



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS  
MARINAS



DEMOGRAFÍA DE LA RAYA GUITARRA PINTA  
*Zapteryx exasperata* (JORDAN & GILBERT, 1880)  
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA  
CALIFORNIA SUR

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

FABIÁN CERVANTES GUTIÉRREZ

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2017



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 07 del mes de Diciembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"DEMOGRAFÍA DE LA RAYA GUITARRA PINTA *Zapteryx exasperata***  
**(JORDAN & GILBERT, 1880) EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR"**

Presentada por el alumno:

**CERVANTES**

Apellido paterno

**GUTIÉRREZ**

materno

**FABIÁN**

nombre(s)

Con registro: 

A	1	4	0	6	1	4
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

**DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS**

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

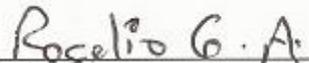
**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA**  
Director de Tesis

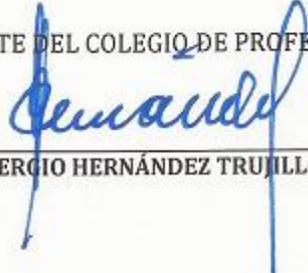
  
\_\_\_\_\_  
**DR. JAVIER TOVAR ÁVILA**  
2º. Director de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
**DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS**

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. ROSA ISABEL OCHOA BÁEZ**

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
\_\_\_\_\_  
**DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO**



**I.P.N.**  
**CICIMAR**  
**DIRECCION**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 11 del mes de Diciembre del año 2017

El (la) que suscribe MC. FABIÁN CERVANTES GUTIÉRREZ Alumno (a) del Programa

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

con número de registro A140614 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA y DR. JAVIER TOVAR ÁVILA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"DEMOGRAFÍA DE LA RAYA GUITARRA PINTA *Zapteryx exasperata*

(JORDAN & GILBERT, 1880) EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: fabian\_ce@hotmail.com - galvan.felipe@gmail.com - javiertovar.mx@gmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
MC. FABIÁN CERVANTES GUTIÉRREZ  
Nombre y firma del alumno

## DEDICATORIA

*Todo en mi vida es “primero Dios”, gracias a Él tengo lo necesario.*

*A Hanny por estar siempre a mi lado, impulsándome en estos diez años y casi diez meses juntos (el 23). Gracias mi amor, TE AMO.*

*A mis papás por la vida, por el apoyo económico, moral y profesional, por estar ahí para escucharme, por la educación, los consejos, el tiempo, el dinero y el esfuerzo. Un granito más de arena a esa deuda enorme que tengo con ustedes.*

*A mis papás adoptivos (Cano y Lucy), por su compañía, los consejos y el apoyo en todo lo que necesitamos, Gracias apás!*

*A mis hermanos (Leo, Susi, Andrea y Melisa) gracias por ser parte de mi vida, por su compañía y por los momentos tan divertidos que a veces pasamos.*

*A mis sobrinos (Mariana, Emilio), y ahijados (Rebeca, Rommel, Regina y Mia) gracias por existir.*

*Por último, pero no menos importante, quiero dedicar esta tesis también a esas dos grandes y amables personas (Doc. Galván y Doc. Tovar) que me apoyaron en TODO a lo largo del Doctorado, para ustedes con cariño, respeto y admiración.*

*Y a todos aquellos que formaron, forman y formarán parte de esta aventura llamada vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A CICIMAR-IPN porque fuiste mi casa por seis años, “Con orgullo llevaré el estandarte Politécnico”.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) por los apoyos económicos brindados durante la realización del Doctorado.*

*Al Doctor Felipe Galván Magaña porque además de ser de los grandes, es una persona íntegra y agradable, un ejemplo a seguir, muchas gracias por TODO Doc.*

*Al Doctor Javier Tovar Ávila, también de los grandes, igualmente íntegra y amable, igualmente muchas gracias por TODO Doc.*

*Al Dr. Agustín Hernández Herrera, a la Dra. Rosa Isabel Ochoa Báez y al Dr. Rogelio González Armas por regalarme un poco de su valioso tiempo.*

*A Hanny por todo el apoyo desde la Licenciatura, por ser mi apoyo moral desde el momento en que empezamos, gracias amor.*

*A mis cuatro papás, muchas gracias por TODO.*

*A TODA mi familia (biológica y adoptiva), muchas gracias por su apoyo.*

*A los compañeros del laboratorio (“Galván Team”) por todas las experiencias. “Galván Team, cuál es su profesioóó...”, Ah no verdad!?*

*“Gracias a DIOS por TODO”*

## ÍNDICE

GLOSARIO.....	I
RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VI
I. INTRODUCCIÓN .....	7
II. ANTECEDENTES .....	10
III. JUSTIFICACIÓN .....	13
IV. OBJETIVO .....	14
IV.I. OBJETIVOS PARTICULARES .....	14
V. ÁREA DE ESTUDIO .....	15
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
VI.1. TRABAJO DE CAMPO.....	18
VI.2. TRABAJO DE LABORATORIO .....	20
VI.2.1. Edad y crecimiento .....	20
VI.2.2. Reproducción.....	23
VI.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	23
VI.3.1. Edad y Crecimiento.....	23
VI.3.2. Reproducción.....	26
VI.3.3. Demografía .....	27
VI.3.3.1. Supervivencia ( $l_x$ ) .....	27
VI.3.3.2. Mortalidad.....	27
VI.3.3.4. Fecundidad ( $m_x$ o $b_x$ ).....	30
VI.3.3.5. Tasa neta reproductiva ( $R_0$ ) .....	30
VI.3.3.6. Tiempo generacional ( $G$ ).....	30
VI.3.3.7. Tasa intrínseca ( $r_m$ ) y finita de incremento poblacional ( $\lambda$ ) .....	31

VI.3.3.8. Distribución estable por edad .....	32
VI.3.3.9. Escenarios variando los parámetros de entrada .....	33
VI.3.3.10. Potencial de recuperación ( $r_{2M}$ ) .....	34
VII. RESULTADOS.....	36
VII.1. Edad y crecimiento.....	41
VII.1.1. Validación de la periodicidad de formación de las marcas .....	41
VII.1.2. Estimación de la edad.....	42
VII.1.2. Modelos de crecimiento individual .....	43
VII.1.3. Comparación entre los modelos de crecimiento .....	45
VII.2. Reproducción .....	46
VII.2.1. Relación entre el peso y la longitud (W-LT) .....	46
VII.2.2. Relación entre la longitud del gonopterigio y la longitud total (LG-LT)..	47
VII.2.5. Relación entre el largo/ancho del útero y la longitud total (U-LT). .....	51
VII.2.6. Relación entre la glándula oviducal y la longitud total (GO-LT).....	52
VII.2.7. Relación entre el diámetro del oocito y la longitud total (DO-LT). .....	54
VII.2.8. Talla media de madurez ( $L_{50}$ ). .....	57
VII.2.9. Abundancia y talla de los embriones .....	58
VII.2.10. Desarrollo de embriones y vitelogénesis .....	62
VII.3. Demografía.....	64
VII.3.1. Mortalidad natural ( $M$ ) y mortalidad total ( $Z$ ).....	64
VII.3.2. Parámetros demográficos.....	66
M-considera sólo la mortalidad natural ( $M$ ); $M-4$ -considera la mortalidad natural ( $M$ ) y fecundidad de 4 embriones; $Z\sim 1.5M$ -considera la mortalidad natural ( $M$ ) aumentada 50%. .....	66
VII.3.3. Tablas de vida.....	67
VII.3.4. Matrices de Leslie .....	68

VII.3.6. Escenarios variando la edad máxima ( $E_{m\acute{a}x}$ ).....	73
VII.3.7. Escenarios variando la edad de madurez ( $E_{mad}$ ) .....	74
VII.3.8. Escenarios incrementando la mortalidad natural ( $M$ ).....	75
VII.3.9. Escenarios variando la edad de reclutamiento ( $E_{reclut}$ ).....	76
VIII. DISCUSIÓN .....	79
VIII.1. Edad y crecimiento .....	80
VIII.2. Reproducción .....	84
VIII.2.1. Madurez en machos .....	87
VIII.2.2. Madurez en hembras .....	88
VIII.2.3. Talla de madurez ( $L_{50}$ ) .....	90
VIII.2.4. Abundancia y talla de los embriones. ....	91
VIII.2.5. Desarrollo de embriones y vitelogénesis. ....	92
VIII.3. DEMOGRAFÍA .....	93
IX. CONCLUSIONES .....	99
X. RECOMENDACIONES .....	100
XI. BIBLIOGRAFÍA .....	101
XI.1. LITERATURA ELECTRÓNICA.....	109
XII. ANEXOS .....	110
XII.1. Clasificación de la especie .....	110
XII.2. Foto de la especie .....	110
XII.3. Descripción general de la especie.....	111
XII.4. Categoría de la especie.....	111
XII.5. Tablas y matrices de la sección de demografía .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Área de estudio, Bahía Tortugas, Baja California Sur, México.....	15
<b>Figura 2.</b> Corrientes oceánicas en la costa occidental de Baja California Sur (tomado de Kessler, 2006). .....	16
<b>Figura 3.</b> Esquema de la red de enmalle o chinchorro similar a la utilizada por los pescadores en Bahía Tortugas (FAO, 2005).....	17
<b>Figura 4.</b> Registro de medidas morfométricas en campo de la longitud total (LT) y ancho de disco (AD) de <i>Zapteryx exasperata</i> . .....	18
<b>Figura 5.</b> Corte abdominal de donde se extrajeron las muestras de <i>Z. exasperata</i> ..	19
<b>Figura 6.</b> a) Limpieza manual de las vértebras, b) Retiro de tejido conjuntivo remanente de las vértebras.....	20
<b>Figura 7.</b> a) Imagen de una cortadora de baja velocidad (Buehler, Isomet). b) Esquema del corte de una la vértebra.....	21
<b>Figura 8.</b> Corte sagital del centro de vértebra de una hembra de <i>Zapteryx exasperata</i> de 7 años de edad, mostrando el patrón de formación. Números–Bandas anuales (años), F-Foco; MN–Marca de nacimiento, BO–Banda opaca, BH–Banda hialina o translúcida.....	22
<b>Figura 9.</b> Estructura de tallas de las muestras de <i>Z. exasperata</i> capturadas en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México.....	36
<b>Figura 10.</b> Distribución de los organismos por sexo y por mes de muestreo. ....	38
<b>Figura 11.</b> Promedio de la talla de los organismos observados por mes de muestreo .....	40
<b>Figura 12.</b> Relación entre el radio de la vértebra con la longitud total (RV–LT). .....	40
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de formación de los bordes con los meses de muestreo.....	41
<b>Figura 14.</b> Análisis de incremento marginal (MIA). .....	42
<b>Figura 15.</b> Estructura de edades de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, B.C.S., México. ....	43
<b>Figura 16.</b> Modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) de <i>Z. exasperata</i> . ....	44

<b>Figura 17.</b> Modelo de crecimiento de von Bertalanffy de dos parámetros (MCVB-2). .....	44
<b>Figura 18.</b> Modelo de crecimiento de Gompertz de las muestras de <i>Z. exasperata</i> .	45
<b>Figura 19.</b> Relación peso–longitud (W-LT) de <i>Z. exasperata</i> en el presente estudio. La ecuación en negro es de machos y la ecuación en gris de hembras. ....	47
<b>Figura 20.</b> Relación entre la longitud del gonopterigio y la LT (LG-LT; n=159). ....	48
<b>Figura 21.</b> Relación entre el largo del testículo y la longitud total (Lt–LT) de los organismos machos de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, BCS.....	48
<b>Figura 22.</b> Relación entre el ancho del testículo (At) y la longitud total (LT) de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur. ....	49
<b>Figura 23.</b> Relación entre el largo del epidídimo (LE) y la longitud total (LT) de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur. ....	50
<b>Figura 24.</b> Relación entre el ancho del epidídimo (AE) y la longitud total de <i>Z. exasperata</i> en el presente estudio. ....	50
<b>Figura 25.</b> Relación del largo del útero (LU) con la longitud total (LT) de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur. ....	51
<b>Figura 26.</b> Relación entre el ancho del útero y la longitud total de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur. ....	52
<b>Figura 27.</b> Relación entre el largo de la glándula oviducal (LG) con la longitud total (LT) de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur. ....	53
<b>Figura 28.</b> Relación entre el ancho de la glándula oviducal (AG) y la longitud total (LT) de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, Baja California Sur. ....	53
<b>Figura 29.</b> Diámetro del oocito más grande de cada hembra de <i>Z. exasperata</i> del presente estudio.....	54
<b>Figura 30.</b> Diámetro de los oocitos por día de muestreo de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, BCS; círculos grises: diámetro de los oocitos más pequeños, círculos negros: diámetro de los oocitos más grandes. ....	55
<b>Figura 31.</b> Promedio del diámetro de los oocitos por mes y año de muestreo. ....	55

