75
- Snelson FF Jr, Williams-Hooper SE, Schmid TH (1988) Reproduction and Ecology of the Atlantic stingray, *Dasyatis Sabina*, in Florida Coastal Lagoons. *Copeia* 3:729–739
- Stacey NE (1984) Control of the timing of ovulation by exogenous and endogenous factors. In: Potts GW, Wootton RJ (eds) *Fish reproduction: strategies and tactics*. Academic, London, pp 207–222

- Stevens JD (1999) Variable resilience to fishing pressure in two sharks: the significance of different ecological and life history parameters, pp 11–15. In: Musick JA (ed) Life in the slow lane: ecology and conservation of long-lived marine animals. American Fisheries Society Symposium 23, Bethesda, Maryland
- Talent LG (1982) Food habits of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, the brown smoothhound, *Mustelus henlei*, the shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus*, and the bat ray *Myliobatis californica*. Calif Fish Game 68(4):224–234
- Timmons M, Bray RN (1997) Age, growth, and sexual maturity of shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus* (Ayres). Fish Bull 95:349–359
- Villavicencio GC (1993) Biología reproductiva de *Rhinobatos productus* (Pisces:Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. Rev Biol Trop 41:777–782
- 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, 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
- Wenbin Z, Shuyuan Q (1993) Reproductive biology of the guitarfish, *Rhinobatos hynnicephalus*. Environ Biol Fish 38:81–93

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. Fernando Márquez-Farías¹

Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas, Instituto Nacional de la Pesca SAGARPA
Calle 20 Sur No. 605. Col. Cantera, CP8 85400, Guaymas, Sonora, Mexico

Abstract

The Gulf of California supports the largest ray fishery in Mexico. Sonora is a major ray-fishing state, reporting 56% (live weight) of the Pacific Ocean rays production. Bottom-set gillnets are the principal fishing gear deployed in this artisanal fishery. In the absence of long-term monitoring and complex biological data for fishery stock assessment, an understanding of the selectivity properties of gillnets can provide a basis for implementation of a standard mesh-size as regulation tool for fishery management. Ideally, gillnet selectivity parameters are determined from fishing trials with several gillnets of a range of mesh-sizes constructed and used in a way to control for factors likely to affect the fishing power nets. In the absence of such experimental data, the present study uses available fishery-dependent monitoring data standardized to construct a data set that meets as near as possible the conditions met in a controlled experiment. A likelihood-based method was used to estimate the selectivity parameters for the shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) caught in the Gulf of California. The values of the selectivity parameters were $\theta_1 = 105.7$ and $\theta_2 = 21\ 741$ for 3.5, 5, 6, 8, and 8.5 inch mesh sizes.

Key words: artisanal fisheries, elasmobranchs, gear selectivity, gillnet, rays, regulation

Introduction

The artisanal ray fishery in the Gulf of California operates in the coastal waters of the Mexican states of Sinaloa, Sonora, Baja California Norte and Baja California Sur (Fig. 1). Like other artisanal fisheries in Mexico, the ray fishery in Sonora is part of a multispecies fishery that is an important source of food and employment for fishing communities in the region. At least 21 species of rays are captured in the fishery depending on seasonal abundance of the key species. In 1999, the total catch of rays reported from Sonora was 2 757 tons (30% of ray catch of Mexico and 56% of the ray catch of the west coast of Mexico) (Anon., 2000).

During a 2-year elasmobranch survey undertaken in Sonora (1998–99), 45 species of elasmobranchs were recorded (Hueter *et al.*, 2000). Almost half of these were a diverse range of rays (9 sub-orders, 4 families, and 21 species). Most of the rays belonged to the sub-order Rhinobatoidea, family Rhinobatidae (46.9%, $n = 95\ 346$), with the shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) being the most abundant species by number (40.2%) (Márquez-Farías *et al.*, 1999).

In the Gulf of California, *R. productus* is an important by-catch species in the trawl shrimp fishery, which produces about half of Mexico's shrimp catch. Based on a 1:10 average shrimp to by-catch ratio (by mass), it is estimated that the shrimp fishery by-catch in 1996 was nearly 200 000 tons, including more than 100 fish species and 114 invertebrate species (García-Caudillo *et al.*, 2000). An evaluation of the effectiveness of by-catch reduction devices (BRD) by the Instituto Nacional de la Pesca provided encouraging results. The mean exclusion rates for a number of species in the families Balistidae, Serranidae, Lutjanidae, Sciaenidae, Paralichthyidae, Batrachoididae, Scorpaenidae, Synodontidae and Rhinobatidae were markedly reduced. *R. productus* had a mean exclusion rate of 37% (García-Caudillo *et al.*, 2000). The high exploitation of ray stocks in the Gulf of California and the increasing need for regulation of the fishery has prompted the need to determine the selectivity properties of gillnets used in the artisanal ray fishery. Apart from the immediate need for gear regulation, knowledge of the selectivity properties is essential for future stock assessment.

The purpose of the present study is to estimate the gillnet mesh selectivity parameter values for *R. productus*

¹ Centro Regional de Investigación Pesquera de Mazatlán, Instituto Nacional de la Pesca SAGARPA, Calzada Sábalo-Cerritos S/N, CP. 82010, Mazatlán, Sinaloa, Mexico

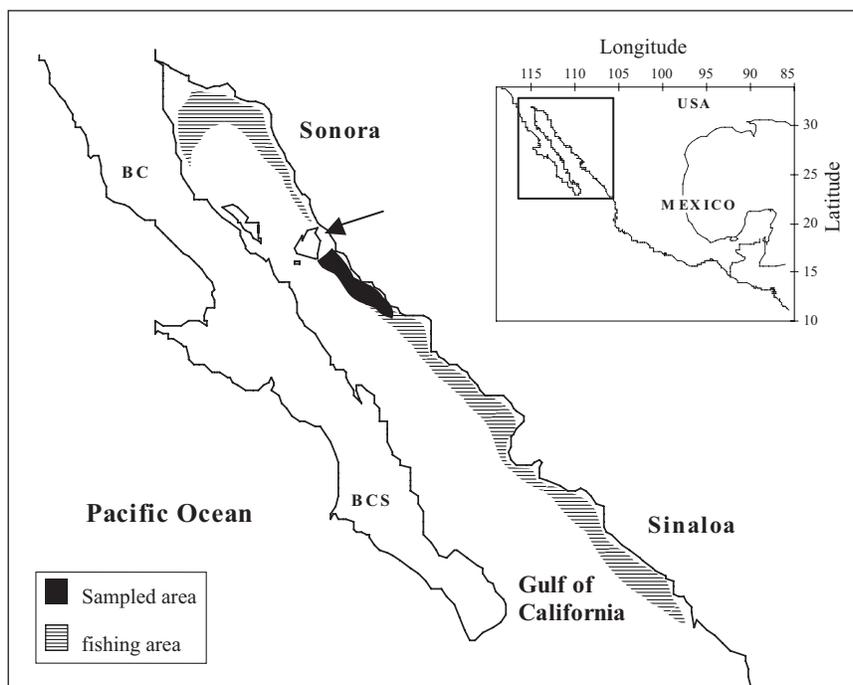


Fig. 1. Dashed area shows the fishing area of the artisanal ray fishery of the Gulf of California. Black shading is location where the analyzed data were collected. Arrow indicates Canal del Infiernillo (see text) located between main land and Isla Tiburón.

by adopting a model originally developed for analyzing experimental data for gummy shark (*Mustelus antarcticus*) in south-eastern Australia (Kirkwood and Walker, 1986). The present study uses available fishery-dependent data sets in a way to avoid departing from the assumptions underlying the experimental approach adopted for *M. antarcticus*.

