



**Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**

Universidad Nacional Autónoma de México



**BIOLOGÍA PESQUERA DE LA GUITARRA PINTA, *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert 1880), EN LA COSTA CENTRAL DE SONORA, MÉXICO**

**T E S I S**

*Que para obtener el grado académico de*

**Doctor en Ciencias  
(Biología Marina)**

**p r e s e n t a**

**MARÍA DEL PILAR BLANCO PARRA**

DIRECTOR DE TESIS: DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

COMITÉ TUTORAL: DR. XAVIER CHIAPPA CARRARA  
DR. JUAN PABLO GALLO REYNOSO  
DR. JUAN FERNANDO MÁRQUEZ FARÍAS  
DR. AGUSTIN HERNANDEZ HERRERA

México D.F., abril de 2009





*Dedicada*

*A mi papá que no tuvo la oportunidad de ver hoy el resultado a todo su esfuerzo*

*A Mariana que llega a mi vida como un ángel y un motivo por el cual seguir adelante*

*A mi mamá que es el ser más fuerte que conozco y en quien me sigo apoyando*

*A Carlos Alberto mi amado compañero quien me ha dado los mejores motivos para ser feliz Te amo!*



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer de forma muy especial:

A mi mamá que desde el inicio de mi vida me ha apoyado en todos mis sueños y a mi papá por que este triunfo también es de él aunque ya no esté hoy con nosotros para disfrutarlo. Te extraño mucho.

A Carlos Alberto mi esposo por todo el amor y el apoyo que me ha brindado durante los últimos seis años de mi vida, y por darme ahora el motivo más hermoso para seguir adelante, nuestra bebe Mariana.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por ser mucho más que un tutor, brindarme su amistad y abrirme las puertas de su familia. Gracias Cristy por siempre hacerme sentir que no estamos solos y contamos con una familia paceña.

Al Dr. Fernando Márquez Farías por compartir conmigo su conocimiento, por darme la oportunidad de hacer este trabajo, por confiar en mí y brindarme su amistad. Se llego el momento de pagar las chelas que te debo.

A los Doctores Xavier Chiappa Carrara, Juan Pablo Gallo Reynoso y Agustín Hernández Herrera, por sus sugerencias y correcciones, y su amable asesoría durante el desarrollo de esta tesis.

A los Dres. Gregor M. Cailliet y Vincent Galluci, por compartir conmigo su experiencia en la investigación con elasmobranchios y darme la oportunidad de aprender a su lado durante mis estancias en Moss Landing y Seattle.

A todas las personas que trabajan en el laboratorio de ecología de peces del CICIMAR, por toda la ayuda recibida durante el desarrollo de esta tesis, por los consejos y también las buenas chelas que compartimos en algún momento en los convivios de la casa Galván-Medellín.



A todos los que de una u otra forma me ayudaron con mi trabajo durante mi estancia en el CICIMAR.

A los pescadores en los campos pesqueros del estero del Soldado, el choyudo, Bahía de Kino y el Sahuimaro por permitirnos la toma de muestras y la colecta de los datos. Especialmente a Don Manuel, Mario y su combo que nos acogieron también como familia.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado, de la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la beca con la cual fue posible realizar mis estudios de posgrado y por los apoyos otorgados para las estancias y congresos.

A Chantal, Lupita, Diana y Gabriela por toda la ayuda que me brindaron durante mi estancia en el posgrado.

A todos los amigos por los buenos momentos que compartimos, que siempre fueron un escape a la tensión de la tesis: Beto, Erszi, Alfredo, Polo, Angie, Jose, Ivonne, Clau, Nicolás, Milena, Cristian, Alejandra, Adrian, Margarita, Maru, Chucho y Carmen.

A la vecindad: Marcela, Rico, Juan Pablo, Edith, Lucy, Natalia y Mezcal por estar siempre en los buenos y malos momentos, por tener siempre un motivo para brindar con unas chelas y por la amistad que tenemos.

A mis amigas de siempre Ivonne y Natalia, porque a pesar de la distancia siempre he sabido que cuento con ustedes y he sentido su apoyo incondicional. Gracias por hacer que esta amistad perdure y seguirla alimentando día a día.

A todos los amigos que conocí durante mis estancias en Moss Landing y en Seattle, especialmente a Joe, Wade, Elsi, Cassandra, Sora, Ivonne, Hem, Isaac, gracias por el apoyo, la amistad y la ayuda que me dieron.

A mis hermanos Carlos Javier y Armando y a toda mi familia que aunque estaban lejos siempre estuvieron pendientes de mis necesidades y supieron darme ánimos para seguir



adelante, especialmente a mi Tía María Teresa, porque siempre ha creído en mí y ha sido un apoyo en todo momento.

A Carlos Orlando, a mi hermana, a Gaby y Andy por siempre estar cuando los necesite, por sus buenos consejos y por ser un apoyo siempre para nosotros.

A todas las personas que me faltó mencionar, pero que en algún momento me ayudaron con sus consejos, me apoyaron con mis ideas y me brindaron su amistad durante mi estancia en México, estén seguros que a todos los llevo en mi corazón y les agradezco inmensamente todo lo que hicieron por mi y los buenos momentos que pasamos juntos.

Y por último, pero no menos importante, quiero agradecer a Dios, por ayudarme a culminar con éxito esta etapa de mi vida, porque a pesar de que se llevo de mi lado a mi papá, me regalo a Mariana que ha sido la salvación a la tristeza, por darme una familia tan maravillosa, especialmente a una mamá que es ejemplo de fortaleza, por llenar mi vida de gente tan especial, porque todo esto no hubiera sido posible si no me hubiera apoyado en él y por darme la fortaleza para vivir, ser feliz y seguir mis sueños.



## RESUMEN

*Zapteryx exasperata* es una especie de elasmobranquio de importancia comercial en el noroeste de México, en donde es un componente importante de las capturas de la pesquería artesanal de rayas en el Golfo de California. Sin embargo, aspectos sobre su biología, ecología, abundancias y características de su pesquería, han sido poco estudiados. Para realizar un manejo adecuado de los recursos pesqueros es necesario recabar información biológica importante que permita evaluar el estado de la población y el grado en que esta se ve afectada por la pesca. Por lo cual el objetivo principal de este trabajo fue conocer la reproducción, alimentación, abundancia y composición de las capturas de esta especie de raya en la región costera de Sonora en el Golfo de California. Se realizaron muestreos estacionales entre 1998–2000 y 2004–2005, en cinco campos pesqueros del Golfo de California, durante los cuales se registraron datos sobre el número de individuos capturados, tallas de captura, peso, estado de madurez, fecundidad, contenidos estomacales e isotopos estables en músculo. Se encontró que *Z. exasperata* es un recurso secundario en pesquerías de fondo y es capturada con redes de enmalle de 15 a 20 cm de abertura de malla. Las capturas estuvieron compuestas por machos y hembras en una proporción 1:1 con longitudes totales (LT) entre 41.3 y 90 cm y con un peso promedio de 2.18 kg. Se encontró que esta especie tiene dimorfismo sexual siendo más grandes las hembras que los machos. La CPUE presentó su mayor valor durante la primavera (3.4 ind/viaje) y el más bajo durante el verano. Los machos presentaron dos testículos funcionales y una talla media de madurez de 64 cm LT. Las hembras tienen dos ovarios funcionales y una talla media de madurez de 69 cm LT. La duración del periodo de gestación se estimó entre cinco y seis meses y coincidió con la vitelogénesis. La fecundidad media de la especie fue de siete embriones por hembra. La duración del ciclo reproductivo de esta especie se estimó en un año. El periodo en el que sucede el desarrollo embrionario, nacimiento, y el apareamiento coincidió con los mayores valores de captura de esta especie en el área de estudio. Se encontró que *Z. exasperata* es un depredador tope presentando un nivel trófico alto, se alimenta principalmente de peces, demersales como *Porichthys margaritatus*,. Los isotopos estables de Carbono y Nitrógeno y los contenidos estomacales indicaron que existe una sobreposición en la dieta de hembras y machos; mientras que la dieta entre juveniles (40 cm) y adultos (80 cm) presentó variaciones pequeñas. No se observó variación estacional en la alimentación de esta especie.



## ABSTRACT

*Zapteryx exasperata*, is a commercially important elasmobranch species in the Northwest coast of Mexico being an important component of the catches in the artisanal rays fishery of the Gulf of California. However, aspects about its biology, ecology and abundance in the catches, are poorly known. To elaborate management plans for fisheries resources it is necessary to generate important information to evaluate the population status and the way in which this population is affected by the fishery. The aim of this work was to know some aspects about the reproduction, feeding and catches composition of this species in the Sonora coast, into the Gulf of California. Monthly samplings took place in five fishery camps in the Sonora coast during 1998–2000 y 2004–2005, in which number of caught individuals, size, weight, maturity stage, fecundity, stomach content and stable isotopes was taken. We found that *Z. exasperata* is a secondary resource in ground fisheries and is caught using gillnets with mesh size between 15 and 20 cm. Males and females were caught in the same proportion 1:1, with total lengths (TL) between 41.3 and 90 cm and with a mean weight of 2.18 kg. Females of *Z. exasperata* were bigger than males. We found the higher CPUE (3.4 ind/trip) during spring and the lower during summer. Two functional testes and ovaries were found in males and females respectively. Median size at maturity for males was 64 cm total length (TL) and for females 69 cm TL. Gestation was estimated to occur over a five to six month period (February to July) and was concurrent with vitellogenesis. Mean uterine fecundity was estimated as seven embryos per female. The reproductive cycle for *Z. exasperata* from the Gulf of California was estimated to last one year with parturition, ovulation and copulation occurring during the summer months. The main prey of *Zapteryx exasperata* were demersal fishes as *Porichthys margaritatus*. The high trophic level found in this work indicate that this species. is a top predator in the rocky reef ecosystem. Stable isotopes of Carbon and Nitrogen and the stomach contents indicate that females and males had similar diet, however, juveniles (40c m) and adults (80 cm) showed a slight variation in the diet. We do not observe seasonal variation in the diet of this species.



## TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
1. GENERAL .....	3
2. ESPECÍFICOS.....	3
III. ÁREA DE ESTUDIO .....	4
1. GEOLOGÍA .....	4
2. CLIMA.....	5
3. OCEANOGRAFÍA FÍSICA .....	6
4. OCEANOGRAFÍA QUÍMICA .....	6
5. OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA .....	7
IV. BIOLOGÍA-PESQUERA .....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
2.1. Análisis de datos.....	10
3. RESULTADOS.....	13
3.1. Descripción de la pesquería .....	13
3.2. Composición de las capturas.....	15
3.3. Relaciones morfométricas .....	16
3.4. Abundancia relativa (CPUE).....	18
4. DISCUSIÓN .....	21
V. BIOLOGÍA REPRODUCTIVA.....	26
1. INTRODUCCIÓN .....	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3. RESULTADOS.....	30
3.1. Hembras .....	30
3.2. Hembras preñadas, fecundidad y desarrollo embrionario .....	34
3.3. Machos .....	36
4. DISCUSIÓN .....	41
4.1. Ciclo reproductivo de <i>Z. exasperata</i> en el Golfo de California.....	43
VI. ECOLOGÍA TRÓFICA.....	47
1. INTRODUCCIÓN .....	47
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	50
2.1. Análisis de la dieta .....	50
2.2. Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno .....	53
2.3. Nivel Trófico .....	55
3. RESULTADOS.....	56
3.1. Descripción de la dieta.....	57
3.2. Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno .....	63
3.3. Nivel Trófico .....	67
4. DISCUSIÓN .....	68



VII. CONCLUSIONES.....	76
VIII. LITERATURA CITADA.....	80



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Espécimen de <i>Zapteryx exasperata</i> (Jordan & Gilbert, 1880).....	2
<b>Figura 2.</b>	Golfo de California y área de estudio (sombreado) en la costa central Sonora. .....	5
<b>Figura 3.</b>	Medidas morfométricas registradas para cada individuo de <i>Z. exasperata</i> .....	10
<b>Figura 4.</b>	Ubicación de las zonas de pesca en la costa central de Sonora.....	12
<b>Figura 5.</b>	Distribución de las capturas de <i>Z. exasperata</i> durante 1999 en el área de estudio. .....	15
<b>Figura 6.</b>	Frecuencia de tallas de las hembras y machos capturados.....	16
<b>Figura 7.</b>	Relación Longitud total- Peso para hembras (arriba) y machos (abajo) de <i>Z. exasperata</i> . .....	17
<b>Figura 8.</b>	CPUE de <i>Z. exasperata</i> por mes.....	19
<b>Figura 9.</b>	CPUE de <i>Z. exasperata</i> por zona de pesca en la costa central de Sonora..... .....	20
<b>Figura 10.</b>	CPUE de <i>Z. exasperata</i> por abertura de malla.....	21
<b>Figura 11.</b>	Gonopterigio de un macho maduro de <i>Z. exasperata</i> . .....	28
<b>Figura 12.</b>	Aparato reproductor de hembras (A) y machos (B) maduros de <i>Z. exasperata</i> . .....	29
<b>Figura 13.</b>	Órgano reproductor de una hembra inmadura de <i>Zapteryx exasperata</i> .....	31
<b>Figura 14.</b>	Proporción de hembras inmaduras, maduras y preñadas por intervalo de talla. .....	31
<b>Figura 15.</b>	Relación del ancho de la glándula oviducal con la longitud total de las hembras. .....	32
<b>Figura 16.</b>	Corte histológico de la glándula oviducal de una hembra madura de <i>Z. exasperata</i> , en el cual se observa el lumen (L) sin presencia de esperma.....	32
<b>Figura 17.</b>	Relación del ancho del útero con la longitud total de las hembras.....	33
<b>Figura 18.</b>	Modelo logístico para hembras de <i>Z. exasperata</i> indicando la L50%. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza de la curva al 95%.....	34
<b>Figura 19.</b>	Capsula con embriones (A) y embriones en diferentes etapas de desarrollo (B) de <i>Z. exasperata</i> en los cuales se observa el saco vitelino (SV).....	35
<b>Figura 20.</b>	Relación entre el número de embriones (promedio y desviación estándar) y el tamaño de la madre (n=73) .....	35
<b>Figura 21.</b>	Diámetro promedio y desviación estándar del ovocito más grande en las hembras de <i>Z. exasperata</i> y longitud total promedio de los embriones durante el periodo de muestreo.....	36
<b>Figura 22.</b>	Proporción de machos inmaduros y maduros por intervalo de talla.....	37



<b>Figura 23.</b> Relación entre la longitud del gonopterigio y la longitud total de los machos ...	37
<b>Figura 24.</b> Relación entre la longitud del testículo y la longitud total de los machos. ....	38
<b>Figura 25.</b> Espermatoцитos (a), espermatida (b, E), espermatozoides y arreglos espermáticos (b, Ez) en machos de <i>Z. exasperata</i> . ....	39
<b>Figura 26.</b> Cúmulos de esperma en el epidídimo de machos de <i>Z. exasperata</i> . ....	39
<b>Figura 27.</b> Modelo logístico para machos de <i>Z. exasperata</i> indicando la L50%. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza de la curva al 95%. ....	40
<b>Figura 28.</b> Porcentaje de estómagos con alimento de <i>Z. exasperata</i> en las diferentes categorías de llenado. ....	56
<b>Figura 29.</b> Curva acumulativa de presas encontradas en los contenidos estomacales de los organismos muestreados de <i>Z. exasperata</i> . ....	57
<b>Figura 30.</b> Índice de importancia relativa (%) y valores del %N, %W y %FA de las principales presas consumidas por <i>Z. exasperata</i> . ....	59
<b>Figura 31.</b> Curva acumulativa de presas encontradas en los contenidos estomacales de hembras (a), machos (b), juveniles ambos sexos (c) y adultos ambos sexos (d) de <i>Z. exasperata</i> . ....	60
<b>Figura 32.</b> Índice de importancia relativa (%) y valores del %N, %W y %FA de los principales grupos de presas consumidas por hembras y machos de <i>Z. exasperata</i> . ....	61
<b>Figura 33.</b> Índice de importancia relativa (%) y valores del %N, %W y %FA de los principales grupos de presas consumidas por juveniles y adultos de <i>Z. exasperata</i> . ....	62
<b>Figura 34.</b> Promedio y desviación estándar de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ , para hembras y machos de <i>Z. exasperata</i> . ....	65
<b>Figura 35.</b> Promedio y desviación estándar de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ , para juveniles y adultos de <i>Z. exasperata</i> . ....	66
<b>Figura 36.</b> Relación entre la longitud total (grupos de talla) y $\delta^{15}\text{N}$ para <i>Z. exasperata</i> . Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre los grupos de talla	66
<b>Figura 37.</b> Promedio y desviación estándar (DE) de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ , para los meses de muestreo. ....	67
<b>Figura 38.</b> Valores (media $\pm$ DE) de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para el Golfo de California: .....	71



---

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Número de individuos de <i>Z. exasperata</i> registrados en las capturas de los seis campos pesqueros muestreados durante 1999. ....	18
<b>Tabla 2.</b>	Parámetros del modelo logístico ajustado a la madurez de hembras y machos de <i>Z. exasperata</i> del Golfo de California. ....	41
<b>Tabla 3.</b>	Aspectos de la biología reproductiva de <i>Zapteryx exasperata</i> en dos áreas del Pacífico Mexicano. ....	45
<b>Tabla 4.</b>	Número de muestras seleccionadas por mes, sexo y estado de madurez para el análisis de isótopos estables en músculo de <i>Z. exasperata</i> . ....	54
<b>Tabla 5.</b>	Valores del índice de frecuencia de aparición (FA), numérico (N), gravimétrico (W) y de importancia relativa (IIR) para los tipos de presas encontradas en los contenidos estomacales de <i>Z. exasperata</i> . ....	58
<b>Tabla 6.</b>	Valores de los índices ecológicos cuantificados para la dieta de <i>Z. exasperata</i> en el área de estudio. ....	63
<b>Tabla 7.</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en algunas especies presentes en el área de estudio. . .....	64





## I. INTRODUCCIÓN

La pesca de elasmobranquios (tiburones y rayas) en aguas mexicanas tanto del litoral del Océano Pacífico como del Golfo de México se ha caracterizado como una pesquería artesanal multiespecífica que opera de acuerdo a las abundancias estacionales del recurso (Castillo-Géniz 1992). La documentación de la producción de batoideos (rayas) llegó a ser oficial en 1986, cuando se dejaron de agrupar las rayas y los tiburones en los anuarios de pesca; sin embargo, las rayas aún se reportan en un grupo aparte como “Rayas y similares” por lo cual es difícil saber la composición por especie de las capturas de este grupo. La captura promedio de rayas de todos los estados del Pacífico mexicano durante el periodo de 1990 a 2000 fue de 5,514 t y los estados del Golfo de California aportaron el 93% del total de la producción de esta región (Márquez-Farías 2002).

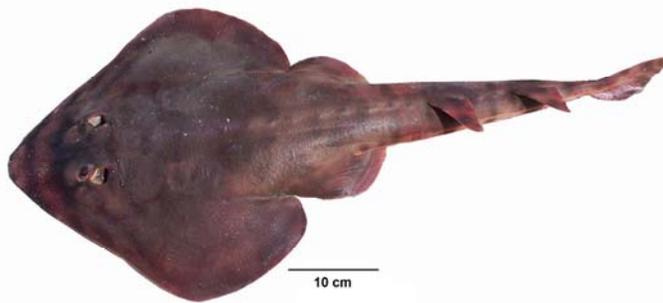
En el Océano Pacífico, la pesca de rayas se desarrolló con la introducción de las redes de fondo en el alto Golfo de California, las cuales eran utilizadas en un inicio para la captura de peces de escama. Actualmente esta pesquería se extiende por ambas costas de la península de Baja California y desde Sonora hasta el sur de la costa pacífica mexicana, decreciendo la producción de Norte a Sur. Se caracteriza por ser una pesquería artesanal, con baja tecnología; con una limitada infraestructura y radio de acción (Márquez-Farías 2002).

Entre las especies más importantes en la pesquería artesanal de rayas del Golfo de California se encuentra *Zapteryx exasperata*. Esta especie conocida como guitarra rayada o guitarra pinta, pertenece a la familia Rhinobatidae, y es una de las tres especies de su género. Es una especie de la cual se conoce muy poco en cuanto a su biología e incluso su distribución, la cual aún no está bien definida. Está reportado su límite norte de distribución en la costa central de California, se encuentra en todo el Golfo de California y en el sur ha sido reportada hasta Perú (Rubio y Ruiz 1993, Fisher *et al.* 1995, Bizzarro y Kyne 2006). Sin embargo, su distribución de Mazatlán hacia el sur es cuestionable debido a que es muy común que se confunda con la especie *Zapteryx xyster*, la cual parece presentar una distribución más tropical (Bizzarro y Kyne 2006). *Z. exasperata* es una especie costera que se encuentra generalmente en arrecifes rocosos, desde la zona intermareal hasta profundidades de 69 m y ocasionalmente sobre fondos arenosos, en



lagunas costeras (Fisher *et al.* 1995, Ebert 2003). En las costas de California ha sido reportada como un habitante de la plataforma externa entre los 100 y 200 m de profundidad así como habitante ocasional de lagunas costeras (Allen *et al.* 2006).

La guitarra rayada (Figura 1) presenta un disco amplio (la anchura es casi igual a la longitud), la superficie dorsal está cubierta por numerosas espinas y su coloración es grisácea a café, con bandas café oscuro que atraviesan el disco. En la parte ventral su coloración es clara con puntos negros en el borde posterior de las aletas pectorales. Presenta un hocico ancho y corto; la primera aleta dorsal se origina más cerca de la base de las aletas pélvicas que del origen de la aleta caudal; cola delgada; aleta caudal redondeada y moderadamente larga sin un lóbulo inferior diferenciado (Ebert 2003). La talla máxima que alcanza es de 91 cm de longitud total (LT) (Fisher *et al.* 1995).



**Figura 1.** Especimen de *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880)

A pesar de la relevancia de *Z. exasperata* en la pesquería artesanal de rayas del Golfo de California, esta se encuentra dentro de la lista roja de especies amenazadas de la IUCN en la categoría de datos deficientes (DD), debido a que es muy poca la información biológica que se tiene de esta especie y a que sus límites de distribución no han sido esclarecidos por completo (Bizzarro y Kyne 2006). Históricamente, se ha considerado que los elasmobranchios son especies susceptibles a la sobre-explotación pesquera, el crecimiento lento, la maduración sexual a edades avanzadas y la baja fecundidad, reflejan una estrategia de vida de especies K en donde el tamaño del stock está estrechamente ligado al reclutamiento (Hoening y Gruber 1990). Lo anterior muestra la importancia de recabar información biológico-pesquera de las especies de importancia comercial como *Z. exasperata*, que permita conocer el estatus de las especies y de esta manera poder realizar una explotación sostenible de estas.



## II. OBJETIVOS

### 1. GENERAL

Describir la reproducción, alimentación y pesquería de la guitarra pinta, *Zapteryx exasperata*, en la costa central de Sonora.

### 2. ESPECÍFICOS

- Determinar la proporción madurez sexual a diferentes tallas para hembras y machos.
- Estimar la fecundidad y conocer el ciclo reproductivo de la especie.
- Proponer afinidades tróficas de la especie por medio del análisis de contenidos estomacales.
- Evaluar el grado de interacción trófica entre los grupos de talla y por sexos y las variaciones espacio-temporales en la dieta de la guitarra rayada.
- Determinar el nivel trófico y la fuente primaria de carbono en *Z. exasperata*, basado en estudios de isótopos estables de carbono y nitrógeno.
- Conocer la estructura de las capturas mensuales de la especie en cuanto a longitud, peso, sexo y madurez.
- Estimar la abundancia relativa estacional por medio de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE).

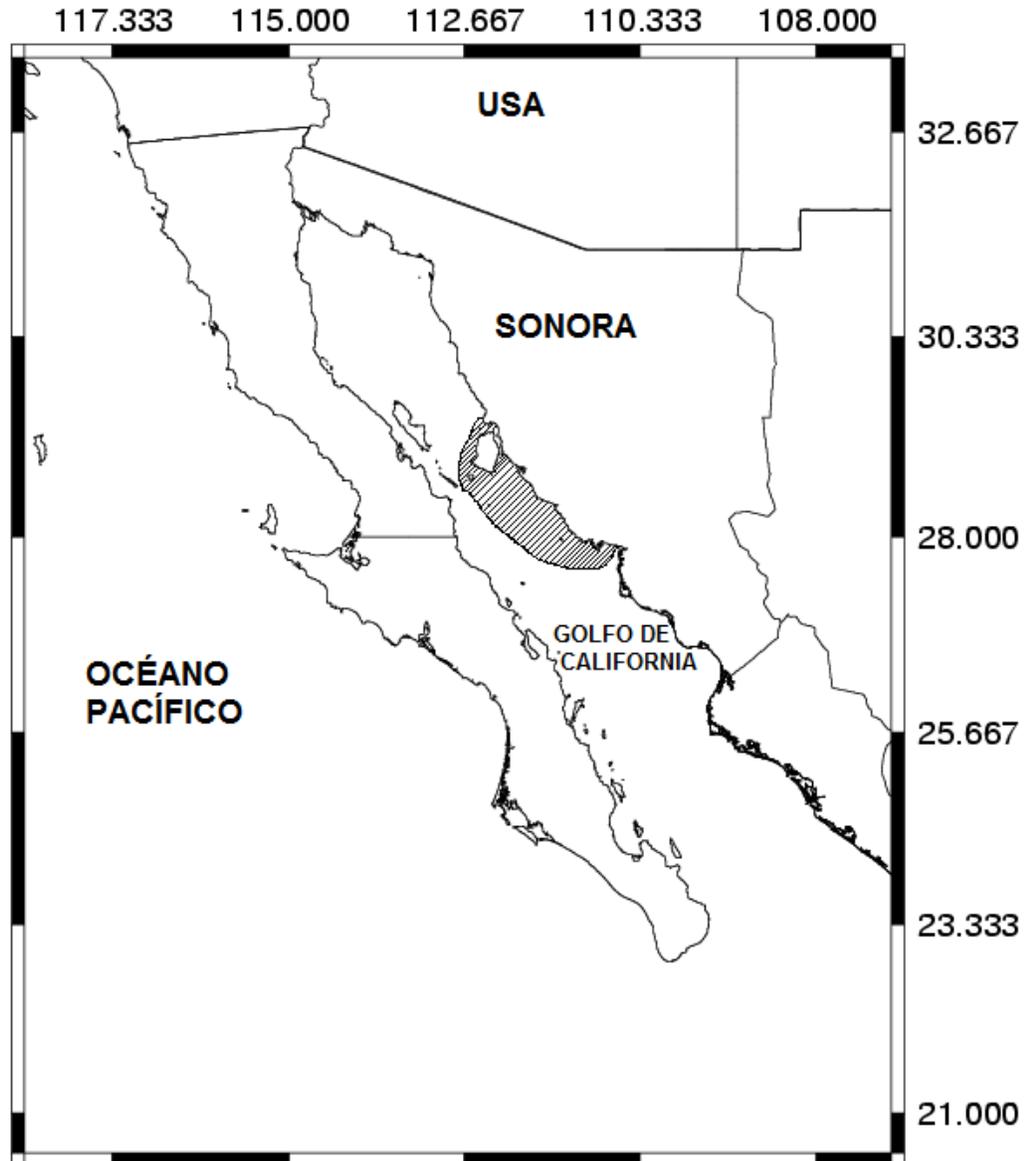


### **III. ÁREA DE ESTUDIO**

El Golfo de California se encuentra entre la península de Baja California y la parte continental de México, presenta aproximadamente 1,400 Km de longitud y 150 Km de anchura promedio, con una superficie aproximada de 210,000 Km<sup>2</sup> (Santamaría 1994) La costa de Sonora es una región plana con un declive plano en dirección al océano interrumpido por colinas y picos rodeados por conos aluviales (Figura 2).

#### **1. GEOLOGÍA**

En la zona costera de Sonora, se encuentran sedimentos del período Cuaternario; sin embargo, hay una mezcla de rocas ígneas, sedimentarias y rocas metamórficas hacia la región central, seguido de material reolítico procedente del cinturón ígneo mexicano. En la región de Sonora también se pueden encontrar rocas metamórficas y sedimentarias precámbricas; sedimentarias paleozoicas, ígneas, sedimentarias y metamórficas mesozoicas, con estructuras esencialmente de homoclinales en distribución errática de bloques colapsados, de sierras y cuencas, bajo una exigua cubierta volcánica Cenozoica de la Sierra Madre Occidental que se interna en territorio estadounidense (INEGI 2004).



**Figura 2.** Golfo de California y área de estudio (sombreado) en la costa central Sonora.

## 2. CLIMA

La región de Guaymas se localiza en la parte noroeste de la república Mexicana; el territorio es árido en su mayor parte, incluyendo el llamado desierto de Sonora. Con excepción de la parte sur, que es afectada por ciclones del Golfo de California. Está situado sobre la franja subtropical de altas presiones atmosféricas, originando que el clima y algunas condiciones Oceanográficas sean controlados por el centro de alta presión del



Océano Pacífico norte, que permanece de una manera casi constante y estable (Hernández 2002).

### **3. OCEANOGRAFÍA FÍSICA**

El Golfo de California puede dividirse en cuatro provincias distintas desde el punto de vista oceanográfico: Golfo superior, canal de ballenas y fosa salsipuedes; Golfo inferior y entrada del Golfo (Case 1983). El área en la que se llevó a cabo el presente estudio se encuentra en la provincia del Golfo inferior, la cual esta comprendida entre la isla Tiburón y una línea imaginaria que une a Mazatlán y Cabo San Lucas (De la lanza 2001).

Esta zona se caracteriza por su libre comunicación, salinidades superficiales relativamente altas y la presencia de una fuerte corriente hacia el sur, cerca de sus límites occidentales (De la lanza 2001). Existen diferencias de pendientes entre el lado occidental y oriental del Golfo, causadas por la falta de sedimentación a lo largo de la costa occidental (De la lanza 2001). En esta costa las cuencas son profundas, las amplitudes de marea son pequeñas y las diferencias en corrientes son menos importantes que aquellas producidas por el viento (De la lanza 2001). Existe una marcada variación estacional en la temperatura, con intervalos anuales cercanos a los del Golfo superior; las variaciones de salinidad son mínimas. Las corrientes superficiales son llevadas predominantemente hacia el sureste en invierno y hacia el noroeste en verano, en respuesta a los patrones mayores del viento (De la lanza 2001).