<b>Figura 32.</b> Promedio del diámetro de los oocitos por mes (año tipo).....	57
<b>Figura 33.</b> Talla media de madurez ( $L_{50}$ ) para hembras de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, BCS.....	57
<b>Figura 34.</b> Talla media de madurez ( $L_{50}$ ) para machos de <i>Z. exasperata</i> en Bahía Tortugas, BCS.....	58
<b>Figura 35.</b> Cápsula que contenía los embriones, cuando la hembra está preñada comúnmente se observa una en cada útero. ....	59
<b>Figura 36.</b> Distribución de tallas de los embriones de <i>Z. exasperata</i> durante la temporada de muestreo. ....	59
<b>Figura 37.</b> Relación entre el número de embriones y la talla de la madre.....	60
<b>Figura 38.</b> Relación entre la talla de los embriones y la talla de la hembra.....	61
<b>Figura 39.</b> Talla de los embriones de cada hembra preñada por día de muestreo...	62
<b>Figura 40.</b> Longitudes promedio de los embriones por mes de muestreo, considerando los tres años (2013, 2014 y 2015). ....	63
<b>Figura 41.</b> Longitud promedio de los embriones en un año tipo.....	63
<b>Figura 42.</b> Predicción de la distribución estable de los organismos por edad de las tres tablas de vida. ....	67
<b>Figura 43.</b> Matriz de elasticidades para la tabla <i>M</i> (Tabla A-1).....	70
<b>Figura 44.</b> Matriz de elasticidades de la tabla <i>M-4</i> (Tabla A-2).....	71
<b>Figura 45.</b> Matriz de elasticidades de la tabla $Z \sim 1.5M$ (Tabla A-3). ....	72
<b>Figura 46.</b> Tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ ) de los diferentes escenarios. ....	77
<b>Figura 47.</b> Tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) de los diferentes escenarios..	77
<b>Figura A-1.</b> Matriz de transición de la tabla <i>M</i> (Tabla 1).....	116
<b>Figura A-2.</b> Matriz de transición de la Tabla <i>M-4</i> (Tabla 2). ....	118
<b>Figura A-3.</b> Matriz de transición de la Tabla $Z \sim 1.5M$ (Tabla 3). ....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Número de organismos y proporción sexual de los organismos de <i>Z. exasperata</i> muestreados en el estudio por mes de muestreo. ....	37
<b>Tabla 2.</b> Número de organismos y proporción sexual de <i>Z. exasperata</i> por año y mes de muestreo. ....	37
<b>Tabla 3.</b> Distribución de muestras por año/mes de muestreo. ....	39
<b>Tabla 4.</b> Valores del criterio de información de Akaike (AIC) para los tres modelos de crecimiento en <i>Zapteryx exasperata</i> por sexos separados. ....	45
<b>Tabla 5.</b> Valores de los promedios del diámetro del oocito por mes de muestreo. ....	56
<b>Tabla 6.</b> Métodos utilizados para estimar la mortalidad de <i>Z. exasperata</i> . ....	65
<b>Tabla 7.</b> Parámetros demográficos de la especie <i>Z. exasperata</i> . ....	66
<b>Tabla 8.</b> Parámetros demográficos de <i>Z. exasperata</i> considerando $M$ , $M$ a una fecundidad distinta y $Z$ . ....	68
<b>Tabla 9.</b> Escenarios de mortalidad natural ( $M$ ). ....	73
<b>Tabla 10.</b> Escenarios variando la edad máxima ( $E_{m\acute{a}x}$ ). ....	74
<b>Tabla 11.</b> Escenarios a diferente edad de madurez ( $E_{mad}$ ). ....	75
<b>Tabla 12.</b> Modelos con los que se estimaron la mortalidad total ( $Z$ ). ....	75
<b>Tabla 13.</b> Escenarios de mortalidad total por pesca variando la mortalidad natural. ....	76
<b>Tabla 14.</b> Parámetros demográficos variando la edad de reclutamiento ( $E_{reclut}$ ). ....	76
<b>Tabla 15.</b> Comparaciones de los parámetros del modelo de von Bertalanffy de las diferentes especies de las familias Rhinobatidae y Trygonorrhinidae. ....	83
<b>Tabla 16.</b> Tallas de madurez de <i>Z. exasperata</i> de los diferentes estudios. ....	85
<b>Tabla 17.</b> Diámetro máximo de oocitos observados para <i>Z. exasperata</i> . ....	90
<b>Tabla A-1.</b> Tabla de vida de <i>Zapteryx exasperata</i> capturada con valores de la mortalidad natural ( $M$ ). ....	112
<b>Tabla A-2.</b> Tabla de vida de <i>Zapteryx exasperata</i> con valores de mortalidad natural ( $M$ ) y fecundidad de 4 embriones. ....	113

**Tabla A-3.** Tabla de vida de *Zapteryx exasperata* con valor promedio de *M* incrementado 50% ( $Z \sim 1.5M$ )..... 114

**Tabla A-4.** Matriz de proyección de la tabla *M* (Tabla 1) y valores de los parámetros.  
..... 115

**Tabla A-5.** Matriz de proyección de la tabla *M-4* (Tabla 2) y valores de los parámetros.  
..... 117

**Tabla A-6.** Matriz de proyección de la Tabla  $Z \sim 1.5M$  (Tabla A-3) ..... 119

## **GLOSARIO**

<b>Análisis Demográfico</b>	Es el proceso donde se combinan las tasas de natalidad, tasas de mortalidad específicas por edades para obtener estimaciones de la tasa reproductiva neta, el período intergeneracional y la tasa intrínseca de crecimiento. Ello significa la construcción de un cuadro de vida estática o de cohorte para la población basado en estimaciones fiables de natalidad, mortalidad y longevidad, donde normalmente se asume una distribución por edades, y tasa de reclutamiento constante.
<b>Crecimiento</b>	Incremento de talla o peso de un organismo en relación al tiempo o edad que tiene.
<b>Edad</b>	Tiempo de vida que tiene un individuo desde que nace hasta que se hace la estimación.
<b>Edad de reclutamiento</b>	Número de años a los cuales el organismo forma parte de la pesquería.
<b>Evaluación de riesgo ecológico</b>	Estudios que se realizan para saber qué tan impactada está siendo una especie o un área de pesca.
<b>Madurez</b>	Aptitud de un pez de una determinada edad o talla para reproducirse, en forma de porcentaje de madurez por edad o talla.
<b>Pesca</b>	Acción de extraer un recurso de cualquier ambiente acuático, ya sea del mar, lagos, esteros o ríos.

<b>Planes de manejo</b>	Métodos que se utilizan para lograr que una pesquería sea sustentable. Evalúan la pesquería desde puntos de vista biológicos, ecológicos y económicos, considerando el tamaño y dinámica de la estructura de la población, de la flota y de la captura.
<b>Población</b>	Grupo de organismos de una misma especie que comparten caracteres ecológicos y genéticos. Los stocks definidos a efectos de evaluación y ordenación de stock no coinciden en todos los casos con poblaciones.
<b>Reclutamiento</b>	Los peces que por primera vez son vulnerables a la pesquería cada año debido al crecimiento.
<b>Rendimiento máximo sostenible</b>	La media máxima de rendimiento (captura) que se puede extraer a largo plazo de un stock, que corresponde al rendimiento esperado de una pesquería
<b>Reproductores</b>	Se refiere a peces que han alcanzado la madurez reproductiva.
<b>Sobrepesca</b>	Cuando la mortalidad por pesca ejercida sobre el stock es “demasiado alta”. Cuando se estima que $F$ está por encima de un punto de referencia biológico límite.
<b>Stock</b>	Unidad biológica de una especie que forman un grupo de características ecológicas similares, y como unidad es el sujeto de evaluación y ordenación.
<b>Talla mínima de captura</b>	Esta medida de control, se decide basándose en consideraciones respecto al rendimiento por recluta. El objetivo es alterar el tipo de explotación para que los peces juveniles tengan oportunidad de crecer antes de ser vulnerables a la pesca.

<b>Tasa intrínseca de crecimiento poblacional</b>	Valor que cuantifica el posible crecimiento de una población entre períodos de tiempo sucesivos. Se estima por medio de modelos y ayuda a evaluar la posibilidad de sostener diferentes niveles de captura.
<b>Tasa de crecimiento individual</b>	Valor que cuantifica la velocidad media del crecimiento individual en la población, ya sea en talla o en peso.
<b>Tasa de mortalidad instantánea</b>	Es la forma sencilla de describir la mortalidad como una fracción, por unidad de tiempo, generalmente en un año (si el valor es 0.3, el 30% de los peces que mueren en un año).
<b>Tasa de mortalidad natural (M)</b>	Parte de la tasa total de mortalidad que se debe a causas diferentes a la pesca (depredación, enfermedad, canibalismo, contaminación, etc.).
<b>Tasa de mortalidad por pesca (F)</b>	La mortalidad que se debe exclusivamente a la pesca, puede ser desde 0 que es cuando el recurso no se está explotando hasta 1 o más por año.
<b>Tasa de mortalidad total (Z)</b>	Es la suma de las tasas de mortalidad natural (M) y mortalidad por pesca (F).
<b>Tiempo generacional (G)</b>	Es el tiempo que transcurre entre que nace una hembra y ésta tiene descendencia.

## GLOSARIO DE SIGNOS

<b><i>k</i></b>	Constante de crecimiento (año <sup>-1</sup> )
<b><i>L<sub>∞</sub></i></b>	Longitud asintótica (cm)
<b><i>t<sub>0</sub></i></b>	Edad hipotética, cuando el organismo mide cero cm (años)
<b><i>M</i></b>	Mortalidad natural (año <sup>-1</sup> )
<b><i>l<sub>x</sub></i></b>	Supervivencia a la edad <i>x</i>
<b><i>m<sub>x</sub> o b<sub>x</sub></i></b>	Fecundidad a la edad <i>x</i> (sólo embriones hembras)
<b><i>C<sub>x</sub></i></b>	Distribución estable de organismos por edad (%)
<b><i>E<sub>máx</sub></i></b>	Edad máxima (longevidad; años)
<b><i>E<sub>rec</sub></i></b>	Edad de reclutamiento (años)
<b><i>E<sub>pcapt</sub></i></b>	Edad de primera captura (años)
<b><i>r</i></b>	Tasa intrínseca de crecimiento poblacional
<b><i>λ</i></b>	Tasa finita de incremento poblacional ( $\lambda > 1$ crece, $\lambda < 1$ decrece)
<b><i>R<sub>0</sub></i></b>	Tasa neta reproductiva
<b><i>G</i></b>	Tiempo generacional (años)
<b><i>t<sub>x2</sub></i></b>	Tiempo en el cual se duplica la población (años)
<b><i>F</i></b>	Mortalidad por pesca
<b><i>Z</i></b>	Mortalidad total

## RESUMEN

*Zapteryx exasperata* es una especie de raya bentónica (Chondrichthyes: Trygonorrhinidae), habita en arrecifes rocosos, desde Newport Beach, California hasta Perú. Es la tercera especie de raya más abundante en la pesquería artesanal de B.C.S. Se conocen algunos aspectos de su biología reproductiva y hasta antes del presente estudio se desconocían los parámetros de edad, crecimiento y demografía. El objetivo general plantea analizar la demografía de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, B.C.S. Los organismos recolectados en Bahía Tortugas, provenientes de diferentes campos pesqueros de zonas adyacentes, fueron medidos, pesados, se registró el sexo y el estadio de madurez; las gónadas fueron almacenadas en formol al 10%. Las vértebras fueron congeladas y posteriormente procesadas para obtener los parámetros de edad, crecimiento, reproducción y con los resultados obtenidos se aplicaron los modelos demográficos. Se analizaron 244 organismos en el presente estudio (87 hembras y 157 machos), con un intervalo de tallas para hembras de 56.4–103 cm de longitud total (LT) y un intervalo de tallas para machos de 51.6–92 cm LT, se encontraron diferencias significativas entre los sexos en todos los análisis ( $p < 0.05$ ). Las hembras resultaron más grandes y más pesadas. La relación entre la vértebra y la talla fue lineal y significativa. Se observó una estructura de edades para hembras de 5–22.6 años y para machos de 4–19.6 años, con diferencias significativas entre sexos ( $p < 0.01$ ). De acuerdo con la ecuación inversa del modelo de von Bertalanffy (MCVB), la madurez es alcanzada a los 9 años en hembras y a los 7 años en machos. Se analizaron un total de 180 embriones (92 hembras y 88 machos) dentro de 22 hembras preñadas; la fecundidad por el número de embriones fue variable (3–15 embriones; media  $\pm$  desv. est.:  $8 \pm 2.74$ ). En los modelos demográficos se observó una M promedio de 0.231 mortalidad total indirecta entre 0.288 y 0.462, y, los valores de los demás parámetros demográficos fueron:  $R_0=5.59$ ,  $G=11.44$ ,  $r=0.15$ ,  $t_{x2}=4.297$  y  $\lambda=1.175$ . Los resultados en el presente estudio aportan información biológica y demográfica de la especie.

**Palabras clave:** Pesquerías de rayas, edad, crecimiento, reproducción, modelos demográficos.

## ABSTRACT

*Zapteryx exasperata* is a benthonic species from family Trygonorrhinidae (since 2016), habits in rocky and sandy reefs, from Newport Beach in California to Peru through Central America. Is the third important species in the artisanal fishery of Baja California Sur; nevertheless, only known some aspects of his reproductive biology, unknown until now its age, growth and demographic aspects. Therefore, the aim of this study is analyse the demography of *Z. exasperata* in Bahía Tortugas, BCS. The organisms was measured, weighed, we registered the sex and stage of maturity, the vertebrae was frozen, and the gonads was fixed in formaldehyde-10%. The age, growth and reproduction was estimated first, and with those parameters the demographic models was estimated. 221 individuals was observed in this study (79 females and 142 males), with females size range of 56.4–103 cm of total length (TL), and males of 51.6–92 cm TL, significant differences was observed in all analyses between sexes ( $p < 0.05$ ). Females was bigger and heavier. The estimated age structure was 5–22.6 years for females and 4–19.6 years for males, with significant differences between sexes ( $p < 0.01$ ). According to the inverse von Bertalanffy growth model (VBGM) equation, maturity is reached at 7.87 years in females and at 7.34 years in males. 180 embryos (92 females and 88 males) in 22 females pregnant was observed, the number of embryos was variable (3–15 embryos; mean  $\pm$  est. dev.:  $8 \pm 2.74$ ). In demographic models was observed a total mortality indirectly estimated between 0.038 and 0.104; natural mortality between 0.183 and 0.282 (mean: 2.31), another demographic parameters was:  $R_0=5.59$ ,  $G=11.44$ ,  $r_m=0.15$ ,  $r_{Euler}=0.161$ ,  $t_{x2}=4.297$  and  $\lambda=1.175$ .

Keywords: Rays fisheries, age, growth, reproduction, demography.

## I. INTRODUCCIÓN

La pesca es una actividad importante desde tiempos ancestrales, sin embargo el crecimiento poblacional y el asentamiento de comunidades en los litorales y en los cuerpos de agua interiores hacen que la presión sobre el recurso se incremente, por lo que el esfuerzo de pesca debe ser estimado y controlado (SAGARPA-INP, 2006).

Para poder gestionar una determinada pesquería, primero se tiene que conocer el recurso, a fin de comprender el funcionamiento y así adaptar medidas acorde a cada grupo o grupos de individuos. Las pesquerías están compuestas principalmente de organismos, que cumplen ciclos biológicos, es decir, nacen, crecen, se reproducen y finalmente mueren. El que un recurso tenga rendimiento, depende de conocer estos factores (Irazola *et al.* 1996).

La dinámica de poblaciones, es una de las ramas de la biología, que se encarga del estudio a nivel de poblaciones, que con ciencias auxiliares, como por ejemplo: las matemáticas, intenta cuantificar y describir los cambios que ocurren dentro de ésta, por lo que no sólo implica conocer el tamaño o la estructura, sino también los cambios que esta va teniendo a lo largo del tiempo (FAO, 1989).

Una determinada población está definida biológicamente como el grupo de individuos de una misma especie que habitan en un área determinada, cada una de estas, tiene un nivel de organización y estructura propias, además de que la reproducción es un factor que las mantiene aisladas una de otra, el ciclo biológico de cada población se repite con cierta frecuencia en espacio y tiempo garantizando la continuidad de la población (FAO, 1989).

Los peces cartilagosos, son recursos biológicamente importantes desde el punto de vista ecológico, pesquero, alimentario, turístico y económico. Los elasmobranquios, pertenecen a la Clase de los Condrictios, la cual se divide en dos principales grupos (subclases), los Elasmobranquios (Tiburones y rayas) y Holocéfalos (Quimeras) (Compagno, 1984; CONAPESCA-INP, 2004).

Los elasmobranquios, a través de su historia evolutiva han predominado y trascienden como componentes importantes dentro de las comunidades marinas, debido a su capacidad de adaptabilidad a los diferentes ambientes; sin embargo, son

organismos susceptibles a la sobrepesca, debido a las características y estrategias de reproducción que presentan (Holden, 1977; Stevens *et al.*, 2000; Dulvy y Reynolds, 2002; Blanco-Parra *et al.*, 2009).