Materials and Methods

Model for estimation of gillnet selectivity

The model developed by Kirkwood and Walker (1986) is a flexible, two-parameter model for determining relative selectivity that can account for varying amounts of right skew of data. The model is derived from the probability density function of a gamma distribution with parameters α and β and argument x and has the probability density

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

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

Briefly summarizing Kirkwood and Walker (1986), m_i is mesh-size of gillnet i ($i = 1, 2, \dots, I$); l_j is the mid-

length of length-class j ($j = 1, 2, \dots, J$); n_{ij} is the number of fish of length-class j caught by net i ; μ_j is the proportional number of fish in the sample of length-class j ; S_{ij} is the mean relative selectivity of net i for fish of length-class j ; and f_i is fishing power at the size of maximum selectivity, relative to the maximum power over all I nets. For suitably scaled μ_j ,

where

$$n_{ij} = f_i \mu_j S_{ij} \quad (2)$$

$$\mu_j = \left(\frac{\sum_{i=1}^I n_{ij}}{\sum_{i=1}^I S_{ij}} \right) \quad (3)$$

The selectivities S_{ij} can be modeled by simple functions of m_i and l_j . The mode and variance of the probability density function are taken to be functions of m_i and l_j . For each gillnet i and length-class j , the catches n_{ij} are independent observations from a Poisson distribution with mean $\mu_j S_{ij}$. To model relative selectivity, S_{ij} with a maximum of one, is re-scaled so that the modal value is one. The functional form used to model the selectivities as a function of length, l_j , and mesh-size, m_i , is

$$S_{ij} = \left(\frac{l_j}{\alpha_i \beta_i} \right)^{\alpha_i} \exp\left(\alpha_i - \frac{l_j}{\beta_i} \right) \quad (4)$$

where α_i and β_i are specified in terms of the mesh-size, m_i , and length-class, l_j , and the length at maximum selectivity for gillnet i is proportional to the mesh-size such that

$$\alpha_i \beta_i = \theta_1 m_i \tag{5}$$

and the variance (θ_2) is a constant over different gillnets. These assumptions lead to a quadratic equation for positive β_i such that

$$\beta_i = -0.5 \left[\theta_1 m_i - (\theta_1^2 m_i^2 + 4\theta_2)^{0.5} \right] \tag{6}$$

The log-likelihood for the data set is given by

$$L = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left[n_{ij} \ln(\mu_j S_{ij}) - \mu_j S_{ij} \right] \tag{7}$$

The likelihood function to estimate the values of θ_1 and θ_2 was maximized with the aid of the optimization function of the commercial software Microsoft Excel Ver 7.0.

The 95% confidence interval for each of θ_1 and θ_2 was estimated according to Venzon and Moolgavkar (1988). The confidence intervals are based on χ^2 distribution with d degrees of freedom. For a single parameter, the confidence bound is defined as all values of b that satisfy the equation

$$CI_{95\%} = 2 \left[L(Y|p=b) - L(Y|p=b_{est}) = \chi^2_{1,1-\alpha} \right] \tag{8}$$

where $L(Y|p=b)$ is the negative log-likelihood corresponding to the maximum likelihood estimates, $L(Y|p=b_{est})$ is the lowest negative log-likelihood possible when p is set to b (minimizing the negative of log-likelihood function subject to the constraints that $p = b$), and $\chi^2_{1,1-\alpha}$ is the value of the χ^2 distribution with 1 degree of freedom at confidence level $1 - \alpha$.

Assumptions about the nets of different mesh-size were necessary to apply the model to fishery-dependent data. (1) The nets were set in the same general region. (2) The nets were cleared of catch each day to avoid loss of catch from predation. (3) The nets had comparable height, and the height of the nets were not affected by the catch; rays tend to be captured at the bottom of the nets because of their demersal habits. (4) The nets had similar length. (5) The nets had similar fishing times. (6) Targeting by fishers was independent of mesh-size. The essence of these assumptions is that fishing power is constant across nets of all mesh-sizes and that all nets are operating on the same population of fish.

Data collection

Data from the fishery for application in the model for estimating the selectivity parameters were collected during the period from May 1998 to November 1999 in the main elasmobranch fishing camps of Sonora (Fig. 1). Total length of *R. productus* was measured as the straight-line distance from the tip of the snout to the distal end of the caudal fin. In addition, for a sample of animals, disc width was measured as the straight-line distance from the left margin of the disc (tip of the left pectoral fin) to the right margin of the disc (tip of the right pectoral fin). Details of fishing effort (soak time, depth and locality of fishing) and gear characteristics (mesh-size, length and height of each net) were obtained by interviewing fishers at the end of each fishing trip.

Mesh-size of the bottom-set gillnets deployed in the artisanal fishery ranged 3.5–10.0 inches. Only gillnets constructed from green or pink monofilament polyamide webbing of mesh size 3.5–8.5 inch were included in the analyses for the present study. Available data from 10 inch mesh size (commonly used for targeting large rays) were excluded from the analysis because they were constructed from multifilament webbing. Height of the nets varied slightly with mesh size. Length of the nets ranged 800–2 000 m, fishing period varied 12–36 hr, with 12 hr being the most common, and fishing depth varied 5–72 m (1–30 km from the fishing camps). The nets were set with an anchor-weight and buoy-line attached to each end.

Data analysis

The data available for analysis for mesh-sizes (3.5, 5, 6, 8 and 8.5 inches) were initially treated in two steps for each mesh-size separately. The first step was to weight up the sample length-frequency distribution expressed in 50 mm length-classes to the total number caught over all vessel-trips to produce a length-frequency distribution for the entire catch. The second step was to weight the length-frequency distribution for the entire catch by a standardization factor (SF) where SF = 10/number of vessel trips. Differences in fishing power of gillnets are reduced by using a SF of the catch rate.

For each mesh-size separately, the frequency of total length measurements of sampled rays were tabulated within 50 mm length-classes and then weighted to the total number of landed rays. The weighted length-frequency distribution for the entire catch was further weighted by a SF to provide the number caught in each 50 mm length-class per 10 vessel-trips. For each mesh-size, SF = 10

vessel-trips/total number of vessel trips. This provided the number of sharks per 10 vessel-trips within each 50 mm length-class standardized across all mesh-sizes. The standardized data for *R. productus* was then analyzed to estimate the selectivity parameters θ_1 and θ_2 .

Results

Rhinobatos productus provided 75.8% of the catch by number for the period considered by the present study. A catch of 4 510 animals of this species was recorded from 474 vessel-trips, of which 598 animals were measured. The 6 inch mesh-size, which was used during 35.7% of the vessel-trips in which rays were landed, caught 54.1%

of the number of *R. productus* included in the analysis. The number of *R. productus* sampled in each 50 mm length-class and the computed SF are presented in Table 1. Catches were comparable between the mesh sizes, with the exception of the 3.5-inch mesh-size, which had the lowest catch (Table 2).

The assumption that total length (TL) at maximum selectivity is proportional to the mesh size is validated by the strong linear relationship between disc width (DW) and TL for the two sexes combined as $DW = 2.7577 \times TL + 4.3582$ ($r^2 = 0.962$, $n = 232$). The implicit assumption here being that DW determines how effectively a ray is enmeshed.

TABLE 1. Number of rays measured and counted, number of vessels trip counted and calculated standardization factor (SF) for each mesh-size

Variable	Number measured for each mesh-size (inches)					Total
	3.5	5.0	6.0	8.0	8.5	
Rays measured	35	99	189	129	146	598
Rays counted	90	1 061	2 442	330	587	4 510
Successful vessel-trips taking any species of ray ¹	13	37	132	169	123	474
Standardization factor ² (Number of rays per 10 vessel-trips)	1.98	2.90	0.98	0.15	0.33	6.33

¹ Zero catch not included

² Number measured/Number of vessel trips.

TABLE 2. Number of *Rhinobatos productus* measured in each 50 mm length-class for each gillnet mesh-size used in the artisanal ray fishery of Sonora. SF = Standardization factor.