Las mareas presentan patrones diferentes para la marea semidiurna y las ondas de marea diurna; de igual forma se observa que la marea semidiurna es menor en la boca del Golfo con respecto a la parte media cercana a la región de Guaymas, Sonora; mientras que en la parte alta del Golfo la amplitud pueden aumentar hasta 15 veces los valores reportados para la parte media (Maluf 1983).

### **4. OCEANOGRAFÍA QUÍMICA**

En general la salinidad superficial para el Golfo de California es alrededor de una o dos unidades más altas que las aguas oceánicas del Océano Pacífico; mientras que la



salinidad decrece con la profundidad en el Golfo, en el Océano Pacífico tiende a incrementarse (Roden y Emilsson 1980).

En el Golfo inferior se presentan concentraciones de oxígeno disuelto entre los 4.0 y 5.0 ml/l hasta los 50 m de profundidad, bajas concentraciones en profundidades intermedias y una capa anóxica de 0.15 ml/l entre los 400 y 800 m (esta última se encuentra como originaria del Pacífico ecuatorial) y sólo se encuentran valores superiores a 1.0 ml/l por encima de los 150 m y por debajo de los 1500 m (Roden y Emilsson 1980).

Las concentraciones superficiales de nitritos y nitratos en el Golfo de California muestran en general, una tendencia a aumentar desde la entrada del Golfo hacia el interior (Álvarez-Borrego 1978). Los registros de primavera (abril-mayo) son, en su mayoría, superiores que los de otoño (De la lanza 2001). Las bajas concentraciones se deben al consumo por fotosíntesis, para la cual ésta debe ser mayor en verano-otoño que en invierno-primavera (De la lanza 2001).

## **5. OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA**

El Golfo de California queda comprendido dentro de tres grandes regiones o provincias topográficas: norte, central y sur (Rusnak *et al.* 1964). El área de estudio se encuentra dentro de la región norte, que está comprendida desde la desembocadura del río Colorado hasta una línea imaginaria que comprende desde la cuenca Salsipuedes a Guaymas (De la lanza 2001).

La topografía de esta región está caracterizada por capas gruesas de sedimentos provenientes del río Colorado, que han conformado un abanico aluvial muy extenso (De la lanza 2001). La plataforma continental es amplia en todo el Norte y queda limitada por la isobata de los 180 m en el límite de la cuenca Delfín, a unos 175 Km de la desembocadura del río Colorado. Más del 30% de la plataforma continental tiene profundidades menores de 35 m (De la lanza 2001).



## IV. BIOLOGÍA-PESQUERA

### 1. INTRODUCCIÓN

La pesquería artesanal de rayas en el Golfo de California es una actividad de gran relevancia socioeconómica. Esta actividad, al igual que otras de la misma naturaleza artesanal representa una valiosa fuente generadora de empleo y alimento que opera con base en la abundancia estacional del recurso (Castillo-Géniz 1992, Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006). Su relevancia socioeconómica la ubica como una alternativa de subsistencia para cientos de familias de pescadores mientras otros recursos de mayor valor económico como la sierra, jaiba y camarón escasean o se encuentran en veda. Esta pesquería se realiza todo el año, con sus picos de esfuerzo durante cuaresma. Por lo menos 24 especies de rayas son explotadas por la pesca artesanal en el Golfo de California y la composición de las capturas varía de acuerdo a la temporada, el método de pesca y la zona de pesca (Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006).

En 1998 Sonora fue el estado de la costa noroeste de México en el cual se capturó el mayor porcentaje de rayas con respecto a los otros estados de la región (León y Graizbord 2002); sin embargo, aún son muy pocos los estudios sobre la biología de las especies que componen este recurso. Se ha observado que la diversidad de especies de rayas que son explotadas en la costa de Sonora es alta y varía dependiendo principalmente de la abertura de malla de la red que se utilice y la estación del año (Márquez-Farías 2002).

Las familias de rayas con un mayor número de especies en las capturas de esta pesquería son: Rhinobatidae, Urolophidae y Mobulidae; representando el 90% de las capturas de rayas en el Golfo de California. La familia Rhinobatidae, a la cual pertenece *Zapteryx exasperata*, contribuye con el 52% en número de organismos; seguido de la familia Dasyatidae (dos especies) con el 16%, la familia Gymnuridae (una especie) con el 13% y Rhinopteridae (una especie) con el 11%. Dentro de las especies de rayas más abundantes en esta pesquería se encuentran *Rhinobatus productus*, *Dasyatis brevis*, *Gymnura marmorata*, *Zapteryx exasperata* y *Narcine entremedor* (Márquez-Farías y



Blanco-Parra 2006). Hembras grávidas, neonatos y juveniles de elasmobranquios son comunes en las capturas.

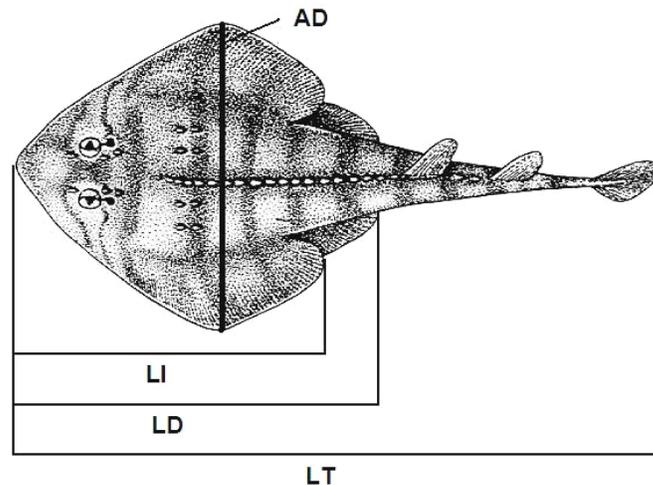
*Zapteryx exasperata* es capturada ocasionalmente como pesca incidental en pesquerías comerciales y recreacionales; sin embargo, en México es una especie de importancia comercial, particularmente en el Golfo de California (Ebert 2003). Es una de las especies más abundantes dentro de las capturas en las pesquerías artesanales de Sonora (Márquez-Farías *et al.* 2001) y forma parte de la fauna de acompañamiento en la pesca de arrastre para el camarón, en la cual se capturan individuos juveniles principalmente (Perez-Mellado y Findley 1985).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como parte de las actividades del proyecto de pesca ribereña del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Guaymas (CRIP-GYM), durante 1998, 1999 y 2000 se llevaron a cabo muestreos diarios en la pesquería artesanal de elasmobranquios en tres localidades de la costa de Sonora; el Choyudo, el Sahuimaro y Bahía de Kino. En estos muestreos se realizó un registro de las capturas contando el número de individuos por especie y por viaje de pesca, así como también se recolectaron datos sobre las características de las redes (longitud, ancho, abertura de malla), tipo de panga, motor, sitio de pesca, profundidad de pesca y tiempo de calado del arte. En algunos casos se registró la longitud de algunos individuos, así como el peso y madurez sexual. Complementario a esto, desde agosto de 2004 hasta junio de 2005 se realizaron muestreos mensuales en los campos pesqueros de el Choyudo, el Sahuimaro, Bahía de Kino, Playa del sol y Estero del Soldado, registrándose los mismo datos anteriormente mencionados y además de todos los individuos se registraron diferentes medidas morfométricas como la longitud total, distancia desde el borde anterior del disco hasta el borde posterior de la aleta caudal (LT); longitud del disco, distancia desde el borde anterior del disco hasta el borde posterior de las aletas pélvicas (LD); longitud incompleta, distancia entre el borde anterior del disco hasta el borde posterior de las aletas pectorales (LI); ancho del disco, distancia entre los bordes laterales del disco (AD)(Figura 3), todas las medidas fueron tomadas con una precisión de 1 mm. Los individuos fueron además pesados en una bascula digital Ohaus CD-11 con capacidad de 40 kg y una precisión de



0.01 kg; además de otras medidas de los órganos reproductivos internos y externos que serán descritas más adelante en el capítulo de aspectos reproductivos.



**Figura 3.** Medidas morfométricas registradas para cada individuo de *Z. exasperata*.

### 2.1. Análisis de datos

Por medio de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors se estableció que los datos de tallas y peso de los individuos no presentaban una distribución normal ( $d=0.1236$   $p < 0.01$ ), por tanto se utilizó la prueba no paramétrica Kolmogorov-Smirnov para establecer si existen diferencias significativas entre las tallas de machos y hembras. Se calculó la proporción sexual y se comprobó si se ajustaba al esperado de 1:1 utilizando la prueba de chi cuadrada (Zar 1996).

Se estimó la relación longitud-peso, para lo cual se utilizaron los datos de longitud total y peso total, ajustándolos a la ecuación de tipo potencial:

$$W = qLT^b$$

Donde  $W$  es el peso total del organismo (Kg.),  $LT$  es la longitud total del organismo (cm.),  $q$  es la constante de proporcionalidad y  $b$  pendiente de la regresión o valor de alometría. Esta relación se determinó para sexos combinados y para machos y hembras por separado. Los peces pueden mostrar un crecimiento de tipo isométrico, cuando el peso y la talla aumentan a la misma velocidad (cuando  $b=3$ ); o bien, alométrico, cuando el peso aumenta más rápido o lento que la talla (cuando  $b \neq 3$ ). En este último caso puede ser que:  $b > 3$ , y el pez aumenta más rápido en peso que en talla; o  $b < 3$ , y el pez aumenta más



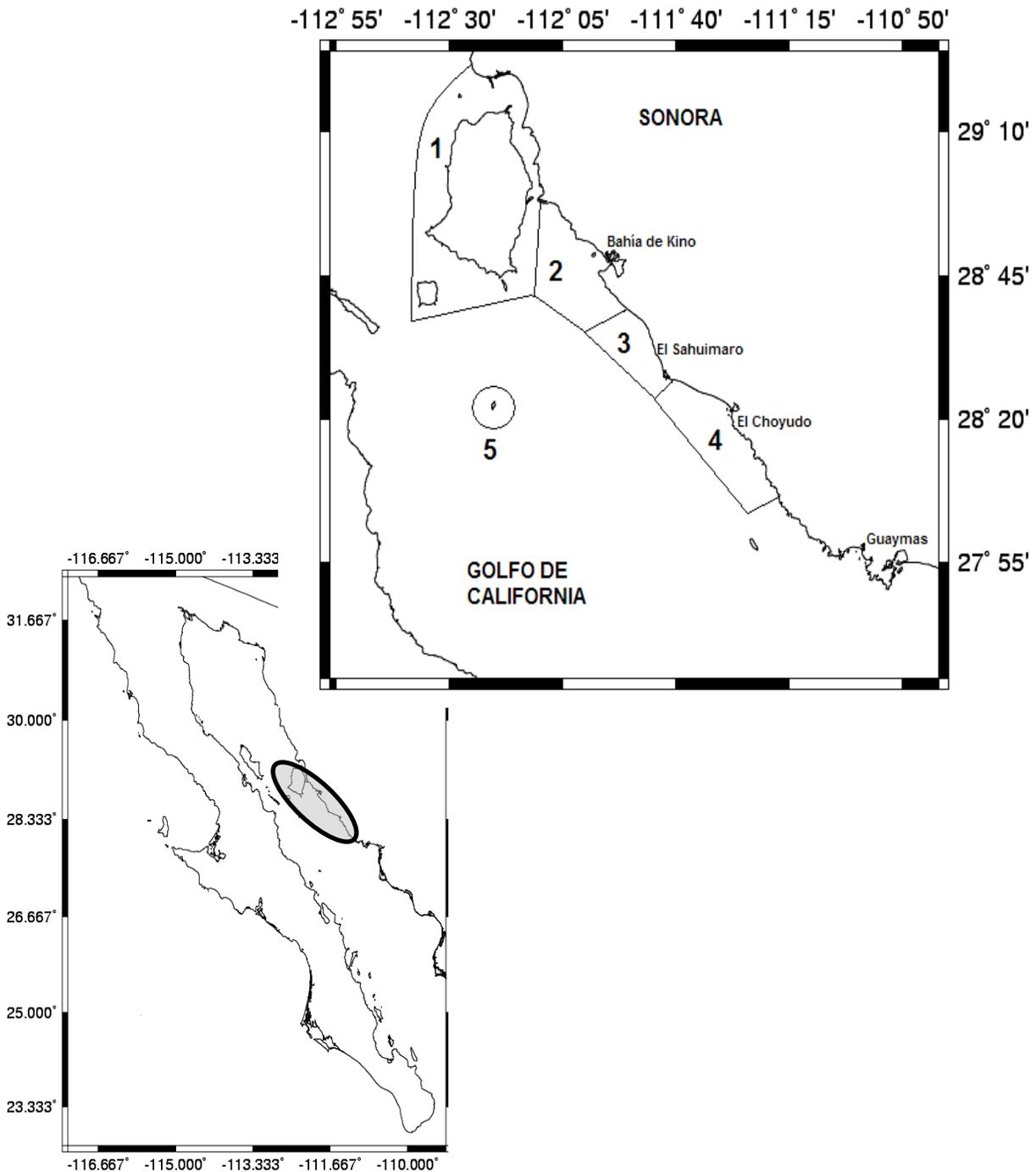
rápido en talla que en peso (Wooton 1990). Para determinar si el crecimiento relativo del peso y la talla de los individuos de *Z. exasperata* era isométrico ( $b=3$ ) se realizaron pruebas de t-Student de una muestra, comparando los valores de las pendientes de las relaciones peso-longitud de cada sexo con el valor de referencia para la isometría (3) (Zar 1996).

Se estimó la relación existente entre la LD, LI y AD con la LT de los individuos, para establecer el modelo que mejor la describe y estimar los parámetros que permitan en un futuro convertir cualquiera de estas longitudes a LT ya que en algunos casos solo se cuenta con cabezas o individuos incompletos. El cálculo de estas relaciones morfométricas es importante cuando se está estudiando la biología de una especie basándose en datos colectados de los desembarcos de su pesquería ya que en algunos casos los individuos llegan ya cortados en pedazos y sólo se pueden tomar medidas de algunas partes del individuo, pero si se cuenta con las ecuaciones que relacionen ciertas medidas del cuerpo del individuo con la LT se pueden unificar los datos y utilizarlos para los otros análisis, además de permitir comparaciones con otros estudios. Todas las relaciones morfométricas fueron calculadas para hembras y machos por separado y se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar si existían diferencias entre sexos para cada una de estas relaciones.

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se definió como el número de individuos de la especie capturados por viaje de pesca ( $\text{inv}/\text{viaje}$ ). Ésta se calculó para cada mes de muestreo y para cada área de pesca. Para hacer un mejor análisis de las capturas a una escala espacial, se delimitaron cinco zonas de pesca en las cuales se ubicaron los caladeros utilizados por los pescadores de los diferentes campos pesqueros (Figura 4). El criterio para delimitar las zonas fue la ubicación de los campos pesqueros base de las operaciones de los pescadores que utilizan dichos caladeros y se agruparon así los caladeros utilizados por los pescadores de ese campo pesquero. La primera zona incluye la isla Tiburón, San Esteban y el canal del infiernillo, en esta zona están incluidos nueve caladeros utilizados principalmente por los pescadores de Bahía de Kino. La segunda zona incluye la costa frente a Bahía de Kino hasta la Punta San Nicolás al sur, en la cual se incluyen 15 caladeros utilizados tanto por pescadores de Bahía de Kino como del Sahuimaro y el Choyudo. La tercera incluye la región frente al Cardonal y el Sahuimaro y



en esta se incluyen cinco caladeros que utilizan los pescadores del Sahuimaro y el Choyudo. La cuarta zona incluye desde el estero Tastiota y la costa frente al Choyudo e incluye 12 caladeros utilizados por los pescadores del Choyudo. Y la quinta zona es la que comprende los alrededores de la Isla San Pedro Mártir e incluye dos caladeros utilizados por pescadores de Bahía de Kino.



**Figura 4.** Ubicación de las zonas de pesca en la costa central de Sonora.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Descripción de la pesquería

*Z. exasperata* es capturada por pescadores ribereños con redes de fondo (chinchorros) de nylon de calibre 0.4 y 0.55 mm, con luz de malla que varía entre nueve y 33 cm, aunque es más comúnmente capturada en las mallas de 15 a 20 cm. Las redes varían en longitud entre los 200 y 2400 m y la altura varía según el tamaño de la luz de malla del paño. Se utilizan pangas de fibra de vidrio que varían entre los 6 y 9 m de eslora, con capacidades de hasta una tonelada y media y con motores fuera de borda de 55 a 115 caballos de fuerza. En cada panga van de dos a tres pescadores los cuales se encargan de toda la maniobra de pesca.

Las redes se dejan caladas entre 24 y 48 horas dependiendo de la época del año y de la cantidad de producto que se esté capturando, en los meses de invierno y primavera en que la temperatura del agua es baja se puede dejar la red hasta 48 horas mientras que en los meses de verano la revisan cada 24 horas debido a que el producto se daña por las altas temperatura del agua. *Zapteryx exasperata* no es la especie objetivo de esta pesquería en la cual se explotan gran variedad de recursos, cuyas abundancias generalmente están relacionadas con las variaciones de temperatura del agua según la estación del año, por ejemplo uno de los recursos más importantes para esta pesquería es el lenguado el cual alcanza altos precios en el mercado y es más rentable para los pescadores, este recurso es abundante durante los meses de bajas temperaturas más o menos desde diciembre hasta marzo, mientras que en la temporada en que el agua aumenta de temperatura entre mediados de marzo y junio hay abundancia de rayas de diferentes especies y por tanto este se convierte en el principal recurso a explotar durante esta época.

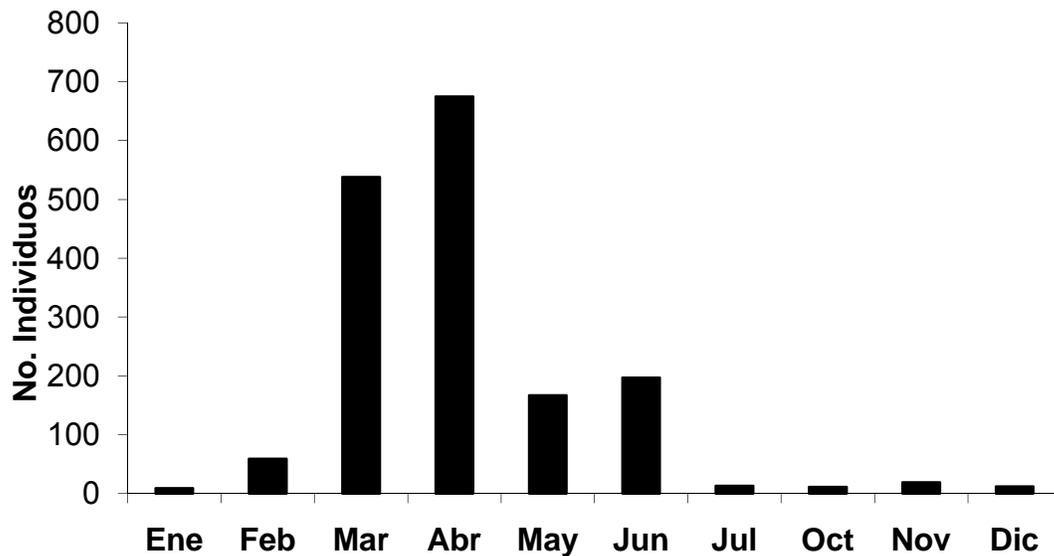
La pesquería de rayas opera en profundidades entre 4–54 m y utilizan aproximadamente 45 caladeros a lo largo de la costa desde la Isla Tiburón hasta Guaymas. Los pescadores que participan de esta actividad son locales, algunos forman parte de alguna cooperativa y otros son pescadores libres que participan en otras pesquerías como la del camarón durante el periodo que está permitido. En el área de estudio se pueden encontrar dos tipos de campos pesqueros, los permanentes como es el caso del Choyudo y Kino al



norte de Guaymas, con gran infraestructura y donde los pescadores en su mayoría están organizados en cooperativas. Y los campos pesqueros remotos estacionales cuya infraestructura es muy reducida y los pescadores generalmente no están organizados y hay un flujo de pescadores libres que se van moviendo a lo largo de la costa en busca de áreas donde puedan capturar más organismos, éste es el caso del Estero del Soldado y Playa del Sol al Sur de Guaymas.

*Z. exasperata* se conoce comúnmente con diferentes nombres que varían según el campo pesquero, algunos de sus nombres comunes en la región son: guitarrón, huesuda, bandolón y chalaman. Esta especie se comercializa fileteada y se vende generalmente bajo el nombre de payaso o en algunas ocasiones también se vende como cazón, mezclándose siempre con filetes de otras especies de tiburones y de rayas.

Durante el año 1999 se registraron un total de 1688 individuos de *Z. exasperata* en las capturas de rayas realizadas en el área de estudio, observándose un mayor número de individuos durante la primavera; el mes con mayor número fue abril con 675 individuos registrados. A medida que entra el verano en junio la captura empieza a disminuir (197 individuos) y en julio ya el número de individuos es muy bajo (13). Durante los meses de agosto y septiembre no se registraron individuos de esta especie en las capturas. Hacia finales de año (Octubre) se empieza a registrar nuevamente la captura de *Z. exasperata* la cual empieza a aumentar moderadamente durante el último trimestre del año (Figura 5).



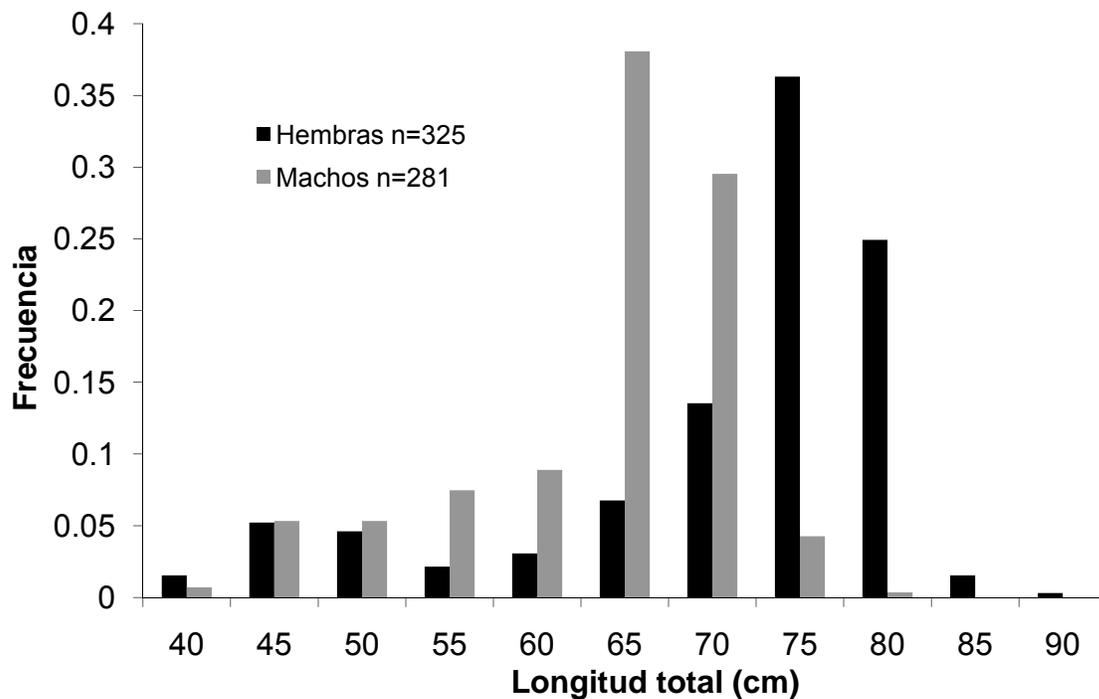
**Figura 5.** Distribución de las capturas de *Z. exasperata* durante 1999 en el área de estudio.

### 3.2. Composición de las capturas

En total durante los muestreos se midieron y pesaron 678 individuos, 357 hembras y 321 machos. Los individuos se encontraron en un intervalo de talla entre 41.3 y 90 cm con un promedio de  $70.01 \pm 9.91$  cm y el peso varió entre 0.3 y 6.97 kg con un promedio de  $2.18 \pm 1.13$  kg.

La proporción sexual en las capturas en el periodo de diciembre de 2004 a mayo de 2005 fue de 1:1 ( $X^2 = 1.91$ ,  $p = 0.16$ ) y no presentó grandes variaciones manteniéndose casi constante durante todo el periodo excepto en los meses de diciembre de 2004 y mayo de 2005 en los cuales el número de hembras disminuyó y la proporción cambió a dos machos por hembra.

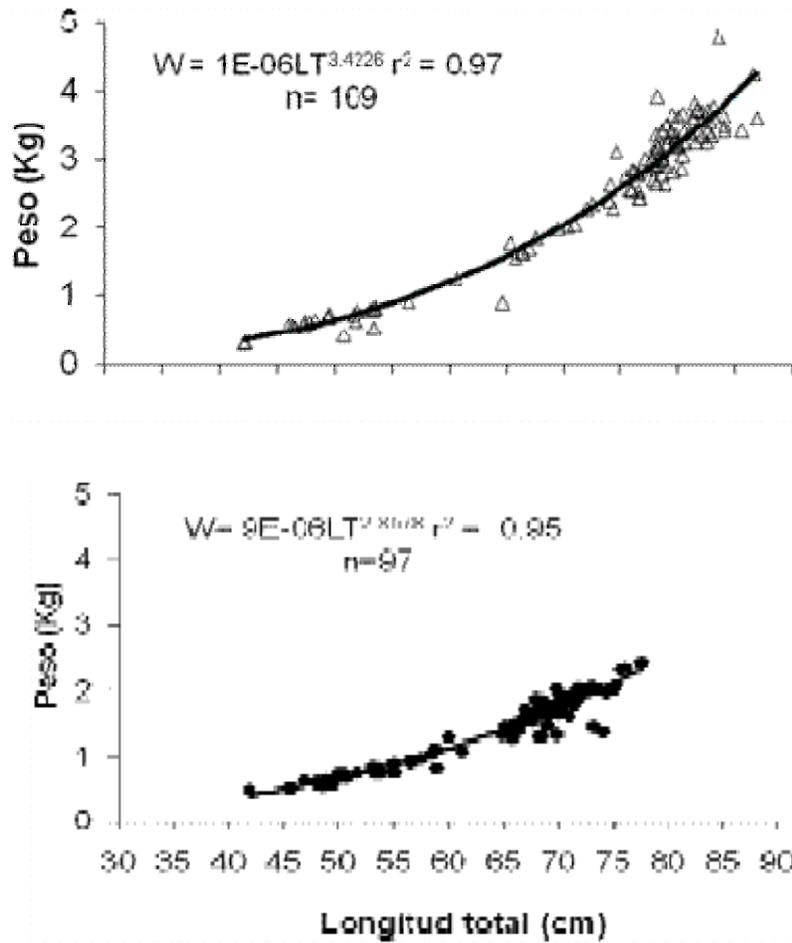
En cuanto a la LT de los individuos las hembras se encontraron en un intervalo de 41.3 a 90 cm, con un promedio de  $73.46 \pm 10.42$  cm siendo significativamente más grandes que los machos ( $K-S p < 0.001$ ) los cuales se encontraron entre 41.9 y 81 cm LT con un promedio de  $66.06 \pm 7.57$  cm (Figura 6). Más del 50% de las hembras se encontraron entre los 70 y 85 cm de LT mientras que los machos con LT entre los 60 y 75 cm fueron más abundantes.



**Figura 6.** Frecuencia de tallas de las hembras y machos capturados.

### 3.3. Relaciones morfométricas

La relación longitud peso para hembras y machos se ajustó al modelo potencial con un  $r^2$  de 0.97 y 0.95 respectivamente (Figura 7) y fue significativamente diferente entre los sexos (ANCOVA  $p < 0.01$ ) por lo cual se presenta un modelo para cada uno. El peso promedio de las hembras fue de  $2.51 \pm 1.13$  kg y el de los machos de  $1.49 \pm 0.51$  kg. La hembra más pesada con 6.97 kg presentó una LT de 82 cm, mientras que el macho más pesado de 4.33 kg midió 75 cm LT. En los individuos de *Z. exasperata* la velocidad en que se incrementa el peso y la talla es diferente, ya que los valores de la pendiente del modelo potencial fueron 3.42 y 2.86 para hembras y machos respectivamente; y estos valores fueron significativamente diferentes al valor de referencia de 3 ( $p < 0.01$ ).



**Figura 7.** Relación Longitud total- Peso para hembras (arriba) y machos (abajo) de *Z. exasperata*.

Las relaciones entre la LT y ancho de disco, LT y longitud del disco (LD) y; LT y la longitud incompleta (LI), se ajustaron al modelo lineal (ANOVA,  $p < 0.01$ ) con coeficientes de correlación altos, y fueron diferentes entre hembras y machos (ANCOVA,  $p < 0.01$ ) las ecuaciones que describen estas relaciones son las siguientes:

*Hembras*

$$LT = 1.7253LD + 2.8851, r^2 = 0.95, (n=194)$$

$$LT = 2.4089LI - 4.2624, r^2 = 0.97, (n=164)$$

$$LT = 2.0914AD - 3.0415, r^2 = 0.97, (n=199)$$

*Machos*



LT= 1.8713LD - 0.96,  $r^2 = 0.97$ , (n=199)

LT= 2.6738LI - 8.8963,  $r^2 = 0.93$ , (n=170)

LT= 2.5163AD - 12.023,  $r^2 = 0.9291$ , (n=199)

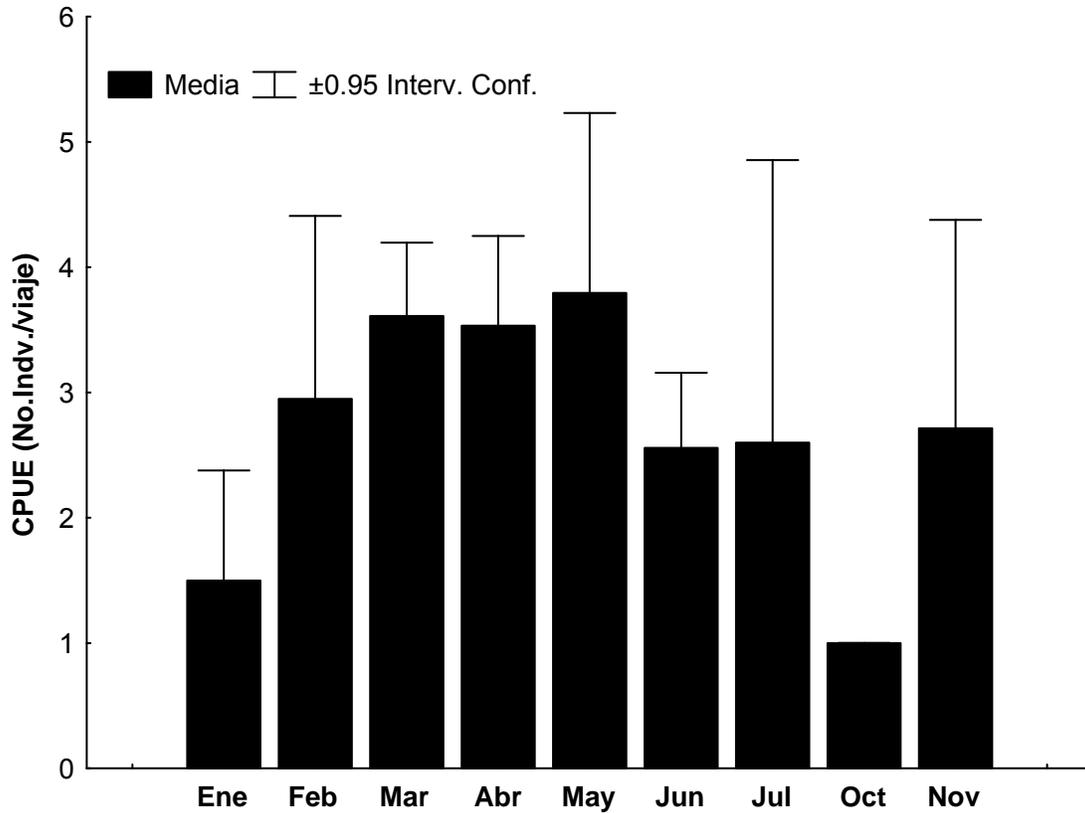
### 3.4. Abundancia relativa (CPUE)

Durante el periodo de 1998 a 2000 se registró una captura de 1688 individuos de *Z. exasperata*. Los meses en los que se presentó una mayor abundancia de esta especie fueron marzo, abril y mayo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Número de individuos de *Z. exasperata* registrados en las capturas de los seis campos pesqueros muestreados durante 1999.