La pesquería de elasmobranquios es una importante actividad ya que genera empleos en su fase de captura, manejo, proceso primario de la producción, distribución y comercialización de productos. Aproximadamente el 90% de la producción se destina al consumo nacional, proporcionando carne (proteína) de bajo costo a amplios sectores de la sociedad, con lo cual adquiere mayor importancia alimentaria. Otros productos aprovechados son: piel, vísceras y aletas, éstas últimas son un producto importante en el mercado oriental (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2004; DOFb, 2007; Ponce-Díaz *et al.*, 2009; Cartamil *et al.*, 2011).

Actualmente, en el mundo existen alrededor de 400 especies de tiburones y rayas, de las cuales 200 especies se encuentran en las costas mexicanas y de ellas, aproximadamente 49 son de gran importancia comercial de acuerdo con la cantidad de sus capturas (Applegate *et al.*, 1993; CONAPESCA-INP, 2004).

De las 49 especies de elasmobranquios que se pescan con redes agalleras en la costa occidental de Baja California Sur, *Zapteryx exasperata* es la tercera especie de raya más comúnmente capturada con 8.30% (de las capturas del 2000 al 2010), seguida de *Rhinobatos productus* con 28.57% y de *Myliobatis californica* con 10.90% (Ramírez-Amaro *et al.*, 2013).

En el 2014 según el anuario estadístico de pesca y acuacultura, la producción de rayas y afines en Baja California Sur constituyó casi 1.6 mil toneladas de peso vivo (1, 594, 983 k) con un valor en pesos de poco más de 15.6 millones de pesos (15, 666, 517), si se supone que la captura de la raya guitarra se mantuvo en 8.3%, la captura en peso vivo fue de aproximadamente 132,383.60 con un valor de 1.3 millones de pesos.

La raya guitarra pinta o guitarra rayada *Z. exasperata*, es una especie bentónica, perteneciente al grupo de los batoideos, dentro de la familia Rhinobatidae. Se caracteriza por presentar pequeñas espinas a lo largo de la columna vertebral, por ello el nombre común en algunas regiones de raya espinosa, una coloración café oscura en el dorso con manchas negras difuminadas a lo largo del cuerpo y de color blanco

con dos manchas negras en cada aleta en la región ventral, alcanza una talla máxima de un metro en hembras y 92 cm en machos. Habita en arrecifes rocosos poco profundos, lagunas arenosas y cercanas a la costa, desde la zona intermareal hasta los 200 m de profundidad pero principalmente entre los 2.5 y los 10 m. (Michael, 1993).

Presenta una distribución desde Newport Beach, California hasta Perú, incluyendo el Golfo de California. A pesar de que es la cuarta especie más abundante en la pesquería de elasmobranquios con redes de enmalle del noroeste mexicano, se sabe poco acerca de su biología. (Castro-Aguirre *et al.*, 1970; Ebert, 2003; Bizarro & Kyne, 2006).

Los estudios de edad y crecimiento son importantes ya que con ellos, es posible definir su tiempo de vida (longevidad), identificar los grupos de edad que componen las capturas, la edad de primera madurez, la edad de reclutamiento, así como la tasa de crecimiento individual (Ehrhardt, 1981), todos los aspectos anteriores son fundamentales para generar planes de manejo de acuerdo con las necesidades de cada población, dirigidos hacia la explotación sustentable de los recursos, así como darle seguimiento a su dinámica poblacional (Holden y Raitt, 1975).

Los estudios de la reproducción, son igualmente importantes, ya que nos permiten conocer aspectos del proceso reproductivo de un determinado organismo, su ciclo reproductivo (periodo de ovulación, gestación y reposo), la fecundidad de los organismos (cuantos embriones puede alcanzar), la proporción sexual embrionaria, la distribución de los organismos en caso de que haya segregación por sexos, así como en la frecuencia de sexos y tallas para poder observar si es una zona de reproducción (Hamlett, 2005).

Con los estudios de edad, crecimiento y reproducción, es posible conocer los aspectos básicos de la especie y poder aplicar análisis demográficos que son importantes en la dinámica poblacional de cualquier organismo, en especial de uno que tenga importancia comercial, para buscar el aprovechamiento sustentable del recurso y generar un plan de manejo en caso de que la especie esté siendo impactada por la pesquería.

## II. ANTECEDENTES

A través del tiempo, los tiburones y las rayas se han convertido en un recurso cada vez más importante y han sido utilizados por diferentes culturas alrededor del mundo. En México, a partir de 1981 la pesquería de elasmobranquios se expandió de manera notable convirtiéndose en una de las principales de América, produciendo un aproximado de 30,000 toneladas por año (Castillo-Géniz *et al.*, 1996; Villavicencio-Garayzar, 1996).

La captura de rayas en México es una actividad relativamente nueva en comparación con la pesquería de tiburones, la cual empezó en la década de 1930. A finales de la década de 1980 tuvo un notable crecimiento la captura de batoideos, debido a la elevada pesca incidental de las embarcaciones camaroneras (Márquez-Farías y Blanco-Parra, 2006).

Uno de los primeros autores en describir la dinámica de una población de peces explotados mediante un modelo matemático fue Russell (1931); propuso un modelo descriptivo, con gran avance para la época y ha servido de base para modelos analíticos más complejos. Éste modelo resume el concepto general de la dinámica de poblaciones de peces en una sencilla ecuación:

$$S_2 = S_1 - (C-M) + (G+R)$$

Donde,  $S_1$  y  $S_2$  representan el peso o biomasa total de la población existente al inicio y al final de un periodo de tiempo determinado;  $C$  representa la cantidad de peces muertos por la pesca en ese mismo período de tiempo;  $M$  representa la cantidad de peces muertos por causas naturales;  $G$  representa el crecimiento en peso experimentado por los miembros de la población que han sobrevivido a estas dos causas de mortalidad; y  $R$  representa la cantidad de reclutas o de nuevos individuos que han ingresado a la población en ese mismo tiempo (FAO, 1989).

En cuanto a los estudios de demografía han sido desarrollados desde 1959, con Beverton y Holt quienes desarrollaron las fórmulas para poder estimar la mortalidad natural; Pauly (1979) quien determinó la tasa de mortalidad natural a partir de la

temperatura en la cual habita el organismo, Hoenig (1983) quien desarrolló la fórmula para estimar las tasas de mortalidad natural a partir del uso empírico de la longevidad. Peterson y Wroblewski (1984) desarrollaron la tasa de mortalidad en peces de ecosistemas pelágicos. El trabajo más reciente en cuanto a modelos para estimar los parámetros demográficos es el de Then (2015) en donde junto con Hoenig y dos colaboradores más evalúan la predicción en los estimadores empíricos de la mortalidad natural utilizando información de más de 200 especies de peces. En la actualidad se ha vuelto necesario el uso de estos datos para evaluar las especies que están sometidas a una pesquería.

La mayoría de los estudios demográficos en elasmobranquios se han desarrollado en tiburones, como son para *Carcharhinus plumbeus* en el Atlántico norte (Sminkey y Musick, 1996); *Carcharhinus obscurus* (Simpfendorfer, 1999a), *Rhizoprionodon taylori* (Simpfendorfer, 1999b) en Australia; *Heterodontus portusjacksoni* en Australia (Powter y Gladstone, 2008).

En cuanto a estudios de Biología básica para poder realizar los análisis demográficos los primeros estudios realizados en vértebras fueron en 1921 por Ridewood, quien hizo los primeros estudios de calcificación y determinó que las vértebras pueden servir para estimar la edad en elasmobranquios, a lo largo del tiempo los estudios de edad y crecimiento se han desarrollado en varias especies. Tan sólo de rayas, algunos estudios realizados son: *Raja clavata* (Holden & Vince, 1973); *Myliobatis californica* (Martin y Cailliet, 1988); *Dasyatis chrysonota* (Cowley, 1997); *Rhinobatos productus* (*Pseudobatos productus*; Timmons y Bray, 1997); *Rhinobatos rhinobatos* (Ismen *et al.*, 2007); *Rhinobatos rhinobatos* (Başusta *et al.*, 2008) *Dasyatis lata* (Dale & Holland, 2012) *Rhinobatos ceimiculus* (Enajjar *et al.*, 2012); *Raja radula* (Kadri *et al.* 2013); en varias especies del género *Dasyatis* (O'Shea *et al.*, 2013); *Rostroraja alba* (Kadri *et al.*, 2014), por mencionar algunos.

En cuanto a estudios de reproducción, igualmente se han desarrollado en varias especies de rayas, como son: *Rhinobatos productus* en el Pacífico Mexicano (*P. productus*, Villavicencio-Garayzar, 1993); *Rhinobatos percellens* en el Caribe Colombiano (Grijalba-Bendeck *et al.*, 2008); *Rhinobatos annulatus* en Sudáfrica (Rossouw, 2014); *Myliobatis californica* y *Myliobatis longirostris* en México

(Villavicencio-Garayzar, 1996) y algunas tesis como: *Narcine entemedor* (Villavicencio-Garayzar, 2000); *Raja inornata* (Castillo-Géniz, 2007); *Pseudobatos productus* (Downton-Hoffmann, 2007); *Zapteryx xyster* en México (Carrasco-Bautista, 2011) y en Ecuador (Vélez-Tacuri, 2015); *Raja velezi* (Soto-López, 2014); y de *Zapteryx brevirostris* una nota de nacimiento en cautiverio (González, 2004) y una tesis de sus características reproductivas (Do-Carmo, 2015).

Los aspectos biológicos básicos de la guitarra pinta o guitarra bandeada (como la llaman en algunas localidades), *Z. exasperata* han sido poco estudiados, se conocían únicamente la talla máxima (91 cm) de longitud total (LT) (Eschmeyer *et al.*, 1983); biología reproductiva en la costa del Pacífico de Baja California Sur (Villavicencio-Garayzar, 1995) quien determinó que las tallas de madurez eran de 69 cm LT en machos y de 77 cm LT en hembras; en el área de Bahía Tortugas, Baja California Sur (Meza-Castillo, 2014), quien observó tallas máximas de 124 cm LT y en la costa central de Sonora (Blanco-Parra *et al.*, 2009a) quien determinó que la madurez en machos es de 63 cm LT en machos y de 67 cm LT en hembras; biología pesquera en la costa central de Sonora, México (Blanco Parra *et al.*, 2009b) en donde observó que es una especie muy abundante durante la primavera y menos en el verano, así como también observaron que la captura por unidad de esfuerzo fue alta a profundidades entre 100 y 200 m; alimentación y nivel trófico con isótopos (Blanco-Parra *et al.*, 2011), en donde observaron que se alimenta principalmente de crustáceos (*Callinectes bellicosus*) en etapa juvenil y de peces (*Porichthys margaritatus* y *Engraulis mordax*) en etapa adulta, o estimando un nivel trófico de 4.1 aproximadamente y en lo que respecta a estudios de edad y crecimiento de *Z. exasperata*, no se conoce nada hasta el momento.

### III. JUSTIFICACIÓN

Las pesquerías de elasmobranquios carecen de datos específicos sobre esfuerzo pesquero, así como de registros históricos de producción por especie, quedando bajo el rubro de “rayas y similares”, sin tomar en cuenta que probablemente un gran número de especies se encuentren en alto riesgo de sobreexplotación (Stevens et al., 2000), lo anterior nos impide conocer que especies tienen mayor abundancia en la pesquería y por lo tanto, mayor grado de vulnerabilidad.

Se conoce que *Z. exasperata* es una de las especies de rayas capturadas en la pesca con redes agalleras en B.C.S., así como de manera incidental en la pesca de arrastre de camarón, sin embargo, al no estar debidamente cuantificada esta captura, se desconoce los efectos de la pesca y la situación actual de la población.

Algunas especies de elasmobranquios de importancia comercial ya han sido protegidas por las leyes NOM-059 y NOM-029, y clasificadas en diversas categorías de riesgo por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), lo cual contribuye al manejo sustentable del recurso.

Una vez estimados la edad y el crecimiento, se puede estimar la edad de madurez y la longevidad, aspectos básicos que ayudan a evaluar el nivel de vulnerabilidad de esta especie con respecto a la pesca, y proporcionan información que puede ayudar a la explotación adecuada de éste recurso.

Los análisis demográficos son útiles para la evaluación y el manejo de las poblaciones de tiburones y otros elasmobranquios ya que nos ayudan a estimar la tasa neta reproductiva, el período intergeneracional y la tasa intrínseca de crecimiento poblacional aunque para ello se necesitan estimaciones fiables de natalidad, mortalidad, longevidad y fecundidad. (Cailliet, 1992; Cailliet et al., 1992; Cortés y Parsons, 1996; Au y Smith, 1997; Márquez-Farías y Castillo-Géniz, 1998; Simpfendorfer, 2000; Neer y Cailliet, 2001; Mollet y Cailliet, 2002; Cortés, 2004).

Además de lo anterior, *Z. exasperata* es una especie con categoría de datos insuficientes en la lista roja (IUCN), por lo cual es necesario generar información científica que aporte datos y propuestas para la elaboración de un plan de manejo adecuado a la especie.

## IV. OBJETIVO

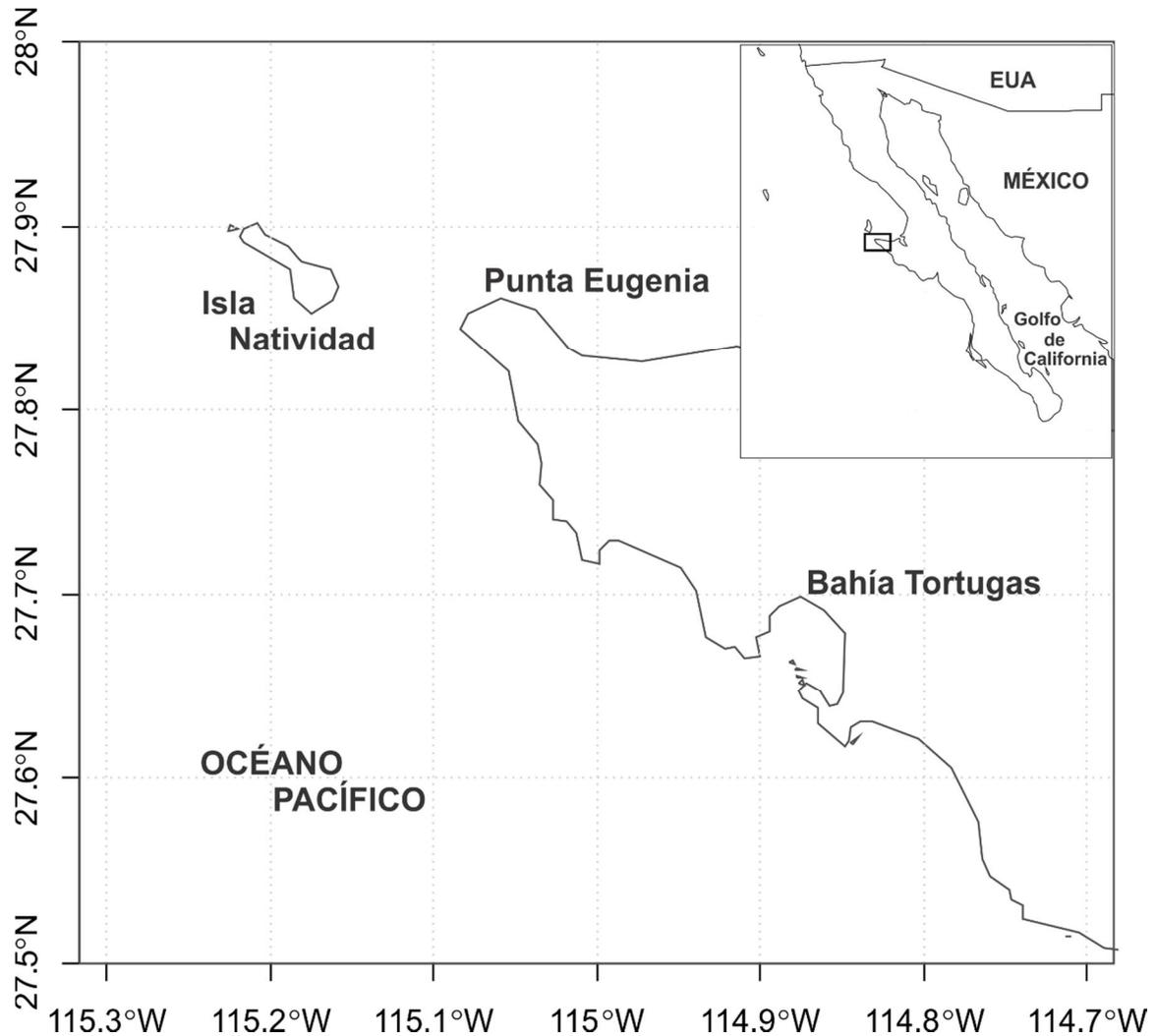
Estimar los parámetros de historia de vida y describir la demografía de la raya guitarra pinta, *Zapteryx exasperata*, en la costa noroccidental de Baja California Sur.