Length-class (mm)	Mesh-size (inches)					Total
	3.5	5	6	8	8.5	
250–299	1					1
300–349	3					3
350–399						
400–449	3	4	1	1	1	10
450–499	11	3	5	3	2	24
500–549	10	24	29	21	20	104
550–599	4	50	44	22	23	143
600–649	1	17	40	21	27	106
650–699		1	33	15	24	73
700–749			10	8	16	34
750–799			14	22	15	51
800–849	2		9	7	14	32
850–899			4	9	3	16
900–949					1	1
Total	35	99	189	129	146	598
SF	1.98	2.90	0.98	0.15	0.33	

The length-frequency distribution obtained for each mesh-size could be influenced by the spatial and temporal distribution of rays. As noted by Kirkwood and Walker (1986), aggregation of fish by size-class has implications for the assumption that individual catches are independently Poisson-distributed. Aggregation might account for the peak observed in the length-frequency distribution for 8-inch mesh-size (Fig. 2). This observation is consistent

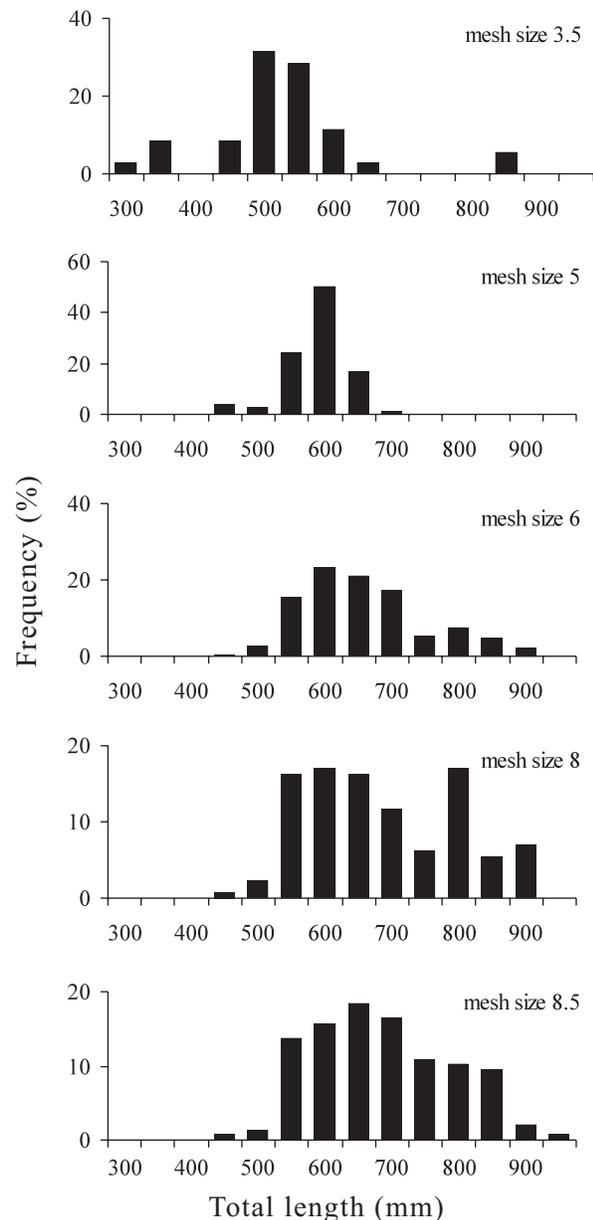


Fig. 2. Total length-frequency distribution (%) for *R. productus* caught in the artisanal ray fishery of Sonora for gillnets with 3.5, 5, 6, 8 and 8.5 inch mesh-size.

with the assumption adopted by those authors that the selectivity function follows the gamma distribution to account for the tendency of large individuals to be entangled. Table 3 shows the number of rays per 10 vessel-trips within 50-mm length-classes for each mesh-size.

The estimated values with 95% confidence range (CI) of the selectivity parameters were $\theta_1 = 105.7$ (CI = 103–107), $\theta_2 = 21\,741$ (CI = 19\,900–25\,200). The residuals indicate variable fit performance for the various mesh-sizes and length-classes (Fig. 3). The plots of normalized residuals show that the data fit better for the 5, 6 and 8 inch mesh-sizes than for the 3.5 and 8.5 inch mesh-sizes. A family of curves represents the estimated relative selectivity of commercial gillnets (Fig. 4). As expected the size of maximum selectivity (~1.0) increases with mesh-size.

Discussion

Few selectivity estimates have been made for elasmobranchs and those that have all been made were for sharks (Kirkwood and Walker, 1986; McLoughlin and Stevens, 1994; Walker, 1997; Simpfendorfer and Unsworth, 1998; Carlson and Cortés, 2003). These studies were all based on experimental research closely matching the standard gears used in the respective fisheries.

Sonora's artisanal elasmobranch fisheries are typically based on multispecies assemblages, they lack adequate

TABLE 3. Number of *Rhinobatos productus* captured per 10 vessel-trips in each 50 mm length-classes for each mesh-size.

Length-class (mm)	Mesh-size (inches)					Total
	3.5	5	6	8	8.5	
250–299	2.0					2.0
300–349	5.9					5.9
350–399						
400–449	5.9	11.6	1.0	0.2	0.3	19.0
450–499	21.8	8.7	4.9	0.5	0.7	36.4
500–549	19.8	69.5	28.4	3.2	6.5	127.4
550–599	7.9	144.8	43.1	3.3	7.5	206.7
600–649	2.0	49.2	39.2	3.2	8.8	102.4
650–699		2.9	32.3	2.3	7.8	45.3
700–749			9.8	1.2	5.2	16.2
750–799			13.7	3.3	4.9	21.9
800–849	4.0		8.8	1.1	4.6	18.4
850–899			3.9	1.4	1.0	6.3
900–949					0.3	0.3

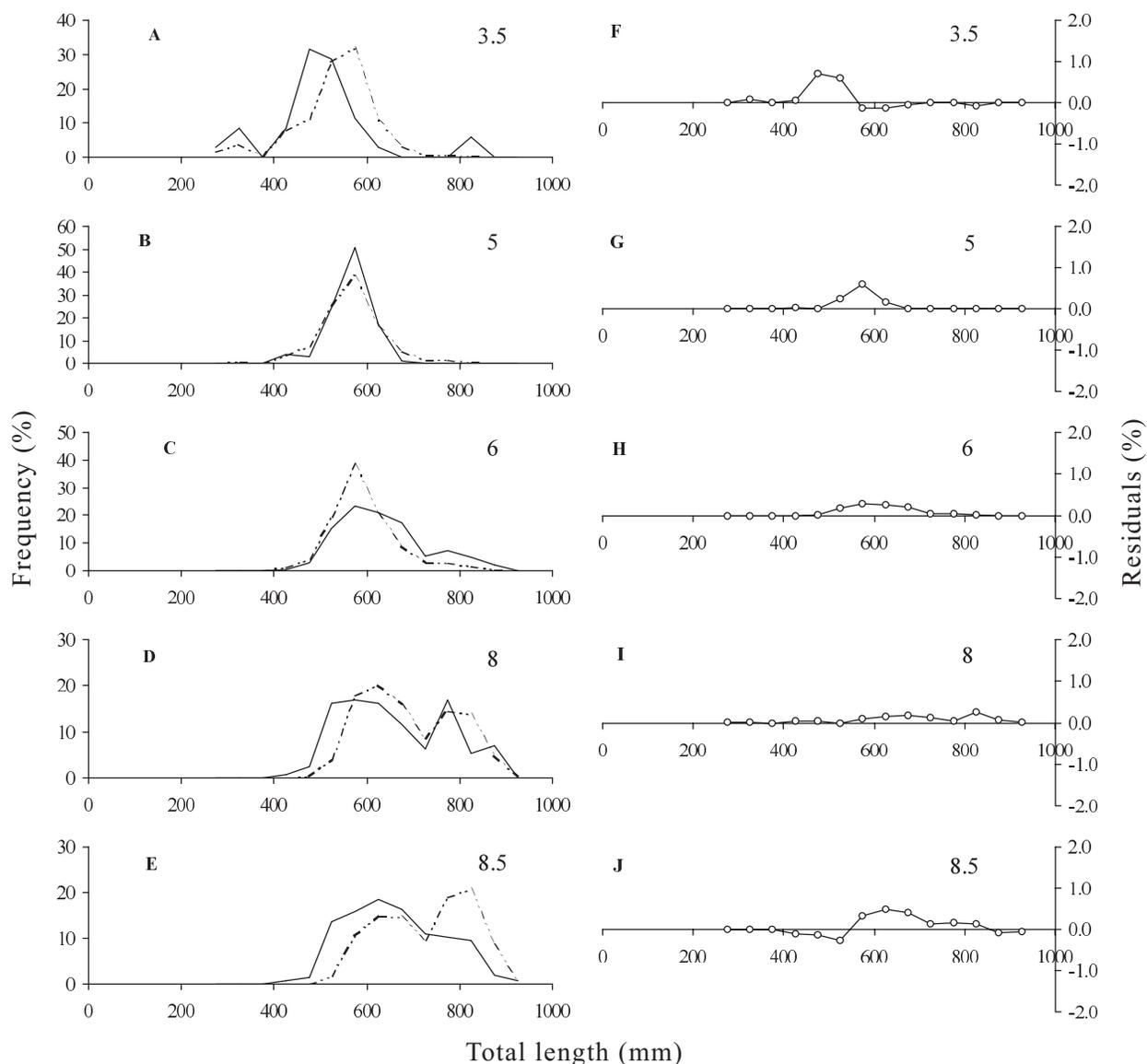


Fig. 3. Observed *versus* predicted length-frequency distribution resulting from the fitted model (A–E) and normalized (%) residuals of the log-likelihood by total length (F–J).

fisheries research and monitoring, and, until recently, they have received low research priority. For such fisheries, selectivity estimation can be undertaken by regular sampling of landings in coastal fishing camps. Analysis of data derived directly from the landing place creates uncertainty, because discarding at sea is a potential source of bias. In general, small animals are more likely than large animals to be discarded at sea and resulting in an under representation of the frequency of small size-classes, but this is considered negligible for *R. productus*.