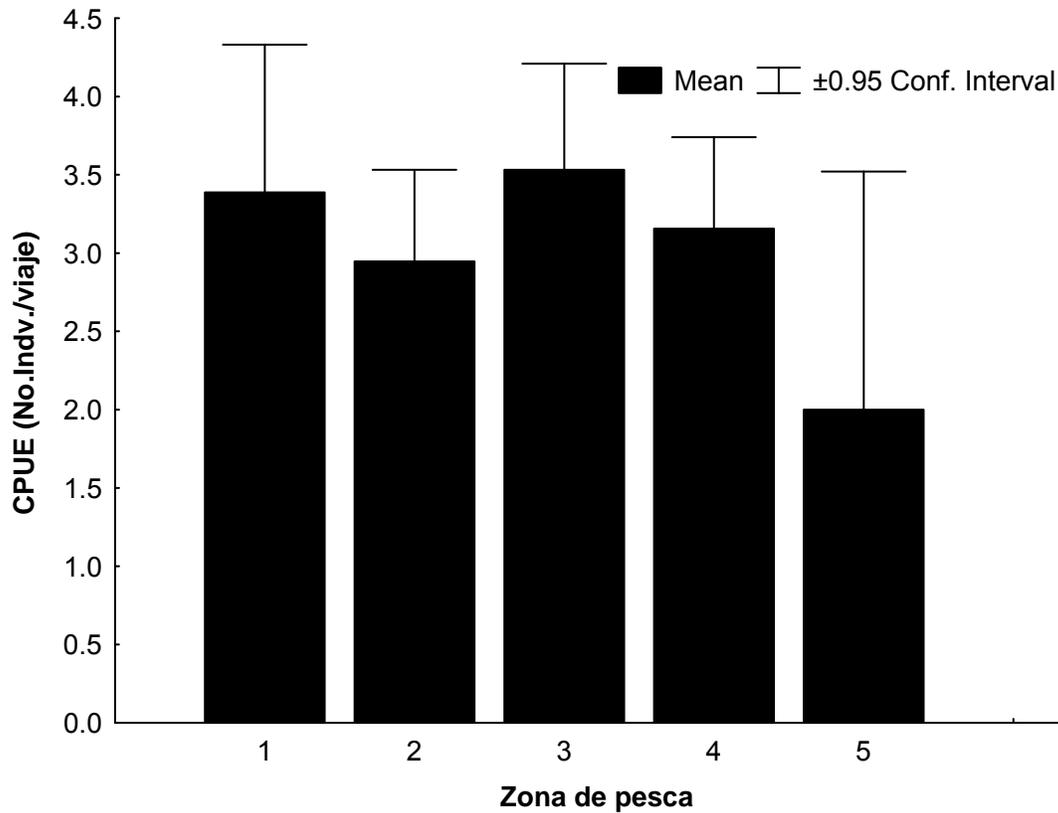
	<b>Choyudo</b>	<b>Kino</b>	<b>Sahuimaro</b>	<b>Tastiota</b>	<b>Lobos</b>	<b>Desemboque</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Enero</b>	1	8					9
<b>Febrero</b>	38	21					59
<b>Marzo</b>	167	226	116				538
<b>Abril</b>	455	206	8	6			675
<b>Mayo</b>	91	76					167
<b>Junio</b>	168	29					197
<b>Julio</b>	11				2		13
<b>Octubre</b>	2	2	1			6	11
<b>Noviembre</b>		19					19
<b>TOTAL</b>	933	587	125	6	2	6	1688

La CPUE presentó su mayor valor durante la primavera (3.4 inv/viaje) siendo mayo el mes con la CPUE más alta (3.8 inv/viaje). En los meses de agosto y septiembre no se registraron capturas de esta especie y de nuevo en octubre se presenta captura (1.0 Inv/viaje) y aumenta para noviembre (2.7 inv/viaje) (Figura 8).



**Figura 8.** CPUE de *Z. exasperata* por mes.

En cuanto a la CPUE se observó que los valores fueron muy similares para las primeras 4 zonas con valores entre 2.9 (zona 2) y 3.5 ind/viaje (zona 3); la zona cinco fue la que presentó el valor más bajo (2.0 ind/viaje) (Figura 9). El campo pesquero en el que se registró la mayor CPUE fue el Sahuimaro (5.2 ind/viaje), seguido por el Choyudo.



**Figura 9.** CPUE de *Z. exasperata* por zona de pesca en la costa central de Sonora.

Como ya se mencionó anteriormente en esta pesquería se utilizan varios tamaños de luz de malla, sin embargo las CPUE fueron mayores para las mallas de 20, 21.5 y 33 cm y el menor valor fue para la malla de 9 cm, la cual es utilizada principalmente para la captura de sierra y por tanto la captura de *Z. exasperata* es incidental (Figura 10). Por otro lado, la mayor CPUE en relación con la profundidad de pesca se dio en los caladeros que presentaron profundidades entre los 100 y 200 m (5.5 indv/viaje).

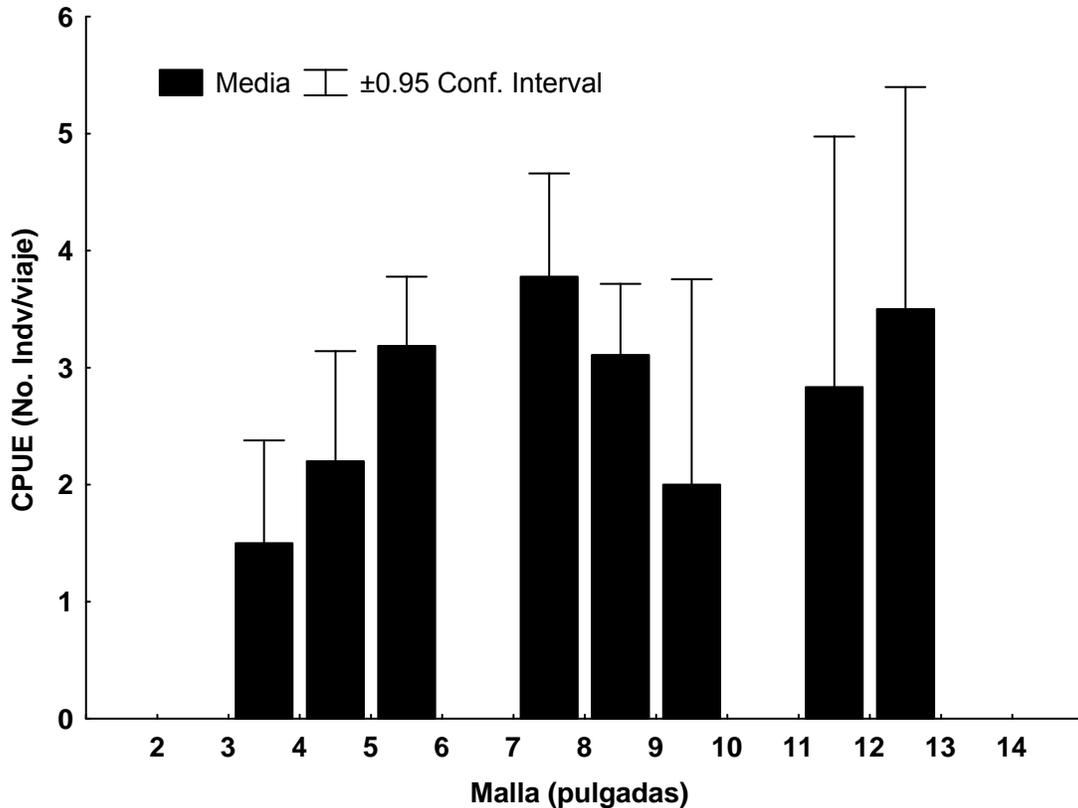


Figura 10. CPUE de *Z. exasperata* por abertura de malla.

#### 4. DISCUSIÓN

La pesquería de elasmobranquios en México se ha caracterizado por ser multiespecífica y artesanal en su mayoría (Castillo-Géniz 1992). En el Golfo de México al igual que en el Golfo de California esta pesquería opera en base a la abundancia estacional de las especies no sólo de los elasmobranquios sino también de otros recursos de importancia comercial como peces teleósteos y crustáceos (Castillo-Géniz *et al.* 1998, Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006). *Zapteryx exasperata* hace parte de esta pesquería multiespecífica que se desarrolla en el Golfo de California por lo que las características de su pesquería son similares a las ya descritas anteriormente para esta región (Márquez-Farías 2002). Al igual que en toda la zona costera del Golfo de California y en la mayoría de la costa Pacífico de México (Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006), la pesquería de *Z. exasperata* se lleva a cabo en embarcaciones pequeñas (pangas) y en zonas costeras en las cuales se encuentran pequeños campos pesqueros. Otras especies de rayas también son capturadas en este tipo de pesquería, por ejemplo *Narcine entemedor*, *Dasyatis dipterura*



(=*D. brevis*); *Rhinobatos productus* *Rhinoptera steindachneri* que son capturadas igualmente por la pesquería artesanal en el Golfo de California y en la costa occidental de la península de Baja California (Bizzarro *et al.* 2007b, Márquez-Farías 2007, Bizzarro *et al.* in press).

La estacionalidad de las capturas de *Z. exasperata* en el Golfo de California concuerda con la de la mayoría de especies de rayas, que se caracterizan por ser abundantes durante la primavera y verano, habiéndose reportado anteriormente a la familia rhinobatidae como la más común en las capturas, familia a la cual pertenece la especie en estudio (Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006, Bizzarro *et al.* 2007b).

En la pesquería de rayas de Sonora se capturaron individuos de *Z. exasperata* entre 41 y 90 cm de LT lo que nos indica que se están capturando organismos en casi todo el intervalo de tallas de la especie, ya que se ha reportado que esta especie nace con longitudes entre los 15 y 22 cm y la talla máxima reportada es de 91 cm LT (Fisher *et al.* 1995). Sin embargo, en la costa occidental de Baja California Sur, se ha reportado que la captura de esta especie es en su mayoría de organismos de más de 50 cm de LT (Villavicencio-Garayzar 1995). Dado que en ambas regiones se utilizan mallas de similar tamaño, es probable que la presencia de individuos más pequeños en las capturas en la costa de Sonora esté relacionada con la importancia del área como zona de reproducción y crianza (ver capítulo V.). La ausencia de organismos menores a 40cm de LT en las capturas puede estar relacionada con la selectividad de las redes utilizadas, más que con la ausencia de estos organismos en el área.

Las capturas de *Z. exasperata* en el área de estudio tuvieron una proporción 1:1 entre sexos, diferente a lo encontrado en la costa occidental de Baja California Sur donde las hembras dominaron las capturas (Villavicencio-Garayzar 1995). La segregación por sexos es común en elasmobranchios y *Z. exasperata* fue reportada como una especie en la que machos y hembras se encuentran fuertemente segregados y solo se reúnen en la temporada de apareamiento (Ebert 2003). En el presente estudio la proporción de hembras y machos en las capturas fue similar, lo cual es evidencia de que esta especie no se encuentra segregada en esta región durante la temporada en que es capturada,



indicando que la costa de Sonora es un área importante para la reproducción de esta especie.

El promedio de la longitud total de hembras ( $73.46 \pm 10.42$  cm) y machos ( $66.06 \pm 7.57$  cm) capturados en las costas de Sonora fue menor al reportado para la costa occidental de Baja California Sur (hembras  $85.67 \pm 5.56$  cm y machos  $75.65 \pm 6.07$  cm) (Villavicencio-Garayzar 1995). Así mismo la talla máxima reportada para ambos sexos en esta misma región (hembras 97 cm LT y machos 83 cm LT) (Villavicencio-Garayzar 1995) fue también mayor a la encontrada en el presente estudio (hembras 91 cm LT y machos 81 cm LT). Esta diferencia en tallas entre individuos de una misma especie entre la costa occidental de Baja California Sur y el Golfo de California ya ha sido reportada para otra especie de rhinobatido; *R. productus* y fue asociada a diferencias entre subpoblaciones (Márquez-Farías 2007), ya que genéticamente se ha comprobado que esta especie presenta subpoblaciones diferentes en estas dos regiones (Sandoval-Castillo *et al.* 2004), el cual puede ser también el caso de *Z. exasperata*, sin embargo, para comprobar esto es necesario hacer estudios genéticos. Otra explicación a estas diferencias en tallas entre estos dos estudios es el diferente intervalo de tallas que se trabajó ya que en el presente estudio se encontraron organismos de tallas más pequeñas lo que favoreció que el promedio de la talla fuera un poco más bajo.

El dimorfismo sexual es un carácter común dentro del grupo de los elasmobranquios, el cual se puede presentar en estructuras como los dientes (Kajiura y Tricas 1996), la cabeza (Kajiura *et al.* 2005) o también en diferencias en las longitudes de hembras y machos (Bizarro *et al.* 2007b, Powter y Gladstone 2008). Dentro del grupo de los rhinobatidos es común encontrar que las hembras alcancen mayores tallas que los machos y ha sido reportado anteriormente para *Zapteryx exasperata* (Capapé y Zaouali 1994, Villavicencio-Garayzar 1995, Ismen *et al.* 2007, Márquez-Farías 2007). Lo anterior concuerda con lo encontrado en el presente estudio en el que las hembras fueron 11% más grandes que los machos y todas las relaciones morfométricas presentaron diferencias entre sexos.



La relación longitud-peso (L-W) fue diferente para hembras y machos de *Z. exasperata*, lo cual indica un crecimiento diferencial entre sexos. En otras especies de rinobatidos ya se ha reportado también esta diferencia indicando que las hembras alcanzan mayor peso y talla que los machos (Ismen *et al.* 2007, Márquez-Farías 2007). En este caso el alto valor de la pendiente de la relación longitud-peso de las hembras (3.42) puede estar influenciado por el gran número de hembras preñadas que se encontraron en las capturas del presente estudio. Los valores de  $b$  en la relación potencial L-W muestran el tipo de crecimiento que presenta un organismo (Wootton 1990), en el caso de las hembras de *Z. exasperata* el crecimiento fue de tipo alométrico con un valor de  $b > 3$ , lo cual indica que aumentan más rápido en peso que en talla, esto puede ser explicado por el aumento de peso acelerado durante el periodo de gestación de las hembras. Así mismo los machos presentaron un crecimiento alométrico pero con el valor de  $b < 3$  indicando un crecimiento mayor en talla que en peso. Esta diferencia en el tipo de crecimiento entre machos y hembras se ha reportado para *Rhinobatos rhinobatos*, especie en la cual se encontró que los machos tienen un crecimiento isométrico y las hembras alométrico (Ismen *et al.* 2007).

En 2002 se reportó que la pesquería de rayas en el Golfo de California se componía de 24 especies y que *Z. exasperata* estaba dentro de las diez más importantes (Márquez-Farías 2002), lo cual concuerda con lo encontrado en el presente estudio en el que resultó ser una especie abundante en la pesca artesanal de rayas de Sonora.

Los desembarcos de *Z. exasperata* en la costa de Sonora tuvieron su pico durante los meses de primavera al igual que su CPUE. Durante invierno esta especie no fue muy común en los desembarcos y durante verano estuvo prácticamente ausente. Esta ausencia durante el verano se puede deber a la migración de esta especie a aguas profundas en donde ya no es susceptible de ser capturada lo cual ya ha sido reportado para las rayas en general en el Golfo de California (Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006) y también puede tener relación con la disminución en el esfuerzo de la pesquería de rayas en la zona ya que los pescadores se van a buscar otros recursos como el camarón que les representan mayor ganancia económica (Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006). La dominancia de *Z. exasperata* en los desembarcos de primavera parece ser un patrón de la especie ya que en la costa occidental de baja California Sur se reporta también una mayor presencia en los desembarcos de estos meses (Villavicencio-Garayzar 1995).



Este es el primer trabajo en el que se calcula la CPUE para *Z. exasperata*, sin embargo no es el primero para alguna especie de rayas en el Golfo de California (Bizzarro *et al.* 2007b). Como se dijo anteriormente la CPUE también presentó una fuerte variación estacional presentando los mayores valores durante los meses de primavera (marzo, abril y mayo). Esto puede estar relacionado con la migración reproductiva de hembras y machos a zonas más someras en donde se hacen vulnerables a las redes agalleras de fondo usadas en la pesquería artesanal de la región (ver capítulo V). Este tipo de migración desde y hacia zonas costeras someras durante los periodos reproductivos ya ha sido reportada para otras especies de elasmobranquios y en el Golfo de California parece tener como indicador los cambios en la temperatura del agua en esta zona ya que el aumento en la CPUE de *Z. exasperata* inicia justo en el mes de febrero cuando se inicia el acenso en la temperatura superficial del agua en el Golfo de California (Soto-Mardones *et al.* 1999, Márquez-Farías y Blanco-Parra 2006).

Aunque los valores de la CPUE por zonas de pesca no variaron mucho si se observó un valor mayor en la zona 3 en la cual se encontraban el campo pesquero el Sahuimaro en el cual se presentó el mayor valor de CPUE. Así mismo la zona 1 presentó el segundo valor en importancia de la CPUE. Estos valores pueden estar relacionados con la preferencia de *Z. exasperata* por áreas de arrecife rocoso (Ebert 2003), ya que se ha descrito que tanto la costa de la isla tiburón y el canal del infiernillo (zona 1), como la costa entre el Sahuimaro y el Choyudo (zona 3); son áreas importantes de este tipo de ecosistema (Thomson *et al.* 2000). Así mismo, se ha reportado para la costa de California la preferencia de esta especie por profundidades entre los 100 y 200 m (Allen *et al.* 2006), lo cual concuerda con los mayores valores de CPUE observados en este estudio a dichas profundidades.



## V. BIOLOGÍA REPRODUCTIVA

### 1. INTRODUCCIÓN

Al igual que los tiburones, las rayas presentan dos tipos de reproducción que se diferencian entre sí por el lugar en el que se lleva a cabo el desarrollo embrionario; vivíparas son aquellas especies en las que el desarrollo del embrión se da dentro del cuerpo de la madre y ovíparas en las que dicho desarrollo se da fuera de la madre. La forma de reproducción de los elasmobranquios ha sido dividida anteriormente en dos categorías basándose en la forma en que se alimentan los embriones las cuales son: lecitotrófica, en la cual el desarrollo del embrión se soporta solamente por el vitelo; y matrotrófica, en la cual por lo menos una parte del desarrollo del embrión es soportado por una entrada adicional de nutrientes provenientes de la madre (Wourms 1977). La oviparidad es un tipo de reproducción lecitotrófica, mientras que la viviparidad incluye tanto el tipo lecitotrófico como una gran variedad de tipos de matrotrofia. La viviparidad lecitotrófica es la más común en el grupo de las rayas y también es conocida como ovoviviparidad o viviparidad aplacentaria, sin embargo este último término incluye tanto la viviparidad que es solo lecitotrófica (con vitelo) como los dos tipos de la matrotrofia: histotrófica y oofagia. Por esta razón algunos autores recomiendan no usar el término viviparidad aplacentaria y mejor usar el nombre de los cuatro tipos de viviparidad que existen en los elasmobranquios: con vitelo, histotrófica limitada, histotrófica lipídica, oofagia de carcharhinidos, oofagia de lamnidos y placentaria (Musick y Ellis 2005). En el grupo de las rayas se presentan los tres primeros tipos de viviparidad sin embargo la histotrofia está mejor desarrollada en el grupo de los Myliobatiformes, los cuales presentan unas vellosidades bien desarrolladas en las paredes del útero llamadas trofonemata, que producen lo que se conoce como leche uterina que es una sustancia rica en proteínas y lípidos, con la que alimentan al embrión.

Las especies del grupo de los Rhinobatiformes se caracterizan por ser organismos vivíparos lecitotróficos (con saco vitelino) (Musick y Ellis 2005). En México la mayoría de los estudios de biología reproductiva de las rayas pertenecientes a este orden se han llevado a cabo en la especie *Rhinobatos productus*, de la cual se ha descrito su ciclo reproductivo y desarrollo embrionario, tanto de la población de la costa occidental de Baja



California Sur como del Golfo de California (Villavicencio- Garayzar 1993, Downton-Hoffmann 1996, González 1998, Márquez-Farías 2007). En la costa occidental de Baja California Sur se han encontrado áreas importantes para la reproducción de esta especie como Bahía Almejas (Villavicencio-Garayzar 1995, Downton-Hoffmann 2007) y en el Golfo de California la costa de Sonora parece ser la más importante en este mismo aspecto (Márquez-Farías 2007). Estudios genéticos realizados en individuos de *R. productus* (Sandoval-Castillo *et al.* 2004) han aclarado recientemente las causas de las diferencias en aspectos de la reproducción (tallas de madurez, fecundidad, talla de nacimiento, etc.) que se habían encontrado entre las poblaciones del Golfo de California y la costa occidental de Baja California Sur, ya que se encontró una alta diversidad genética entre estas dos poblaciones que al parecer fueron separadas hace millones de años debido a eventos geológicos ocurridos en la zona (Sandoval-Castillo *et al.* 2004).

De *Zapteryx exasperata* se conoce muy poco sobre la biología reproductiva; el estudio realizado por Villavicencio-Garayzar (1995) describió de forma preliminar aspectos de la reproducción en esta especie en el área de Bahía Almejas B.C.S. En esta región se encontró que *Z. exasperata* presenta una fuerte segregación sexual predominando de enero a agosto las hembras y en marzo y abril los machos. Así mismo se reporta que las hembras tienen una talla inicial de madurez a los 77cm de longitud total (LT), mientras que para los machos no reportan la talla inicial de madurez debido a la falta de individuos en todos los intervalos de talla y al bajo número de muestra. El ciclo reproductivo de esta especie en la costa occidental de Baja California Sur parece ser anual e influenciado por las variaciones en la temperatura superficial del mar, con el nacimiento de los neonatos en julio mes con las mayores temperaturas (Villavicencio-Garayzar 1995). La fecundidad reportada para *Z.exasperata* es de 4 a 11 individuos por camada presentando una reproducción vivípara aplacental; los neonatos tienen tallas entre 15 y 18cm de LT (Villavicencio-Garayzar 1995).

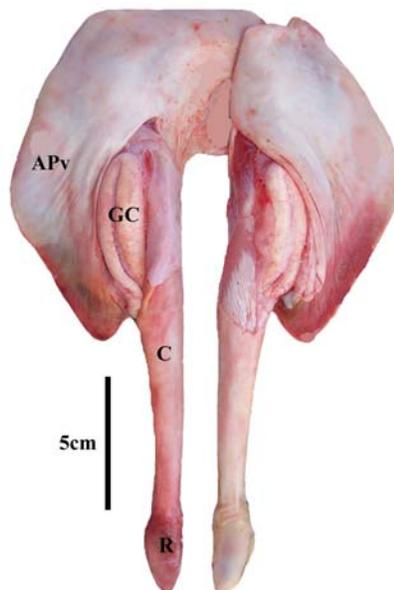
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los muestreos realizados en 1998-2000 y 2004-2005 en las costas de Sonora, se colectaron los aparatos reproductores tanto de machos y hembras, los cuales fueron fijados en formalina al 10% para su posterior análisis en laboratorio. Se asignó a cada individuo el estado de madurez (inmaduro ó maduro) de acuerdo a la evaluación

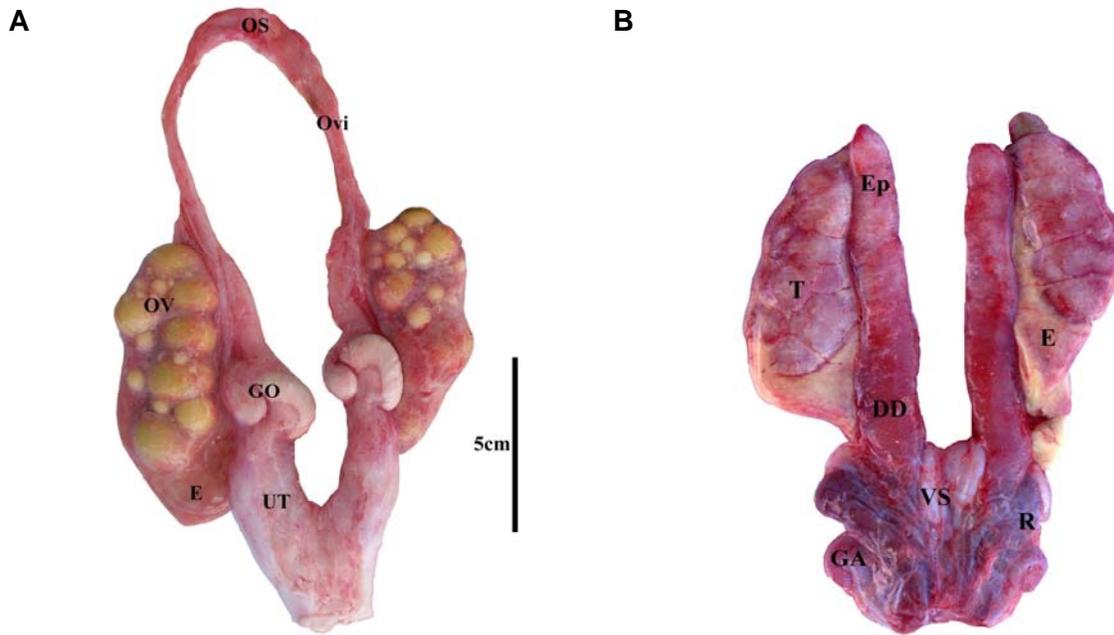


macroscópica de las gónadas usando el criterio de (Holden y Raitt 1974). La medición de los órganos internos de ambos sexos, incluyendo al producto y sus componentes (v.g. cápsulas y embriones, saco vitelino), se registró al milímetro más cercano. En los machos se registró el tamaño y la condición del gonopterigio. La longitud del gonopterigio se tomó de la axila formada entre la aleta pélvica y el abdomen, hasta la punta del mismo (Figura 11). Se juzgaron maduros aquellos organismos que: 1) tenían el gonopterigio calcificado, 2) éste se podía rotar hacia la parte frontal del organismo, y 3) el rifiodón se liberaba fácilmente del cuerpo del gonopterigio. Los testículos se midieron a lo largo y se observó la presencia de fluido seminal en la vesícula seminal (Figura 12b). Esta observación se realizó haciendo un corte transversal en la misma, así como en los conductos deferentes. Una sección de la vesícula fue colectada para confirmar la presencia de alguna forma de almacenamiento de espermatozoides en los machos.

Las hembras se consideraron maduras cuando tenían ovocitos color amarillo intenso y vascularizados, de los cuales se registró el número y diámetro del más grande (Figura 12a). Se midió la glándula oviducal a lo ancho y se registró el ancho del útero como un indicador del desarrollo. Las hembras grávidas se detectaron por medio de la observación de cápsulas uterinas o por la presencia de embriones en desarrollo. Los embriones se contaron, midieron, pesaron y se registró el sexo. El saco vitelino se midió cuando fue posible a lo ancho.



**Figura 11.** Gonopterigio de un macho maduro de *Z. exasperata*. APv= aleta pélvica, GC= glándula del clasper, C= gonopterigio, R= rifiodón.



**Figura 12.** Aparato reproductor de hembras (A) y machos (B) maduros de *Z. exasperata*.  
 GO=glándula oviducal, OS=ostium, Ovi=oviducto, OV=ovario y ovocitos, E=órgano epigonal,  
 UT=útero, T=testículo, DD=ductos deferentes, VS=vesícula seminal, Ep=epidídimo, R=riñón,  
 GA=glándula alcalina.

En el laboratorio las gónadas de machos y hembras colectadas fueron lavadas con agua por 12 horas y conservadas en alcohol al 96%. Posteriormente se realizaron cortes histológicos de las gónadas de los machos en testículos y vesícula seminal con la finalidad de observar la espermatogénesis. En las gónadas de las hembras se realizaron cortes histológicos de las glándulas oviducal, los ovarios y úteros; los cuales fueron procesados y analizados microscópicamente siguiendo lo recomendado para elasmobranquios (Pratt 1988, Castro 1993, Pratt 1993, Castro 1996, Castro 2000). Para la tinción de los tejidos se utilizó la técnica de hematoxilina-eosina.

Se graficó la relación de la longitud total de los individuos con la longitud del clasper, longitud del testículo, ancho del útero, ancho de la glándula oviducal y número de críos.

Los datos de madurez se ajustaron a un modelo logístico para estimar la talla a la que el 50% de los individuos están maduros (talla de madurez), para la estimación de los parámetros de este modelo se utilizó la suma de cuadrados, minimizándola por medio de la función Solver del programa Microsoft Excel 2002. El modelo logístico esta dado por la siguiente ecuación:



$$Pm = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{LT - L50\%}{a}\right)}}$$

donde  $a$  y  $L50\%$  son los parámetros de la ecuación y  $Pm$  es la proporción de individuos maduros. Para corroborar si existen diferencias entre los modelos logísticos entre hembras y machos se utilizó el análisis de covarianza (ANCOVA).