### IV.I. OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar la composición de tallas y proporción de sexos de las capturas de la raya guitarra pinta *Zapteryx exasperata* en la zona de estudio.
- Estimar la edad y el crecimiento de *Z. exasperata* de manera directa por medio del conteo de bandas de crecimiento en sus vértebras.
- Determinar la fecundidad, proporción sexual embrionaria, talla y edad de madurez sexual de *Z. exasperata*, así como su ciclo reproductivo a partir de la talla de los embriones y desarrollo gonádico a lo largo del año.
- Estimar los parámetros demográficos, de *Z. exasperata* en la costa noroccidental de Baja California Sur, incorporando la información de historia de vida obtenida.
- Incorporar la incertidumbre de los parámetros biológicos de la especie estimados en los modelos demográficos a través de análisis de sensibilidad.
- Explorar diversos escenarios de mortalidad por pesca para determinar la capacidad de la especie para soportar la explotación, así como la contribución de cada grupo de edad al crecimiento poblacional mediante análisis de elasticidad, lo anterior con el fin de establecer puntos de referencia límite en la pesquería.

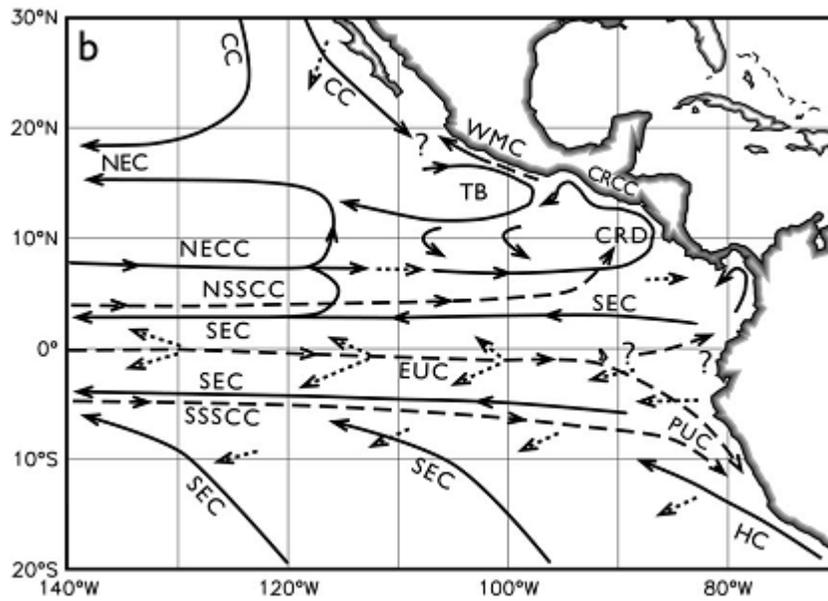
## V. ÁREA DE ESTUDIO

Bahía Tortugas está ubicada en la costa noroccidental de Baja California Sur, perteneciente al municipio de Mulegé, Baja California Sur, se encuentra próxima a Punta Eugenia (Fig. 1). Su localización geográfica es en la latitud:  $27^{\circ} 41' 30''$  N; en la longitud:  $114^{\circ} 53' 45''$  W y a una altitud de 10m sobre el nivel del mar (M.S.N.M.).



**Figura 1.** Área de estudio, Bahía Tortugas, Baja California Sur, México.

Las corrientes oceánicas con influencia en Bahía Tortugas son la corriente de California de agua templada que proviene del polo norte y la contracorriente Ecuatorial con agua cálida que proviene del ecuador (Fig. 2).

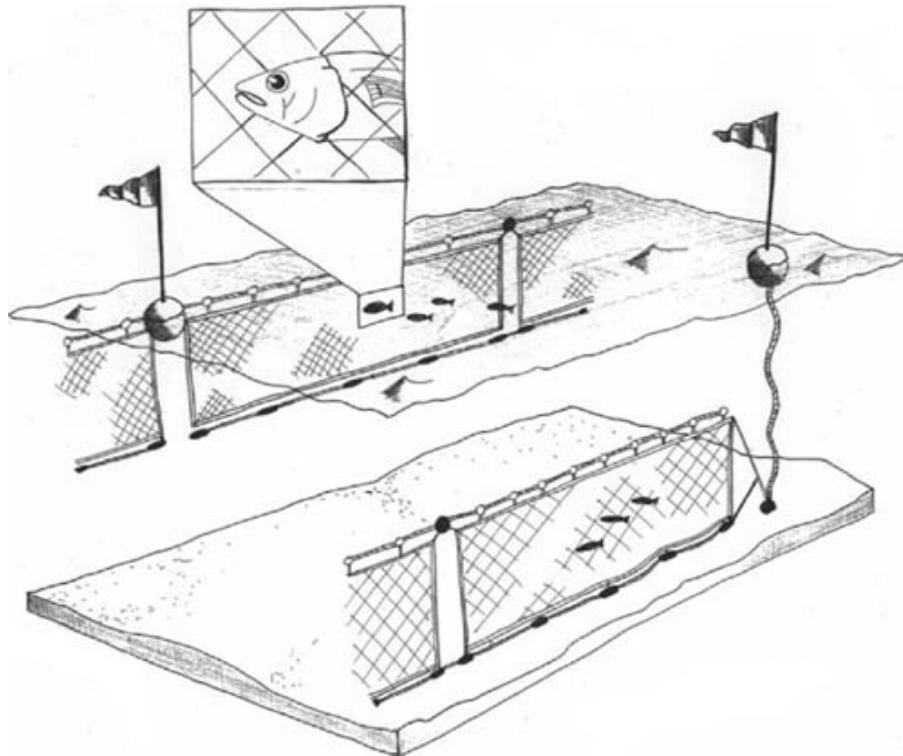


**Figura 2.** Corrientes oceánicas en la costa occidental de Baja California Sur (tomado de Kessler, 2006). CC; Corriente de California; CRCC, Corriente costera de Costa Rica; CRD, Domo de Costa Rica; NEC, Corriente nor-ecuatorial; NECC, contracorriente nor-ecuatorial; SEC, corriente sur-ecuatorial; TB, Cuenca de Tehuantepec; WMC, corriente del oeste de México.

La pesquería que captura *Zapteryx exasperata* en la costa noroccidental de Baja California Sur no es una pesquería dirigida, forman parte de ella varias especies de rayas y cazones, entre los que se encuentran las rayas: guitarra blanca (*Pseudobatos productus*), raya tecolote (*Myliobatis californica*); además de algunos cazones como: *Mustelus henlei*, *M. lunulatus*, *Squalus acanthias*, el tiburón perro (*Heterodontus francisci*, *H. mexicanus* y *Heterodontus sp.*).

En ésta pesquería se utilizan redes de fondo o chinchorros, las cuales son redes de nylon de calibre entre 0.4 y 0.55 mm, con luz de malla que varía entre nueve y 33 cm, aunque más comúnmente capturados en mallas de 15 a 20 cm (6 y 8,5 pulgadas). Las redes varían en longitud entre los 50 y 2400 m y la altura varía según el tamaño de la luz de malla del paño (Fig. 3). Se utilizan pangas de fibra de vidrio que varían entre los seis y nueve metros de eslora (18 y 21 pies), con capacidad de hasta una tonelada y media, utilizándose motores fuera de borda de 55 a 115 caballos de fuerza. En cada panga operan de dos a tres pescadores, los cuales se encargan de toda la

maniobra de pesca. La distancia de la costa a la que se coloquen las redes es a criterio del pescador, pueden ser colocadas desde unos cuantos metros, hasta 24 millas hacia adentro (38 km aprox.). Las redes se dejan entre 24 y 48 horas según la temporada del año y de la cantidad de producto que se capture, 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 se revisan cada 24 horas debido a que el producto se descompone debido a las altas temperaturas del agua.



**Figura 3.** Esquema de la red de enmalle o chinchorro similar a la utilizada por los pescadores en Bahía Tortugas (FAO, 2005).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### VI.1. TRABAJO DE CAMPO

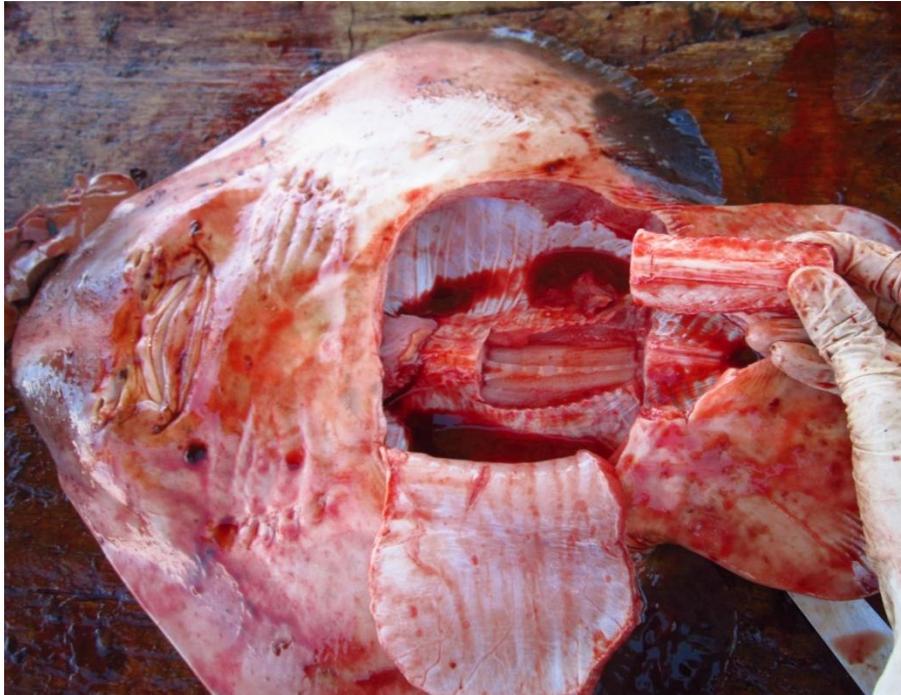
Las muestras existentes en el laboratorio (N=244 organismos, de los cuales se muestrearon 236 segmentos vertebrales y 198 órganos reproductores). Las muestras fueron recolectadas en un período de dos años. Para la recolección de dichas muestras, se realizaron visitas de entre dos semanas y un mes al campo pesquero que se encuentra en Bahía Tortugas, donde se desembarca la pesca de tiburones y rayas de las zonas adyacentes, como son las localidades de Malarrimo, Punta Queen, Isla Cedros y el Campito.

A los organismos desembarcados se les registró el peso del organismo entero (W), la longitud total (LT), el ancho de disco (AD), se les determinó el sexo por medio de la presencia o ausencia de gonopterigios (Fig. 4) y finalmente se les estimó el grado de madurez con las características propuestas por Smith y Merriner (1987). El grado de madurez en hembras se determinó por la presencia de embriones en el útero, en caso de que no presentara, únicamente se observaba y medía el tamaño de los oocitos vitelogénicos en el ovario. El grado de madurez en machos se determinó de acuerdo con el grado de calcificación, abertura del rifiodón y capacidad de rotación de los gonopetrigios (Carrier *et al.*, 2004). El gonopetrigio se midió de la parte posterior de la cloaca a la región apical del mismo.



**Figura 4.** Registro de medidas morfométricas en campo de la longitud total (LT) y ancho de disco (AD) de *Zapteryx exasperata*.

Posteriormente, se realizó la disección del organismo haciéndose un corte en la región abdominal (Fig. 5) para extraer tejido del hígado, estómago, músculo, vértebras y gónadas; los primeros cuatro tejidos fueron etiquetados y congelados; mientras que las gónadas fueron etiquetadas y almacenadas en una solución de formol al 10%, los úteros que contenían embriones igualmente se incluyeron en formol; en las etiquetas se escribió: fecha, lugar, especie, sexo, longitud total (LT) y número de organismo.



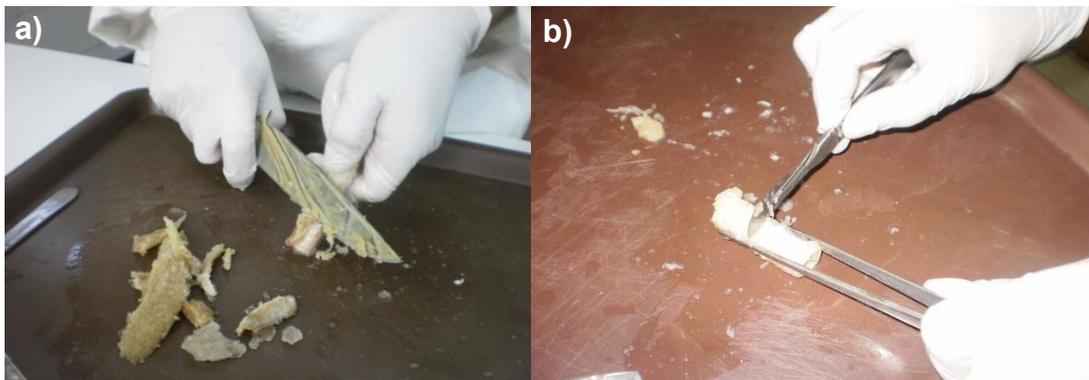
**Figura 5.** Corte abdominal de donde se extrajeron las muestras de *Z. exasperata*.