In the present study, selectivity was defined in terms of those animals actually encountering the net, rather than in terms of the whole population as considered by Kirkwood and Walker (1986). As these authors pointed out, there is a higher availability of the population in time and space to the fishing gear used in the actual fishery compared with that during a short-term experiment. When analysis is based on data derived from experimental gillnetting or from on-board monitoring of fishing activities, it is possible to discriminate between those animals

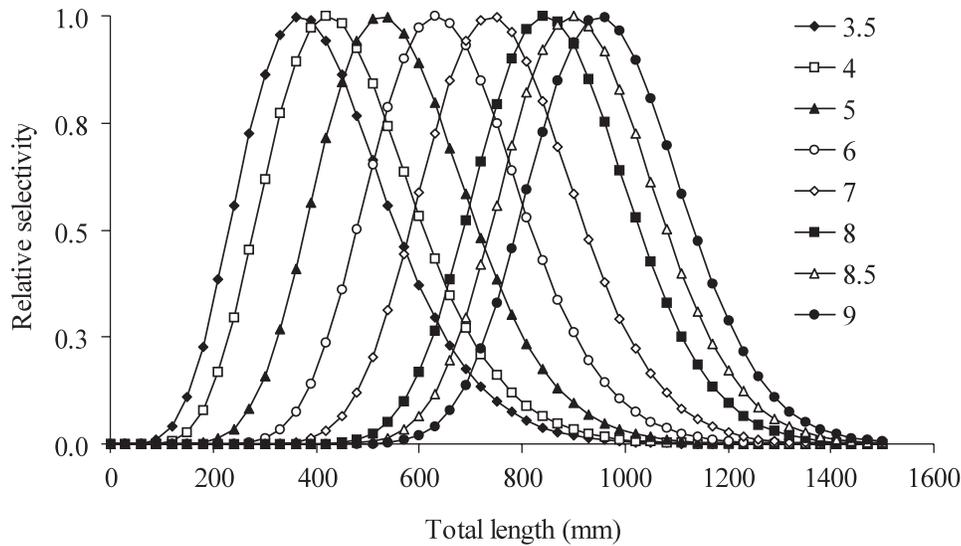


Fig. 4. Family of curves of relative selectivity applying the Kirkwood and Walker (1986) model to *R. productus* taken in the artisanal ray fishery of Sonora.

enmeshed and those entangled (McLoughlin and Stevens, 1994; Simpfendorfer and Unsworth, 1998). In the present study, it was accepted that the catch of *R. productus* in commercial fisheries includes randomly entangled large animals in addition to the enmeshed animals (McLoughlin and Stevens, 1994).

Several factors might have contributed to catch efficiency by size of animal to cause some departure from the model assumption of similar fishing power of nets across all mesh-sizes. 1) Morphology of *R. productus* with its pointed-shape of head with large pliable pectoral fins affects escapement. For example, when animals encounter the net, small individuals are more likely to escape than large animals because the margins on both sides of their disc bend. In large animals, although the pectoral fins bend, the body does not readily penetrate through the meshes. 2) Seasonal migration from shallow to deep waters for reproductive purposes and aggregation by sex and size (personal observation) could cause potential biases in the analyses. 3) Oceanographic currents sometimes drag the nets and, depending on current strength, can distort the shape of the meshes and hence affect the effective mesh-size. This is particularly true for the fishing ground located close to Canal del Infiernillo (Little Hell Channel) between Isla Tiburón (Shark Island) and the mainland, where the water currents are particularly strong at times (Fig. 1). 4) The technical properties of the net can vary when fishers modify their gear to specifically target valuable fish such as flounder by attaching suspenders in

different sections of the gear. This modification results in the net being moved by the water current and the formation of bags where animals can be more easily entangled.

Another factor that could affect the values of the selectivity parameter estimates is that trips with zero catches were not sampled. This bias is negligible for the present-study because landings with zero catch of elasmobranch animals are rare. Gear saturation could affect the results, but this effect is also considered negligible for the present study.

The effect of the size-class interval on the parameter estimates was explored. Increasing the length-class interval from 20 to 100 mm in steps of 10 mm produced a mean value of $\theta_1 = 105.73$ (min = 105.54, max = 106.31, ± 0.16 , $\alpha = 0.05$) and of $\theta_2 = 22\ 069$ (min = 21\ 387, max = 23\ 883, ± 507 , $\alpha = 0.05$). As expected, the likelihood resulting from this manipulation increased exponentially as the intervals increased. The range of these possible input values to estimate the selectivity parameters is especially relevant for future parameter estimates, particularly as optimizing techniques are highly dependent on good starting values. Previous estimates of the parameter could help to define prior probabilities of the parameter in a Bayesian framework (Gelman *et al.*, 1995) taking advantage of the convenient model-induced likelihood methods as the one used here (Millar, 2000). The reasoning behind the Bayesian approach is, however, beyond the scope of the present study.

TABLE 4. Selectivity parameters using the Kirkwood and Walker (1986) method for several species of elasmobranchs compared with values derived in present study for *Rhinobatos productus* from the Gulf of California, Mexico. Mesh-size is referred as those used in the analyses.

Species	θ_1	θ_2	Mesh-size (inches)	Condition	Location	Source
<i>Mustelus antarcticus</i>	184.3	29 739	4, 5, 6, 7, 8, 9	Experimental	Southern Australia	Kirkwood and Walker (1986)
<i>Carcharhinus tilstoni</i>	131.6	63 981	4, 6, 8, 10	Experimental	Northern Australia	McLoughlin and Stevens (1994)
<i>C. sorrah</i>	124.3	33 809	4, 6, 8, 10	Experimental	Northern Australia	McLoughlin and Stevens (1994)
<i>Galeorhinus galeus</i>	188.3	55 920	6, 7, 8, 9	Experimental	Southern Australia	Walker (1997)
<i>C. obscurus</i>	130.1	29 237	5, 6, 6.5, 7, 8, 8.5	Experimental	Western Australia	Simpfendorfer and Unsworth (1998)
<i>Furgaleus macki</i>	173.7	26 415	5, 6, 6.5, 7, 8, 8.5	Experimental	Western Australia	Simpfendorfer and Unsworth (1998)
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	211.9	166 598	3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 8	Experimental	Northeastern US	Carlson and Cortés
<i>Sphyrna tiburo</i>	131.7	27 259	3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 8	Experimental	Northeastern US	Carlson and Cortés
<i>C. acronotus</i>	140.6	31 569	3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 8	Experimental	Northeastern US	Carlson and Cortés
<i>C. isodon</i>	141.3	189 873	3.4, 4, 4.5, 5, 5.5, 8	Experimental	Northeastern US	Carlson and Cortés
<i>Rhinobatos productus</i>	105.7	21 741	3, 5, 6, 8, 8.5	Fishery-dependent	Gulf of California, México	Present study

It is difficult to compare the results from the present study with published values of θ_1 and θ_2 because there have been no previous attempts to estimate selectivity parameters for rays. The estimates of selectivity parameters derived in present study are out of the range of values derived for other elasmobranchs (Table 4). Walker *et al.* (1998) observed that small sharks swim through gillnets and they become increasingly vulnerable to capture as they grow until they reach a size of maximum selectivity, after which size they become progressively less vulnerable. This is true for fusiform-shaped organisms such as *Mustelus antarcticus*, but less evident for dorsoventrally flattened species such as *R. productus*, *R. glaucostigma*, *Zapterix exasperata* and *Narcine entemedor*, which are harvested in the artisanal ray fishery in the Gulf of California. Among these dorsoventrally flattened species, fitting the selectivity model to a gamma distribution is considered acceptable for species like *Rhinobatos* sp. and *Narcine* sp; it would be valuable to test the model's performance in species such as *Dasyatis brevis*. The rounded shape of this ray is likely to produce particularly wide selectivity curves (i.e. high θ_2 values).