### 3. RESULTADOS

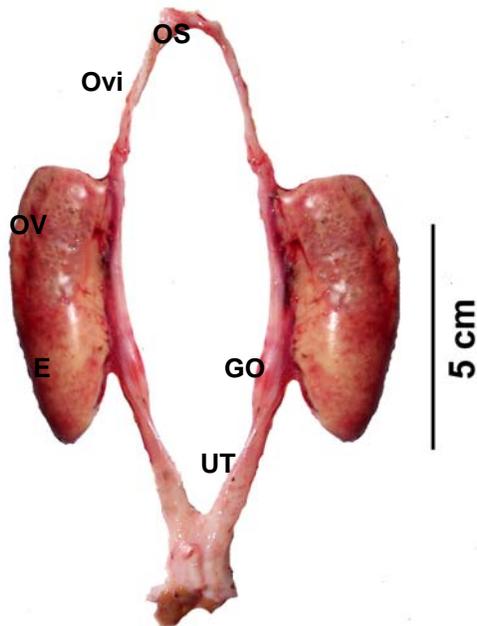
Un total de 679 individuos de *Z. exasperata* fueron muestreados durante el periodo de estudio. Entre 1998 a 2000 se colectaron datos de madurez de 204 individuos aunque no en todos los casos se midieron órganos internos de machos y de hembras; y sólo en 5 casos se tomaron muestras de gónadas para análisis histológico. Durante el segundo periodo de muestreo de 2003 a julio de 2005 se colectaron datos de madurez y medidas de órganos internos de 475 individuos y se colectaron gónadas de 150 individuos.

#### 3.1. Hembras

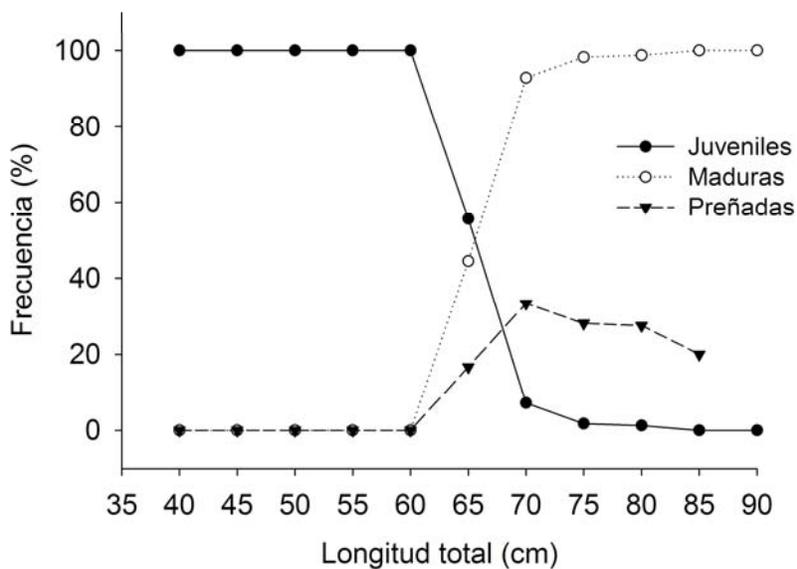
Se analizaron 357 hembras entre 41.3 y 90cm de longitud total (LT) (LT promedio  $73.5 \pm 10.7$  cm) de las cuales se midieron los órganos internos de 226. Las hembras presentaron dos ovarios de tipo externo funcionales, cada uno de los cuales se encuentra adherido al extremo anterior del órgano epigonal (Figura 12a). Las hembras inmaduras presentaron ovarios no desarrollados con ovocitos pequeños de menos de 5mm de diámetro, de color claro y sin vitelo; el útero se presentó como un tubo angosto con un intervalo de 1 a 20 mm de ancho y la glándula oviducal es difícil de diferenciar de las otras zonas del oviducto y su ancho estuvo entre 1 y 15 mm (Figura 13). En las hembras maduras los ovocitos estuvieron en un intervalo de 5 a 40 mm de diámetro y se presentaron en grupos de diferentes tamaños en una misma hembra, el ancho del útero estuvo en un intervalo de 13 a 25mm en hembras maduras no preñadas y de 30 a 80mm en las preñadas; la glándula oviducal estuvo en un intervalo de 16 a 35 mm (Figura 12a). La hembra inmadura más grande presentó una longitud total de 75 cm mientras que la hembra madura más pequeña presentó una LT de 66.5 cm y a partir de esta talla se observó un aumento en el porcentaje de hembras maduras siendo de más del 50% en hembras con LT entre 65 y 70 cm (Figura 14). En cuanto a las hembras que estaban preñadas su porcentaje comenzó a



aumentar a partir de los 64 cm, talla en la cual se encontró la hembra más pequeña con cápsulas uterinas en sus úteros.



**Figura 13.** Órgano reproductor de una hembra inmadura de *Zapteryx exasperata*. OS=ostium, OVi=oviducto, OV=ovario, E=órgano epigonal, GO=glándula epigonal y UT=útero.

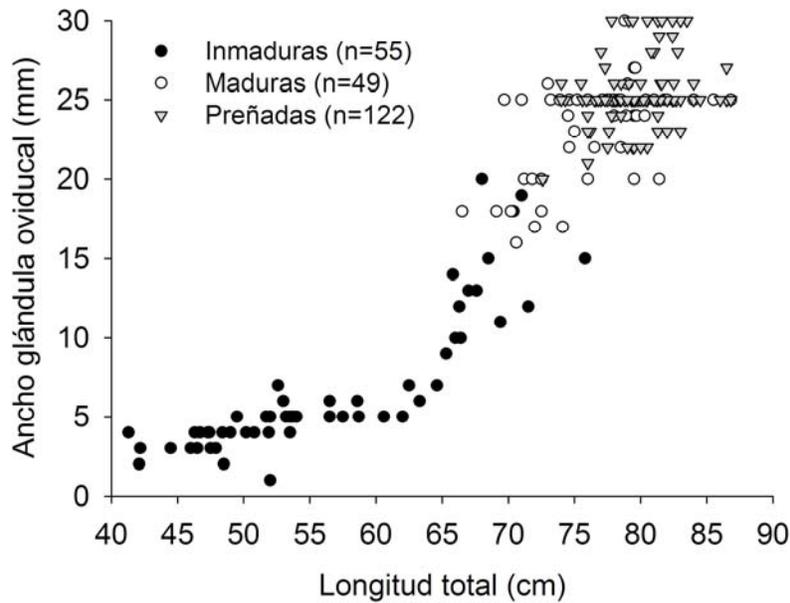


**Figura 14.** Proporción de hembras inmaduras (n=60), maduras (n=244) y preñadas (n=72) por intervalo de talla.

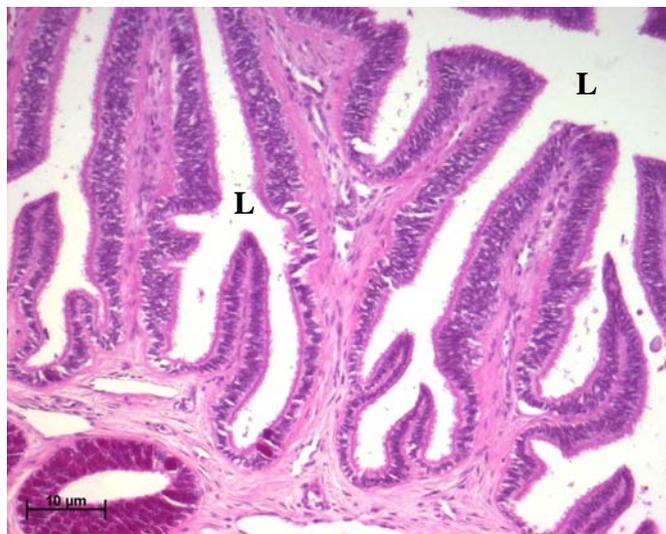
La glándula oviducal comienza un incremento en su tamaño cuando las hembras alcanzan los 65cm de LT, presentándose un aumento de 8mm entre las hembras de 65 y 70cm de LT, lo cual es un indicador de que la talla de madurez se encuentra dentro de



este intervalo de tallas (Figura 15). Microscópicamente no se observó esperma en la glándula oviducal que indicará una reciente cópula o almacenamiento de esperma por parte de las hembras (Figura 16).



**Figura 15.** Relación del ancho de la glándula oviducal con la longitud total de las hembras.

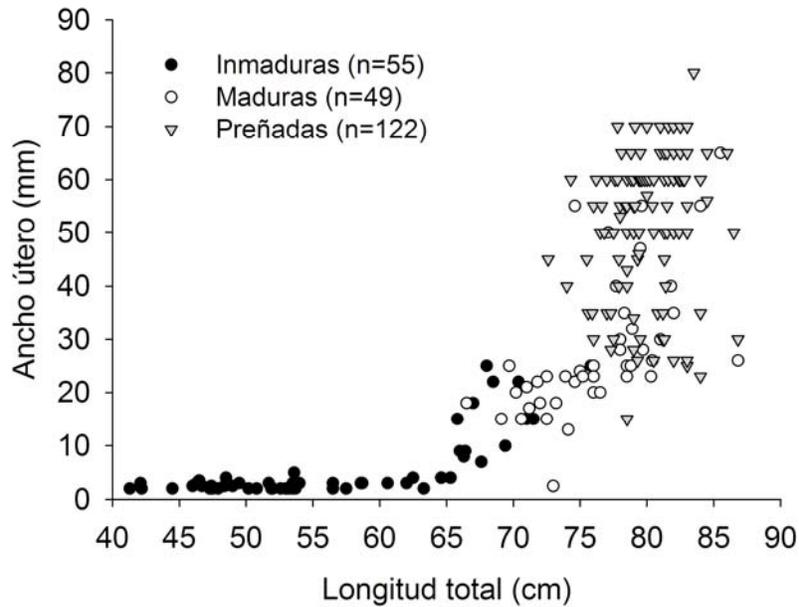


**Figura 16.** Corte histológico de la glándula oviducal de una hembra madura de *Z. exasperata*, en el cual se observa el lumen (L) sin presencia de esperma.

La relación entre el ancho del útero y la longitud total muestra una clara tendencia de aumento en el ancho del útero después de los 65cm de LT lo cual concuerda con lo visto



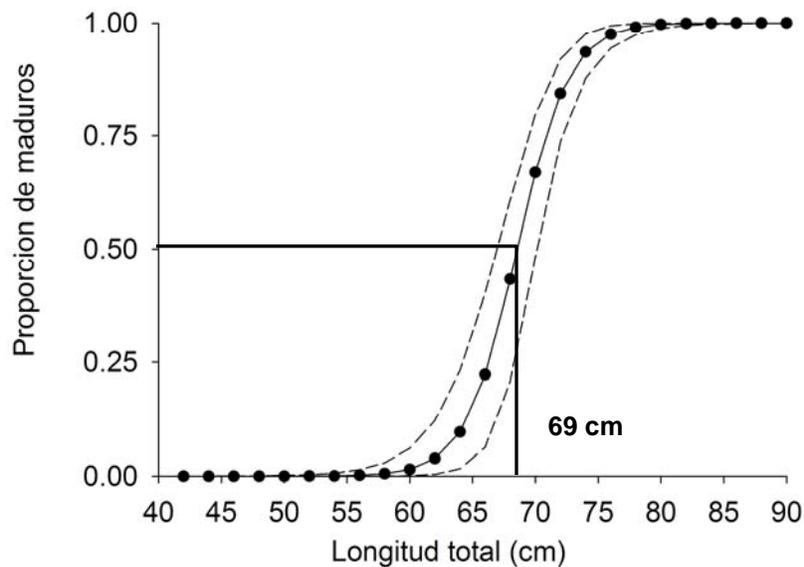
anteriormente para la glándula oviducal (Figura 17). No se encontró tampoco esperma en los úteros de hembras maduras.



**Figura 17.** Relación del ancho del útero con la longitud total de las hembras.

Basado en la proporción de hembras maduras en cada grupo de talla, la talla de madurez para las hembras de *Z. exasperata* fue de 69cm de LT (Figura 18). El modelo logístico que presentó un mejor ajuste para hembras fue el siguiente:

$$Pm = \frac{1}{1 + e^{-\frac{LT - 69}{2.10}}}$$



**Figura 18.** Modelo logístico para hembras de *Z. exasperata* indicando la L50%. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza de la curva al 95%.

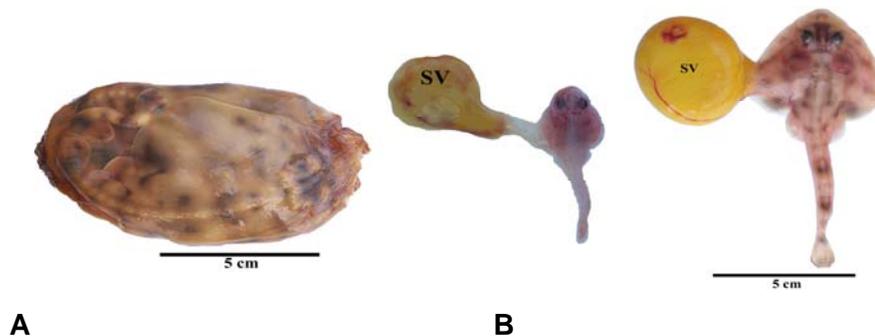
### 3.2. Hembras preñadas, fecundidad y desarrollo embrionario

Las hembras preñadas estuvieron presentes en las capturas a partir de febrero, mes en el cual se observaron hembras con cápsulas uterinas de color café; posteriormente se observó un incremento en el número de hembras preñadas encontrándose en junio el mayor porcentaje de éstas (80% n=64). En total se encontraron 195 hembras preñadas, tanto con cápsulas uterinas como con embriones en diferentes estadios de desarrollo (Figura 19), y estuvieron en un intervalo de tallas de 64 a 86.5cm de LT. La fecundidad uterina de las hembras varió entre 1 y 12 embriones por hembra y presentó un promedio de  $7.13 \pm 2.9$  embriones por hembra. La proporción sexual de los embriones fue 1:1 ( $\chi^2 = 0.03829$   $p > 0.05$ ). Se encontró una relación positiva entre la longitud total de la madre y el número de embriones ( $F = 16.02$   $p < 0.001$ ) (Figura 20).

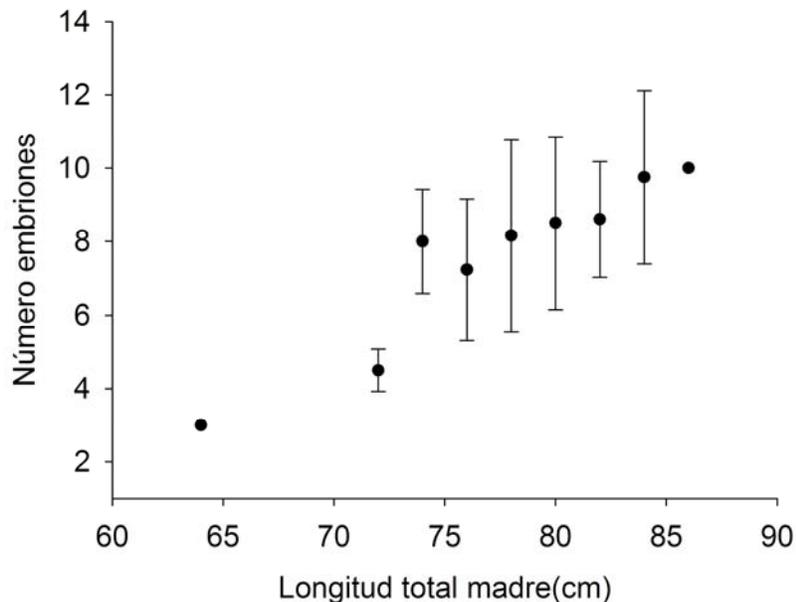
Los embriones se encontraron en un intervalo de tallas entre 26 y 187mm de LT, estos comienzan a ser visibles macroscópicamente a partir del mes de abril durante el cual el promedio de la LT de los embriones es de  $58. \pm 12.3$  mm. En el mes de mayo la variabilidad de las tallas de los embriones es mayor encontrándose un promedio de  $124.1 \pm 41.8$  mm, mientras que en junio el promedio es mayor ( $131.3$  mm) y la desviación de los datos disminuye ( $DE= 36.5$  mm) (Figura 21). Se observó en las hembras preñadas



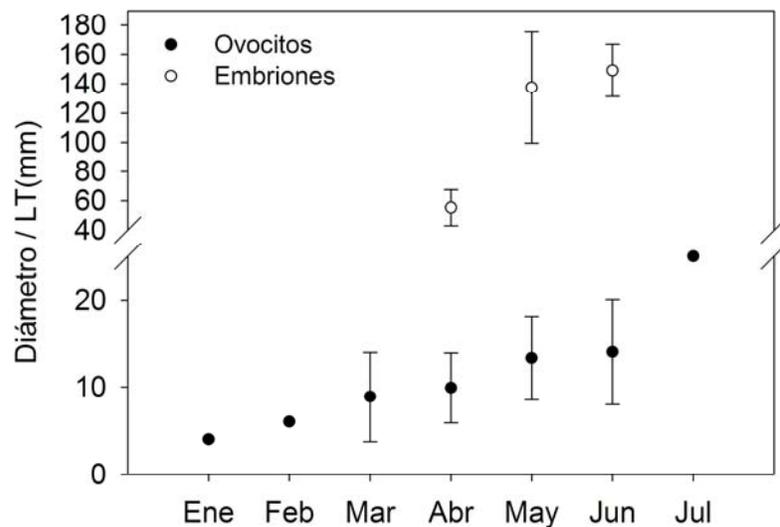
presencia de ovocitos maduros (vitelogénicos) en los ovarios los cuales incrementaron su diámetro promedio de febrero (5 mm) a julio (25 mm), coincidiendo con el desarrollo embrionario (Figura 21). A partir del mes de febrero se empieza a observar un incremento progresivo en el diámetro promedio de los ovocitos aumentando aproximadamente 2 mm de este mes al siguiente y alcanzando su máximo observado de 25 mm en el mes de julio. En los ovarios se observaron dos cohortes de ovocitos de diferentes tamaño, en las hembras que presentaron ovocitos de 25mm también se observó otra cohorte de ovocitos entre los 3 y 6 mm de diámetro y de coloración amarillo claro.



**Figura 19.** Capsula con embriones (A) y embriones en diferentes etapas de desarrollo (B) de *Z. exasperata* en los cuales se observa el saco vitelino (SV).



**Figura 20.** Relación entre el número de embriones (promedio y desviación estándar) y el tamaño de la madre (n=73)



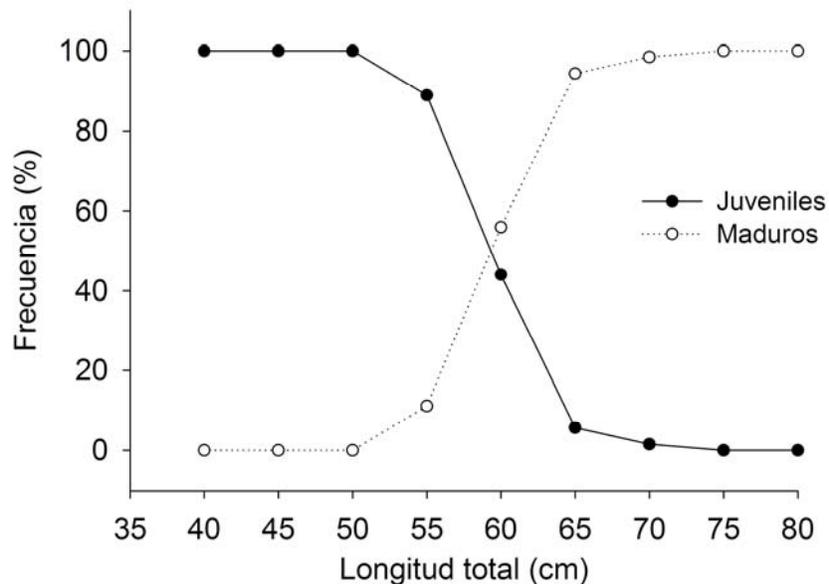
**Figura 21.** Diámetro promedio y desviación estándar del ovocito más grande (n=180) en las hembras de *Z. exasperata* y longitud total promedio de los embriones (n= 388) durante el periodo de muestreo.

### 3.3. Machos

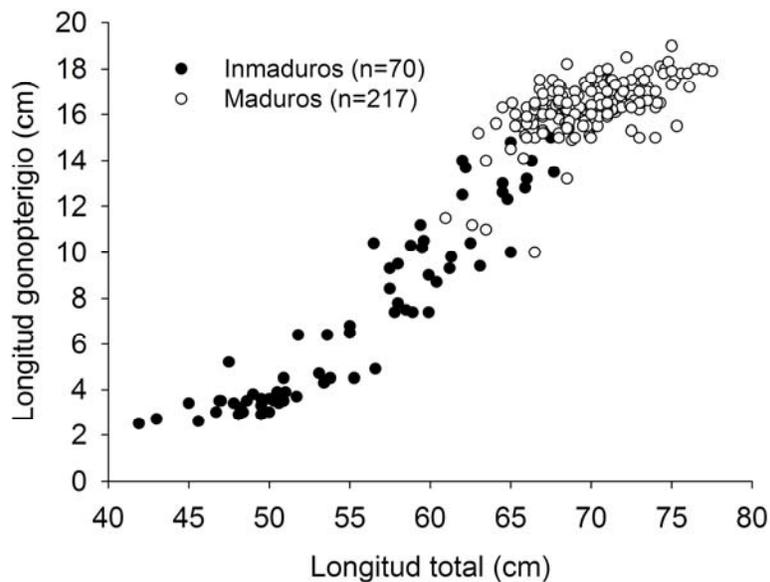
Fueron analizados en total 321 machos de *Z. exasperata* con LT entre 41 y 81cm. La longitud total promedio de los machos ( $66.5 \pm 7.2$  (DE) cm) fue menor a la de las hembras (Kolmogorov-Smirnov,  $p < 0.001$ ). Los machos de *Z. exasperata* presentan dos testículos funcionales y en igual estado de desarrollo. El macho maduro más pequeño presentó una LT de 58.2cm y se observó un aumento del porcentaje de individuos maduros en el intervalo de talla de 56 a 61cm (Figura 22). El gonopterigio presenta un desarrollo progresivo a medida que los organismos crecen, los organismos inmaduros presentaron gonopterigios flácidos y pequeños los cuales empiezan a presentar cierto grado de calcificación y un crecimiento rápido cuando los individuos alcanzan los 55cm de LT posteriormente el crecimiento disminuye en organismos de más de 65cm de LT (Figura 23). Los machos entre 50 y 68cm de LT se encuentran en una fase de transición hacia la madurez. Todos los machos de más de 68cm de LT estuvieron maduros y presentaron gonopterigios calcificados con longitudes entre 15 y 19cm. Se observó semen en la vesicular seminal y en los gonopterigios a finales de mayo y en junio. La relación entre la longitud total y la longitud del testículo muestra la misma tendencia que con el gonopterigio aunque menos marcada (Figura 4). En los individuos maduros los testículos presentaron una longitud entre 40 y 100 mm. En cuanto al análisis histológico de los



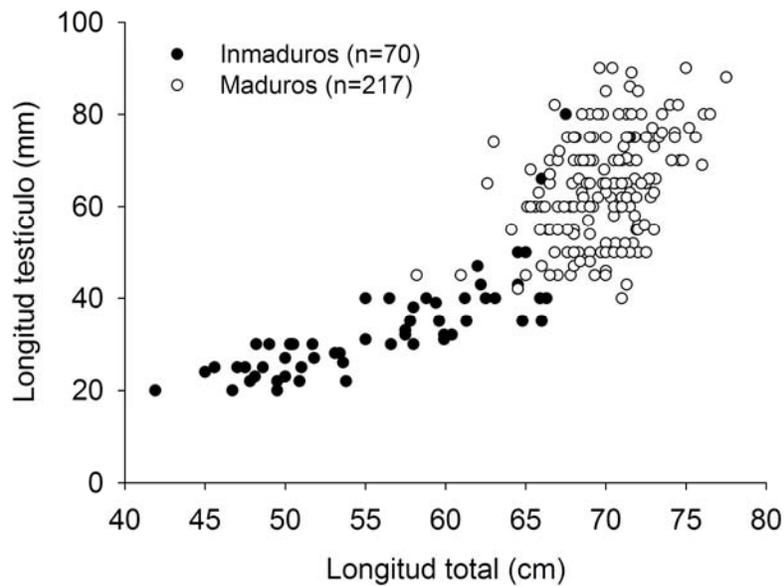
testículos se encontró que esta especie presenta un testículo de tipo compuesto en el que las zonas germinales se encuentran localizadas en la superficie dorsal del testículo y los espermatocistos que derivan de cada zona germinal están arreglados en columnas. Así pues se observa en el corte transversal del testículo lóbulos formados por la progeñie de cada espermatocisto, los cuales presentan una forma irregular (Figura 25).



**Figura 22.** Proporción de machos inmaduros (n=69) y maduros (n=186) por intervalo de talla.

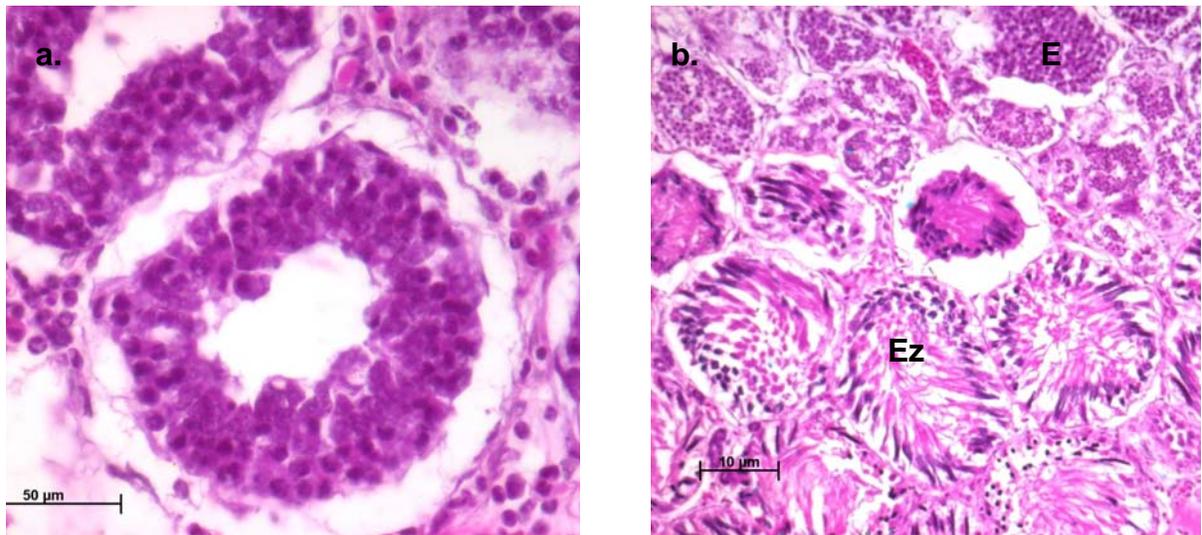


**Figura 23.** Relación entre la longitud del gonopterigio y la longitud total de los machos (n=287).



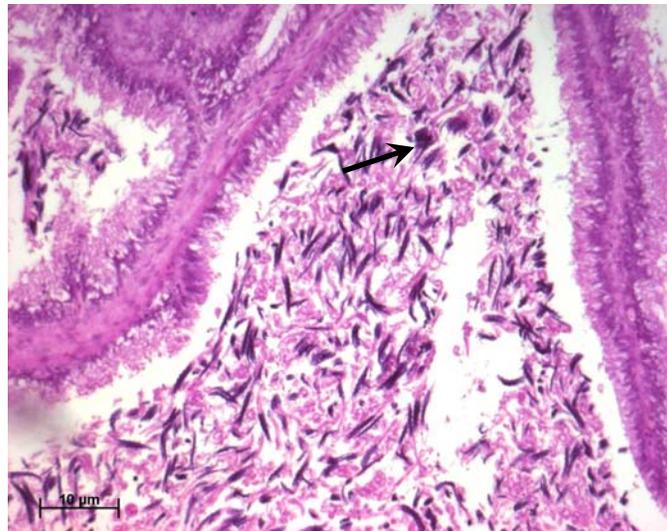
**Figura 24.** Relación entre la longitud del testículo y la longitud total de los machos.

El estado de madurez asignado a los machos por medio de las observaciones macroscópicas del gonopterigio coincidieron con las asignadas por medio de la observación microscópica de los testículos. En los individuos considerados juveniles se encontraron sólo espermatogonias y espermatoцитos primarios mientras que en los machos maduros se encontraron 4 estadios de la espermatogénesis, espermatoцитos, espermátidas, espermatozoides y los arreglos espermáticos (Figura 25).



**Figura 25.** Espermocitos (a), espermátida (b, E), espermatozoides y arreglos espermáticos (b, Ez) en machos de *Z. exasperata*.

También se observó en los organismos maduros cúmulos de espermatozoos en el epidídimo, en los ductos deferentes y en la vesícula seminal (Figura 26), pero no se observó ningún arreglo de estos cúmulos en espermatozoogameta o espermatozóforos.

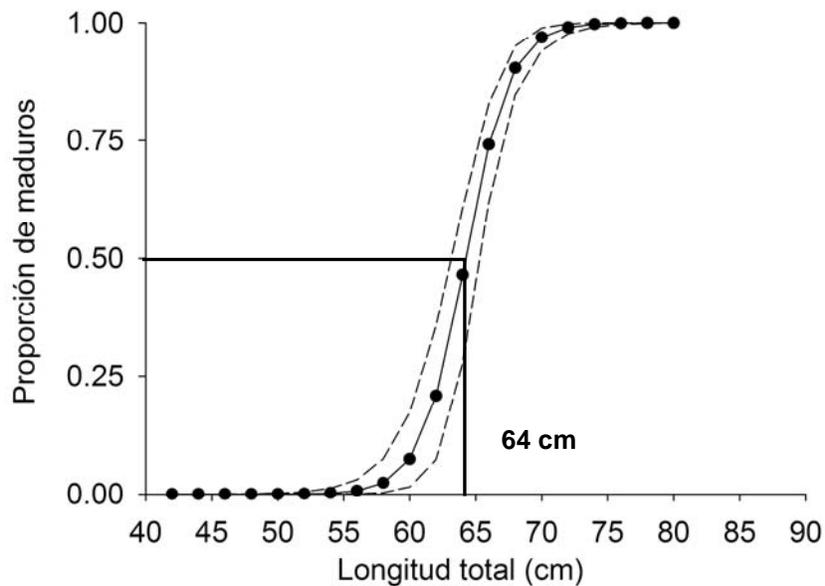


**Figura 26.** Cúmulos de espermatozoos (flecha) en el epidídimo de machos de *Z. exasperata*.



Basándonos principalmente en la condición del gonopterigio, la talla de madurez de los machos de *Z. exasperata* fue de 64cm de LT (Figura 27.) y la función logística que presentó el mejor ajuste a la proporción de organismos maduros fue:

$$P_m = \frac{1}{1 + e^{-\frac{LT - 64}{2.0}}}$$



**Figura 27.** Modelo logístico para machos de *Z. exasperata* indicando la L50%. Las líneas punteadas representan el intervalo de confianza de la curva al 95%.