Las vértebras fueron recolectadas de la región precaudal (Officer *et al.*, 1996), las más próximas a la región branquial, se tomaron entre las primeras 10 y 15 vértebras aproximadamente de cada organismo (a partir del atlas y axis), las cuales fueron etiquetadas individualmente y congeladas hasta su transporte al laboratorio. Las gónadas fueron colocadas en bolsas de plástico con una solución de formol al 10% y almacenadas en recipientes de plástico rígido, fueron clasificadas por especie y transportadas al Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN).

## VI.2. TRABAJO DE LABORATORIO

### VI.2.1. Edad y crecimiento

Una vez en el laboratorio, las vértebras congeladas fueron limpiadas con un cuchillo (limpieza manual, Fig. 6a), en donde se extrajo la piel, el cartílago y la mayor parte del tejido conjuntivo. Posteriormente se realizó una limpieza fina (más detallada, Fig. 6b), en donde se calentó agua a 60° aproximadamente con una resistencia y con la parte posterior del bisturí se le extrajo el residuo de tejido conectivo, esto con la finalidad de lo dañar la estructura.



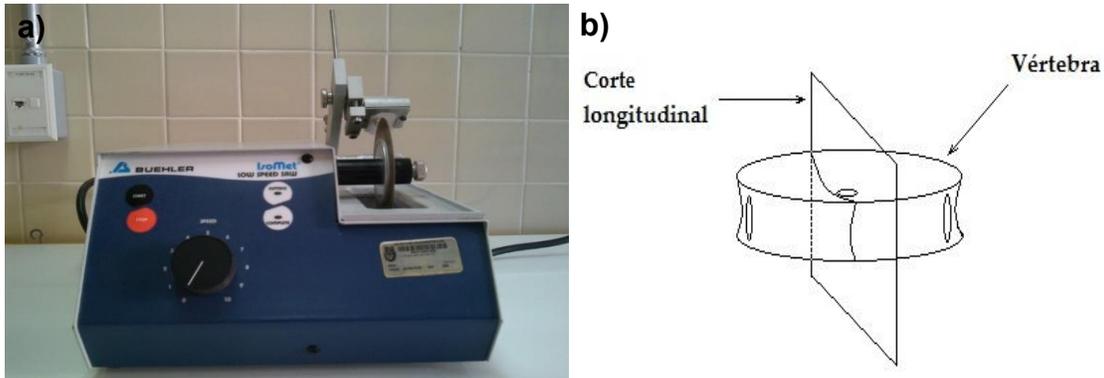
**Figura 6.** a) Limpieza manual de las vértebras, b) Retiro de tejido conjuntivo remanente de las vértebras.

Las vértebras fueron lavadas con agua corriente y después se dejaron inmersas en alcohol al 70% durante varios días (una semana aproximadamente) para que las vértebras se deshidrataran.

Se dejaron secar a temperatura ambiente (cuatro horas aproximadamente) y se seleccionaron las dos mejores, es decir, en caso de que el segmento vertebral presentara distintos tamaños, se seleccionaban las más grandes, si no, sólo las de mejor apariencia. Se realizaron pruebas de cortes para ver si las marcas de crecimiento eran visibles o era necesario aplicar tinciones. Se seleccionaron 30 vértebras al azar y fueron fijadas con cianocrilato comercial a una etiqueta de cartón, cada una con sus respectivos datos.

La etiqueta que sujetaba la vértebra se colocó en una estructura especial de aluminio, la cual se aseguró al brazo de una cortadora de baja velocidad (Buehler,

Isomet; Fig. 7a). Los cortes fueron aplicados en un plano longitudinal (sagital) con un grosor de 0.4 mm, es necesario que el corte incluya el foco (centro) de la vértebra para poder medir el radio de la vértebra (RV; Fig. 7b).



**Figura 7.** a) Imagen de una cortadora de baja velocidad (Buehler, Isomet). b) Esquema del corte de una la vértebra.

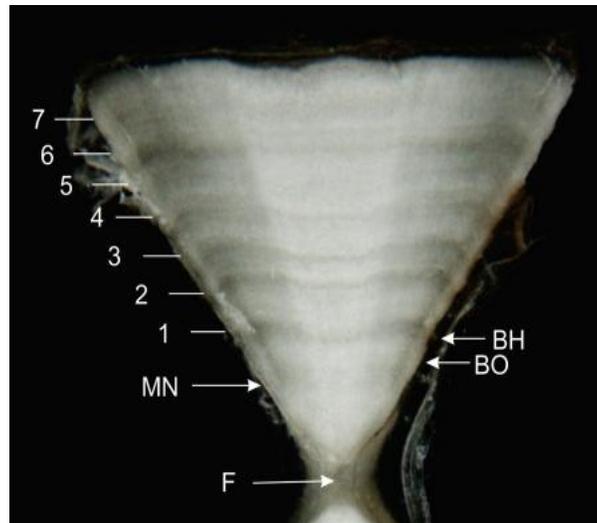
Los cortes de las vértebras seleccionadas al azar, fueron observados en el microscopio estereoscópico para determinar si las marcas de crecimiento eran visibles o era necesario aplicar tinciones; se realizaron observaciones con luz transmitida, donde hay iluminación de arriba y de abajo (permitiendo el paso de la luz) y con luz reflejada, donde hay iluminación de arriba sobre una superficie negra (no permite el paso de la luz, la refleja), lo anterior con la finalidad de seleccionar la técnica con la que se observara mejor las marcas de crecimiento, al final se observó que la mejor técnica era la luz reflejada, ya que se observaban mejor las marcas de crecimiento.

Debido a que las marcas de crecimiento se observaron fácilmente con esa técnica, no fue necesario aplicar tinciones, por lo que se procedió a cortar las demás vértebras de la misma manera. Una vez que las vértebras se cortaron, fueron almacenadas en tubos de eppendorf de 3 ml, etiquetados con sus respectivos datos.

Los cortes de las vértebras fueron digitalizados, con una cámara conectada al microscopio estereoscópico y a una computadora con el programa ZEN, a un aumento de 12x.

La identificación y el conteo de las marcas de crecimiento en las imágenes de los cortes de las vértebras se realizaron entre dos lectores de manera independiente.

Para la asignación de la edad, se contaron las marcas de crecimiento en el *corpus calcareum*, una marca de crecimiento fue representada por una banda opaca seguida de una banda hialina o translúcida, sin contar la *marca de nacimiento*, la cual es la primera banda translúcida que por lo general concuerda con un cambio en el eje de crecimiento de la vértebra (Fig. 8).



**Figura 8.** Corte sagital del centro de vértebra de una hembra de *Zapteryx exasperata* de 7 años de edad, mostrando el patrón de formación. Números–Bandas anuales (años), F-Foco; MN–Marca de nacimiento, BO–Banda opaca, BH–Banda hialina o translúcida.

Una vez estimada la edad de los organismos, se midió el radio de cada una de las vértebras (RV) con la ayuda del programa Sigma Scan Pro 4.0 y se registró el tipo de borde (opaco o translúcido), el cual se graficó con la media mensual de la temperatura superficial del mar en esa región para estimar de manera cualitativa la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento. Con el mismo programa se midió la distancia del foco a la última y penúltima marca de crecimiento para verificar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento.

### VI.2.2. Reproducción

Las muestras de las gónadas fijadas y almacenadas en formol al 10% se lavaron con agua corriente de dos a tres veces y se colocaron en recipientes de plástico según del tamaño de la gónada.

Los organismos se mantuvieron en alcohol por una semana aproximadamente, se organizaron por sexo y longitud total (LT). Al cabo de ese tiempo, cuando se abrían para medirse, si olían a formol, se les aplicaba un recambio de alcohol adicional.

En machos, se midió el largo y ancho del epidídimo junto con los conductos deferentes y el largo y ancho del testículo, además de las características registradas en campo (longitud del gonopterigio, grado de calcificación, presencia o ausencia de semen) y se compararon con la LT mediante análisis de regresiones lineales simples para evaluar cambios en la talla asociados a la madurez. En hembras, se midió el largo y ancho del útero, largo y ancho de la glándula oviducal, el diámetro del oocito más grande y del más pequeño, en caso de que presentaran varios tamaños se clasificaban y se medía uno de cada categoría, en caso de que la hembra presentara embriones estos fueron medidos, se les determinó el sexo y de igual manera se compararon con la LT mediante regresiones lineales simples.

## VI.3. ANÁLISIS DE DATOS

### VI.3.1. Edad y Crecimiento

Para describir la estructura por tallas, se realizaron histogramas de frecuencias con las longitudes de los organismos. Con la finalidad de evaluar las diferencias entre la estructura de tallas entre machos y hembras se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov (Sokal & Rohlf, 1981) a un nivel de confianza del 95%.

Para establecer la relación entre el radio de las vértebras y la longitud total (RV-LT) de los organismos, se realizó un análisis de regresión lineal simple.

Para evaluar la precisión en el conteo de las marcas de crecimiento leídas entre lectores, se calculó el porcentaje de error promedio (Beamish & Fournier, 1981):

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

y el coeficiente de variación (CV) (Chang, 1982):

$$CV = \frac{100}{N} \left( \frac{\sum_{i=1}^R \sqrt{\frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} \right)$$

Donde:

N – Número total de organismos a los cuales se les estimó la edad

R – El número de veces que se leyó la estructura (número de lectores)

$X_{ij}$  – es la edad  $i$  determinada para el organismo  $j$

$X_j$  – Promedio de la edad calculada para el organismo  $j$

Para describir la composición por edades, se graficaron histogramas de las distribuciones de frecuencias del número de marcas de crecimiento presentes en las vértebras tanto de hembras como de machos. Para determinar si existían diferencias significativas en el número de marcas entre sexos se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov (Sokal & Rohlf, 1981).

Con la finalidad de verificar la temporalidad de formación de las marcas de crecimiento se utilizaron dos enfoques, uno cualitativo, en donde se calculó el porcentaje mensual de las vértebras con borde opaco (Ishiyama, 1978; Tanaka & Mizue, 1979) y otro cuantitativo, en donde se utilizó el análisis de incremento marginal (IM) propuesto por Hayashi (1976) el cual fue estimado por la función:

$$IM = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}}$$

Donde:

R – radio de la vértebra

$r_n$  y  $r_{n-1}$  – distancia entre el foco a la última y penúltima banda traslúcida, respectivamente.

Para determinar el crecimiento, con los datos de edad y longitud total (LT) se aplicaron tres modelos, el primero, el modelo de von Bertalanffy de tres parámetros:

$$L_t = L_\infty \left(1 - e^{-k(t-t_0)}\right)$$

Donde:  $L_t$ , longitud total en la edad  $t$  años;  $L_\infty$ , longitud asintótica o la longitud máxima teórica;  $k$ , coeficiente de crecimiento;  $t_0$ , edad teórica a la longitud cero.

Adicionalmente se determinó el crecimiento mediante el modelo de von Bertalanffy de dos parámetros ( $k$  y  $L_\infty$ ):

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

Donde a  $L_0$  se le asignó un valor de 20 cm LT, ya que 19.5 cm fue la talla máxima de embriones observada por Meza-Castillo (2014);  $L_\infty$ ,  $k$  y  $t_0$  ya fueron definidos.

El modelo de von Bertalanffy de dos parámetros es el modelo más utilizado en elasmobranquios, debido a las tallas a las cuales nacen (Cailliet et al., 2006).

Adicionalmente se utilizó el modelo de Gompertz (Ricker, 1975), para explorar un modelo alternativo y evaluar cuál de los tres modelos se ajustaba mejor a los datos de edad estimados para *Z. exasperata*:

$$LT = L_\infty \exp(-\exp(-k(t-t_0)))$$

Se aplicó la ecuación inversa del modelo de von Bertalanffy para determinar la edad a la talla de madurez de *Z. exasperata*:

$$t(L) = \frac{t_0 - 1}{k} \cdot \ln\left(\frac{1 - LT}{L_\infty}\right)$$

Donde  $t(L)$  es la edad a la talla de madurez;  $t_0$ ,  $k$  y  $L_\infty$  fueron definidas previamente.

Para estimar los parámetros de los diferentes modelos se utilizó el programa STATISTICA 10. Para la comparación de las curvas de crecimiento entre sexos se

utilizó el análisis de la suma de cuadrados residuales propuesto por Chen *et al.* (1992), que compara todos los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy (Haddon, 2001).

### VI.3.2. Reproducción

El ciclo reproductivo fue determinado mediante el método propuesto por Walker (2005), graficando la media del diámetro del folículo más grande y la media de la LT de los embriones contra los meses.

El modelo logístico fue ajustado con datos de madurez binomial (0 – inmaduros, 1 – maduros) con la fórmula:

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

Donde:

$M_L$  – Proporción de individuos maduros a una longitud  $L$  (cm)

$L_{50\%}$  - Es la longitud a la cual el 50% de los individuos es maduro (la mediana de la talla de madurez)

De igual manera se graficó el largo y ancho de la glándula oviducal con respecto a la longitud total (LT en cm); la proporción de organismos maduros con respecto a la LT en cm y la LT media mensual de los embriones y del diámetro (cm) de los oocitos con respecto a los meses de muestreo.

La proporción sexual fue estimada mediante el número de machos presentes por cada hembra en el estudio, y se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov para ver si había diferencias en la proporción sexual.

La fecundidad fue estimada mediante el conteo del número de embriones presentes en cada hembra preñada, a los embriones se les midió la longitud total y se les determinó el sexo mediante la presencia o ausencia de gonopterigios (en embriones comúnmente de 1.3 cm de longitud total) y la proporción sexual embrionaria se calculó mediante el número de machos presentes por cada hembra, y se evaluó si había diferencias significativas mediante una prueba de suma de cuadrados residual.

### VI.3.3. Demografía

Se generaron tablas de vida a partir de los parámetros estimados en los estudios de edad, crecimiento y reproducción, los parámetros utilizados fueron: edad máxima (longevidad), número de embriones (fecundidad), así como la proporción sexual de los mismos, edad de primera madurez; además de la supervivencia, para la cual se calculó la mortalidad natural ( $M$ ) mediante distintos métodos indirectos, algunos de ellos emplearon  $k$  y  $L_{\infty}$ , parámetros estimados de la curva de crecimiento de von Bertalanffy, en la sección de edad y crecimiento.

#### VI.3.3.1. Supervivencia ( $l_x$ )

Para estimar la supervivencia se consideró la longevidad ( $x$ ) calculada en la sección de edad, mediante la fórmula:

$$l_x = l_{x-1} e^{-Z}$$

Donde  $l_x$  es la supervivencia hasta la edad  $x$  y  $Z$  es la mortalidad total, la cual fue representada por la mortalidad natural ( $M$ );  $l_{x-1}$  que es el valor de la supervivencia del grupo de edad anterior.