Estimation of selectivity parameters when data on reproduction are available is essential to assess vulnerability to capture at each life history stage for harvested species. The studies available on the demography of elasmobranchs assume fishing mortality to be constant with age and to be knife-edge between pre-recruit and recruited animals. This is because of the lack of selectivity estimates for the associated fisheries (Cailliet, 1992; Cortés, 1998; Sminkey and Musick, 1996). Au and Smith (1997) developed a demographic method for estimating the productivity of sharks and recognized the need for specifying the mortality schedule affecting the age structure of a population affected by highly selective gears. Consideration of the effect of gear selectivity when estimating demographic parameters may reveal a greater resilience of some elasmobranch species than previously thought. Walker (1998) noted that demographic characteristics of the gummy shark, which incorporated the effect of gillnet selectivities and natural mortality across age-classes, provided a more optimistic prognosis of the stock than previous assessments that had not included gear selectivity.

The length-based, highly selective nature of gillnets suggests that care must be taken when interpreting catch data (Kirkwood and Walker, 1986). Of particular importance is the identification of factors influencing the catch process for fishery dependent analyses. Most of the factors listed above are applicable to other artisanal fisheries and should be considered when fitting the model to the data.

The results from the present study will become more relevant for regulation of the ray fishery of the Gulf of California when their reproduction is better understood.

Acknowledgements

Several people are thanked for their contributions. Rachael Bathgate is thanked for her assistance in translating an early draft of the manuscript. Miguel Cisneros is thanked for his comments on an early draft of the manuscript. Terry Walker is thanked for his advice on the method used. Collin Simpfendorfer is thanked for comments on earlier results and Eric Cortés for discussions on the confidence interval estimation. Thanks are also given to Phillip Sanchez and Altagracia Landa for their assistance in field, as well as Tad Pfister from the Prescott Marine Station (University of Arizona) and the CICTUS (University of Sonora) for their help in the logistics. The referees are thanked for their comments. The present study was partially supported by each of the Lucile and Packard Foundation and Instituto Nacional de la Pesca of Mexico.

References

- ANON. 2000. Anuario Estadístico de Pesca. SEMARNAP.
- AU, D. W., and S. E. SMITH. 1997. A demographic method with population density compensation for estimating productivity and yield per recruit of the leopard shark (*Triakis semifasciata*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**: 633–678.
- CAILLIET, G. M. 1992. Demography of the central California population of the Leopard shark (*Triakis semifasciata*). *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, **43**: 183–193.
- CARLSON, K. J., and E. CORTÉS. (2003). Gillnet selectivity of small coastal sharks off the southeastern United States. *Fish. Res.*, **60**: 405–414.
- CORTÉS, E. 1998. Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fish Res.*, **39**: 199–208.
- GARCÍA-CAUDILLO, J. M., M. A. CISNEROS-MATA, and A. BALMORI-RAMÍREZ. 2000. Performance of a bycatch reduction device in the shrimp fishery of the Gulf of California, México. *Biol. Conserv.*, **92**: 199–205.
- GELMAN, A., J. B., CARLIN, H. S. STERN, and D. B. RUBIN. 1995. Bayesian Data Analysis. Chapman & Hall. London. 526 p.
- HUETER, R. E., G. M. CAILLIET, J. F. MÁRQUEZ-FARIAS, J. L. CASTILLO-GÉNIZ, and C. J. VILLAVICENCIO-GARAYZAR. 2000. Artisanal fisheries for elasmobranchs in the Gulf of California: a multi-institutional project. American Elasmobranch Society. American Fisheries Society. 14–20 June 2000. La Paz, BCS (abstract).
- KIRKWOOD G. P., and T. I. WALKER. 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-FARIAS, J. F., J. TYMINSKI, R. E. HUETER, J. L. CASTILLO-GÉNIZ, and C. MURILLO-PÉREZ. 1999. Diversidad de elasmobranquios en Sonora estimado de una prospección de la pesquería artesanal. Memorias I Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. 25–28 Mayo 1999. DICTUS. Hermosillo, Sonora, México (abstract in Spanish).
- MCCLOUGHLIN K. J., and J. D. STEVENS. 1994. Gill net mesh selectivities for two species of commercial Carcharhinid sharks taken in Northern Australia. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, **45**: 521–534.
- MILLAR, R. B. 2000. Untangling the confusion surrounding the estimation of gillnet selectivity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **55**: 1328–1337.
- SIMPFENDORFER, C., and P. UNSWORTH. 1998. Gill net mesh selectivity of dusky sharks (*Carcharhinus obscurus*) and whiskery sharks (*Furgaleus macki*) from south-western Australia. *Mar. Freshw. Res.*, **49**: 713–718.
- SMINKEY, T. R., and J. A. MUSICK. 1996. Demographic analysis of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in the western North Atlantic. *Fish. Bull.*, **94**: 341–347.
- VENZON, D. J., and S. H. MOOLGAVKAR. 1988. A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *Appl. Stat.*, **37**: 87–94.
- WALKER, T. I., B. L. TAYLOR, R. J. HUDSON, and J. P. COTTIER. 1998. The phenomenon of apparent change of growth rate in gummy shark (*Mustelus antarcticus*) harvested off Southern Australia. *Fish. Res.*, **39**: 139–163.
- WALKER, T. I. 1997. School shark 1996, Stock Assessment Report, Southern Shark Fishery Assessment Group. (Australian Fisheries Management Authority: Canberra), 45 p.
1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of sharks fisheries. *Mar. Freshw. Res.*, **49**: 553–572.
-

Anexo 4

Date:	Wed, 14 Feb 2007 16:48:29 -0800
To:	"Fernando Marquez" <fermqz@yahoo.com>
Subject:	[CM] Envío recibido
From:	"Dr. Alejandro Cabello Pasini" <acabello@uabc.mx>

Estimado Dr/a Fernando Marquez:

Gracias por enviarnos su manuscrito "**Interacción madurez-selectividad En la guitarra común (*Rhinobatos productus*) del Golfo de California, México**" a *Ciencias Marinas*. Gracias al sistema de gestión de revistas online Que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<http://rcmarinas.ens.uabc.mx/index.php/cmarinas/author/submission/1218>

Nombre de usuaria/o: fmarquez

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as.
Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Dr. Alejandro Cabello Pasini
Ciencias Marinas
Ciencias Marinas
<http://www.cienciasmarinas.com>

Vulnerabilidad de la guitarra en el Golfo de California

Interacción madurez-selectividad en la guitarra común (*Rhinobatos productus*) del Golfo de California, México

J. Fernando Márquez-Farías^{1,2}

¹*Centro Regional de Investigación Pesquera de Mazatlán, Instituto Nacional de la Pesca SAGARPA, Calzada Sábalo-Cerritos S/N. CP. 82010, Mazatlán, Sinaloa, México.*

(e-mail: fermqz@yahoo.com. Tel/Fax: (669) 988-12-56

²*Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Km. 2.5 Carr. a Las Tinajas, Predio El Tular, Col. Las Tinajas. Guaymas, Sonora 85460, México.*

Interacción madurez-selectividad en la guitarra común (*Rhinobatos productus*) del Golfo de California, México

Resumen

La guitarra común, *Rhinobatos productus* es la especie más importantes de la pesquería artesanal de rayas del Golfo de California. Esta guitarra es capturada al aproximarse a la costa con fines reproductivos siendo altamente susceptible a las redes utilizadas en la pesquería. A pesar de los elevados niveles de captura de elasmobranquios en el Golfo de California los estudios sobre los aspectos biológicos y tecnológicos son escasos. En el presente estudio se investiga la interacción entre la madurez y la selectividad las cuales están en función de la longitud y son representados por la ojiva logística y la distribución gamma, respectivamente. La interacción de dichos vectores se aplica a la estructura de frecuencias de la población monitoreada de 1998-2004 en Sonora. El efecto de las ojivas de madurez de ambos sexos reveló que la proporción de organismos maduros es de 68% y 83% para machos y hembras, respectivamente. La selectividad de las redes 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 de 3.5", 5.0", 6.0", 8.0", 8.5" pulgadas representaron reducciones de la distribución de frecuencia de longitudes del 0.59%, 0.09%, 0.08%, 0.85% y 0.94%, respectivamente. Mientras que las mismas redes para las hembras representaron reducciones de 0.79%, 0.41%, 0.16%, 0.48%, 0.63%. Las redes de 5.0" y 6.0" tuvieron la mayor selectividad para ambos sexos coincidiendo con intervalos de longitudes de mayor abundancia. El resultado del presente estudio revela que la pesquería esta teniendo un impacto sobre la población

adulta de la guitarra (ambos sexos) y en menor medida sobre los juveniles pre-adultos. Un análisis demográfico incorporando los vectores de madurez y selectividad permitirá determinar su resiliencia al esquema de explotación actual.