Se encontraron diferencias en las ogivas de madurez entre hembras y machos (ANCOVA,  $F = 48.03$ ,  $p < 0.001$ ). El valor de los parámetros de las ojivas de madurez y sus estadísticos se presentan en la tabla 2.



**Tabla 2.** Parámetros del modelo logístico ajustado a la madurez de hembras y machos de *Z. exasperata* del Golfo de California.  $L_{50\%}$  = la longitud total (cm) a la que el 50 por ciento de la población está madura,  $\phi$  = pendiente de la curva y  $ssq$  = suma de cuadrados. El intervalo de confianza inferior (L.I) y superior (L.S.) fueron calculados al 95%.

Sexo	Parámetro	Estimación	s.e	L.I.	L.S.
Hembras	$L_{50\%}$	69.2	0.80	66.974	70.13
	$\phi$	2.14	0.34	1.48	2.82
	$ssq$	0.255			
Machos	$L_{50\%}$	64.00	0.54	63.17	65.30
	$\phi$	2.02	0.24	1.26	2.23
	$ssq$	0.026			

#### 4. DISCUSIÓN

*Zapteryx exasperata* fue incluida en la lista roja de la IUCN en 2006 bajo la categoría de “datos insuficientes”, esto debido a la falta de información biológica adecuada para poder establecer el estatus de las poblaciones (Kyne *et al.* 2006). La biología reproductiva de la guitarra pinta, al igual que la de la mayoría de rhinobátidos, ha sido poco estudiada y aún existen muchos vacíos en algunos aspectos de esta. La falta de información es debida a su distribución limitada y a que no es una especie muy comercial como otras especies de elasmobranquios.

La costa de Sonora ha sido reportada como un área importante de reproducción para algunas especies de batoideos (Bizzarro *et al.* 2007b, Márquez-Farías 2007). La abundancia de hembras y machos maduros, así como de hembras preñadas en las capturas de la pesquería artesanal analizadas en la costa de Sonora durante este estudio, sugieren que esta área es también de importancia para la reproducción de la guitarra pinta. Como se comentó en el capítulo cuatro, las capturas de *Z. exasperata* son fuertemente estacionales en el área de estudio observándose un aumento durante primavera y principios de verano, meses durante los cuales además se presenta una dominancia de individuos maduros (hembras y machos), esto está probablemente relacionado con una migración de carácter reproductivo en la que los organismos se



acercan a aguas someras y protegidas que coinciden con caladeros de la pesquería de redes de enmalle incrementando la vulnerabilidad. Esta misma situación ha sido observado anteriormente en otras especies de batoideos en la misma área y para la guitarra pinta se ha observado también en la costa occidental de la península de Baja California, en Bahía Almejas, donde esta especie fue abundante en las capturas de la pesca artesanal entre marzo y abril (Villavicencio-Garayzar 1995, Bizzarro *et al.* 2007b).

En Bahía Almejas Villavicencio-Garayzar (1995) reportó la dominancia de hembras de *Z. exasperata* en las capturas durante todo el año debido a una segregación espacio-temporal, a la diferencia de tallas entre sexos y a la selectividad de la pesquería. En el presente estudio ambos sexos fueron encontrados en número similar en las capturas durante todo el periodo de muestreo lo cual sugiere que durante este periodo y en esta área no se presenta una segregación por sexos en esta especie.

La anatomía externa de los testículos de *Z. exasperata* es similar a la descrita anteriormente para otras especies de rhinobatidos (Wenbin y Shuyuan 1993), que poseen dos testículos bien desarrollados, lobulados y funcionales. Internamente los testículos de la guitarra pinta son del tipo compuesto con múltiples zonas germinales localizadas en la superficie dorsal al igual que todas las especies de batoideos (Bonner y Vincz 2005).

Los cúmulos de esperma encontrados en el epidídimo y en la vesícula seminal de los machos de *Z. exasperata* son similares a los descritos anteriormente para *Squalus acanthias*, en donde los espermatozoides están alineados lateralmente cabeza con cabeza y no presentan una matriz que los rodee (Pratt y Tanaka 1994).

Hasta la fecha no existe información disponible sobre la talla de madurez en machos de la guitarra pinta. Villavicencio-Garayzar (1995) encontró en Bahía Almejas que los machos de esta especie con tallas mayores a 69cm de LT estaban maduros, pero en este trabajo el autor no tuvo muestras de organismos entre 55 y 69 cm de LT. El macho maduro más pequeño encontrado en el presente estudio tenía una LT de 58 cm y todos los machos de más de 68cm de LT estuvieron maduros. La longitud total a la cual el 50% de los machos de la guitarra pinta son maduros es de 64 cm, aproximadamente un 77% de la talla máxima reportada para machos de esta especie (Fisher *et al.* 1995).



Las hembras de *Z. exasperata* maduran a tallas mayores y tienen una longitud total máxima mayor que los machos al igual que sucede en especies como *Rhinobatos cemiculus* y *Rhinobatos rhinobatos* (Abdel-Aziz *et al.* 1993, Capapé y Zaouali 1994). Villavicencio-Garayzar (1995) reporta que las hembras de la guitarra pinta comienzan a estar maduras a los 77cm de LT, valor que esta 10 cm por encima de la LT de la hembra madura más pequeña (66.5cm) encontrada en el presente estudio. La talla media de madurez (L50%) estimada para las hembras de guitarra pinta del Golfo de California fue de 69cm de LT lo cual corresponde al 71% de la talla máxima reportada para la especie [97 cm TL, (Fisher *et al.* 1995)].

La fecundidad uterina en *Z. exasperata* del Golfo de California varió entre 1 y 13 embriones por hembra con un promedio de siete. Estos valores son consistentes con la fecundidad uterina reportada para otras especies de rhinobátidos (Kyne y Bennett 2002), sin embargo, el límite superior es más alto que el reportado para *Z. exasperata* en la costa occidental de Baja California [fecundidad de 4-11 (Villavicencio-Garayzar 1995)] y la fecundidad media no fue reportada para esa población. Las diferencias en las estimaciones de la media de la fecundidad uterina entre poblaciones pueden ser una consecuencia de la distribución de la frecuencia de tallas de la porción de la población muestreada (Kyne y Bennett 2002) y esto es particularmente relevante en especies que presentan una relación lineal positiva entre la longitud total de la madre y el número de embriones como sucede en *Z. exasperata*. Otro factor que afecta las estimaciones de la fecundidad uterina es el hecho de que en el momento de la captura algunas hembras tienden a abortar a los embriones, sobre todo cuando estos ya están en un estado de desarrollo avanzado, lo cual hace que se subestime el valor de la fecundidad en algunos casos.

#### **4.1. Ciclo reproductivo de *Z. exasperata* en el Golfo de California**

En especies vivíparas, el ciclo reproductivo se caracteriza generalmente por la entrada de toda la población en un evento sincrónico de apareamiento, gestación y nacimientos, sugiriendo que la ovulación puede estar coordinada con los cambios en algún parámetro ambiental (Lutton *et al.* 2005). En el Golfo de California la temperatura superficial del mar (TSM) cambia drásticamente entre estaciones (Lavín y Marinone 2003). En febrero la TSM alcanza su mínimo valor y comienza a incrementarse alcanzando su máximo en Agosto (Soto-Mardones *et al.* 1999, Lavín y Marinone 2003). En las costas de Sonora, los



individuos inmaduros de la guitarra pinta son dominantes durante los meses de otoño (octubre-diciembre), pero en febrero los individuos maduros comienzan a ser el grupo dominante permaneciendo así hasta julio, lo cual indica que esta especie tiene una temporada importante de reproducción (desarrollo embrionario, nacimientos y cópula) durante primavera y verano en esta área. El aumento de los individuos maduros en las capturas durante primavera y verano puede deberse a la migración de estos organismos de aguas más profundas a las someras para su evento reproductivo, el cual puede tener como detonador el cambio en algún factor ambiental como la TSM que se incrementa en la zona justo durante este periodo. Este evento de migración hacia aguas costeras de individuos maduros durante cierta estación del año ha sido descrito anteriormente para *Rhinobatos productus* en las costas de Sonora (Márquez-Farías 2007).

*Zapteryx exasperata* dentro del Golfo de California presenta un ciclo reproductivo anual con una fuerte estacionalidad, al igual que sucede con esta especie en Bahía Almejas en la costa occidental de la Península de Baja California (Villavicencio-Garayzar 1995), sin embargo, se encontraron algunas diferencias entre la reproducción de estas dos poblaciones (Tabla 3). Como en otros rinobatidos (*Rhinobatos granulaus*: (Devadoss 1998); *Aptychotrema rostrata* (Kyne y Bennett 2002), *R. productus*: (Márquez-Farías 2007)) el periodo de gestación en *Z. exasperata* parece durar solo algunos meses (5 meses). Villavicencio-Garayzar (1995) reportó un periodo de gestación de tres a cuatro meses para la guitarra pinta en Bahía Almejas, pero en el presente estudio, para la población del Golfo de California, la presencia de hembras preñadas con capsulas uterinas en febrero y con embriones con talla de nacimiento en Junio (187mm TL) sugieren que el periodo de gestación dura mínimo cinco meses.



**Tabla 3.** Aspectos de la biología reproductiva de *Zapteryx exasperata* en dos áreas del Pacífico Mexicano.

Aspectos reproductivos	AUTOR	
	Villavicencio-Garayzar 1995	Presente estudio
Area de estudio	Costa occidental BCS	Golfo de California
Ciclo reproductivo	un año	un año
Rango talla hembras	60.5- 94cm LT	40-90
Rango talla machos	55.5-83cm LT	40-85
Talla madurez (L50%) machos	No reporta	64cm LT
Talla madurez (L50%) hembras	No reporta	69cm LT
Talla inicial de madurez hembras	77cm LT	66.5cm LT
Fecundidad úterina	4-11	2-13
Diámetro máximo de ovocito	42 mm (Marzo y Abril)	40 mm (Julio)
LT máxima de embrión	163 mm	186 mm
Presencia de ovocitos más grandes	Abril	Junio
Ciclo de vitelogenesis	Agosto- Abril	Febrero-Julio
Periodo de gestación	Abril-Julio	Febrero-Julio
Nacimientos	Julio	Julio
Ovulación y copula	Abril	Julio

Villavicencio-Garayzar (1995) reportó también que la vitelogénesis en las hembras de guitarra pinta de Bahía Almejas no se llevaba a cabo al mismo tiempo que el periodo de gestación, ya que las hembras presentaron el valor máximo del diámetro del ovocito durante marzo y abril, por tanto él sugiere que la ovulación y cópula de la guitarra pinta en esta área tiene lugar en abril, mes en el cual empieza el periodo de gestación. Sin embargo, el desarrollo sincronizado de los ovocitos y los embriones (febrero-julio, Figura 21) encontrado en el presente estudio, sugiere que inmediatamente después del parto (junio-julio) se lleva a cabo la ovulación, cópula y fertilización. Este fenómeno de la vitelogenesis ocurriendo simultáneamente con la gestación ha sido reportado anteriormente para otras especies de rhinobátidos (Abdel-Aziz *et al.* 1993, Capapé y Zaouali 1994, Devadoss 1998, Ismen *et al.* 2007, Márquez-Farías 2007).

La diapausa embrionaria es un evento durante el cual después de la fertilización del óvulo se da una pausa en el desarrollo de los embriones por un periodo de tiempo después del cual se vuelve a activar el desarrollo embrionario. Este evento a sido reportado para rhinobátidos como consecuencia de condiciones ambientales desfavorables (Capapé *et al.* 1997) o debido a la segregación por sexos cuando las poblaciones se agregan sólo por periodos cortos de tiempo para los nacimientos y la cópula (Kyne y Bennett 2002). Las condiciones favorables para los individuos recién nacidos pueden ocurrir sólo en una



misma estación cada año y dado que el periodo del desarrollo embrionario es menor a 12 meses, los embriones pueden entrar en diapausa (Kyne y Bennett 2002). La ocurrencia de la vitelogenesis en paralelo con el desarrollo embrionario en la guitarra pinta del Golfo de California sugieren que los nacimiento y la cópula tienen lugar durante verano, pero sólo hasta el siguiente año durante febrero se encuentran en el área hembras con embriones en desarrollo. Lo anterior puede ser evidencia de un evento de diapausa embrionaria en esta especie en el Golfo de California entre los meses de agosto y febrero (6 meses) pero debido a la falta de hembras maduras en las capturas durante estos meses el presente estudio no puede concluir a este respecto.

Kyne y Bennett (2002) propusieron la división de los rhinobatidos en dos grupos basándose en las características de la reproducción de las especies, en ese trabajo los autores basándose en la única información existente sobre la reproducción de *Z. exasperata* (Villavicencio-Garayzar 1995) incluyen a esta especie dentro del grupo de especies en las cuales la vitelogenesis y la gestación no ocurren de forma sincronizada. Sin embargo, en el presente estudio se observó que la vitelogenesis y la gestación sí están sincronizadas en la población de *Z. exasperata* del Golfo de California, por tanto se considera que el agrupamiento propuesto por estos autores debe ser reevaluado.

La pesquería de *Z. exasperata* (Capítulo 1) y otras especies de rayas (Bizzarro *et al.* 2007b) dentro del Golfo de California es fuertemente estacional presentando las mayores capturas durante primavera y verano. Este periodo de abundante captura coincide con la temporada de reproducción (gestación, nacimiento y copula) de *Z. exasperata* en las costas de Sonora lo que afecta negativamente a esta población, resultado que es importante para tener en cuenta por las instancias gubernamentales encargadas del manejo de esta pesquería para generar medidas que regulen esta actividad antes de que la población de esta especie en la región colapse. El resultado del presente estudio en conjunto con la determinación de la edad y crecimiento permitirá modelar la demografía de la especie y determinar tanto su productividad como su nivel de resiliencia a la pesca (Cortés 1998).



## VI. ECOLOGÍA TRÓFICA

### 1. INTRODUCCIÓN

Los elasmobranquios son considerados depredadores tope de los ecosistemas marinos (Ellis *et al.* 1996), lo cual hace importante la información sobre la composición de sus dietas para entender las relaciones tróficas y los flujos de energía dentro de los ecosistemas que estos ocupan. Así mismo, esta información sirve para entender la historia natural, la función en el ecosistema marino y el impacto en la depredación, de una especie en particular. Conocer lo que una especie come puede proveer información sobre su distribución y su posición en las cadenas tróficas (Cortés 1999), así como el entender las interacciones tróficas de un depredador puede ser crucial para el desarrollo de estrategia de manejo (Robinson *et al.* 2007).

Conocer la ecología trófica de una especie que ocupa niveles tróficos altos, como la mayoría de los elasmobranquios, es de vital importancia; debido a que la reciente disminución a nivel mundial de sus poblaciones puede causar efectos a nivel del ecosistema en la composición de especies y la diversidad (Pauly *et al.* 1998). La importancia que tienen los elasmobranquios en las cadenas tróficas ha sido bien ilustrado en diferentes estudios; en Australia un componente importante en la mortalidad natural de especies comerciales de peneidos fue la depredación por elasmobranquios (Blaber *et al.* 1990). Así mismo, los batoideos juegan un papel importante en las redes tróficas de las comunidades demersales y pueden impactar de manera negativa especies de peces con valor comercial, debido a interacciones ecológicas como la competencia y depredación (Link *et al.* 2002).

A pesar de la importancia que las relaciones tróficas tienen para entender, la dinámica de las redes tróficas, la estructura de las comunidades y la transferencia de energía en los ecosistemas marinos, es poco lo que se conoce sobre la ecología trófica de la mayoría de elasmobranquios (Wetherbee y Cortés 2004). Lo anterior es especialmente importante para el grupo de los batoideos, ya que hasta el momento son pocas las especies de rayas en las que se ha estudiado la dieta, sin embargo estos pocos estudios han servido para conocer algunos aspectos de la alimentación en este grupo de peces. Por sus hábitos



benfónicos la mayoría de los batoideos se alimentan de organismos del fondo, principalmente de crustáceos (Harris *et al.* 1988, White *et al.* 2004, Rinewalt 2007), aunque en algunas especies se ha encontrado que los peces son el componente principal de la dieta (Morato *et al.* 2003, Robinson *et al.* 2007). La segregación sexual es común en las especies de elasmobranquios; dentro de las cuales *Z. exasperata* es una de las especies en las que se reporta una fuerte segregación (Ebert 2003). Esta segregación hace que hembras y machos se distribuyan en área distintas en las que existen diferentes presas disponibles, por tanto es de esperarse que las dietas entre machos y hembras sean diferentes.

Los contenidos estomacales han sido ampliamente utilizados para conocer la dieta y asignar el nivel trófico de algunas especie de elasmobranquios (Cortés 1999, Ebert y Bizarro 2007). Sin embargo, en la mayoría de los casos este método puede dar apreciaciones erróneas de la dieta y proveer solo una imagen puntual del alimento ingerido recientemente por los organismos. Diferentes aspectos pueden hacer que el análisis de los datos obtenidos por el método de contenidos estomacales sea equivocado, algunos de estos son: Las diferentes tasas de digestión de las presas lo cual dificulta la identificación, los cambios estacionales, la incidencia de estómagos vacíos y las presas poco frecuentes (Fisk *et al.* 2002).

Debido a estas dificultades el análisis de isótopos estables se ha convertido en una herramienta poderosa en las investigaciones de ecología trófica en las últimas dos décadas (Jennings *et al.* 2002). Este método puede reducir muchas de las incertidumbres que deja el análisis de contenidos estomacales y provee información sobre los flujos de energía y la estructura de la red trófica (Jennings *et al.* 2002).

La isotopía estable se basa en que los tejidos de un organismo se forman principalmente a partir de los átomos del alimento asimilado, y por lo tanto, la composición isotópica del consumidor es reflejo del alimento (DeNiro y Epstein 1978, Fry 1988). Los isótopos de Carbono (C) y Nitrógeno (N) son los más frecuentemente utilizados en estudios ecológicos y han permitido estimar el flujo de energía a través de las cadenas alimenticias marinas (Rau *et al.* 1983, France 1995, Clementz y Koch 2001). Este análisis implica cuantificar el enriquecimiento del isótopo más pesado sobre el más ligero de C y N a través de la dieta (Peterson y Fry 1987) del organismo al cual se esté estudiando. Los



isótopos de C y N aportan información de la dieta a largo plazo (3 meses) y permiten conocer el origen de las presas que consume un depredador.

El enriquecimiento de los isótopos estables en el organismo depende de las tasas anabólicas y catabólicas diferenciales propias del individuo y del tejido que se está utilizando (DeNiro y Epstein 1978, Owens 1987). Existe un fraccionamiento dado por las transformaciones biológicas del organismo y de las diferencias en el peso atómico del isótopo más pesado con respecto al ligero. El resultado de dichas diferencias genera señales que son incorporadas dentro de los consumidores al asimilar la materia orgánica (Peterson y Fry 1987, Fry 1988).

El análisis del isótopo de Nitrógeno asume que el consumidor excreta  $^{14}\text{N}$  preferiblemente, enriqueciendo su tejido con  $^{15}\text{N}$  con respecto a su alimento, este proceso es conocido como “fraccionamiento”. Muchos estudios realizados en ecosistemas acuáticos han observado un fraccionamiento de 2.5 ‰ –3.8 ‰ en  $\delta^{15}\text{N}$  por nivel trófico (Hobson y Welch 1992, Post 2002). Así mismos el fraccionamiento en el isótopo de Carbono entre la presa y su depredador es  $\pm 1$  ‰, por tanto la señal del isótopo de Carbono se conserva desde los productores hasta el depredador tope de una red trófica, esto lo convierte en un indicador importante de la fuente de producción primaria de dicha red y se puede utilizar para distinguir entre patrones de alimentación costeros u oceánicos (Hobson y Welch 1992, France 1995).

El nivel trófico (NT) es una forma de clasificar a los animales de acuerdo con sus relaciones alimenticias en un ecosistema. Al fitoplancton y las algas se les asigna usualmente un NT de 1, a los consumidores de plantas o detritos un NT de 2, y para los carnívoros el NT está entre 3 y 5 (Hobson y Welch 1992). La mayoría de elasmobranchios ocupan niveles tróficos altos (>4) como depredadores tope de los ecosistemas marinos, compartiendo este nivel con otros grupos de vertebrados como mamíferos marinos y peces óseos (Pauly *et al.* 1998, Cortés 1999, Ebert y Bizzarro 2007).



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Análisis de la dieta

Durante la fase de campo los organismos capturados en la pesquería se abrieron en la zona ventral extrayendo los tractos digestivos y determinando el porcentaje de llenado del estómago, para lo cual se agruparon en 4 categorías de llenado de acuerdo a Stillwell y Kohler (1982): 1–25% (categoría 1), 26–50% (categoría 2), 51–75% (categoría 3) y 76–100% (categoría 4), considerando que el contenido alimenticio puede ser expresado como una proporción de la capacidad de llenado. Posteriormente se depositaron los restos alimenticios en frascos debidamente etiquetados y se conservaron en alcohol al 96% para su posterior análisis en el laboratorio.

Para analizar los contenidos estomacales se procedió a separar las diferentes especies presas de acuerdo al grupo taxonómico, identificándose hasta el mínimo taxón posible, dependiendo del estado de digestión de éstas. El grado de digestión fue dividido en 4 categorías: estado de digestión 1 a aquellas presas que eran identificables presentando todas sus estructuras; el estado de digestión 2 a los organismos con pérdida de alguna estructura corporal (e. g. peces sin escamas, crustáceos sin quelas etc). El estado 3 fue considerado a presas que solo presentaban vértebras o partes aisladas del cuerpo, y el estado de digestión 4, se le asignó a la presencia de estructuras rígidas muy poco digeribles de las presas como otolitos en peces, picos de cefalópodos, etc.

Los peces fueron identificados taxonómicamente por medio del esqueleto axial y apendicular para lo cual se utilizaron los trabajos de Clothier (1950) y Miller y Jorgensen (1973) para conteos vertebrales. Asimismo se utilizó la colección de esqueletos de peces del Laboratorio de Ecología de peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Mientras que para organismos con nulo o poco estado de digestión, se utilizaron las claves de Miller y Lea (1972), Allen y Robertson (1994), Fisher *et al.* (1995) y Thomson *et al.* (2000).

La identificación de los moluscos cefalópodos se realizó mediante el pico basándose en los trabajos de Clarke (1962, 1986) e Iverson y Pinkas (1971) y Wolf (1982, 1984). Los crustáceos se identificaron por medio de las claves propuestas por Brusca (1980) y Fischer *et al.* (1995).



Se utilizó el método de curvas acumulativas de especies (presas) con el fin de determinar si el número de muestras de estómagos que se colectaron era adecuado para describir de forma precisa la dieta de *Z. exasperata* y hacer las comparaciones entre los grupos de sexo, estado de madurez y talla. Este método se basa en el hecho de que a medida que el tamaño de muestra aumenta, la variación y la riqueza de especies presa tiende a disminuir, y por tanto la curva alcanza una asíntota ya que nuevos tipos de presa son incluidos en la dieta solo esporádicamente (Ferry y Cailliet 1996). La curva acumulativa de presas se generó estimándose la riqueza de presas en estómagos seleccionados al azar 500 veces usando el programa Matlab (versión 6.5.0.180913a, The MathWorks, Inc., Natick, MA) para calcular la media y la variabilidad de cada muestra (Adams 2004). Para evaluar si verdaderamente la curva había alcanzado la asíntota y por ende se había alcanzado el número de muestras necesario para la descripción precisa de la dieta, se utilizó el método cuantitativo descrito recientemente por Bizarro *et al.* (2007). Las curvas se calcularon para la especie en general y por cada grupo a comparar (machos, hembras, inmaduros y maduros).

Para el análisis cuantitativo de los contenidos gástricos se utilizaron los siguientes métodos de acuerdo a Pinkas *et al.* (1971) y Cailliet (1986):

- *Método de Frecuencia de Aparición.* Se registró el número de estómagos en los cuales aparece un determinado tipo de presa. Los resultados se expresaron como porcentaje de aparición de una especie con respecto al número total de estómagos.
- *Método Numérico.* Se registraron numéricamente las presas encontradas en un estómago a nivel de clase, orden, familia, especie o grupo. Al analizar los estómagos, se obtuvo el número total de organismos de cada categoría y se expresó en porcentaje.
- *Método Gravimétrico.* Se obtuvo información de la biomasa de las presas consumidas. Cada tipo de alimento se separó y se pesó en una balanza granataria. El peso se refiere al peso total estimado para la totalidad de presas encontradas en los



estómagos y se expresó como un porcentaje del peso total de los contenidos de los estómagos.

Se utilizó el método del Índice de Importancia Relativa (*IIR*) (Pinkas *et al.* 1971). Este índice incorpora los métodos cuantitativos descritos anteriormente por medio de la siguiente fórmula:

$$IIR_i = (P_i + N_i) \times FA_i$$

Donde, P es el porcentaje en peso, N es el porcentaje del número de organismos y FA es el porcentaje de frecuencia de aparición. Este método combinado se utilizará con la finalidad de valorar de una manera integral la importancia de cada tipo de alimento en la dieta de las especies y fue calculado también porcentaje (*%IIR*) según la siguiente fórmula (Cortés 1997):

$$\% IIR_i = \frac{100 \times IIR_i}{\sum_{i=1}^n IIR_i}$$

Con el fin de describir la variación temporal y por grupo (hembras, machos, juveniles y adultos) en la diversidad de las presas, se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Krebs 1999):

$$H' = - \sum_{j=1}^s P_j \ln P_j$$

donde  $P_j$  = es la proporción de  $i$  especies, con relación a la suma de todas las especies presa. Para el análisis de los datos se agruparon a los individuos según el sexo y su estado de madurez (inmaduro o juvenil y maduro o adulto).

Se calculó la amplitud de la dieta ( $Bi$ ), utilizando el índice estandarizado de Levin (Krebs 1999):

$$Bi = \frac{1}{\sum P_{ij}^2 - 1} - 1$$



Donde,  $B_i$  es el índice de Levin para el depredador  $i$ ,  $P_{ij}$  es la proporción de la dieta del depredador  $i$  que utiliza la presa  $j$  y  $n$  es el número de categorías de las presas. Este índice asume los valores de 0 a 1. Cuando los valores de  $B_i$  son cercanos a cero ( $<0.6$ ), el depredador se considera especialista, esto es, que utiliza un número bajo de recursos y presenta una preferencia por ciertas presa. Cuando los valores son cercanos a uno ( $>0.6$ ), su espectro es generalista, es decir, utiliza todos los recursos sin ninguna selección.

Así mismo, para evaluar el traslape de dietas entre estados de madurez y sexos, se aplicó el índice de Morisita-Horn (Krebs 1999) utilizando los datos de %IIR de las presas de cada grupo:

$$C\lambda = \frac{2 \sum_{i=1}^n (P_{xi} * P_{yi})}{\left( \sum_{i=1}^n P_{xi} + \sum_{i=1}^n P_{yi}^2 \right)}$$

Donde,  $C\lambda$  es el índice de Morisita-Horn de sobreposición entre depredador  $x$  y depredador  $y$ ,  $P_{xi}$  es proporción de la presa  $i$  (%IIR) del total de presas usadas por el depredador  $x$ ,  $P_{yi}$  es la proporción de la presa  $i$  (%IIR) del total de las presas usadas por el depredador  $y$  y  $n$  es el número total de presas. Este índice varía entre cero y uno, y se considera como una sobreposición biológicamente significativa cuando el valor excede a 0.60, de 0.30 a 0.59 una sobreposición baja y de 0.0 a 0.29 se considera que no hay sobreposición (Langton 1982).

## **2.2. Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno**

Para realizar el análisis de isótopos estables de *Z. exasperata*, se colectaron muestras de músculo de la parte dorsal del individuo, las cuales fueron etiquetadas y congeladas para su traslado al laboratorio. De las muestras de músculo colectadas en campo se escogieron 91, tomando en cuenta el mes de colecta, la LT del individuo, el sexo y la madurez sexual (Tabla 4). Se tomaron muestras de algas, crustáceos y peces del área de estudio para comparar los valores isotópicos.



**Tabla 4.** Número de muestras seleccionadas por mes, sexo (H: hembras, M: machos) y estado de madurez (j: juveniles, a: adultos, p: hembras preñadas) para el análisis de isótopos estables en músculo de *Z. exasperata*.

MES	H			M		Total
	j	a	p	j	a	
Enero	1					1
Febrero	1	4		3	2	10
Marzo	4	4		4	5	17
Abril	4	4		4	4	16
Mayo	3	2	4	5	4	18
Junio	3	3	4	3	5	18
Diciembre	4			5	2	11
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>91</b>

Las muestras fueron colocadas en viales de vidrio previamente lavados y esterilizados. También se colectaron muestras de 8 especies de peces, 3 de macroalgas y una de jaibas del área de estudio, con el fin de tener valores de referencia en el posterior análisis de los datos. Se realizó la extracción de humedad del músculo mediante una Liofilizadora marca LABCONCO a  $-45^{\circ}\text{C}$  a una presión de 24 a 27 x 10<sup>-3</sup>MBAR y posteriormente se procedió a la extracción de lípidos para la cual se utilizó un horno de microondas (Microwave Assisted Extraction-MAE modelo 1000 CEM, Matthews, NL) con temperatura y presión controlada agregando una solución de cloroformo-metanol 1:1. A continuación las muestras de músculo se secaron en un horno a 60°C por 48 horas y posteriormente se molieron en un mortero de ágata. De cada muestra molida se pesó 0.001g en una balanza analítica OHAUS con precisión de 0.0001g y se colocó en cápsulas de estaño de 8 x 5 mm.