#### VI.3.3.2. Mortalidad

Se utilizaron siete métodos indirectos para estimar la tasa de mortalidad natural ( $M$ ) de *Z. exasperata*: el método de **Pauly** (1980), el de **Jensen** (1996) **A, B y C**, **Peterson y Wroblewski** (1984), **Hoening** (1983) y el de **Then** (2015). El método de Pauly (1980) y el método de Hoening (1983) se aplicaron únicamente con fines comparativos, ya que el valor de la constante que utiliza (1.46) es para peces óseos, y las características de los tiburones son más parecidas a mamíferos debido a su lento crecimiento, madurez tardía y baja fecundidad.

La ecuación de Pauly (1980) basada en longitudes:

$$\log M = -0.0066 - 0.279 \log L_{\infty} + 0.6543 \log k + 0.4634 \log T$$

Éste método relaciona  $M$  con los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy ( $L_{\infty}$  y  $k$ ) y la temperatura promedio ( $T$ ) del hábitat de la especie, en este caso se utilizó  $18.9^{\circ}\text{C}$  por ser la temperatura promedio del área de estudio (Bahía Tortugas), aunque Then *et al.* (2015) menciona que la temperatura no es un buen indicador para estimar  $M$ , es por ello que sólo se utilizó con fines descriptivos al igual que el método de Hoenig (1983).

El método A de Jensen (1996) determina la relación entre los parámetros de vida y  $M$ , utilizándose las interacciones óptimas entre la reproducción y la supervivencia. Por medio de la siguiente ecuación:

$$M = \frac{1.65}{X_m}$$

Donde  $X_m$  es la edad de madurez para hembras de *Z. exasperata*.

El método B de Jensen (1996) plantea que existe una relación simple teórica entre el valor de  $k$  de la ecuación de von Bertalanffy y  $M$ :

$$M = 1.5k$$

El método C de Jensen (1996), aunque es similar al modelo B, éste considera la temperatura del organismo utilizada en la fórmula de Pauly (1980), el valor de  $k$  es el mismo que en la fórmula anterior:

$$M = 1.60k$$

El método de Peterson y Wroblewski (1984) permite la estimación de  $M$  a una talla o edad específica a través de la función:

$$M = 1.92W^{-0.25}$$

Donde  $M$  es la mortalidad por año,  $W$  es el peso del organismo en gramos a una talla o edad determinada.

El peso fue estimado con las variables que resultaron del análisis de peso-longitud, en el apartado de reproducción, mediante la fórmula:

$$W = 2 * 10^{-5} LT^{2.6812}$$

Donde LT es la talla a cada edad estimada con los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy obtenidos en el apartado de edad y crecimiento y las variables del peso, del apartado de reproducción, en el análisis de peso longitud (W-LT).

Fueron utilizados dos métodos de Then *et al.* (2015); el primero, utiliza la edad máxima y el segundo, utiliza el valor de la constante de crecimiento ( $k$ ) y la longitud asintótica ( $L_{\infty}$ ) del modelo de von Bertalanffy. Los autores recomiendan el uso de la edad máxima ( $t_{m\acute{a}x}$ ) como el mejor indicador para interpretar las evaluaciones, debido a que fue el método que presentó un error de predicción más bajo (0.3). La fórmula que considera los parámetros de  $k$  y  $L_{\infty}$ , es buena pero tiene un error de predicción un poco más alto (0.6):

$$M = 4.899t_{m\acute{a}x}^{-0.916} \quad M = 4.118k^{0.73}L_{\infty}^{-0.33}$$

Dónde  $t_{m\acute{a}x}$  es la edad máxima alcanzada en la especie,  $k$  es la constante de crecimiento del modelo de von Bertalanffy y  $L_{\infty}$  es el valor de la longitud asintótica del modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

Adicionalmente y con fines comparativos, se utilizó el método de Hoenig (1983) que determina la mortalidad total; sin embargo, cuando las poblaciones no se encuentran o se encuentran levemente explotadas, la mortalidad total es igual a la mortalidad natural ( $Z=M$ ). Hasta hace unos años (2015), éste era uno de los métodos más utilizados para realizar estimaciones demográficas, hasta que Then *et al.* (2015), mencionan un método para estimar la mortalidad a partir de la edad máxima (descrito anteriormente).

La fórmula para la estimación de mortalidad mediante el método de Hoenig (1983) es:

$$\ln(Z) = a + b \ln(E_{m\acute{a}x})$$

Donde  $Z$  es la mortalidad total, se puso  $a$  y  $b$ , ya que se utilizaron los datos obtenidos por Hoenig (1983) para peces y para cetáceos, ya que estos últimos tienen ciclos de vida más parecidos a los tiburones (ciclos de vida largos, baja fecundidad y lento crecimiento) y  $E_{\text{máx}}$  es la edad máxima, se utilizó la mayor edad estimada (22.6 años) para las hembras de *Z. exasperata*. El supuesto de esta ecuación se refiere a que los peces más longevos presentan una mortalidad total menor que los menos longevos presentan una mortalidad total mayor (Sparre y Venema, 1997).

#### VI.3.3.4. Fecundidad ( $m_x$ o $b_x$ ).

La tasa reproductiva es determinada únicamente por las hembras. La tasa de producción de crías hembras se estimó mediante el tamaño de la camada (número total de embriones), multiplicado por la proporción de embriones hembras (Simpfendorfer, 2000), a partir de la edad a la talla de madurez estimada mediante la ecuación inversa del modelo de crecimiento.

#### VI.3.3.5. Tasa neta reproductiva ( $R_0$ )

Se estimó la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ), la cual representa el total de hembras que producen descendientes por individuo de una sola cohorte:

$$R_0 = \sum_{x=\alpha}^w l_x m_x$$

#### VI.3.3.6. Tiempo generacional ( $G$ )

El tiempo generacional ( $G$ ) que representa el periodo medio entre el nacimiento de una madre y el nacimiento de sus descendientes:

$$G = \frac{\sum_{x=\alpha}^w l_x m_x x}{R_0}$$

### VI.3.3.7. Tasa intrínseca ( $r_m$ ) y finita de incremento poblacional ( $\lambda$ )

La tasa intrínseca y finita de incremento poblacional, se estimaron por medio de tablas de vida. En las tablas de vida,  $r$  se estimó mediante la solución de la ecuación de Euler-Lotka:

$$\sum_{x=\infty}^w l_x e^{-rx} m_x = 1.0$$

Donde  $l_x$  y  $m_x$  son la sobrevivencia y fecundidad a la edad  $x$  (número de hembras producidas por cada hembra) respectivamente;  $x$  es la edad de madurez y  $w$  es la edad máxima reproductiva.

Para estimar la tasa intrínseca de incremento poblacional ( $r$ ) se utilizó la fórmula:

$$r = \frac{\ln(R_0)}{G}$$

Donde  $R_0$  y  $G$  ya fueron descritas (Tasa neta reproductiva y tiempo generacional, respectivamente).

Se calculó también la tasa en la cual se duplicaría la población, dicha tasa se calculó mediante la fórmula:

$$t_{x2} = \frac{\ln(2)}{r}$$

Donde  $r$  es el valor de  $r$  inicial obtenido mediante el complemento "Solver" en Excel 2013.

Finalmente, para estimar la tasa finita de incremento poblacional ( $\lambda$ ) se utilizó la fórmula:

$$\lambda = e^r$$

### VI.3.3.8. Distribución estable por edad

Se calculó la distribución estable de *Z. exasperata* mediante la proporción de individuos de acuerdo a la edad de estos, se calculó mediante la fórmula:

$$C_x = \frac{(e^r)^{-x} l_x}{\sum_{x=0}^w (e^r)^{-x} l_x}$$

De igual manera se generaron matrices de Leslie (matriz de proyección, matriz de transición y matrices de elasticidad), la matriz de proyección es una técnica alternativa de representar los parámetros de supervivencia, fecundidad y edad de madurez en una matriz; la matriz de transición sirve para representar en una matriz la información de la tabla de vida, mediante ésta se pueden calcular los mismos parámetros que en una tabla de vida, además de poder aplicar análisis de sensibilidad y elasticidad y la matriz de elasticidad sirve para determinar qué grupo o grupos de edad contribuye(n) más al crecimiento poblacional de la especie, las matrices fueron generadas con la ayuda del complemento “Pop Tools” en Excel 2010.

Las matrices de Leslie se expresaron mediante la siguiente forma:

$$N_{t+1} = AN_t$$

Donde N es un vector que describe la composición de edades de la población  $t$  ó  $t+1$  y A es la matriz de proyección:

$$A = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 & \dots & m_w \\ l_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l_{w-1} & 0 \end{bmatrix}$$

Donde cada columna representa un grupo de edad y los valores de supervivencia es la división entre la probabilidad de que un individuo pase al siguiente grupo de edad. La matriz fue elaborada mediante el complemento Pop-tools 3.2.5 de Excel 2010.

#### VI.3.3.9. Escenarios variando los parámetros de entrada

Se probaron diferentes escenarios; primero con la mortalidad natural ( $M$ ), se generaron cuatro escenarios, los primeros dos con los valores de mortalidad de Then *et al.* (2015) basados en la edad máxima ( $t_{m\acute{a}x}$ ; escenario 1) y en la constante de crecimiento ( $k$ ; escenario 2) y los dos siguientes (escenarios 3 y 4), duplicando  $M$  en el primer año de vida, utilizándose los dos primeros modelos; esto según la teoría de Branstetter (1990) quien menciona que los neonatos presentan una mortalidad mayor en su primer año de vida a causa de la depredación.

Se probaron tres escenarios variándose la edad máxima ( $E_{m\acute{a}x}$ , escenarios cinco a siete), modelados con los parámetros de entrada de la tabla  $M$  (Tabla A-1). En cada uno de los escenarios se varió la  $E_{m\acute{a}x}$  a 12, 27 y 30 años respectivamente. Se decidió tomar la edad de 12 años como edad hipotética de que organismos formara dos pares de bandas por año, 27 y 30 años, considerando que se encontrara un organismo con una longevidad mayor a la observada en el presente estudio.

Se probaron tres escenarios variándose la edad de madurez ( $E_{mad}$ ; escenarios ocho a diez), considerando de igual manera los parámetros obtenidos en la tabla  $M$  (Tabla A-1). En cada uno se varió la edad un año antes, un año después y la edad a la cual el 95% de los organismos son sexualmente maduros (11.3 años). En el presente estudio la edad de madurez estimada fue de 8 años (7.87), por lo tanto se calculó para siete, nueve y once años.

Se crearon seis escenarios de mortalidad total ( $Z$ ) para simular la respuesta del crecimiento poblacional a las distintas tasas de explotación (escenarios 11 a 16).

Los modelos para estimar tasas de mortalidad, requieren de datos confiables que reflejen series de tiempo y esfuerzo y debido a que esos registros son escasos se realizarán aproximaciones a la mortalidad total por medio de dos diferentes métodos: la ecuación de Beverton y Holt (1956), basada en edades y en tallas:

$$Z = \frac{1}{\bar{t} - t'} \qquad Z = k * \frac{L_{\infty} - \bar{L}}{\bar{L} - L'}$$

Donde  $Z$  es mortalidad total,  $\bar{t}$  es la edad media de captura,  $t'$  es la edad en donde los peces de esa edad y más grandes están sometidos a explotación plena;  $k$  y  $L_{\infty}$  son los

parámetros de crecimiento de von Bertalanffy;  $\bar{L}$  es la talla media de los peces de longitud  $L'$  y mayores y  $L'$  es la talla a la que todos los peces de ese tamaño y más grandes están sometidos a explotación plena.

En los primeros dos escenarios (11 a 13), se consideraron los valores de la mortalidad total ( $Z$ ) estimados mediante la ecuación de Beverton y Holt (1956) a partir de la edad, de la talla y de  $\bar{L}$  debido a que los valores estimados por ambos métodos fueron bajos (aproximadamente 45% de la mortalidad natural el que considera la edad y 36.4% el que considera la talla), en el tercer escenario se adicionaron los dos valores. Los siguientes tres escenarios (14–16), fueron creados incrementando la mortalidad natural ( $M$ ) 50%, 75% y al doble. Para observar la comparación de los escenarios se graficó la tasa intrínseca de crecimiento poblacional.

Fueron generados tres escenarios (escenario 17 a 19) variando la edad de reclutamiento ( $E_{reclut}$ ) a seis, cuatro y tres en lugar de cinco años que fue la edad de reclutamiento observada para la *Z. exasperata* en el presente estudio.

#### VI.3.3.10. Potencial de recuperación ( $r_{2M}$ )

De igual manera se calculó el potencial de recuperación ( $r_{2M}$ ) de la especie en tres pasos (Au y Smith, 1997; Smith *et al.*, 1998). En el primero se calculó  $r$  mediante la ecuación de Euler-Lotka simplificada:

$$e^{-(M+r)} + l_{\alpha} b e^{-r\alpha} \left[ 1 - e^{-(M+r)(w-\alpha+1)} \right] = 1.0$$

Donde  $M$  corresponde a la mortalidad natural,  $r$  es la tasa intrínseca de incremento poblacional ( $r=0$ );  $l_{\alpha}$  es la supervivencia a la edad de madurez,  $b$  es la fecundidad,  $\alpha$  es la edad de madurez,  $w$  es la edad máxima reproductiva (longevidad).

En el segundo paso, se asumió que el rendimiento máximo sostenible ( $RMS$ ) se alcanza a una mortalidad total de  $2M$  ( $Z=2M$ ). Este paso se resolvió mediante la ecuación:

$$e^{-Z} + l_{\alpha,Z} b \left[ 1 - e^{-Z(w-\alpha+1)} \right] = 1.0$$

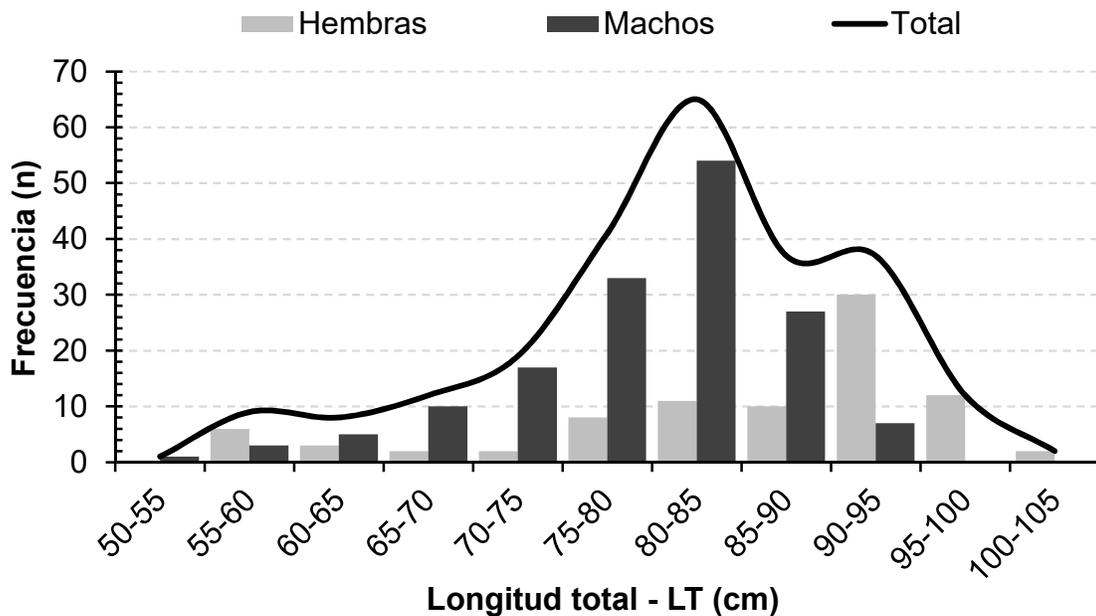
Donde  $Z$  corresponde al valor duplicado de la mortalidad ( $Z \sim 2M$ ), el valor de  $l_{\alpha,Z}$  es el valor de la supervivencia a la edad de madurez estimada con el incremento en la mortalidad.