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

Introducción

En el Golfo de California se captura la mayor proporción de batoideos (rayas) del Océano Pacífico de México rebasando las 6000 t en 1999 siendo Sonora el estado costero del Golfo en donde se desembarca un mayor número de rayas (SAGARPA 2002). Al igual que la mayoría de las pesquerías de México, la pesquería de rayas del Golfo de California es artesanal de gran relevancia socioeconómica. Monitoreos recientes de la pesquería de elasmobranquios en el Golfo de California, revelaron que la pesquería opera en un complejo ensamble multiespecífico de por lo menos 24 especies de rayas que son vulnerables en diferentes estadios de desarrollo. Las rayas también forman parte importante de la captura incidental en la pesca industrial de camarón que opera en el Golfo de California (Flores *et al.* 1995, García-Caudillo 2000). No obstante el nivel de producción de rayas en el Golfo de California, hasta la fecha no se ha implementado acciones que regulen el aprovechamiento de las rayas y que protejan a las especies biológicamente más vulnerables.

La guitarra común, *Rhinobatos productus* (Ayres 1854) es una de la especies mas importantes en la pesquería artesanal del Golfo de California representando el 45% de los desembarques en número (Márquez-Farías 2002). Al igual que otros elasmobranquios (Castro 1993), esta guitarra se acerca a las zonas someras costeras y Bahías con fines reproductivos y es altamente susceptible a ser capturada con las redes de enmalle de fondo típicamente utilizadas en la pesquería de rayas de la región (Salazar-Hermoso y Villavicencio-Garayzar 1999, Márquez-Farías 2005, Bizarro *et al.* en prensa). 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, en prensa). Dichas diferencias en los patrones reproductivos tienen importantes implicaciones a considerar para la muy necesaria regulación la pesquería.

Los elasmobranquios son peces que presentan una alta longevidad y cuentan con características biológicas que los hacen muy susceptibles a la sobreexplotación (Holden 1973, 1974). Las pesquerías de elasmobranquios por lo general carecen de series de captura y esfuerzo haciendo la evaluación de sus poblaciones imposibles utilizando modelos dinámicos de biomasa o estructurados. En virtud de lo anterior, se han propuesto técnicas demográficas que permitan 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). Adicionalmente a dichos enfoques cuantitativos, se han desarrollado y propuesto técnicas de evaluación rápida para valorar el efecto de la pesca y el riesgo ecológico sobre elasmobranquios con base en poca información (Walker 2005a, Braccini *et al.* 2006). Estos enfoques mencionados requieren de información sobre madurez y selectividad (ambos en función de la longitud) para evaluar el impacto de la pesca sobre la población. Hasta la fecha no se cuenta con la información suficiente para realizar un análisis demográficos de la guitarra del Golfo de California para determinar su nivel de productividad. 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 son retenidos usando redes con aberturas de malla de 3.5", 5.0", 6.0", 8.0" y 8.5" (pulgadas) y con ello determinar el nivel de

vulnerabilidad de la población a dichas redes y al nivel de desarrollo de hembras y machos accesibles a la pesquería.

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 durante el periodo de 1999-2003 (Fig. 1). Los organismos fueron examinados de acuerdo con los protocolos de monitoreo del Instituto Nacional de la Pesca. La longitud total (LT) de la guitarra fue tomada de la punta de la nariz al extremo de la aleta caudal colocando el organismo con el vientre hacia abajo. El ancho del disco se midió de punta a punta. Las mediciones fueron realizadas al centímetro más cercano. El sexo se determinó observando la presencia o ausencia del clasper.

Madurez

En los machos, la madurez sexual se estimó observando la característica del clasper (Carrier *et al.* 2004). La longitud del clasper se tomó de la axila formada entre la aleta pélvica y la base del clasper, hasta su punta. En los juveniles el clasper se observa flácido y corto. Los organismos fueron juzgados como maduros cuando el clasper se presentaba calcificado y tenía capacidad de rotar hacia la parte posterior. Los testículos fueron medidos y correlacionados con la longitud. En las hembras se examinaron y midieron órganos

internos tales como glándula oviducal, ancho del útero, diámetro de los óvulos del ováro y se observo la evidencia de preñez. Con la frecuencia de organismos maduros e inmaduros se determino la proporción de madurez en función de la longitud para ambos sexos. A los valores observados de proporción de madurez fueron le fue ajustada la función logística de la forma

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

Donde M_L es la proporción de madurez la longitud L y $L_{50\%}$ es la longitud a la cual el 50% de los organismos están maduros y ϕ representa la pendiente de la función. Los parámetros utilizados para generar las curvas de madurez fueron $L_{50\%} = 55$ cm, $\phi = 2.05$ para machos y $L_{50\%} = 57$ cm, $\phi = 2.46$ para hembras. La descripción sobre los aspectos reproductivos y el procedimiento de ajuste se detallan en Márquez-Farías (en prensa).

Selectividad

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

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

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

El modelo de Kirkwood y Walker (1986) es un modelo flexible de dos parámetros (θ_1 y θ_2) que permite operar con distribución de frecuencia de longitudes con sesgos positivos pronunciados. La selectividad S_{ij} puede ser modelada en función del tamaño de la malla m_i y de la longitud l_j , al igual que la moda y la varianza. La forma funcional usada para modelar las selectividades en función de la longitud l_j , y la abertura de la malla m_i es

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

donde α_i y β_i están especificados en términos de la abertura de la malla m_i y la clase de longitud 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. La longitud a la máxima selectividad de la red agallera i es proporcional al tamaño de la malla por lo que

$$\alpha_i \beta_i = \theta_1 m_i$$

donde:

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

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

Fracción retenida por redes de diferente abertura de malla

Para determinar la fracción retenida por cada abertura de malla, se parte de una estructura de longitudes de la población expresada como una distribución de frecuencias derivada de los muestreos en la costa de Sonora de 1998 a 2004. Primero se calcula la proporción de organismos maduros por intervalo de clase de longitud de acuerdo con la ojiva de madurez respectiva para cada sexo. El histograma de frecuencia resultante representa la proporción de organismos maduros los cuales son multiplicados por la selectividad de aberturas de malla utilizados en la pesquería 3.5", 5.0", 6.0", 8.0" y 8.5". De este modo, se genera para cada sexo un histograma de frecuencia de longitudes que representa la proporción de organismos maduros que son retenidos.

Resultados

Un total de 1144 individuos fueron utilizados para representar la estructura de la población de la guitarra, *R. productus* capturada por la flota artesanal de Sonora (Fig. 1). La distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra se observa con dos picos, uno muy

prominente en el intervalo de clase de 56-58 cm LT y otro más tenue en el intervalo de clase de 78-80 cm LT correspondientes a machos y hembras, respectivamente (Fig. 2a). Debido a diferencias biométricas entre sexos, los machos tienen una amplitud de 48 cm (22 a 70 cm LT) y las hembras de 72 cm (22 a 94 cm LT). El traslape entre los máximos picos de hembras y machos abarca un intervalo de longitudes de 58-66 cm LT.