Las muestras previamente procesadas y pesadas se enviaron a la Universidad de California en Davis, CA. Las proporciones de isótopos estables de carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = \delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N} = \delta^{15}\text{N}$ ) fueron medidas en un espectrómetro de masas de razones isotópicas. Las razones de isótopos fueron comparadas con gases estándares ( $1.1237 \times 10^{-2}$  para el  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y  $3.677 \times 10^{-3}$  para  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) inyectados directamente dentro del espectrómetro de masas, antes y después de que se calcularon los valores promedios de las muestras, así como los  $\delta^{15}\text{N}$  (AIR) y  $\delta^{13}\text{C}$  (PDB).

Los valores de  $\delta$  se calcularon mediante la siguiente fórmula:



$$\delta X(\text{‰}) = \left[ \left( \frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

Las pruebas estadísticas de los datos se realizaron utilizando los programas, Statistica 6.0 y SigmaPlot 8.0. La Normalidad fue evaluada utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors y como los datos de ambos isótopos se distribuyeron normalmente ( $d = 0.067$   $p > 0.2$  para  $\delta^{15}\text{N}$  y  $d = 0.058$   $p > 0.2$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ) se utilizó la prueba ANOVA de una vía, para determinar si existen diferencias significativas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre sexos y categorías de madurez (inmaduros y maduros). Además se realizó la prueba *post hoc* de Bonferroni para determinar la diferencias entre los grupos de talla. Se asumió un nivel de significancia de 0.05, por tanto la hipótesis nula fue rechazada si el valor de  $p$  fue  $< 0.05$ .

### 2.3. Nivel Trófico

El nivel trófico (NT) de *Z. exasperata* se estimó utilizando tanto la información obtenida con los contenidos estomacales como con los valores del  $\delta^{15}\text{N}$ . Para los datos de contenidos estomacales se utilizó el método propuesto por Cortes (1999):

$$NT_k = 1 + \left( \sum_{j=1}^{11} P_j \times NT_j \right)$$

Donde,  $NT_j$  es el nivel trófico de cada categoría de presa  $j$ . Los valores de los niveles tróficos de las categorías de presa fueron tomados de Cortés (1999).

La estimación del nivel trófico por medio de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se llevo a cabo usando el método propuesto por Post (2002):

$$Z.exasperataTL = \left[ \left( \delta^{15}N_i - \delta^{15}N_{ref} \right) / \Delta \right] + \lambda$$

Donde  $\delta^{15}N_i$  es el valor de este isótopo para *Z. exasperata*, y  $\delta^{15}N_{ref}$  es el valor de este isótopo para la especie usada como referencia,  $\lambda$  es el nivel trófico de la especie de referencia y  $\Delta$  es el enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  por nivel trófico (Post 2002). Debido a que la especie usada de referencia en la ecuación anterior debe compartir el hábitat con la

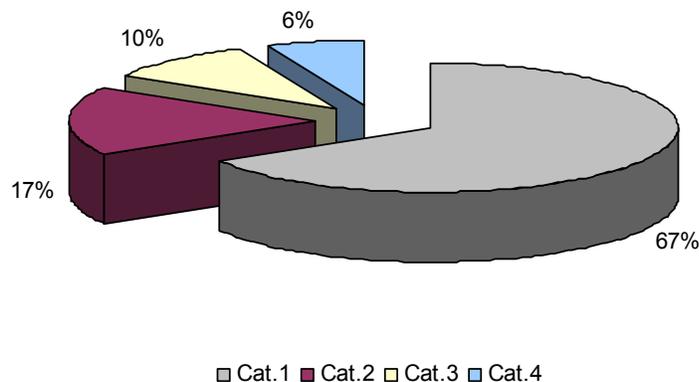


especie a evaluar (Post 2002), se utilizó el valor de  $\delta^{15}\text{N}$  (11.1 ‰) de la lisa (*Mugil cephalus*) para el Golfo de California (Niño-Torres *et al.* 2006) como material de referencia con un nivel trófico de 2.0. Se asumió además un enriquecimiento de ~3.8 ‰ por nivel trófico (Hobson y Welch 1992).

### 3. RESULTADOS

Durante el periodo de muestreo de diciembre de 2004 a Julio de 2005 se colectaron estómagos de 475 individuos con LT entre 41.3 y 90 cm; de los cuales un 76.63% se encontraron vacíos. La mayor incidencia de estómagos vacíos se observó en los individuos juveniles (78.6%) y en las hembras que se encontraron preñadas (92.85%). Así mismo durante el mes de marzo se observó el mayor porcentaje de estómagos vacíos (70%).

De los 111 estómagos en los que se encontró alimento 54.05% fueron de machos y 45.94% de hembras, así mismo 23.42% fueron de individuos juveniles (inmaduros) y 76.57% de individuos adultos (maduros). La mayoría de los estómagos con alimento se encontraron en la categoría 1 (1–25%) de llenado con un 66.36% (Figura 28).

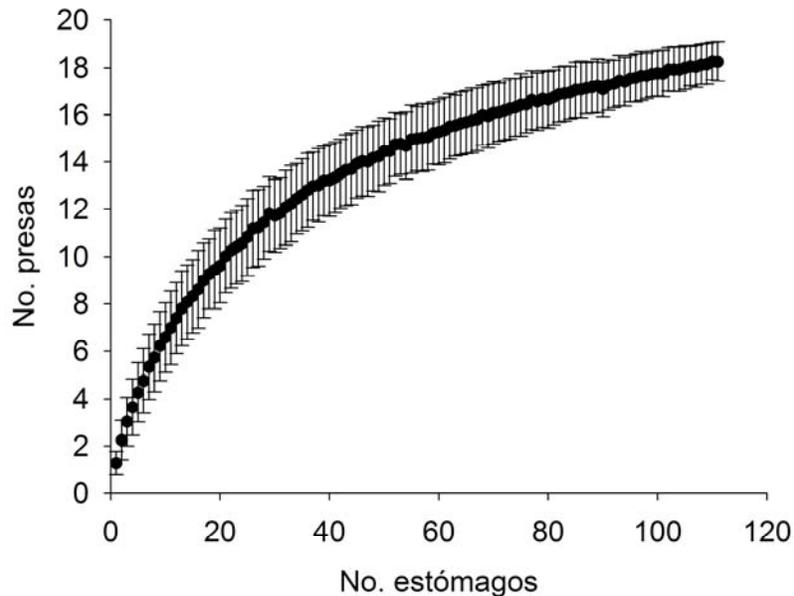


**Figura 28.** Porcentaje de estómagos con alimento de *Z. exasperata* en las diferentes categorías de llenado.

La curva acumulativa de presas encontradas en la dieta de *Z. exasperata* no mostró variabilidad en los puntos finales de la curva (t-student,  $p > 0.05$ ), lo cual indica que fue



suficiente el número de muestras procesado para describir adecuadamente la dieta de esta especie (Figura 29).



**Figura 29.** Curva acumulativa de presas encontradas en los contenidos estomacales de los organismos muestreados de *Z. exasperata*.

### 3.1. Descripción de la dieta

En los contenidos estomacales de *Z. exasperata* se encontraron en total 21 tipos de presas de las cuales 11 pertenecieron a la categoría de los peces, 9 a crustáceos y uno a los moluscos. Dentro de las presas se pudieron identificar a nivel de especie 4 peces, 4 crustáceos y un molusco cefalópodo. La categoría principal en la dieta de *Z. exasperata* fue la de los peces dentro de la cual *Porichthys margaritatus* fue la presa más importante seguida por *Engraulis mordax* y *Ophidion galeoides*. Otros peces que se encontraron en la dieta fueron algunos del género *Symphurus* y *Diplectrum* y peces de la familia haemulidae. Para la categoría de los crustáceos, los organismos de la familia Penaeidae fueron los más abundantes seguidos por las jaibas dentro de las cuales en orden de importancia se encontraron, *Callinectes bellicosus*, *Callinectes arcuatus* y *Portunus xantusi*. También dentro de esta categoría se identificaron una especie de estomatópodo y un cangrejo ermitaño (Tabla 5).

En cuanto a la biomasa total calculada para las presas, los peces aportaron un mayor porcentaje (87.6%) de esta, seguidos por los crustáceos (12.02%) y los cefalópodos



(0.34%). *P. margaritatus* fue la especie que aportó el mayor porcentaje en biomasa (63.79%), seguida por *E. mordax* (6.84%) y *O. galeoides* (6.35%). La especie más frecuente en los contenidos estomacales de *Z. exasperata* fue *P. margaritatus* encontrándose en el 54.05% de los estómagos analizados (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores del índice de frecuencia de aparición (FA), numérico (N), gravimétrico (W) y de importancia relativa (IIR) para los tipos de presas encontradas en los contenidos estomacales de *Z. exasperata*.

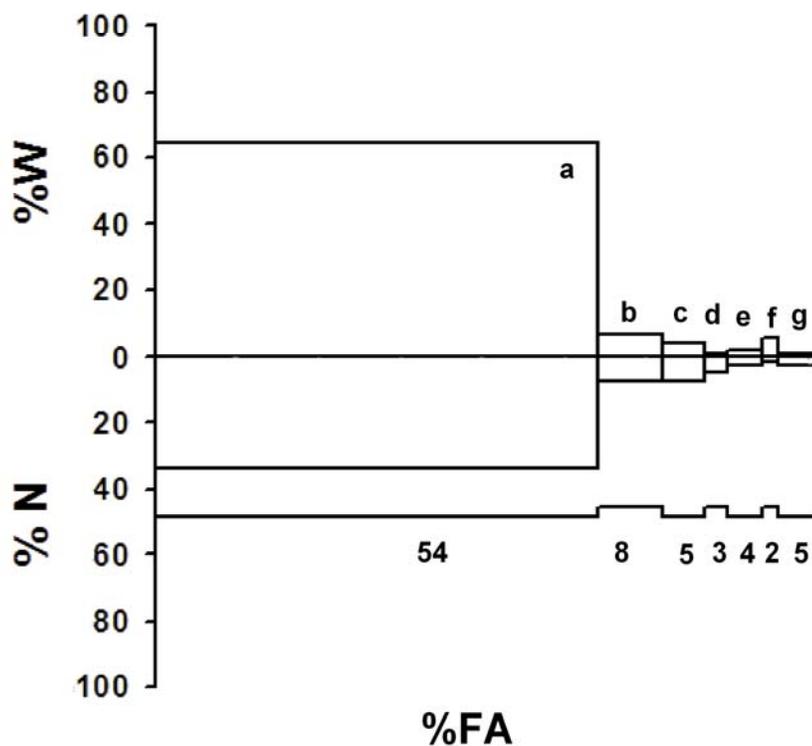
<b>Categorías de la dieta</b>		<b>F (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>W (%)</b>	<b>IRI</b>	<b>%IRI</b>
<b>Camarones</b>	Penaeidae	4.50	7.53	3.45	49.44	0.855
	<b>Total</b>	<b>4.50</b>	<b>7.53</b>	<b>3.45</b>	<b>49.44</b>	<b>0.855</b>
<b>Jaibas</b>	<i>Callinectes arcuatus</i>	3.60	3.23	1.92	18.55	0.321
	<i>Callinectes bellicosus</i>	5.41	4.30	1.53	31.50	0.544
	<i>Portunus xantusii</i>	2.70	4.84	0.74	15.09	0.261
	Portunidae	5.41	3.23	0.94	22.50	0.389
	<b>Total</b>	<b>17.12</b>	<b>15.59</b>	<b>5.13</b>	<b>87.64</b>	<b>1.51</b>
<b>Otros crustaceos</b>	<i>Squilla mantoidea</i>	1.80	1.61	0.54	3.88	0.067
	Diogenidae	0.90	0.54	2.42	2.67	0.046
	Restos no identificados	3.60	15.59	0.48	57.93	0.990
	<b>Total</b>	<b>6.30</b>	<b>17.74</b>	<b>3.44</b>	<b>64.48</b>	<b>1.10</b>
<b>Peces demersales</b>	<i>Symphurus sp.</i>	3.00	1.80	1.41	5.45	0.094
	<i>Porichthys margaritatus</i>	54.05	34.41	63.79	5308.22	91.756
	<i>Diplectrum sp.</i>	0.90	0.54	1.56	1.89	0.033
	<i>Ophidion galeoides</i>	1.80	1.61	6.35	14.34	0.248
	Pleuronectiformes	0.90	0.54	0.14	0.61	0.010
	Haemulidae	0.90	0.54	0.28	0.74	0.013
	<b>Total</b>	<b>61.56</b>	<b>39.44</b>	<b>73.53</b>	<b>5331.24</b>	<b>92.15</b>
<b>Peces pelágicos</b>	<i>Engraulis mordax</i>	8.11	7.53	6.84	116.47	2.013
	<i>Scomber japonicus</i>	0.90	0.54	2.22	2.48	0.043
	Engraulidae	4.50	2.69	1.59	19.29	0.333
	Restos no identificados	13.51	8.60	3.46	162.98	2.780
	<b>Total</b>	<b>27.02</b>	<b>19.35</b>	<b>14.11</b>	<b>301.22</b>	<b>5.17</b>
<b>Cefalopodos</b>	<i>Loliolopsis diomedae</i>	0.90	0.54	0.34	0.79	0.014
	<b>Total</b>	<b>0.90</b>	<b>0.54</b>	<b>0.34</b>	<b>0.79</b>	<b>0.014</b>

De acuerdo al %IIR la especie presa más importante en la dieta de *Z. exasperata* fue *P. margaritatus* (91.76%) y en segundo lugar *E. mordax* (2.01%) (Tabla 5 y Figura 30).

La mayoría de las presas se encontraron en un estado de digestión avanzado dificultando para ciertos grupos la identificación a nivel de especie. Los individuos del grupo de los peces se encontraron en su mayoría en un estado de digestión tres, mientras que los pequeños crustáceos (familia Penaeidae) se encontraron en un estado cuatro de digestión lo que imposibilitó su identificación. Algunas especies de peces y crustáceos presentaron



individuos en estado uno y dos (*P. margaritatus*, *E. mordax*, *C. arcuatus*, *C. bellicosus*, *S. mantoidea*) lo que permitió una correcta identificación y además ayudo a generar muestras de referencia para la identificación de los contenidos en mayor grado de digestión con la ayuda de estructuras como los otolitos, vértebras, opérculos, quelas, e.t.c. Debido a lo anterior las presas encontradas en la dieta de *Z. exasperata* se agruparon en las siguientes seis categorías con el fin de eliminar errores en el análisis asociado a comparaciones basadas en niveles taxonómicos variables en la identificación de estas (Cortés 1997): peces demersales, peces pelágicos, jaibas, camarones, otros crustáceos y cefalópodos (Tabla 5).

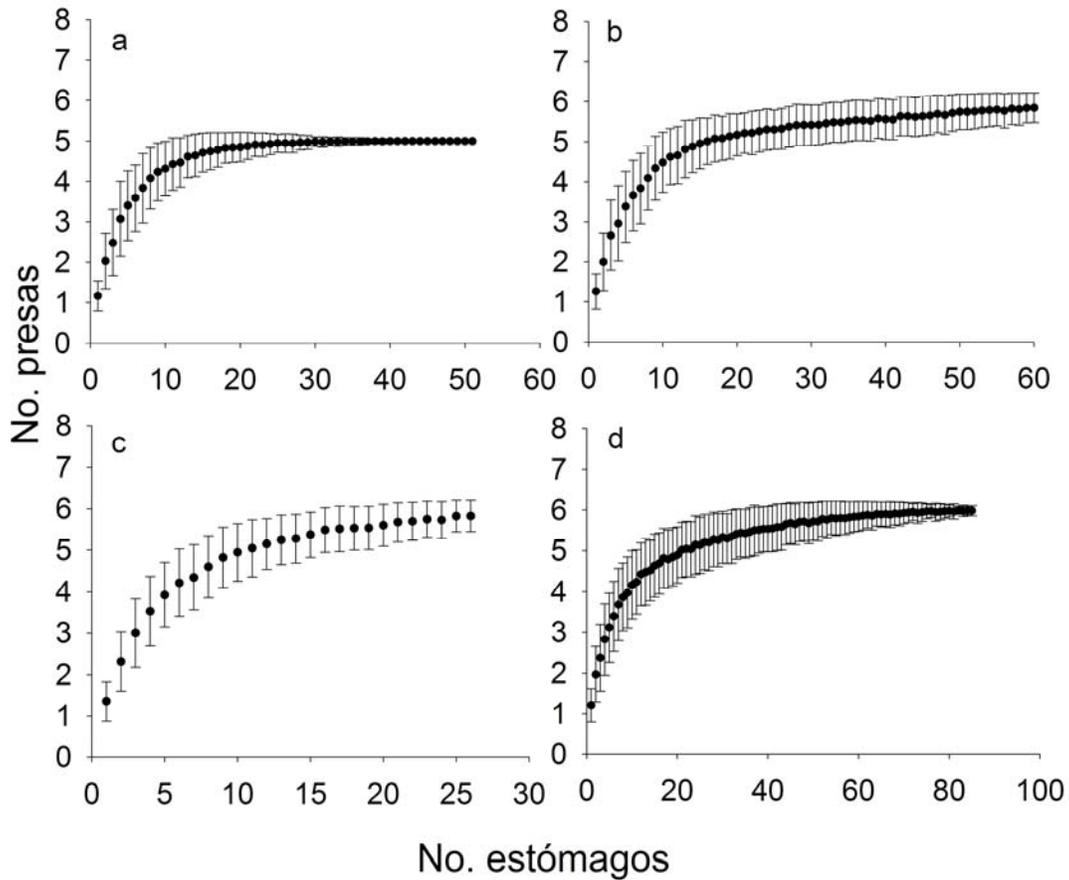


**Figura 30.** Índice de importancia relativa (%) y valores del %N, %W y %FA de las principales presas consumidas por *Z. exasperata*. a. *Porichtys margaritatus*, b. *Engraulis mordax*, c. Peneidae d. *Portunus xantusii* e. *Callinectes arcuatus* f. *Ophidion galeoides* g. *Callinectes bellicosus*

Después de agrupar las presas en las categorías anteriormente mencionadas se efectuaron las curvas acumulativas de presas encontradas en los estómagos de hembras, machos, juveniles y adultos por separado, encontrándose que todas alcanzaron una asíntota y no mostraron variabilidad en los puntos finales de la curva ( $p > 0.05$ ), lo cual

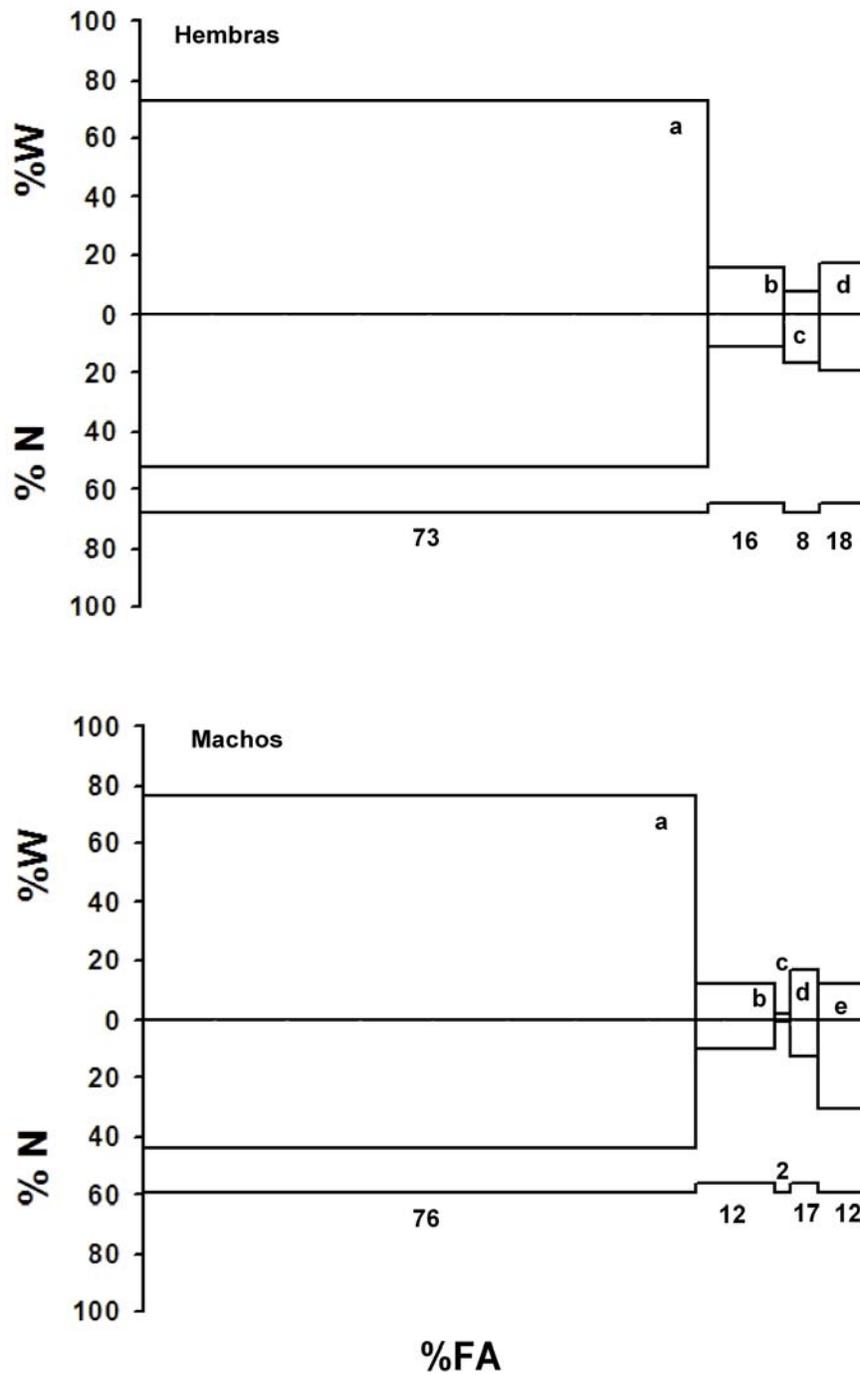


indica que fue suficiente el número de muestras procesado para describir y comparar adecuadamente la dieta por cada uno de estos grupos escogidos (Figura 31).



**Figura 31.** Curva acumulativa de presas encontradas en los contenidos estomacales de hembras (a), machos (b), juveniles ambos sexos (c) y adultos ambos sexos (d) de *Z. exasperata*.

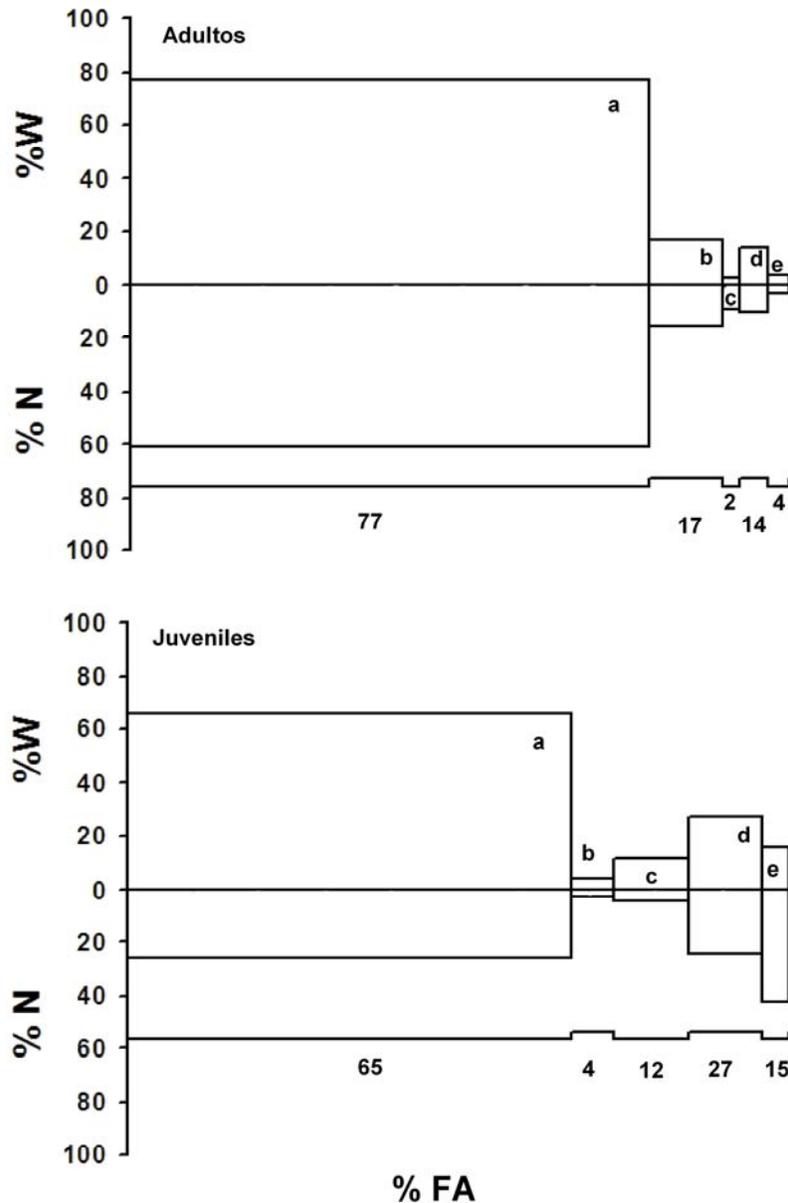
La dieta de hembras presentó un menor número de categorías de presas (cuatro) que los machos (seis). La presa más importante en la dieta de ambos sexos fueron los peces demersales (84.92 %IIR en hembras y 86.36 %IIR en machos), siendo *P. margaritatus* la especie más importante dentro de esta categoría. La importancia de las otras categorías varió, aunque no muy ampliamente, con respecto al sexo, en hembras la segunda especie en importancia en la dieta fueron las jaibas (5.76%IIR), seguidas por los peces pelágicos (4.41 %IIR), mientras que en los machos la segunda en importancia fue la de otros crustáceos (5.43%) que no se encontró en los estómagos de las hembras y estuvo seguida de las jaibas (3.52 %IIR) (Figura 32).



**Figura 32.** Índice de importancia relativa (%) y valores del %N, %W y %FA de los principales grupos de presas consumidas por hembras y machos de *Z. exasperata*. a. peces demersales, b. peces pelágicos, c. camarones, d. jaibas y e. otros crustáceos



Entre juveniles y adultos la categoría más importante en la dieta también fueron los peces demersales con *P. margaritatus* como la especie más importante, sin embargo, esta categoría fue mucho más importante en la dieta de los adultos (90.17 %IIR) que en la de juveniles (60.15 %IIR). Los portunidos (15.68 %IIR) y la categoría de otros crustáceos (11.56 %IIR) tuvieron una mayor importancia en la dieta de los juveniles que en la de los adultos en la cual representaron menos del 5% de la dieta (Figura 33).



**Figura 33.** Índice de importancia relativa (%) y valores del %N, %W y %FA de los principales grupos de presas consumidas por juveniles y adultos de *Z. exasperata*. a. peces demersales, b. peces pelágicos, c. camarones, d. jaibas y e. otros crustáceos



El índice de Levin calculado para *Z. exasperata* presentó un valor de 0.11. Este índice fue calculado por separado para hembras y machos; juveniles y adultos, presentando valores similares, aunque las hembras presentaron el valor más alto ( $B_i = 0.16$ ) (Tabla 6).

El índice de Morisita-Horn presentó valores cercanos a uno,  $C\lambda=0.99$  para la comparación entre hembras y machos y  $C\lambda=0.95$  entre individuos juveniles y adultos. En cuanto a la diversidad en la dieta se encontró un valor bajo ( $H'=2.32$ ) al analizar la dieta en general para la especie, igualmente al separar por sexo y estado de madurez se encontraron valores bajos en todas las categorías aunque la dieta en los individuos juveniles presentó una diversidad más baja ( $H'=1.7$ ) que en los demás grupos (Tabla 6).

Temporalmente no se observaron variaciones importantes en la dieta de *Z. exasperata*, siendo la presa dominante durante todo el tiempo de muestreo *P. margaritatus*. En cuanto a la diversidad de presas el mayor valor se observó en el mes de Abril ( $H'=2.62$ ) y el menor en el mes de Junio ( $H'=1.11$ ).

**Tabla 6.** Valores de los índices ecológicos cuantificados para la dieta de *Z. exasperata* en el área de estudio.

INDICES	Levin Amplitud	Shannon-Wiener Diversidad	Morisita Traslape
<b>General</b>	<b>0.11</b>	<b>2.32</b>	
Males	0.08	1.9	
Females	0.16	2.17	
Juveniles	0.13	1.7	
Adults	0.10	2.05	
Machos vs Hembras			0.99
Juveniles vs Adultos			0.95

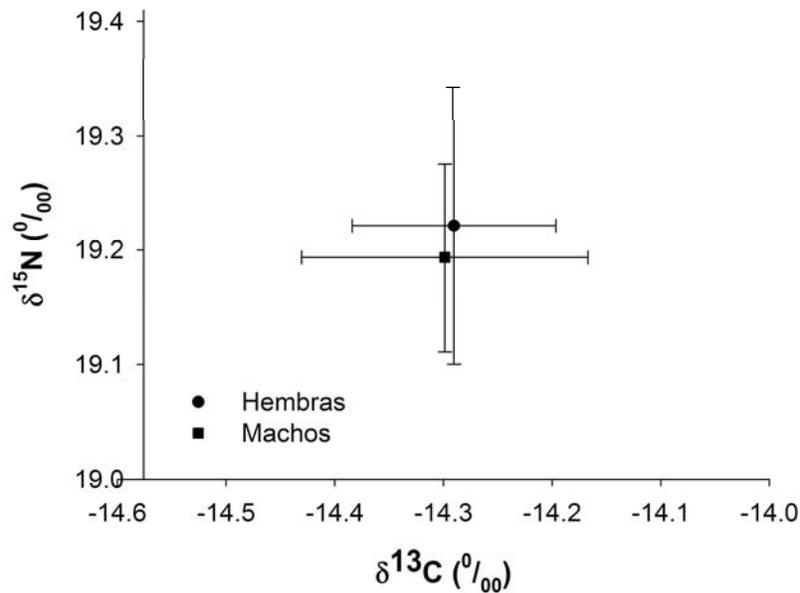
### 3.2. Análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno

Un total de 41 hembras y 46 machos de *Z. exasperata* en un intervalo de talla de 41–87 cm de LT fueron utilizados para el análisis de isótopos estables de Carbono y Nitrógeno. Los valores de isótopos en *Z. exasperata* se encontraron entre -15.72 y -13.29‰ (media =  $-14.30 \pm 0.38\%$ ) para  $\delta^{13}\text{C}$ , y entre 18.00 y 19.86‰ (media =  $19.20 \pm 0.34\%$ ) para  $\delta^{15}\text{N}$ . Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para las otras especies analizadas se resumen en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en algunas especies presentes en el área de estudio.