En el tercer paso se calculó el valor del potencial de recuperación de la especie eliminando la mortalidad por pesca y conservando el valor de la supervivencia a la edad de madurez estimada con el valor de la mortalidad

Se estimó también el valor de la supervivencia a la edad de madurez a partir de un incremento en la mortalidad natural de 25% ( $Z \sim 1.25M$ ) y 50% ( $Z \sim 1.5M$ ), debido a que algunos autores consideran que los valores más probables en los cuales se encuentra el rendimiento máximo sostenible (Simpfendorfer, 2005).

## VII. RESULTADOS

Se midieron y analizaron un total de 244 organismos (87 hembras y 157 machos), el mayor número de organismos fue recolectado en agosto con 150 individuos (Fig.9). La talla predominante para hembras fue entre 90 y 95 cm (30 organismos, 12.3% del total, 34.5 de las muestras de hembras). La talla predominante para los machos fue entre 80 y 85 cm (54 organismos, 22.13% del total, 34.4% de las muestras de machos)



**Figura 9.** Estructura de tallas de las muestras de *Z. exasperata* capturadas en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México.

La proporción sexual fue de 1:1.8 (hembra:macho; Tabla 1 y 2, Fig. 10). El análisis de Kolmogorov-Smirnov demostró diferencias significativas entre sexos ( $p < 0.01$ ) de una proporción de 1:1. La menor diferencia en la proporción sexual fue en el mes de abril y noviembre (1:1.27 y 1:1.2 respectivamente; Tabla 1), mientras que en los meses de marzo, agosto y septiembre, se observaron las mayores diferencias significativas (1:2.1, 1:1.8 y 1:5 respectivamente; Tabla 1).

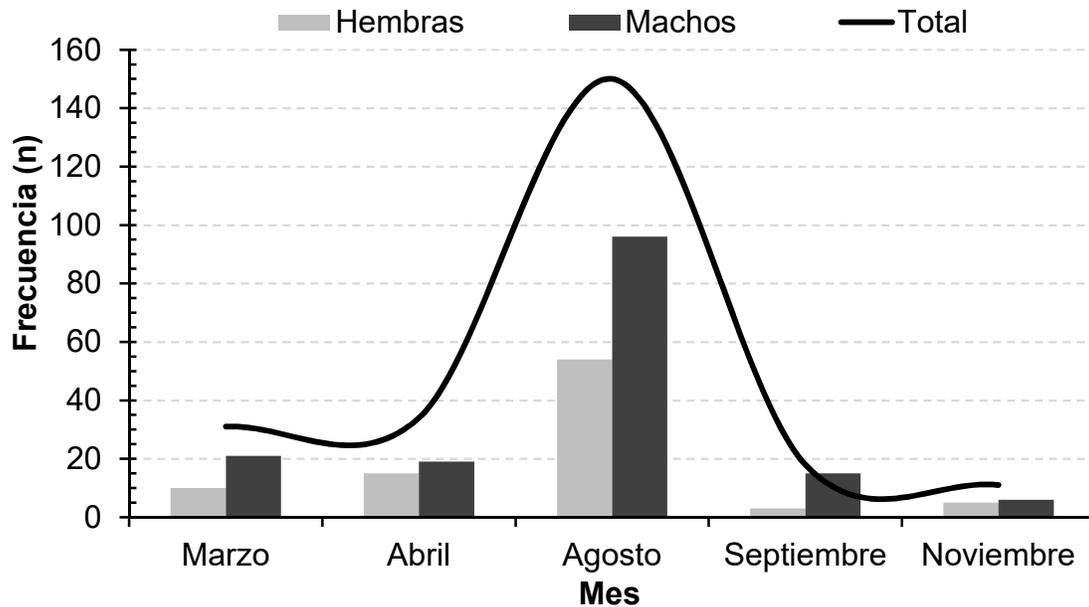
**Tabla 1.** Número de organismos y proporción sexual de los organismos de *Z. exasperata* muestreados en el estudio por mes de muestreo.

	<b>Hembras</b>	<b>Machos</b>	<b>Total</b>	<b>H:M</b>	<b>p</b>
marzo	10	21	31	1:2.1	$p < 0.05$
abril	15	19	34	1:1.27	$p > 0.05$
agosto	54	96	150	1:1.8	$p < 0.05$
septiembre	3	15	18	1:5	$p < 0.05$
noviembre	5	6	11	1:1.2	$p > 0.05$
<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>157</b>	<b>244</b>	<b>1:1.8</b>	<b><math>p &lt; 0.05</math></b>

**Tabla 2.** Número de organismos y proporción sexual de *Z. exasperata* por año y mes de muestreo.

	<b>Hembras</b>	<b>Machos</b>	<b>Total</b>	<b>H:M</b>
<b>2013</b>	33	37	70	1:1.1
agosto	30	32	62	1:1.1
septiembre	3	5	8	1:1.7
<b>2014</b>	42	88	130	1:2.2
marzo	5	4	9	1:0.8
abril	15	19	34	1:1.3
agosto	17	49	66	1:2.9
septiembre	-	10	10	
noviembre	5	6	11	1:1.2
<b>2015</b>	12	32	44	1:2.7
marzo	5	17	22	1:3.4
agosto	7	15	22	1:2.1
Total	87	157	244	1:1.81

La proporción sexual es variable a lo largo de los meses por cada año de muestreo, observándose una mayor diferencia en 2014 y 2015, específicamente en los meses de agosto y septiembre de 2013 y marzo y agosto de 2015 (Tabla 2).



**Figura 10.** Distribución de los organismos por sexo y por mes de muestreo.

Las 244 muestras registradas en el presente estudio a lo largo de los tres años de muestreo, fueron organizadas por sexo y longitud mínima máxima y promedio por mes y año de muestreo (Tabla 3).

Igualmente se graficó talla promedio de los organismos por mes de muestreo (Fig. 11), las tallas promedio mayores se observaron en el mes de agosto, para las hembras fue de 92.6 cm y para machos fue de 82.1 cm; las mínimas se observaron en el mes de noviembre para hembras: 78.05 cm LT y para los machos en el mes de abril: 76.43 cm LT.

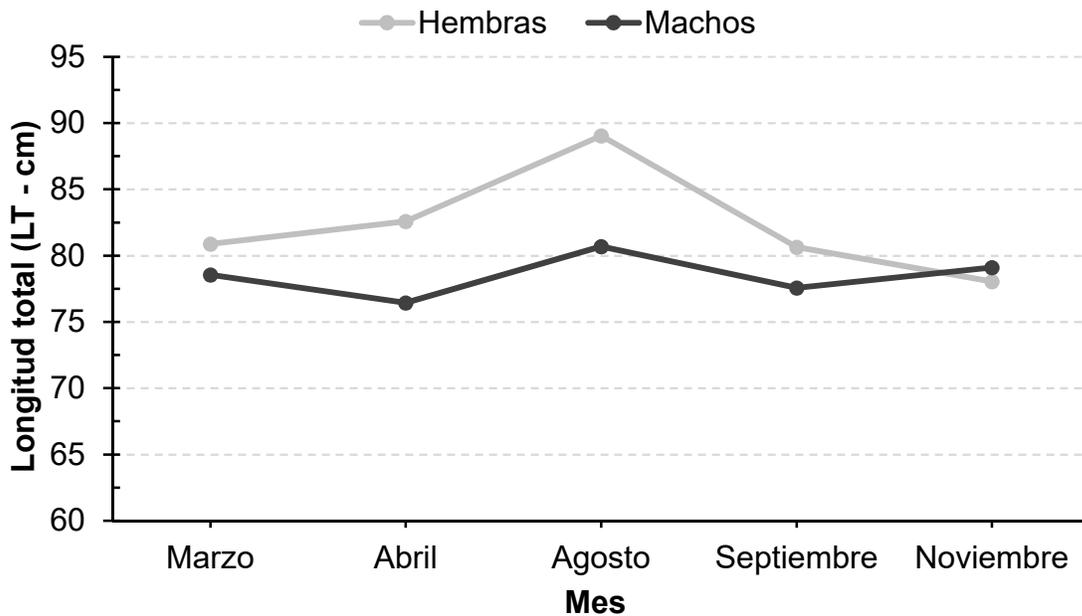
El intervalo de tallas de las hembras fue de 56.4–103 cm de LT (media  $\pm$  desv. est.,  $85.71 \pm 13.19$  cm). Sin embargo, una hembra de 22 cm de LT fue encontrada como presa en el estómago de un tiburón gata (*Cephaloscyllium ventriosum*). A pesar de que los órganos no estaban presentes, el organismo pudo ser identificado de acuerdo a sus características morfológicas. Además, se pudo obtener muestra de las vértebras para poder definir la distancia aproximada a la que se forma la banda de crecimiento, y poder observar si presenta o no marcas intrauterinas.

**Tabla 3.** Distribución de muestras por año/mes de muestreo.

	Hembras			Machos			N
	n	Mín-Máx (LT-cm)	Promedio (LT-cm)	n	Mín-Máx (LT-cm)	Promedio (LT-cm)	
<b>2013</b>	33	73.1 - 102	91.47	37	70 - 88.4	82.02	70
agosto	30	77 - 102	92.55	32	70 - 88	82.13	62
septiembre	3	73.1 - 93.5	80.63	5	74 - 88.4	81.32	8
<b>2014</b>	42	56.4 - 103	82.11	88	51.6 - 92	78.38	125
marzo	5	60.8 - 103	78.28	4	61 - 80	66.70	9
abril	15	56.4 - 97.4	82.59	19	57.4 - 91	76.44	34
agosto	17	56.6 - 98.2	83.28	49	56.4 - 92	80.65	66
septiembre	-	-	-	10	51.6 - 89.6	75.32	10
noviembre	5	73.1 - 83	78.05	6	74 - 91	79.10	6
<b>2015</b>	12	22 - 95	81.20	32	58 - 88.6	79.73	41
marzo	5	22 - 92	69.40	17	62 - 88.6	81.73	19
agosto	7	68 - 95	87.94	15	58 - 88	77.73	22
<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>22 - 103</b>	<b>85.71</b>	<b>157</b>	<b>51.6 - 92</b>	<b>79.52</b>	<b>244</b>

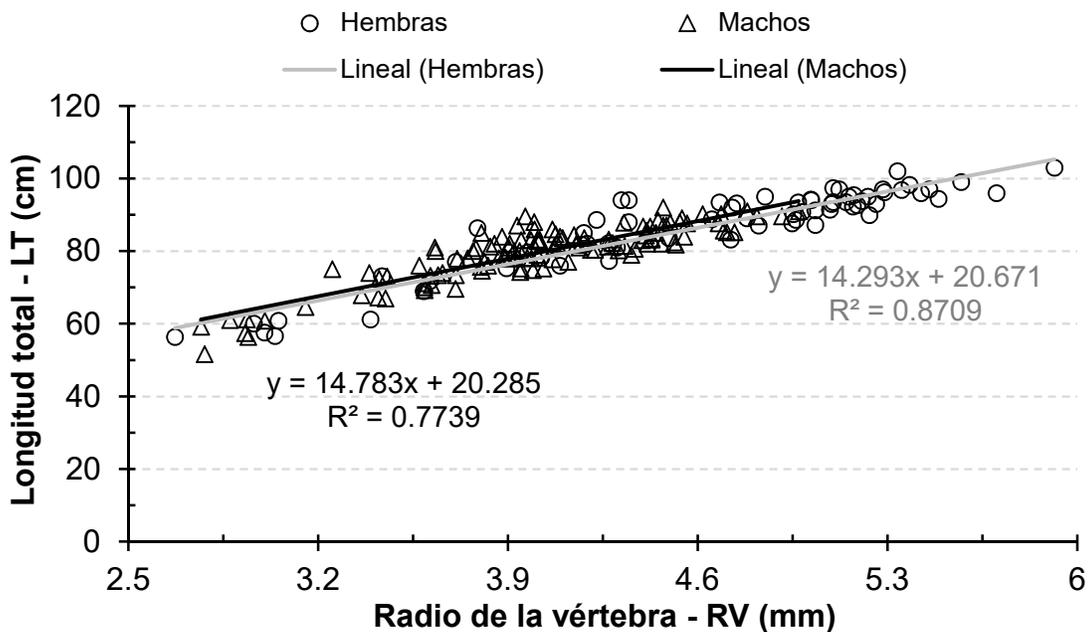
En los machos, el intervalo de tallas fue desde 51.6 hasta 92 cm de LT, con un promedio de 79.52 cm y una desviación estándar de 7.73 cm. En este caso, la prueba de Kolmogorov-Smirnov de igual manera demostró diferencias significativas entre sexos ( $p < 0.05$ ).

La hembra más grande fue observada en marzo de 2014 y el macho más grande en el mes de agosto de 2014. La hembra más pequeña (56.4 cm LT), sin considerar la hembra encontrada dentro del estómago del *C. ventriosum* (22 cm LT), fue observada en el mes de abril de 2014 y el macho más pequeño fue observado en el mes de septiembre de 2014.



**Figura 11.** Promedio de la talla de los organismos observados por mes de muestreo

En la relación entre el radio de la vértebra y la longitud total (RV-LT), de igual manera, se observaron diferencias significativas entre sexos, los cuales fueron lineales y significativos en ambos casos ( $r^2 = 0.87$  para hembras y  $r^2 = 0.77$  para machos, Fig. 12).