La distribución de frecuencia de sexos combinados se vio reducida al extraer los organismos maduros por medio de la función logística. La reducción para los machos fue de 32% y para las hembras fue de 17%, y la amplitud de organismos maduros de machos y hembras fue de 22 cm (48 a 70 cm LT) y 48 cm (50 a 98 cm LT), respectivamente (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", 8.5" representaron reducciones en el total de individuos de la distribución de frecuencia de longitudes de 0.59%, 0.09%, 0.08%, 0.85% y 0.94%, respectivamente. Mientras que las mismas redes para las hembras representaron reducciones de 0.79%, 0.41%, 0.16%, 0.48%, 0.63% (Fig. 3). Dichas proporciones fueron influenciadas esencialmente por la abundancia en las clases de la distribución de frecuencias de la población, el sexo y la abertura de malla. Por ejemplo, la distribución de frecuencia de longitudes de machos maduros con una red de 3.5" (Fig. 3a) es más conspicua que la distribución de longitudes de las hembras maduras con la misma abertura de malla (Fig. 3f). Esta última presenta mayor distribución hacia organismos de mayor talla. Los machos maduros fueron más vulnerables a las redes con aberturas de malla

de 5.0” y 6.0” debido a que redes con aberturas de malla mayores tienen su máxima selectividad en longitudes que rebasan la talla más grande observada para los machos. Por su parte, la distribución de frecuencia de longitudes de las hembras maduras se mostro con un sesgo hacia la derecha con la mayor frecuencia en los intervalos de clase de longitud de 54-72 cm (Fig. 3f,h), cambiando notablemente la distribución hacia tallas mas grandes con redes de 8.0” y 8.5” 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 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 sobreponer el supuesto de “filo de navaja” frecuentemente utilizado 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 formando una ojiva en función de la longitud, de tal modo que la proporción de madurez a la talla puede ser adecuadamente descrita por una función logística gobernada por parámetros que tienen una interpretación biológica (Walker 2005b). La estimación de los parámetros demográficos debe de incluir la ojiva de madurez de las hembras lo cual es una representación más realista de la estrategia reproductiva de la especie en estudio.

Las especies de alta longevidad son particularmente vulnerables a la sobre pesca (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 supervivencia muy discretos (Cortés 2002). Los casos de colapso de poblaciones y pesquerías de tiburones han sido bien documentados (Bonfil 1994). Subsecuentemente, se ha reportado el colapso de pesquerías ahora de batoideos en otras partes del mundo como resultado de la intensidad de pesca dirigida e inclusive incidental (Musick 2005). Debido a su baja resiliencia, algunos batoideos están siendo sobreexplotados aun como componentes de la pesca incidental de otras pesquerías (Dulvy y Reynolds *et al.* 2002, Dulvy *et al.* 2000). Resultado 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 de US-NMFS (Díaz-Soltera 1999). En el contexto de las rayas del Golfo de California, se considera que las poblaciones están siendo sometidas a una fuerte mortalidad por pesca. Por un lado la pesca artesanal de rayas que es intensa en ambas costas del Golfo y que algunas especies están siendo capturadas en su hábitat crítico como las áreas de crianza en donde los recién nacidos y las hembras grávidas son vulnerables, como es el caso del complejo sistema laguna de Bahía Magdalena en la costa occidental de Baja California Sur (Salazar-Hermoso y Villavicencio-Garayzar 1999); y por otro lado, la intensa y longeva (1947-2007) pesquería de arrastre del camarón (INP 2000), en la cual los elasmobranquios forman parte importante de la fauna de acompañamiento (Pérez-Mellado y Findley 1985, García-Caudillo *et al.* 2000).

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 vulnerable conforme crecen. Es decir, que dentro de una cohorte los individuos que crecen mas lento son vulnerables a las redes por mas tiempo que los individuos que crecen más rápido (Walker *et al.* 1998). Debido a esto la selectividad de las redes de enmalle puede influenciar no solo los rendimientos de la captura sino también la estimación de los parámetros de crecimiento (Walker *et al.* 1998, Moulton *et al.* 1992) dado que redes con aberturas de malla más frecuentes tienden a colar la estructura de tallas disponible en la zona de pesca provocando una distorsión en las curvas de crecimiento. Dicho proceso se conoce como “cambio aparente de la tasa de crecimiento” y en gran medida depende de la intensidad de pesca en escala temporal (Walker *et al.* 1998). Recientemente, Walker (2007) invoco la hipótesis de que el efecto de las redes de enmalle puede tener influencia en la determinación de parámetros de madurez y maternidad en elasmobranquios lo cual podría tener consecuencias serias en los análisis demográficos ya que las ojivas pudieran estar distorsionadas y producir valores sesgados de estimaciones posteriores que dependan de estos valores.

Con excepción de Beerkircher *et al.* (2003) quienes incorporaron explícitamente el efecto de la selectividad afectando los parámetros demográficos del tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) del Atlántico, los estudios de demografía de elasmobranquios disponibles consideran el efecto de la mortalidad por pesca como “filo de navaja” lo cual provoca que estimaciones pesimistas de la tasa de crecimiento poblacional (Walker 1998).

Simultáneamente al 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

mudo que considerar el efecto de la selectividad puede revelar mayor resiliencia de las poblaciones a la mortalidad por pesca (Stevens 1999).

En 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 permiten identificar que las redes de enmalle utilizadas en la pesquería de rayas afectan de manera variada a la población de la guitarra del Golfo de California. Por un lado, la proporción de organismos retenidos con redes pequeñas 3.5” tiene influencia sobre la estructura de la población de juveniles. Sin embargo, la proporción no es muy grande ya que esa abertura de malla es mayormente utilizada para otros recursos como la sierra, *Scomberomorus sierra* y *S. concolor*, estacionalmente disponibles en la pesca ribereña (Cisneros-Mata y Montemayor-López 2000); de tal modo que el poder de pesca de la guitarra con estas redes es menor. Las redes de 5.0” a 8.5” de abertura de malla son frecuentemente utilizadas en la pesquería de rayas con poder de pesca relativamente similar. Por otro lado, el sexo de los individuos accesible 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” (Fig. 3a) y en mayor grado a las redes con aberturas de malla de 5.0” y 6.0” (Fig. 3b,c). La red pequeña de 3.5” también captura hembras pero en un intervalo mas amplio ya que estas crecen a mayor talla (Fig 3f). Las redes con aberturas de malla de 5.0” y 6.0” tienen la mayor selectividad en machos y hembras ya que coinciden con los intervalos de longitudes de mayor abundancia accesibles en la pesquería (Fig. 3b,c,g,h). La proporción de machos capturado con redes de 8.0” y 8.5” es notablemente menor que la proporción retenida con abertura de malla inferiores (Fig.

3d,e). La selectividad de las hembras tiende a ser hacia organismos adultos particularmente abundantes 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 con datos no experimentales en donde se incluyeron organismos que fueron atrapados por enredo y no solamente individuos que fueron capturados exclusivamente de las agallas (Márquez-Farias 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 realísticamente la fracción de la población que es retenida por una red con una abertura de malla dada. Dicho autor señala que el modelo de selectividad utilizado el cual se basa en la distribución gama es una alternativa conveniente para estimar los parámetros de selectividad ya que la distribución de frecuencia de longitudes de una red de enmalle con determinada abertura de malla frecuentemente presenta sesgo hacia la derecha lo cual 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 cual en ocasiones provoca un sesgo en la interpretación de la selectividad máxima de una red particularmente cuando la distribución de frecuencias presenta mas de una grupo modal (Rojo-Vásquez *et al.* 1999). El modelo basado en la distribución gama favorece la determinación de parámetros de selectividad para las especies dorsoventralmente aplanadas y puntiagudas, sin embargo algunas rayas capturadas son aplanadas pero son muy anchas (ej.: Dasyatidae, Mobulidae, Urolophidae, Myliobatidae entre otras) por lo que la selectividad de las redes de enmalle es difícil de determinar si es que existe. En especies puntiagudas como la guitarra *R. productus* que tiene una forma puntiaguda tiende ha ser retenida 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 como lo observaron Salazar-Hermoso y Villavicencio-Garayzar (1999) en la pesquería de *R. productus* en Bahía Almejas, BCS señalado que 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. Los valores de θ_2 que representan la varianza de la curva de selectividad es el valor mas bajo reportado para elasmobranquios utilizando el método de Kirkwood y Walker (1986) (Márquez-Farías 2005).

El diagnostico de la situación del esquema actual de explotación de la guitarra y otros elasmobranquios del Golfo de California, debe basarse en un análisis demográfico que permita incorporar la información biológica de la especie. Es aquí en donde la proporción de madurez descrita por la ojiva logística 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 diagnosticar la resiliencia de la especie bajo escenarios de explotación (Márquez-Farías *et al.* 1998; Cortés 1998).

Referencias

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.). Transl. from Russian by Ont. Dept. Lands. For. Maple, Ontario, 45 pp.

Bizarro J, Smith WD, Márquez-Farías JF, Hueter RE. Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri* Evermann and Jenkins, 1891, in the northern Mexican Pacific. *Fish. Res* (en prensa)

Beerkircher L, Shivji M, and Cortés E. 2003. A Monte Carlo demographic analysis of the silky shark (*Carcharhinus falciformis*): implications of gear selectivity. *Fish. Bull.* 101:168–174.