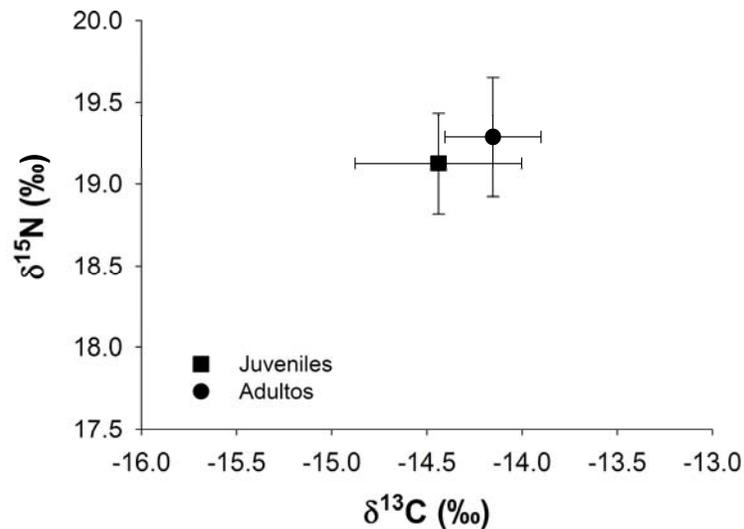
<b>Especie</b>	<b>Grupo</b>	<b>N</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math> ‰ media <math>\pm</math>DE</b>	<b><math>\delta^{15}\text{N}</math> ‰ media <math>\pm</math>DE</b>
<i>Hypnea musciformis</i>	Algas	2	-15.9 $\pm$ 0.8	16.2 $\pm$ 0.6
<i>Gracilaria andersoni</i>	Algas	1	-16.2	14.8
<i>Cladophora microcladioides</i>	Algas	2	-14.3 $\pm$ 1.4	14.2 $\pm$ 3.2
<i>Padina durvillaei</i>	Algas	1	-11.8	13.2
<i>Arenaeus mexicanus</i>	Cangrejos	2	-11.5 $\pm$ 1.1	15.4 $\pm$ 1.2
<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	Peces	3	-13.0 $\pm$ 0.6	18.6 $\pm$ 0.4
<i>Leurethes sardine</i>	Peces	1	-12.6	15.5
<i>Albula vulpes</i>	Peces	2	-13.9 $\pm$ 0.04	18.3 $\pm$ 0.1
<i>Balistes polylepis</i>	Peces	3	-14.3 $\pm$ 0.2	18.5 $\pm$ 0.4
<i>Sphoeroides lobatus</i>	Peces	3	-13.0 $\pm$ 0.6	14.8 $\pm$ 1.8
<i>Opisthonema libertate</i>	Peces	2	-16.2 $\pm$ 0.0	16.1 $\pm$ 0.04

Las hembras presentaron un promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-14.23 \pm 0.31\text{‰}$  (intervalo  $-14.99 - -13.52 \text{‰}$ ), y para el  $\delta^{15}\text{N}$  de  $19.22 \pm 0.40 \text{‰}$  (intervalo  $18.27-19.86 \text{‰}$ ), por otro lado los machos presentaron un valor promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-14.29 \pm 0.44 \text{‰}$  (intervalo  $-15.72 - -13.29 \text{‰}$ ), y de  $\delta^{15}\text{N}$  de  $19.19 \pm 0.27\text{‰}$  (intervalo  $18.00-19.58 \text{‰}$ ). La comparación entre los valores de isótopos promedio entre hembras y machos (Figura 34) no mostró diferencias significativas entre sexos para ambos isótopos (ANOVA,  $F = 0.0$   $p = 0.94$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ;  $F = 0.1$   $p = 0.78$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ).



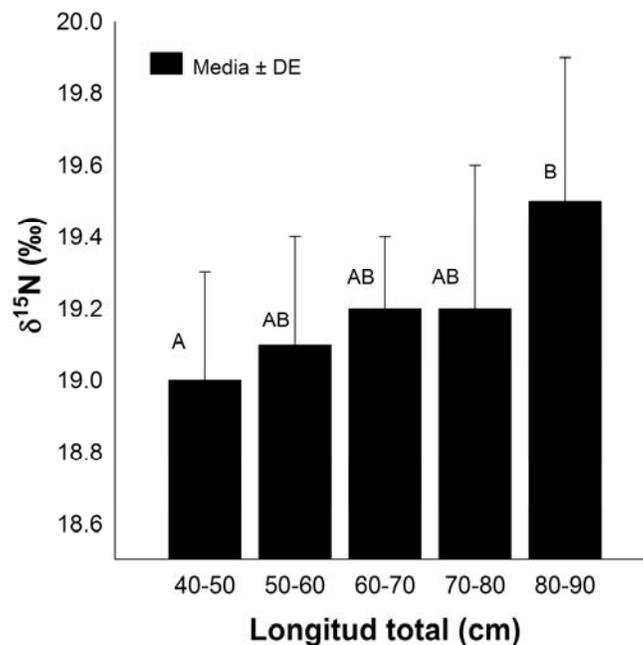
**Figura 34.** Promedio y desviación estándar de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , para hembras (n=45) y machos (n=46) de *Z. exasperata*.

Para los individuos juveniles se encontraron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -15.72 a -13.29 ‰ con un promedio de  $-14.44 \pm 0.43\text{‰}$  y los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se encontraron entre 18.27‰ y 19.77‰ con un promedio de  $19.13 \pm 0.31\text{‰}$ . El  $\delta^{13}\text{C}$  en los individuos adultos se encontró entre -14.66 a -13.52 ‰ con un promedio de  $-14.15 \pm 0.25\text{‰}$  mientras que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se encontraron entre 18.01‰ y 19.86‰ con un promedio de  $19.28 \pm 0.36\text{‰}$  (Figura 35). Los valores de estos dos isótopos presentaron diferencias significativas entre los individuos juveniles y los adultos ( $\delta^{13}\text{C}$  ANOVA,  $F = 13.3$ ,  $p < 0.01$ ;  $\delta^{15}\text{N}$  ANOVA,  $F = 4.7$ ,  $p = 0.03$ ).



**Figura 35.** Promedio y desviación estándar de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , para juveniles (n=44) y adultos (n=47) de *Z. exasperata*.

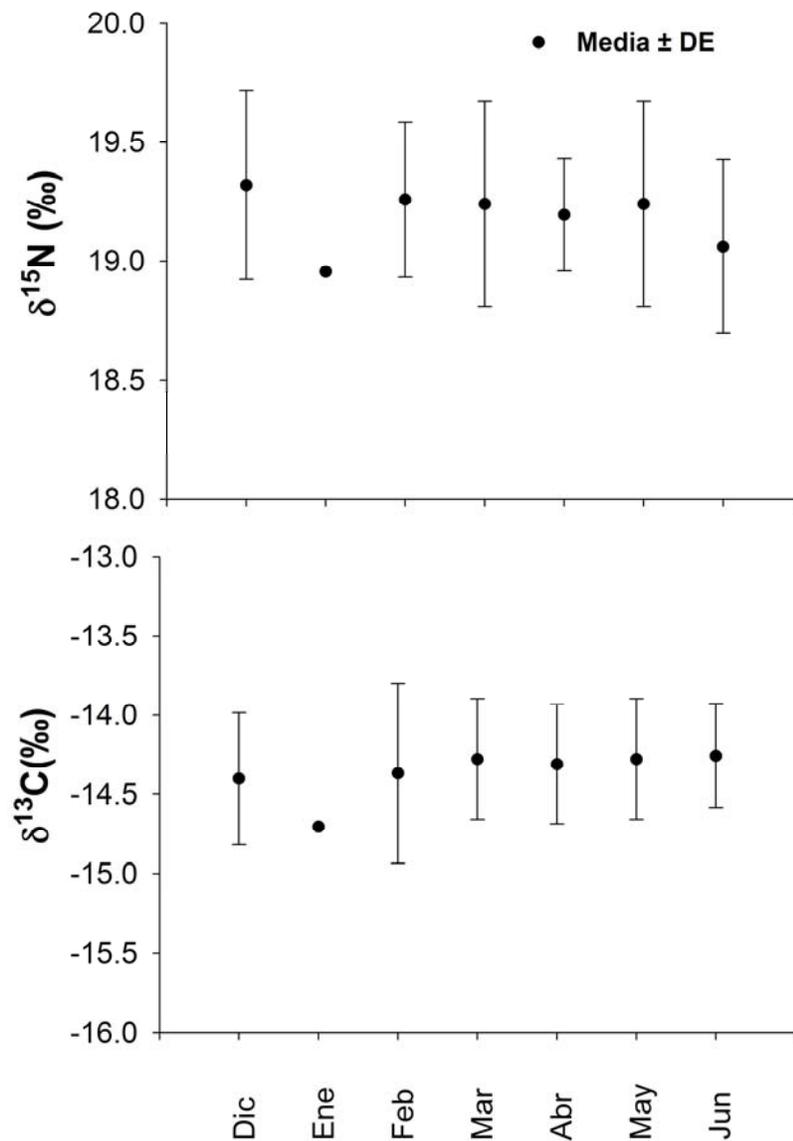
Se observó una tendencia al aumento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  a medida que aumenta la talla de los organismos (ANOVA,  $F = 8.15$   $p = 0.005$ ) (Figura 36). El grupo de talla de 80–90 cm LT tuvo un valor promedio significativamente mayor que el de aquellos individuos en el intervalo de 40–50 cm LT (ANOVA,  $F = 2.5$   $p = 0.04$ ; Bonferroni,  $p = 0.02$ ) (Figura 36).



**Figura 36.** Relación entre longitud total y  $\delta^{15}\text{N}$  para *Z. exasperata*. Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre los grupos de talla (Bonferroni  $p < 0.05$ ).



La comparación de los valores de isótopos entre los meses de muestreo no mostró diferencias significativas para ninguno de los dos elementos analizados [ $\delta^{13}\text{C}$ : ANOVA,  $F = 0.58$   $p = 0.74$  y  $\delta^{15}\text{N}$ : ANOVA,  $F = 0.8$   $p = 0.54$ ] (Figura 37).



**Figura 37.** Promedio y desviación estándar (DE) de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , para los meses de muestreo.

### 3.3. Nivel Trófico

El nivel trófico de *Z. exasperata* calculado por medio de los isótopos estables y de los contenidos estomacales no presentó diferencias estimándose un valor de 4.1 por medio de los dos métodos y encontrándose un valor de 4.2 para los adultos y de 4.1 para los juveniles al ser analizados por separado.



#### 4. DISCUSIÓN

Los hábitos alimenticios de *Zapteryx exasperata* no han sido estudiados a detalle; hasta la fecha existe poca información de los componentes de su dieta dentro de los cuales se reportan a los crustáceos como parte fundamental de esta, además de otros invertebrados bentónicos (Ebert 2003, Valadez-González 2007). Estos reportes no concuerdan con lo encontrado en el presente estudio, ya que en este la dieta de *Z. exasperata* estuvo compuesta principalmente por peces (>95% IIR) siendo de muy poca importancia dentro de su dieta el grupo de los crustáceos (<3% IIR). Aunque esta característica de ser mayoritariamente piscívoros no es única en el grupo de los batoideos (Bizzarro *et al.* 2007a) si es algo nuevo en la familia Rhinobatidae, para la cual se ha reportado hasta el momento que el componente principal de la dieta son los crustáceos (>90% IIR) y algunos otros invertebrados bentónicos, con una muy poca aportación de los peces en la dieta de este grupo (Talent 1982, Rossouw 1983, Harris *et al.* 1988, Abdel-Aziz *et al.* 1993b, Goitein *et al.* 1998, Kyne y Bennett 2002b, Marshall *et al.* 2007).

El alto porcentaje (77%) de estómagos vacíos encontrados en el presente estudio, concuerda con lo encontrado por Valadez- Gonzalez (2007) para *Z. exasperata* en las costas de Jalisco y Colima, aunque en este trabajo la autora reporta un valor más bajo (46%) al encontrado por el presente estudio. El método de captura puede ser un factor que incida en el número de estómagos vacíos encontrados, ya que el tiempo que dura el organismo en el arte de pesca afecta el proceso de digestión. En el trabajo de Valadez-Gonzalez (2007) los organismos fueron capturados con redes camaroneras, mientras que en el presente estudio los organismos fueron capturados con redes de enmalle que se dejan de 24 a 48 horas en el agua, por lo tanto si el organismo es capturado al inicio de este periodo lo más probable es que durante este tiempo se lleve a cabo el proceso de digestión y por tanto al momento de ser analizado el estómago se encuentra vacío o las presas se encuentran en su mayoría en grados de digestión muy avanzados como fue el caso en este estudio. El alto porcentaje de estómagos vacíos, así como el alto porcentaje (66%) de estómagos con poco contenido alimenticio (<25% de llenado), también puede ser un indicativo de que la costa de Sonora no es un área de alimentación importante para *Z. exasperata*, lo cual apoya lo anteriormente discutido sobre la importancia de esta zona principalmente como área de reproducción para esta especie (ver capítulo V).



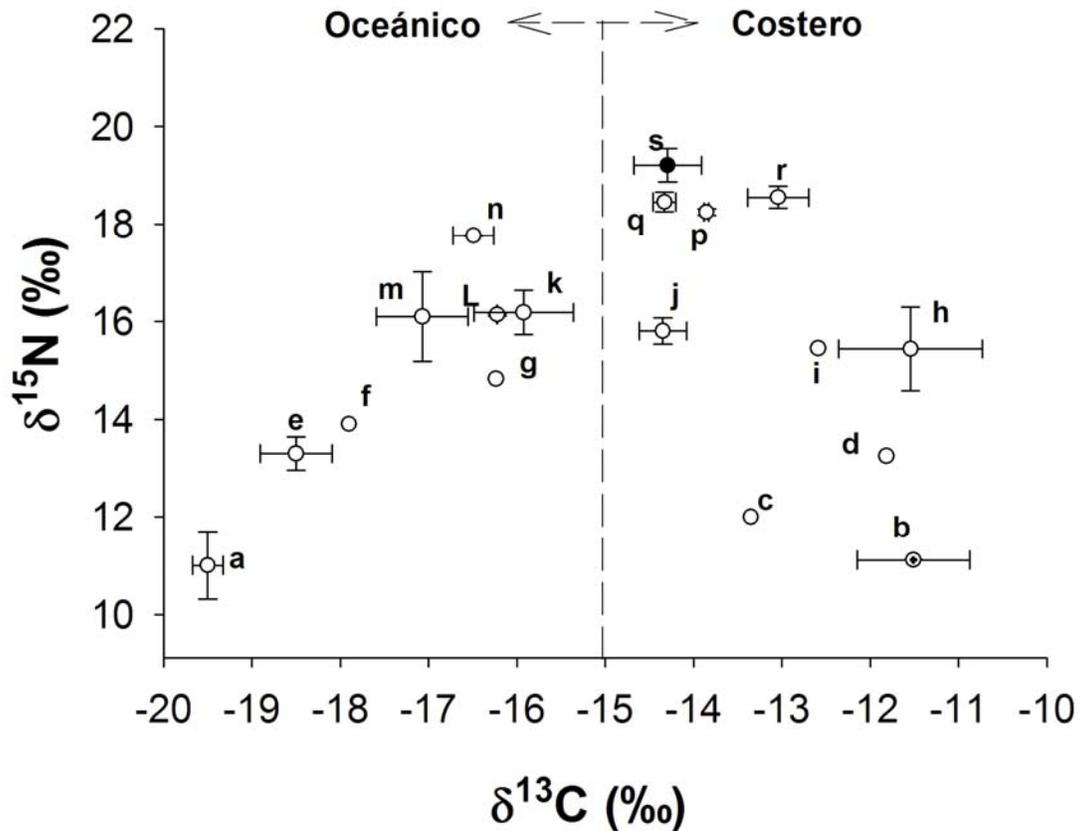
La dieta de *Z. exasperata* se encontró compuesta principalmente por peces demersales de fondos blandos (92% IIR), siendo los otros grupos de presas de poca importancia en la dieta de esta especie. La presa principal en la dieta de esta raya fue *Porichthys margaritatus*, especie que se caracteriza por habitar zonas de fondos blandos fuera de la costa y presentar migraciones a zonas someras de arrecifes rocosos para el desove durante la temporada de primavera y principio de verano (Godinez-Dominguez E *et al.* 2001). La distribución estacional de esta especie coincide con la distribución de *Z. exasperata* en esta misma época (primavera-verano), en la cual esta raya se acerca a áreas más someras para su reproducción (ver capítulo V) y en estas zonas encuentra como especie abundante a *P. margaritatus* convirtiéndola en la presa principal de este batoideo en las costas de Sonora. La característica de tener una alimentación costera de *Z. exasperata*, se ve apoyada también por la presencia de presas como *Engraulis mordax*, especie que se caracteriza por presentar migraciones a zonas más someras y costeras durante primavera-verano (Fishbase 2008).

El comportamiento alimenticio de los rhinobatidos ha sido descrito solo en *R. lentiginosus* (Wilga y Motta 1998). En este trabajo los autores concluyen que esta especie no excava como otros batoideos para conseguir a sus presas sino que realiza un acercamiento rápido a las presas las cubre con su rostro y cuerpo presionándolas con el substrato y luego por medio de succión las ingiere (Wilga y Motta 1998), así que sus presas tienen que estar disponibles sobre el fondo para ser capturadas. Esta misma estrategia puede ser la que utiliza *Z. exasperata* capturando así solo presas que se encuentran sobre el fondo y debido a esto no se encontraron en su dieta presas como poliquetos que se encuentran enterradas en el sustrato. Por otro lado *Z. exasperata* parece ser una especie de hábitos nocturnos ya que su principal presa *P. margaritatus* permanece durante el día enterrada en la arena y sale a la columna de agua durante la noche para alimentarse (Allen *et al.* 2006), lo cual nos indica que es durante la noche que esta especie es susceptible a ser capturada por *Z. exasperata*. Lo anterior no descarta la posibilidad de que *Z. exasperata* también sea un cazador activo durante el día ya que en su dieta se encontraron (en menor proporción) especies como *E. mordax* y *Loliolopsis diomedea*, que aunque son especies pelágicas, durante el día se encuentran distribuidas más cerca del fondo siendo susceptibles a ser capturadas por esta raya.



Los ambientes costeros son mantenidos especialmente por macro algas, algas bentónicas y pastos marinos (Clementz y Koch 2001), así como por el reciclamiento de Carbono disuelto y otras fuentes con valores elevados de  $^{13}\text{C}$  (Walker *et al.* 1999), debido a esto las especies costeras presentan valores de  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativos (enriquecidos en  $^{13}\text{C}$ ) que las especies que se encuentran en la zona oceánica. Se ha reportado anteriormente valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -10 y -15 ‰ para especies costeras en el Golfo de California (Niño-Torres *et al.* 2006). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  reportados en este estudio para *Z. exasperata* (intervalo -13.73 a -14.99 ‰) sugieren que esta se alimenta principalmente en aguas costeras en el Golfo de California como igualmente lo indican las presas consumidas por esta especie (Figura 38).

Debido a que en su dieta se encontraron tanto presas bentónicas como pelágicas se puede afirmar que *Z. exasperata* es un depredador piscivoro-bentopelágico o epibentico al igual que otras especies de batoideos (Bizzarro *et al.* 2007a). Esto también se apoya con los resultados de las comparaciones de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre *Z. exasperata* y *Sphoeroides lobatus* (botete), donde la diferencia entre las promedios de estas dos especies fue de 3.43 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  lo cual sugiere una relación depredador-presa (Hobson y Welch 1992). Aunque esta especie de pez no se encontró en los contenidos estomacales de *Z. exasperata* no se puede descartar que sea parte de su dieta, ya que en algunos casos el elevado proceso de digestión de las presas no permitió la identificación de los restos de peces encontrados, además puede ser que esta presa sea consumida en otra época del año diferente a la muestreada durante este estudio y por eso no se encontró dentro de los contenidos estomacales. A pesar de que las diferencias en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontradas entre *Z. exasperata* y otras especies de peces muestreadas en el área de estudio fueron menores a el valor de enriquecimiento de  $^{15}\text{N}$  reportado por nivel trófico, se puede decir que existe cierta relación trófica entre los dos grupos y esto estaría reafirmando la importancia de los peces dentro de la dieta de esta especie (Figura 38).



**Figura 38.** (a) *Nematocelis difficilis* \*, (b) *Mugil cephalus* \*, (c) *Cladophora microcladioides*\*, (d) *Padina durvillaei*\*, (e) *Sardinops sagax* \*, (f) *Etrumeus teres* \*, (g) *Gracilaria andersoni*\*, (h) *Arenaeus mexicanus*\*, (i) *Leurethtes sardina*\*, (j) *Sphoeroides lobatus* \*, (k) *Hypnea musciformis*\*, (l) *Opisthonema libertate*\*, (m) *Dosidicus gigas*\*, (n) *Harengula thrissina*\*, (p) *Albula vulpes*\*, (q) *Balistes polylepis*\*, (r) *Paralabrax maculofaciatus* \*, (s) *Zapteryx exasperata* \*. Valores (media ± DE) de δ<sup>15</sup>N y δ<sup>13</sup>C para el Golfo de California: Reportado por: \* Presente estudio; \* Niño-Torres et al. 2006.

Allen et al. (2006) reportan a *Z. exasperata* como una especie típica del fondo de la zona exterior de la plataforma continental (100-200m), de bahías y estuarios y de los arrecifes rocosos desde el sur de California hasta Baja California Sur. Esta distribución coincide con lo encontrado en el presente estudio en el Golfo de California, indicando que *Z. exasperata* juega el papel de un depredador de nivel alto que se alimenta selectivamente de especies de peces importantes en este tipo de habitats (*P. margaritatus*, *Ophidion galeoides*, *Symphurus* sp. y *Diplectrum* sp.). Lo cual concuerda también con lo sugerido por los valores de los isótopos de Carbono y Nitrógeno con respecto a la relación depredador-presa de *Z. exasperata* con especies típicas de estos habitats (*S. lobatus*).



En algunas áreas ha sido reportado que *Z. exasperata* es una especie que presenta una fuerte segregación sexual (Villavicencio-Garayzar 1995, Ebert 2003), sin embargo, en el área de estudio no se observó este fenómeno, encontrándose durante todo el periodo de muestreo en igual proporción hembras y machos, lo cual se debe a la importancia de esta zona como área de reproducción de esta especie (ver capítulo V). Esta concordancia en el habitat entre individuos de diferente sexo explica el alto traslape entre las dietas de hembras y machos de *Z. exasperata*, ya que ambos sexos están aprovechando los recursos disponibles en esta área. Así mismo, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  encontrados para hembras y machos fueron similares, lo que apoya lo encontrado por medio del análisis de los contenidos estomacales y además sugiere que durante todo el año ambos sexos se están alimentando de los mismos recursos, y por tanto están ocupando las mismas áreas.

Los valores del índice estandarizado de Levin ( $B_i = 0.11$ ) y de la diversidad ( $H' = 2.32$ ) calculados para *Z. exasperata*, indican que esta especie es un depredador especialista debido al bajo número de presas que son parte mayoritaria de su dieta; esto sin embargo no descarta que esta especie también sea oportunista ya que hacen parte de su dieta otros organismos como jaibas y camarones, pero esta especie aprovecha las presas más abundantes en el área durante el periodo que se encuentra en esta, como lo son *P. margaritatus* y *E. mordax* especies que se caracterizan por presentar migraciones masivas a aguas someras durante primavera verano (Godinez-Dominguez E *et al.* 2001) (Fishbase 2008) coincidiendo espacio-temporalmente con la migración de *Z. exasperata* en el Golfo de California. Este mismo comportamiento de especialización en la dieta se ha observado en *Rhinobatos typus*, en el cual se encontró también una amplitud del nicho baja alimentándose principalmente de camarones (White *et al.* 2004).

Si bien la dieta de juveniles y adultos de *Z. exasperata* fue similar, con una dominancia de *P. margaritatus* en la dieta de ambos grupos, se observó una leve variación en la diversidad de presas y en la importancia de estas en la dieta. Los adultos presentaron una mayor diversidad de presas y en su dieta los crustáceos fueron mucho menos importantes (1.5% IIR) que en la de los juveniles (23.98% IIR). El aumento en la diversidad de las presas que se consumen a medida que los organismos crecen ha sido algo comúnmente observado en peces (Nikolsky 1963), así mismo, en otras especies de batoides se ha reportado el cambio de una dieta basada principalmente en anfípodos y crustáceos en los organismos juveniles a una dieta que consiste principalmente de peces teleósteos en los



individuos más grandes (Ebert y Bizzarro 2007). También en algunos rhinobatidos como *Trygonorrhina fascista* y *Aptychotrema rostrata* se han observado cambios entre la dieta de los juveniles y los adultos, este cambio incluye el aumento en el consumo de presas más grandes y rápidas como peces y cefalópodos y una disminución en la dieta de pequeñas presas como camarones e isópodos (Kyne y Bennett 2002b, Marshall *et al.* 2007). Las diferencias ontogénicas en la dieta, representan mecanismos que permiten a las especies coexistir reduciendo la competencia intraespecífica y a su vez, está relacionado con la capacidad de los peces pequeños para capturar ciertas presas debido a el tamaño de la boca o a su movilidad más limitada (Sumpton y Greenwood 1990).

Con el análisis de isótopos se observaron también los cambios ontogénicos en la dieta de *Z. exasperata* ya que los valores de isótopos encontrados para juveniles y adultos presentaron diferencias significativas. Especialmente en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se observó un incremento gradual a medida que incrementa la talla de los individuos presentando valores mucho mayores en los individuos con tallas entre 80–90 cm LT que en los organismos entre 40–50 cm LT. Esto se puede deber a la mayor importancia que tienen los crustáceos en la dieta de los individuos más pequeños y a que este grupo de organismos tienen valores más bajos de  $\delta^{15}\text{N}$ . Este mismo comportamiento de los valores de los isótopos se encontró en tiburón blanco en el cual también se reporta una tendencia positiva de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  cuando aumenta la LT de los individuos con valores significativamente más altos ( $\delta^{15}\text{N}$ ) en animales de tallas grandes (Estrada *et al.* 2006).

La tendencia general de los elasmobranquios a formar grupos de individuos de talla similar que ocupan diferentes áreas, ha sido bien documentada, sugiriendo que los pequeños evitan a los grandes, debido a que la mayoría de elasmobranquios son depredadores indiscriminados (Smith y Merriner 1987). Sin embargo este tipo de comportamiento parece no presentarse en *Z. exasperata*, ya que aunque se observaron diferencias entre los valores de isótopos estables de juveniles y adultos, que podrían estar indicando que estos grupos ocupan diferentes hábitats debido a la segregación por talla, estas diferencias fueron muy pequeñas (menos de 0.5‰ para ambos isótopos); además, la composición de la dieta nos sugiere que tanto juveniles y adultos se alimentan de presas similares. Por lo tanto, la diferencia entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  entre juveniles y adultos puede ser más bien un efecto del aumento en el número de presas consumidas por los adultos y la preferencia de los juveniles por los crustáceos.



*Z. exasperata* es un depredador tope en el área de estudio con un nivel trófico alto (TL=4.1). Esto concuerda con los niveles tróficos reportados para algunas especies rayas y tiburones, cuyos valores oscilaron entre 3.6 y 4.6 atribuyéndose los valores más altos a especies que se alimentan principalmente de peces, como es el caso de *Z. exasperata* (Cortés 1999, Estrada *et al.* 2003, Ebert y Bizzarro 2007). Para las rayas de la familia rajidae se ha encontrado que son depredadores tope de los hábitats demersales ocupando niveles tróficos altos y por tanto juegan un papel importante en la estructura trófica de estos (Ebert y Bizzarro 2007), sin embargo los batoideos a diferencia de otros depredadores como: aves, mamíferos marinos, peces grandes y algunos tiburones; han sido históricamente subestimados como depredadores tope de los ecosistemas y por tanto su importancia en la estructura y funcionamiento de estos no ha sido tomada en cuenta. A pesar de las diferencias entre la dieta de juveniles y adultos de *Z. exasperata*, la pequeña diferencia en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre ellos (menos de 0.3 ‰) es un indicativo de que ambas categorías se están alimentando en un mismo nivel trófico. Esta característica de depredador tope hace que *Z. exasperata* juegue un papel importante en la estructuración de las comunidades bentónicas en las que ella habita, lo cual ha sido bien documentado para rhinobatidos y otros grupos de batoideos como myliobatidos y rajidos, en los cuales se ha encontrado que contribuyen en darle forma a la estructura a las comunidades de la infauna en los fondos blandos y a las comunidades de peces demersales (Ebert y Bizzarro 2007).

La dieta de *Z. exasperata* no presentó variaciones estacionales en su composición, siendo las presas principales importantes durante todo el periodo de muestreo. Además, la falta de diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  entre los meses de muestreo sugiere que no existe una variación importante en la dieta de *Z. exasperata* durante todo el año. Sin embargo, para confirmar lo anterior sería necesario realizar estudios de contenidos estomacales en los meses de verano y en los que se incluya el análisis de isótopos estables en tejidos con un metabolismo más rápido (ej: hígado), para poder detectar si existen cambios en la dieta de los organismos en una escala menor de tiempo, ya que se ha reportado que en estos tejidos la tasa de recambio es mucho menor (MacNeil 2005). Esta similitud en la dieta a lo largo del año puede estar indicando que *Z. exasperata* permanece en esta área o en áreas cercanas en donde la disponibilidad de sus presas no varía circunstancialmente, o que esta especie está migrando a las mismas



zonas que sus presas. Esto mismo se ha propuesto para *R. typus* y otras tres especies de elasmobranquios en una bahía de Australia, en la que la poca diferencia estacional entre la dieta de estos cuatro elasmobranquios reflejo el hecho de que las presas principales se mantenían moderadamente abundantes durante todo el año (White *et al.* 2004).



## VII. CONCLUSIONES

En la costa central de Sonora *Zapteryx exasperata* es parte importante de las capturas de una pesquería artesanal multiespecífica, la cual se lleva a cabo en embarcaciones pequeñas (pangas) y en zonas costeras en las cuales se encuentran pequeños campos pesqueros.

Las capturas de *Z. exasperata* en la costa de Sonora son estacionales y concuerda con la de la mayoría de especies de rayas en el Golfo de California caracterizándose por ser abundantes durante la primavera y el verano.

En la pesquería de rayas de Sonora se capturaron individuos de *Z. exasperata* en casi todo el intervalo de talla de la especie (41 y 90 cm de LT) con un promedio de  $70.01 \pm 9.91$  cm, el peso varió entre 0.3 y 6.97 kg con un promedio de  $2.18 \pm 1.13$  kg y la proporción sexual fue 1:1, no encontrándose segregación sexual de la especie en el área de estudio.

El promedio de la longitud total de hembras y machos, así como la talla máxima de los individuos capturados en las costas de Sonora fue menor al reportado para la costa occidental de Baja California Sur.

*Zapteryx exasperata* presenta un dimorfismo sexual muy marcado el cual se ve evidenciado en el tamaño del cuerpo de ambos sexos y en las diferencias en el tamaño del disco con respecto al largo del cuerpo, siendo las hembras más grandes y con un disco más ancho que los machos. Además esta especie presenta un crecimiento diferencial por sexos, ya que la relación longitud-peso (L-W) fue diferente para hembras y machos y el valor de b para hembras indicó un crecimiento de tipo alométrico positivo indicando que aumentan más rápido en peso que en talla y los machos presentaron un crecimiento alométrico negativo indicando un crecimiento mayor en talla que en peso.



La CPUE de *Z. exasperata* en la costa de Sonora tuvo su pico durante los meses de primavera. Las zonas de pesca en la costa de Sonora en las que se presentan áreas de costa rocosa con formación de arrecifes rocosos debido a la preferencia de esta especie por este tipo de hábitats. Así mismo, la CPUE fue mayor a profundidades entre los 100 y 200 m lo cual también se debió a las preferencias de la especie.

La costa de Sonora es un área importante de reproducción para *Z. exasperata* lo cual se ve indicado por la abundancia de hembras y machos maduros, así como de hembras preñadas en las capturas de la pesquería artesanal. La estacionalidad de las capturas de esta especie está relacionada con una migración de los organismos maduros a zonas más someras para su reproducción.

Los machos de *Z. exasperata* presentan dos testículos bien desarrollados, lobulados y de tipo compuesto. Así mismo presentan cúmulos de esperma en el epidídimo y en la vesícula seminal en donde los espermatozoides están alineados lateralmente cabeza con cabeza sin una matriz que los rodee.

La longitud total a la cual el 50% de los machos de *Z. exasperata* son maduros es de 64cm, aproximadamente un 77% de la talla máxima reportada para machos de esta especie. Las hembras de *Z. exasperata* maduran a tallas mayores presentando una talla media de madurez (L50%) de 69cm de LT lo cual corresponde al 71% de la talla máxima reportada para la especie.

*Z. exasperata* dentro del Golfo de California presenta un ciclo reproductivo anual con una fuerte estacionalidad y con un periodo de gestación de cinco meses. Los nacimientos y apareamiento de esta especie se dan durante el verano y después de estos eventos los organismos migran de nuevo a zonas más profundas en donde no son susceptibles a ser capturados por la pesquería. Se observó además un desarrollo sincronizado de los ovocitos y los embriones (Febrero-Julio) y una fecundidad uterina entre 1 y 13 embriones por hembra con un promedio de siete.



*Z. exasperata* es un depredador piscívoro béntico pues su principal presa fueron los peces bentónicos, siendo de muy poca importancia dentro de su dieta el grupo de los crustáceos.

El alto porcentaje de estómagos vacíos encontrados en el presente estudio puede ser resultado de el método de captura de los organismos y también puede ser un indicativo de que la costa de Sonora no es un área de alimentación importante para *Z. exasperata* sino más bien un área importante solo para la reproducción.

La dieta de *Z. exasperata* se encontró compuesta principalmente por peces demersales de fondos blandos y la presa principal en la dieta de esta raya fue *Porichthys margaritatus*. Se encontró además que esta especie se alimenta principalmente en la zona costera debido a la presencia en su dieta de *Engraulis mordax*, especie que al igual que la presa principal, se caracteriza por presentar migraciones a zonas más someras y costeras durante primavera-verano.

Por otro lado *Z. exasperata* parece ser una especie de hábitos tanto nocturnos como diurnos ya que su principal presa *P. margaritatus* permanece durante el día enterrada en la arena y sale a la columna de agua durante la noche para alimentarse, además en su dieta hay presas secundarias como *E. mordax* y *Loliolopsis diomedeeae*, que aunque son especies pelágicas, durante el día se encuentran distribuidas más cerca del fondo siendo susceptibles a ser capturadas por esta raya.

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  reportados en este estudio apoyan la idea de que *Z. exasperata* se alimenta principalmente en aguas costeras en el Golfo de California. Así mismo los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  apoyan la idea de que esta especie se alimenta principalmente de peces encontrándose una relación depredador-presa con *Sphoeroides lobatus* (botete).

*Z. exasperata* es un depredador de nivel alto que se alimenta selectivamente de especies de peces importantes en la zona exterior de la plataforma continental, bahías y estuarios y en los arrecifes rocosos de la costa central de Sonora.

Tanto hembras como machos de *Z. exasperata*, se alimentan del mismo tipo de presas presentando entonces valores similares de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  y estos valores permanecen



similares durante todo el año lo que es otro indicador de que en esta especie no se presenta una segregación sexual marcada.

*Z. exasperata* es un depredador especialista debido al bajo número de presas que son parte mayoritaria de su dieta; esto sin embargo no descarta que esta especie también sea oportunista ya que esta especie aprovecha las presas más abundantes en el área durante el periodo que se encuentra en esta.

La dieta de juveniles y adultos de *Z. exasperata* presenta una leve variación en la diversidad de presas y en la importancia de estas en la dieta. Los adultos presentaron una mayor diversidad de presas y en su dieta los crustáceos fueron mucho menos importantes que en la de los juveniles. Sin embargo se considera que estos dos grupos ocupan áreas similares durante todo el año debido a la composición general de la dieta. Con el análisis de isótopos se observaron también los cambios ontogénicos en la dieta de *Z. exasperata* ya que los valores de isótopos encontrados para juveniles y adultos presentaron diferencias significativas.

*Z. exasperata* es un depredador tope en el área de estudio con un nivel trófico alto (TL=4.1). A pesar de las diferencias entre la dieta de juveniles y adultos de *Z. exasperata*, la pequeña diferencia en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre ellos es un indicativo de que ambas categorías se están alimentando en un mismo nivel trófico. Esta característica de depredador tope hace que *Z. exasperata* juegue un papel importante en la estructuración de las comunidades bentónicas en la costa de Sonora.

La dieta de *Z. exasperata* no presentó variaciones estacionales en su composición, siendo las presas principales importantes durante todo el periodo de muestreo. Además, la falta de diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  entre los meses de muestreo sugiere que no existe una variación importante en la dieta de *Z. exasperata* durante todo el año. Esta similitud en la dieta a lo largo del año indica que esta especie permanece en la zona costera o en áreas cercanas en donde la disponibilidad de sus presas no varía circunstancialmente, o también que esta especie esta migrando a las mismas zonas que sus presas.



## VIII. LITERATURA CITADA

- Abdel-Aziz, S.H., Khalil, A.N. y Abdel-Maguid, S.A.** (1993) Reproductive cycle of the common guitarfish, *Rhinobatos rhinobatos* (Linnaeus, 1758), in Alexandria waters, Mediterranean Sea. *Australian journal of marine and freshwater research* 44(3), 507–517.
- Abdel-Aziz, S.H., Khalil, A.N. y Abdel-Maguid, S.A.** (1993b) Food and feeding habits of the common guitarfish, *Rhinobatos rhinobatos* in Egyptian Mediterranean waters. *Indian Journal of Marine Sciences* 22, 287–290.
- Adams, J.** (2004) Foraging ecology and reproductive biology of Cassin's Auklet (*Ptychoramphus aleuticus*) in the California Channel Islands. Tesis maestría. Moss Landing Marine Laboratories, California State University. San Francisco. 119 p.
- Álvarez-Borrego, S., J.A. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M.J. Acosta-Ruiz, R.A. Schwartzlose.** (1978) Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5(2), 53-71.
- Allen, G.R. y Robertson, D.R.** (1994) *Peces del Pacífico Oriental Tropical.*, México: CONABIO, Agrupación Sierra Madre y CEMEX.
- Allen, L.G., Pondella, D.J. y Horn, M.H.** (2006) *Ecology of marine fishes: California and adjacent waters*, Berkeley: University of California.
- Bizzarro, J.J. y Kyne, P.M.** *Zapteryx exasperata*. Available at: <http://www.iucnredlist.org/>. accessed 16 July 2008.
- Bizzarro, J.J., Robinson, H.J., Rinewalt, C.S. y Ebert, D.A.** (2007a) Comparative feeding ecology of four sympatric skate species off central California, USA. *Environmental Biology of Fishes* 80(1–2), 197–220.
- Bizzarro, J.J., Smith, W.D., Márquez-Farías, J.F. y Hueter, R.E.** (2007b) Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri* Everman and Jenkins, 1891, in the northern Mexican Pacific. *Fisheries research* 84, 137–146.
- Bizzarro, J.J., Smith, W.D., Márquez-Farías, J.F., Tyminski, J. y Hueter, R.E.** (in press) Temporal variation in the artisanal elasmobranch fishery of Sonora, México. *Fisheries Research* doi: 10.1016/j.fishres.2009.01.009.
- Blaber, S.J.M., Brewer, D.T., Salini, J.P. y Kerr, J.** (1990) Biomasses, catch rates and abundances of demersal fishes, particularly predators of prawns, in a tropical bay in the Gulf of Carpentaria. *Marine Biology* 107, 397–408.



- Bonner, K. y Vincz, G.** (2005) The testis and spermatogenesis. En: Hamlett W.C. (ed.) *Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes*. vol. 3 Enfield, NH: Science Publishers, Inc., pp. 171–201.
- Brusca, R.C.** (1980) *Common intertidal invertebrates of the Gulf of California*: University of Arizona Press.
- Cailliet, G.M., Love, M. S., Ebeling, A. W.** (1986) *Fishes. A field and laboratory manual on their structure identification, and natural history*: Wadsworth Publishing Company.
- Capapé, C., Ben-Brahim, R. y Zaouali, J.** (1997) Aspects de la biologie de la reproduction de la guitare commune (*Rhinobatos rhinobatos*) des eaux tunisiennes. *Ichthyophysiological acta* 20, 113–127.
- Capapé, C. y Zaouali, J.** (1994) Distribution and reproductive biology of the blackchin guitarfish, *Rhinobatos cemiculus* (Pisces, Rhinobatidae), in Tunisian waters (Central Mediterranean). *Australian journal of marine and freshwater research* 45(4), 551–561.
- Case, T.J.M.L.C.** (1983) *Islands biogeography in the Sea of Cortez.*, Berkely: Univ. of California Press.
- Castillo-Géniz, J.L.** (1992) *Diagnostico de la Pesquería de Tiburón de México*: INP Secretaría de Pesca.
- Castillo-Géniz, J.L., J. F. Márquez-Farías, M.C. Rodríguez De La Cruz, E.Cortés y Prado, A.C.D.** (1998) The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery. *Marine and Freshwater Research* 49, 611–620.
- Castro, J.I.** (1993) The biology of the finetooth, *Carcharhinus isodon*. *Environmental Biology of Fishes* 36, 219–232.
- Castro, J.I.** (1996) Biology of the blacktip shark, *Carcharhinus limbatus*, off the southeastern United States. *Bulletin of Marine Science* 59(3), 508–522.
- Castro, J.I.** (2000) The biology of the nurse shark, *Ginglymostoma cirratum*, off the Florida east coast and the Bahama Islands. *Environmental Biology of Fishes* 58, 1–22.
- Clarke, M.R.** (1962) The identification of cephalopod beaks and their relationship between beak size and total body weight. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology* 8(10), 422–480.
- Clarke, M.R.** (1986) *A handbook for the identification of cephalopod beaks*, Oxford: Clarendon Press.
- Clementz, M.T. y Koch, P.L.** (2001) Differentiating aquatic mammal habitat and foraging ecology with stable isotopes in tooth enamel. *Oecologia* 129, 461–472.



- Clothier, C.R.** (1950) A key to some southern California fishes based on vertebral characters. *California Department of Fish and Game. Fishery Bulletin* 79, 1–83.
- Cortés, E.** (1997) A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 726–738.
- Cortés, E.** (1998) Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fisheries Research* 39, 199-208.
- Cortés, E.** (1999) Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *Ices Journal of Marine Science* 56(5), 707-717.
- De la Ianza, G.** (2001) *Características físico-químicas de los mares de México*, México, DF: Instituto de Geografía, UNAM y Plaza y Valdés.
- DeNiro, M.J. y Epstein, S.** (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42(5), 495-506.
- Devadoss, P.** (1998) Observations on the breeding and development in some batoid fishes. *Indian journal of fisheries* 45(3), 271-283.
- Downton-Hoffmann, C.A.** (1996) Estrategia reproductiva de la guitarra, *Rhinobatus productus*, (Ayres 1856), en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis Licenciatura. Depto. Biol. Mar, UABCS. La Paz, B.C.S. 51 p.
- Downton-Hoffmann, C.A.** (2007) Biología del pez guitarr, *Rhinobatos productus* (Ayres, 1856), en Baja California Sur, México. Tesis doctorado. CICIMAR-IPN. La Paz, BCS. 194 p.
- Ebert, D.A.** (2003) *Sharks, rays and chimaeras of California*, Los Angeles: University of California.
- Ebert, D.A. y Bizzarro, J.J.** (2007) Standardized diet composition and trophic levels of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei). *Environmental Biology of Fishes* 80(2–3), 221–237.
- Ellis, J.R., Pawson, M.G. y Shackley, S.E.** (1996) The comparative feeding ecology of six species of sharks and four species of ray (Elasmobranchii) in the North-East Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 76, 89–106.
- Estrada, J.A., Rice, A.N., Lutcavage, M.E. y Skomall, G.B.** (2003) Predicting trophic position in sharks of the north-west Atlantic Ocean using stable isotope analysis. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 83(6), 1347-1350.



- Estrada, J.A., Rice, A.N., Natanson, L.J. y Skomal, G.B.** (2006) Use of isotopic analysis of vertebrae in reconstructing ontogenetic feeding ecology in white sharks. *Ecology* 87(4), 829-834.
- Ferry, L.A. y Cailliet, G.M.** (1996) Sample size sufficiency and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly? En: *Feeding ecology and nutrition in fish: proceedings of the symposium on the feeding ecology and nutrition in fish*, (eds. MacKinlay D. y Shearer K.), pp. 71–80. San Francisco, CA: International Congress on the Biology of Fishes.
- Fisher, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpeter, K. y Niem, V.** (1995) *Pacífico Centro-Oriental; Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca*, Roma: FAO.
- Fisk, A.T., Tittlemier, S.A., Pranschke, J.L. y Norstrom, R.J.** (2002) Using anthropogenic contaminants and stable isotopes to assess the feeding ecology of greenland sharks. *Ecology* 83(8), 2162-2172.
- France, R.L.** (1995) C-13 Enrichment in Benthic Compared to Planktonic Algae - Foodweb Implications. *Marine Ecology-Progress Series* 124(1-3), 307-312.
- Fry, B.** (1988) Food web structure on Georges Bank from stable C, N and S isotopic composition. *Limnol. Oceanogr.* 33, 1182-1190.
- Godinez-Dominguez E, Aguilar-Palomino B y Gonzalez-Sanson G.** (2001) Abundance variation of *Porichthys margaritatus* (Pisces: Batrachoididae) throughout thermic and bathymetric gradients in the central Mexican Pacific. *Revista de Biología Tropical* 49(2), 643-646.
- Goitein, R., Torres, F.S. y Signorini, C.E.** (1998) Morphological aspects related to feeding of two marine skates *Narcine brasiliensis* Olfers and *Rhinobatos horkelli* Müller & Henle. *Acta Scientiarum* 20(2), 165–169.
- González, M.J.** (1998) Desarrollo embrionario de *Rhinobatos productus* (Girard, 1854) (Chondrichthyes: Rajiformes: Rhinobatidae). Licenciatura. Depto. Biol. Mar., UABCS. La Paz, B.C.S. 91 p.
- Harris, S.A., Bennett, B.A. y Branch, G.M.** (1988) An assessment of the role of the sand shark *Rhinobatos annulatus* as a predator in Langebaan Lagoon. *South African Journal of Marine Science/Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Seewetenskap* 7, 153–159.
- Hernández, P.** (2002) Composición y estructura de las comunidades de poliquetos (Annelida: Polichaeta) bénticos de la plataforma continental del Golfo de California.



- PhD. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología., Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 176 p.
- Hobson, K.A. y Welch, H.E.** (1992) Determination of Trophic Relationships within a High Arctic Marine Food Web Using Delta-C-13 and Delta-N-15 Analysis. *Marine Ecology-Progress Series* 84(1), 9-18.
- Hoening, J.M. y Gruber, S.H.** (1990) Life history patterns in the elasmobranchs: implications for fisheries management. En: Pratt H.L.J., Gruber S.H. y Taniuchi T. (eds.) *Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and status of the fisheries*. vol. 90: NOAA Tech. Rep. , pp. 1–16.
- Holden, M.J. y Raitt, D.F.S.** (1974) Manual of fisheries science, Pt. 2: Methods of resource investigation and their application. *FAO Fish Tech Pap* 115, 214.
- INEGI.** (2004) <http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/figeo.html>.
- Ismen, A., Yigin, C. y Ismen, P.** (2007) Age, growth, reproductive biology and feed of the common guitarfish (*Rhinobatos rhinobatos* Linnaeus, 1758) in Iskenderun Bay, the eastern Mediterranean Sea. *Fisheries Research* 84(2), 263–269.
- Iverson, L.K. y Pinkas, L.** (1971) A pictorial guide to beaks of certain eastern pacific cephalopods. *California Department of Fish and Game, Fishery Bulletin* 152, 83–105.
- Jennings, S., Pinnegar, J.K., Polunin, N.V.C. y Warr, K.J.** (2002) Linking size-based and trophic analyses of benthic community structure. *Marine Ecology-Progress Series* 226, 77-85.
- Kajiura, S.M., Forni, J.B., Summers, A.P., Tyminski, J.P. y Williams, A.T.** (2005) Sexual dimorphism in elasmobranch fishes. *Integrative and Comparative Biology* 45(6), 1023-1023.
- Kajiura, S.M. y Tricas, T.C.** (1996) Seasonal dynamics of dental sexual dimorphism in the Atlantic stingray *Dasyatis sabina*. *Journal of Experimental Biology* 199(10), 2297-2306.
- Krebs, C.J.** (1999) *Ecological methodology*, Menlo Park, CA: Benjamin-Cummings.
- Kyne, P.M. y Bennett, M.B.** (2002) Reproductive biology of the eastern shovelnose ray, *Aptychotrema rostrata* (Shaw & Nodder, 1794), from Moreton Bay, Queensland, Australia. *Marine and freshwater research* 53(2), 583–589.
- Kyne, P.M. y Bennett, M.B.** (2002b) Diet of the eastern shovelnose ray, *Aptychotrema rostrata* (Shaw & Nodder, 1794), from Moreton Bay, Queensland, Australia. *Marine and Freshwater Research* 53(3), 679-686.



- Kyne, P.M., Cavanagh, R., Fowler, S., Valenti, S. y Pollock, C.** (2006) IUCN Shark Specialist Group Red List assessments, 2000-2006. <http://www.flmnh.ufl.edu/fish/organizations/ssg/RLassess2006.pdf>.
- Langton, R.W.** (1982) Diet overlap between the Atlantic cod *Gadus morhua*, silver hake *Merluccius bilinearis* and fifteen other northwest Atlantic finfish. *Fishery Bulletin* 80, 745–759.
- Lavín, M.F. y Marinone, S.G.** (2003) An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. En: Velasco Fuentes O.U., Sheinbaum J. y Ochoa J. (eds.) *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 173–204.
- León, C. y Graizbord, B.** (2002) *Bases para el ordenamiento ecológico de la región de escalera náutica (componente social y económico). Resumen ejecutivo*, México D.F: Colegio de México e Instituto de Ecología (SEMARNAT).
- Link, J.S., Garrison, L.P. y Almeida, F.P.** (2002) Ecological interactions between elasmobranchs and groundfish species on the northeastern US continental shelf. I. Evaluating predation. *North American Journal of Fisheries Management* 22(2), 550-562.
- Lutton, B.V., George, J.S., Murrin, C.R., Fileti, L.A. y Callard, I.P.** (2005) The elasmobranch ovary. En: Hamlett W.C. (ed.) *Reproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: shark, batoids and chimaeras*. vol. 3 Enfield, NH: Science Publishers, Inc., pp. 237–283.
- MacNeil, M.A., G. B. Skomal, A. T. Fisk.** (2005) Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks. *Marine Ecology-Progress Series* 302, 199-206.
- Maluf, L.** (1983) Physical Oceanography. En: Case T.J. y Cody M.L. (eds.) *Island Biogeography in Sea of Cortéz*. USA: University of California Press, pp. 26–45.
- Márquez-Farías, J.F.** (2002) The artisanal ray fishery in the Gulf of California: development, fisheries research and management issues. *Shark News (IUCN Shark Specialist Group)* 14, 12–13.
- Márquez-Farías, J.F.** (2007) Reproductive biology of shovelnose guitarfish *Rhinobatos productus* from the eastern Gulf of California México. *Marine biology* 151(4), 1445–1454.
- Márquez-Farías, J.F. y Blanco-Parra, M.P.** (2006) Rayas En: Arreguin-Sánchez F., Beléndez-Moreno L., Méndez-Gómez-Humarán I., Solana-Sansores R. y Rangel-



- Dávalos C. (eds.) *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo*. México: Instituto Nacional de la Pesca, pp. 303–319.
- Márquez-Farías, J.F., Tyminski, J., Hueter, R.E., Castillo-Geniz, J.L. y Murillo-Pérez, C.** (2001) Diversidad de elasmobranquios en Sonora estimado de una prospección de la pesquería artesanal. En: *VIII Congreso Nacional y II Simposio Internacional sobre el Mar de Cortez.*, Ensenada.
- Marshall, L.J., White, W.T. y Potter, I.C.** (2007) Reproductive biology and diet of the southern fiddler ray, *Trygonorrhina fasciata* (Batoidea : Rhinobatidae), an important trawl bycatch species. *Marine and Freshwater Research* 58(1), 104-115.
- Miller, D.J. y Jorgensen, S.C.** (1973) Meristic characters of some marine fishes of the western Atlantic Ocean. *California Department of Fish and Game, Fishery Bulletin* 71(1), 301–312.
- Miller, D.J. y Lea, R.N.** (1972) Guide to the coastal marine fishes of California. *California Department of Fish and Game, Fishery Bulletin* 157, 1–249.
- Morato, T., Solà, E. y Grós, M.P.** (2003) Diets of thornback ray (*Raja clavata*) and tope shark (*Galeorhinus galeus*) in the bottom longline fishery of the Azores, northeastern Atlantic. *Fishery Bulletin* 101, 590–602.
- Musick, J.A. y Ellis, J.K.** (2005) Reproductive evolution of chondrichthyans. En: Hamlett W.C. (ed.) *Reproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: shark, batoids and chimaeras*. vol. 3 Enfield: Science Publishers, Inc., pp. 45-81.
- Nikolsky, G.V.** (1963) *The ecology of fishes*, New York: Academic Press.
- Niño-Torres, C.A., Gallo-Reynoso, J.P., Galvan-Magana, F., Escobar-Briones, E. y Macko, S.A.** (2006) Isotopic analysis of delta C-13, delta N-15, and delta S-34 "a feeding tale" in teeth of the longbeaked common dolphin, *Delphinus capensis*. *Marine Mammal Science* 22(4), 831-846.
- Owens, N.J.P.** (1987) Natural variation in 15 N in the marine environment. *Advances in Marine Biology* 24, 390–451.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R. y Torres, J.F.** (1998) Fishing down marine food webs. *Science* 279, 860–863.
- Perez-Mellado, J. y Findley, L.T.** (1985) Evaluación de la ictiofauna acompañante del camarón capturado en las costas de Sonora y norte de Sinaloa, México. En: Yáñez-Arancibia A. (ed.) *Recursos pesqueros potenciales de México: la pesca acompañante del camarón*. Mexico D.F.: Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Inst. Nal. de Pesca., pp. 201–254.



- Peterson, B.J. y Fry, B.** (1987) Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual reviews of ecology and systematics* 18, 193–320
- Pinkas, L.M., Oliphant, S. y Iverson, I.L.K.** (1971) Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *California Fish and Game* 152, 1–105.
- Post, D.M.** (2002) Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology* 83(3), 703–718.
- Powter, D.M. y Gladstone, W.** (2008) The reproductive biology and ecology of the Port Jackson shark *Heterodontus portusjacksoni* in the coastal waters of eastern Australia. *Journal of Fish Biology* 72, 2615–2633.
- Pratt, H.L.** (1988) Elasmobranch gonad structure: A description and survey. *Copeia* 3, 719–729.
- Pratt, H.L.** (1993) The storage of spermatozoa in the oviducal glands of Western North Atlantic sharks. *Environmental Biology of Fishes* 38, 139–149.
- Pratt, H.L. y Tanaka, S.** (1994) Sperm storage in male elasmobranch: A description and survey. *Journal of Morphology* 219, 297–308.
- Rau, G.H., Mearns, A.J., Young, D.R., Olson, R.J., Schafer, H.A. y Kaplan, I.R.** (1983)  $\delta^{13}C/12C$  correlates with trophic level in pelagic food webs. *Ecology* 64, 1314–1318.
- Rinewalt, C.E., DA; Cailliet, GM.** (2007) Food habits of the sandpaper skate, *Bathyraja kincaidii* (Garman, 1908) off central California: seasonal variation in diet linked to oceanographic conditions. *Environ Biol Fish* 80(2-3), 147–163.
- Robinson, H.J., Cailliet, G.M. y Ebert, D.A.** (2007) Food habits of the longnose skate, *Raja rhina* (Jordan and Gilbert, 1880), in central California waters. *Environmental Biology of Fishes* 80((1-2)), 221–237.
- Roden, G.I. y Emilsson, I.** (1980) *Oceanografía física del Golfo de California*: Centro de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
- Rossouw, G.J.** (1983) The importance of non-teleost fishes (Elasmobranchs) in the surf zone with special reference to *Rhinobatos annulatus*. En: McLachlan A. y Erasmus T. (eds.) *Sandy beaches as ecosystems*. The Hague: Dr W. Junk, pp. 749.
- Rubio, E.A. y Ruiz, W.** (1993) Primer registro de *Zapteryx exasperata* (Batoidei: Rajiformes; Rhinobatidae) en la costa pacífica de Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Universidad del Valle*. 9, 11–17.



- Rusnak, G.A., Fisher, R.L. y Shepard, F.P.** (1964) Bathymetry and faults of Gulf of California. En: Van Andel T.H. y Shor J.G.G. (eds.) *Symposium Marine Geology of the Gulf of California*. vol. 3 Scripps Institution of Oceanography: University of California, pp. 59–75.
- Sandoval-Castillo, J., Rocha-Olivares, A., Villavicencio-Garayzar, C. y Balart, E.** (2004) Cryptic isolation of Gulf of California shovelnose guitarfish evidenced by mitochondrial DNA. *Marine biology* 145, 983–988.
- Santamaría, A.** (1994) *El color de las aguas del Golfo de California registrado por el CZCS: relaciones de la biomasa fitoplanctónica y los procesos físicos de la mezcla*.: Universidad Autónoma de Baja California.
- Smith, J.W. y Merriner, J.V.** (1987) Age and Growth, Movements and Distribution of the Cownose Ray, *Rhinoptera bonasus*, in Chesapeake Bay. *Estuaries* 10(2), 153–164.
- Soto-Mardones, L., Marinone, S.G. y Parés-Sierra, A.** (1999) Time and spatial variability of sea surface temperature in the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 25(1), 1–30.
- Stillwell, C.E. y Kohler, N.E.** (1982) Food, feeding habits, and estimates of daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the Northwest Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39, 407–414.
- Sumpton, W. y Greenwood.** (1990) Pre and post flood feeding ecology of four species of juvenile fish from the Logan Albert estuarine system, Moreton Bay, Queensland. *Australian journal of marine and freshwater research* 41(795–806).
- Talent, L.G.** (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*, in Elkhorn Slough, California. *California Fish and Game* 68(4), 224–234.
- Thomson, D.A., Findley, L.T. y Kerstitch, A.N.** (2000) *Reef fishes of the Sea of Cortez. The Rocky-Shore Fishes of the Gulf of California*, Austin: The University of Texas Press.
- Valadez-González, C.** (2007) Distribución, abundancia y alimentación de las rayas bentónicas de la costa de Jalisco y Colima, México. Tesis Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz. 119 p.
- Villavicencio-Garayzar, C.** (1993) Biología reproductiva de *Rhinobatos productus* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México *Revista de Biología Tropical* 41(3), 777–782.



- Villavicencio-Garayzar, C.** (1995) Biología reproductiva de la guitarra pinta, *Zapteryx exasperata* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 21(2), 141–153.
- Walker, J.L., Potter, C.W. y Macko, S.A.** (1999) The diets of modern and historic bottlenose dolphin populations reflected through stable isotopes. *Marine Mammal Science* 15(2), 335–350.
- Wenbin, Z. y Shuyuan, Q.** (1993) Reproductive biology of the guitarfish, *Rhinobatos hynnicephalus*. *Environmental Biology of Fishes* 38(1-3), 81–93.
- Wetherbee, B.M. y Cortés, E.** (2004) Food consumption and feeding habits. En: Carrier J.C., Musick J.A. y Heithaus M.R. (eds.) *Biology of Sharks and their relatives*. New York: CRC Press, pp. 225–246.
- White, W.T., Platell, M.E. y Potter, I.C.** (2004) Comparisons between the diets of four abundant species of elasmobranchs in a subtropical embayment: implications for resource partitioning. *Marine Biology* 144(3), 439–448.
- Wilga, C.D. y Motta, P.J.** (1998) Feeding mechanism of the atlantic guitarfish *Rhinobatos lentiginosus*: modulation of kinematic and motor activity. *The journal of experimental biology* 201, 3167–3184.
- Wolff, C.A.** (1982) A beak key for eight eastern tropical Pacific cephalopods species, with relationship between their beak dimensions and size. *Fishery Bulletin* 80(2), 357–370.
- Wolff, C.A.** (1984) Identification and estimation of size from the beaks of eighteen species of cephalopods from the Pacific Ocean. *NOAA Technical Report NMFS* 17, 1–50.
- Wootton, R.** (1990) *Ecology of teleost fishes*, New York: Chapman y Hall.
- Wourms, J.P.** (1977) Reproduction and development in condrichthyan fishes. *American Zoologist* 17, 379–410.
- Zar, J.H.** (1996) *Biostatistical analysis*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.