Beverton RJH, Holt SJ. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. United Kingdom Ministry of Agriculture and Fisheries, Fisheries Investigations (Series 2) 19, 533 pp.

Braccini JM, Gillanders BM, and Walker TI. 2006. Hierarchical approach to the assessment of fishing effects on non-target chondrichthyans: case study of *Squalus megalops* in southeastern Australia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 2456–2466.

Bonfil R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 341, 119 pp.

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, p 596

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. *Cons. Biol.* 16:1048–1062.

Cortés E. 2004. Life history patterns, demography, and population dynamics. *In: Biology of sharks and their relatives*. (Carrier, J. C., J A. Musick, M.R. Heithaus, eds.) CRC Press 449–469.

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. 261-274.

En: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999-2000*.

Instituto Nacional de Pesca. México. pp 1111.

Díaz-Soltera, H. 1999. Endangered and threatened species; revision of candidate species list under the Endangered Species Act. Federal Register, 64(120): 33166–33467.

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.

Dulvy NK, Reynolds JD. 2002. Predicting extinction vulnerability in skates. *Conserv. Biol.* 16: 440–450.

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 (1), 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, México. *Biol. Conserv.* 92, 199–205.

Downton-Hoffmann CA. 2001. Edad y crecimiento del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres 1856), en la costa occidental de Baja California Sur, México. IPN Tesis de Maestría, p 72

Holden MJ. 1973. Are long-term sustainable fisheries for elasmobranchs possible? *Rapp. P-V Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 34, 161–168.

Holden MJ. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. Jones, E. H., *ed.* Sea fisheries research. London: Logos, pp. 117–137.

Instituto Nacional de la Pesca. 2000. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999-2000. Instituto Nacional de Pesca. México. pp 1111.

Kirkwood GP, and Walker TI. 1986. Gill net mesh selectivities for gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günter, 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, 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

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. Northw. Atl. Fish. Sci., Vol. 35: 443–452

Márquez-Farías JF. Reproductive biology of shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* from the eastern Gulf of California México. Mar. Biol. (en prensa)

Moulton PL, Walker TI, SR Sadler. 1992. Age and growth studies of gummy shark, *Mustelus antarcticus* (Gunther), and school shark, *Galeorhinus galeus* (Linnaeus), from southern Australian waters. Aust. J. Mar. Freshwat. Res. 43: 1241–1267.

Musick JA. 1999. (Editor), Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-Lived Marine Animals. American Fisheries Society Symposium No 23, Bethesda, Maryland.

Musick JA, 2005. 1. Introduction: management of sharks and their relatives (Elasmobranchii). Pp 1-5. Musick, J.A.; Bonfil, R. (eds) Management techniques for elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 474. Rome, FAO. 2005. 251p.

Pérez-Mellado, J. y L.T. Findley, 1985. Evaluación de la ictiofauna acompañante del camarón comercial capturado en las costas de Sonora y norte de Sinaloa, México. pp. 201–253. In A. Yáñez-Arancibia (*ed.*). Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de la Pesca. México.

Rojo-Vázquez JA, Arreguin-Sánchez F, Godinez-Domínguez E, Ramírez-Rodríguez M. 1999. Selectividad de las redes de enmalle para el pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) y el

pargo alazán (*L. Argentiventis*) en Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Cienc. Mar.* 25:145-152.

SAGARPA 2002. Anuario Estadístico de Pesca 2002. 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. Pages 11-15. *In*: J.A. Musick, editor. *Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-lived Marine Animals*. American Fisheries Society Symposium 23, Bethesda, Maryland.

Walker TI. 1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Mar. Freshwat. Res.* 49: 553–72.

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

Walker TI. 2005a. 13. Management measures. *In*. 'Management techniques for elasmobranch fisheries'. 251 pp FAO Fisheries Technical Paper 474, 216–242

Walker TI. 2005b. Reproduction in fisheries science. *In*. “Reproductive biology and phylogenia of Chondrichthyes: Sharks, Batoids, and Chimaeras”. (Ed. W. C. Hamlett.) pp.81-127. (Science Publishers: Enfield, NH.).

Walker TI. 2007. Spatial and temporal variation in the reproductive biology of gummy shark *Mustelus antarcticus* (Chondrichthyes:Triakidae) harvested off southern Australia. *Mar. Freswat. Res.* 58, 67-97

Figuras

Fig.1 Área de estudio. La zona achurada representa la zona de pesca.

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

Fig. 3 Distribución de frecuencia de longitudes de la guitarra, *Rhinobatos productus* capturado por con redes de enmalle de diferentes aberturas de malla utilizados en la pesquería artesanal de Sonora. Las líneas representan a los machos (**a-e**) y hembras (**f-j**) de la población y las barras negras a los individuos maduros de cada sexo.

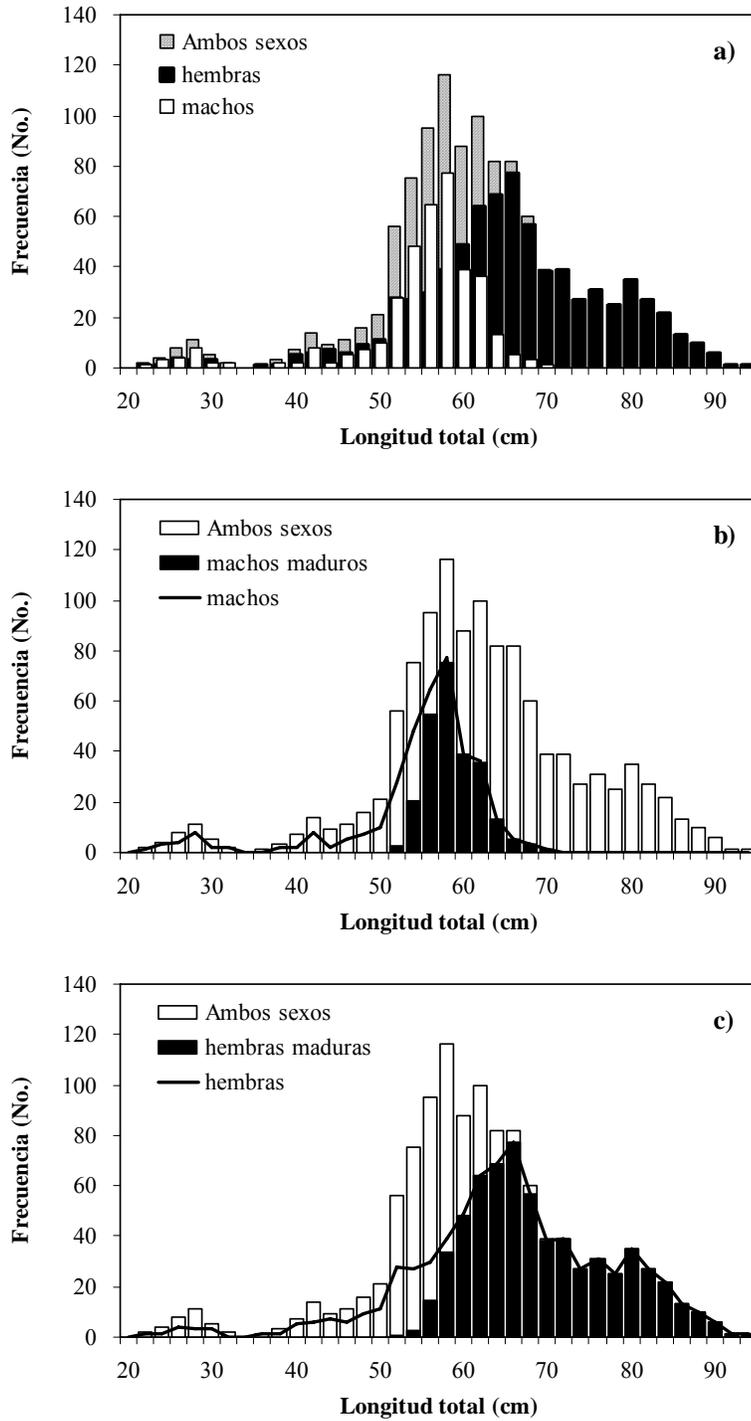
Vulnerabilidad de la guitarra en el Golfo de California

Fig. 1



Vulnerabilidad de la guitarra en el Golfo de California

Fig. 2



Vulnerabilidad de la guitarra en el Golfo de California

Fig. 3