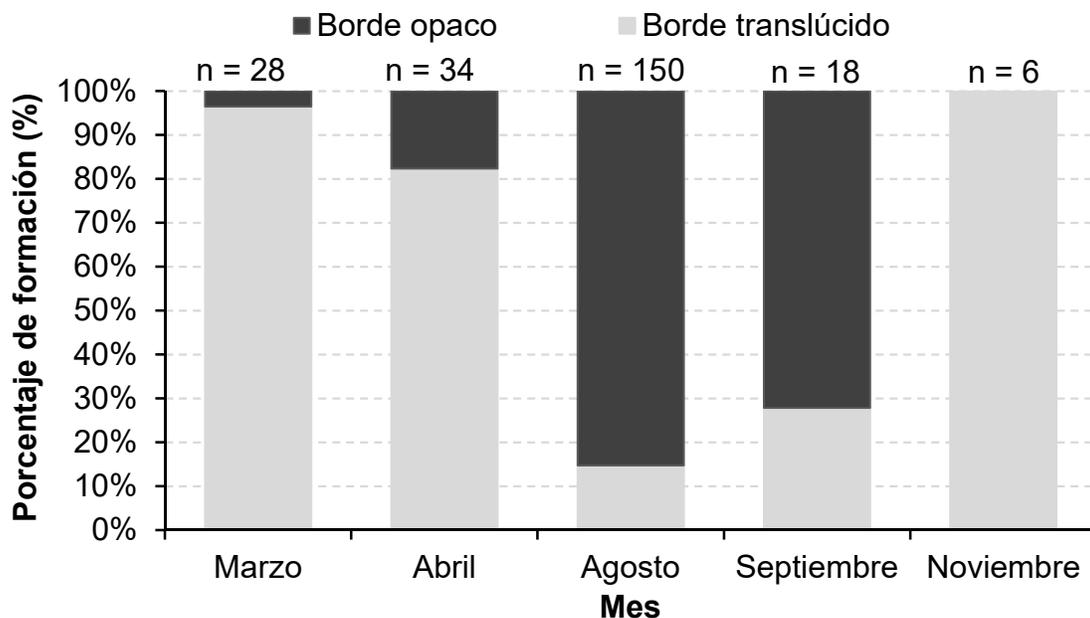
**Figura 12.** Relación entre el radio de la vértebra con la longitud total (RV-LT).

## VII.1. Edad y crecimiento

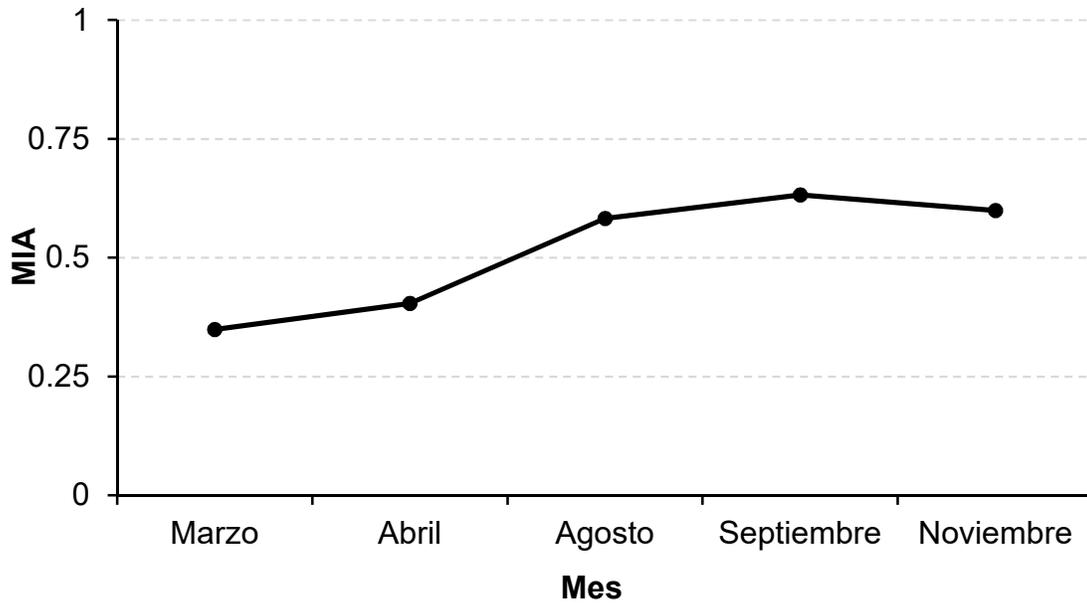
### VII.1.1. Validación de la periodicidad de formación de las marcas

A pesar de que no fue posible recolectar muestras en todos los meses del año, sin considerar los tres meses de veda, en las vértebras analizadas se observó un porcentaje bajo de bordes opacos durante los meses de marzo y abril y un porcentaje alto en bordes opacos en los meses de agosto, septiembre y noviembre (Fig. 13). El patrón anterior nos permite asumir que cada par de bandas de crecimiento en esta especie se forma anualmente, con los bordes opacos asociados a los meses cálidos y los bordes translúcidos asociados a los meses fríos.

En el análisis de incremento marginal (MIA, por su nombre en inglés), también se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ,  $r^2 = 0.8123$ ), sugiriendo una formación anual en los pares de bandas (Fig. 14).



**Figura 13.** Porcentaje de formación de los bordes con los meses de muestreo.



**Figura 14.** Análisis de incremento marginal (MIA).

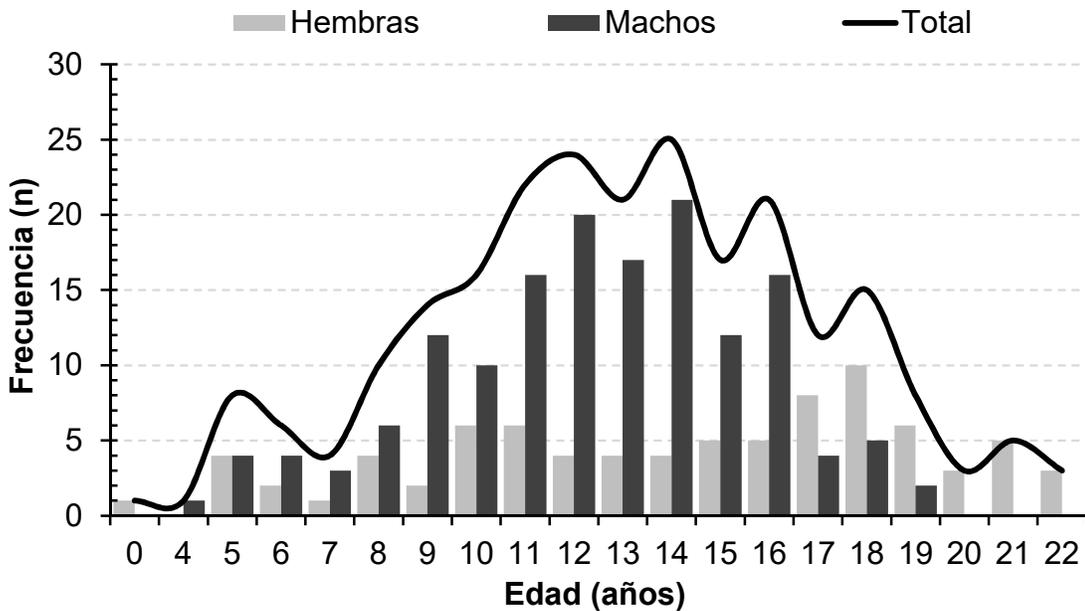
#### VII.1.2. Estimación de la edad

Se tomaron muestras de segmentos vertebrales de 236 individuos (de los 244 organismos observados), las cuales fueron utilizadas para las estimaciones de edad y crecimiento, de los cuales se observaron 83 hembras (56.4–103 cm de LT) y 153 machos (51.6–92 cm de LT). Para hembras, la edad predominante fue de 18 años (10 individuos, 4.24% del total de los individuos), mientras que para machos la edad predominante fue de 14 años (21 individuos, 8.9% del total de los organismos).

Basado en estudios previos la talla de madurez de 69 cm LT para machos y 77 cm LT para hembras (Villavicencio-Garayzar, 1995); el 12% de los organismos en el presente estudio fueron juveniles. De acuerdo con la ecuación inversa del MCVB, las hembras alcanzan la madurez a los 9 años y los machos a los 7 años. Es importante resaltar que los organismos juveniles no forman parte de la pesquería, sino que fueron extraídos con fines científicos, para obtener un intervalo de tallas más amplio.

La edad máxima estimada para hembras fue de 22.6 años (Fig. 15) para dos individuos que midieron 95 y 96.8 cm LT, mientras que la edad máxima para machos fue de 19.6 años, para dos individuos que midieron 87.8 y 90.2 cm LT. El porcentaje

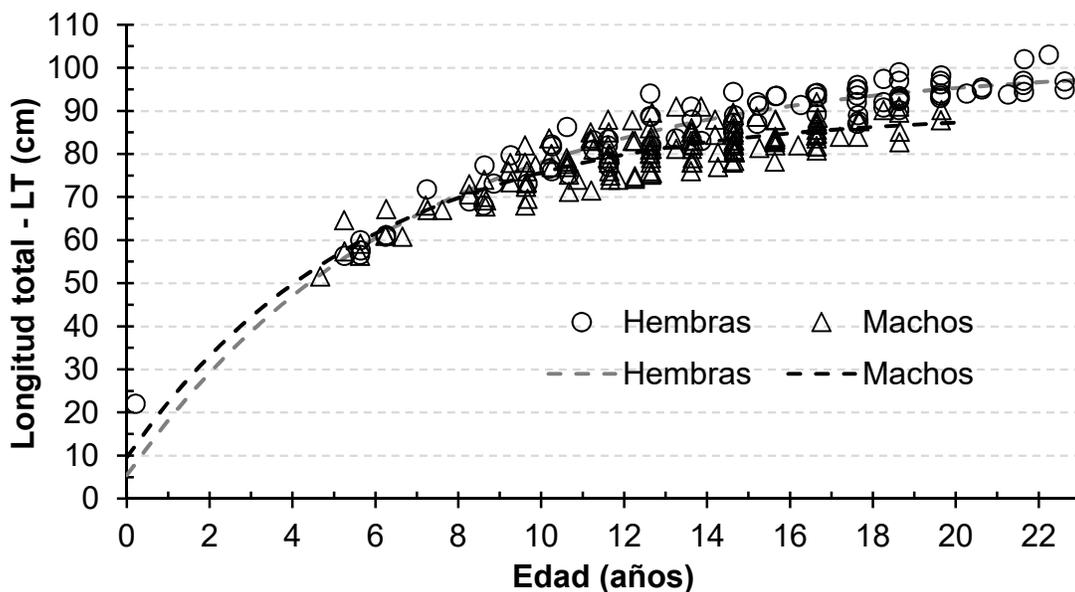
de error promedio (APE) inter-lector fue de 6.71 (CV = 9.65; D = 6.82), mientras que el APE intra-lector fue de 3.77 (CV = 5.34; D = 3.77).



**Figura 15.** Estructura de edades de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, B.C.S., México.

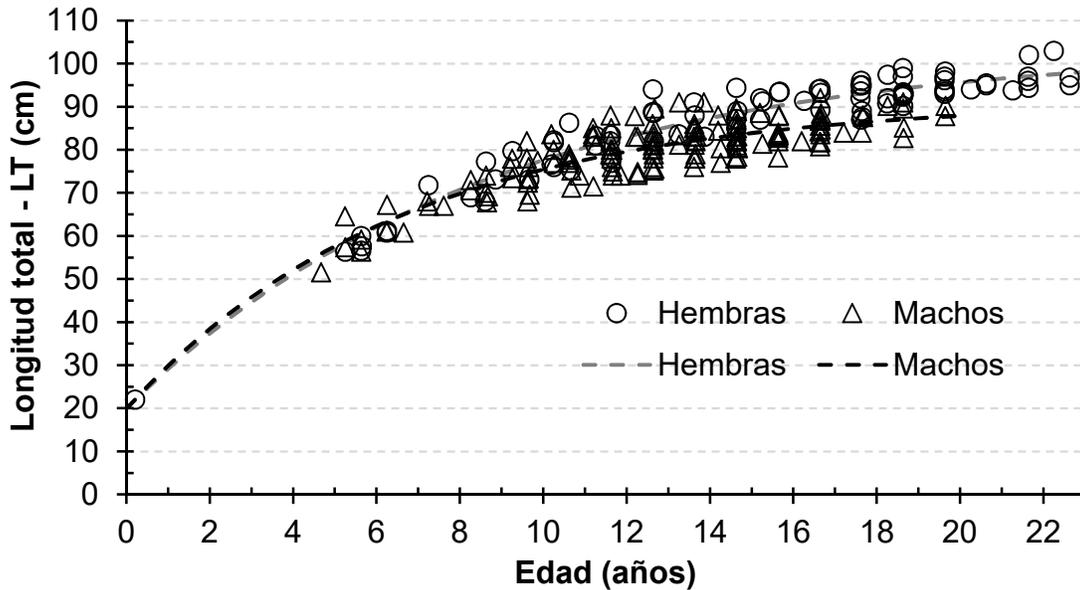
#### VII.1.2. Modelos de crecimiento individual

Los parámetros estimados para hembras por el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) fueron:  $L_{\infty} = 100.71$  cm,  $k = 0.14$  años<sup>-1</sup> y  $t_0 = -0.39$  años; para machos:  $L_{\infty} = 89.78$  cm,  $k = 0.17$  años<sup>-1</sup> y  $t_0 = -0.65$  años (Fig. 16).



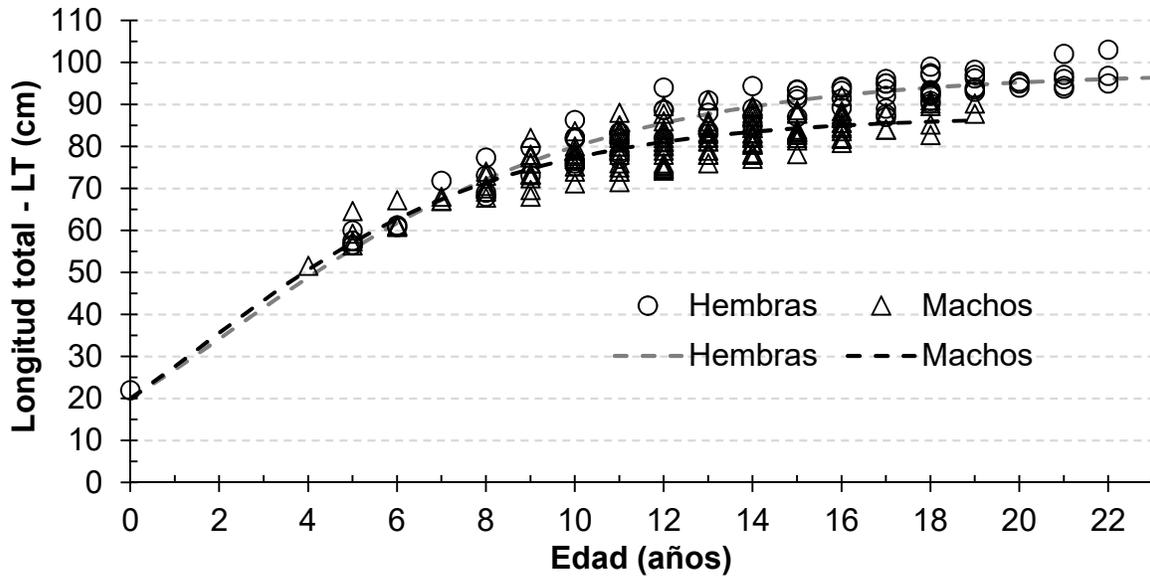
**Figura 16.** Modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) de *Z. exasperata*.

Los parámetros para el MCVB de dos parámetros fueron:  $L_{\infty} = 103.86$  cm y  $k = 0.12$  años<sup>-1</sup> para hembras y  $L_{\infty} = 91.52$  cm y  $k = 0.15$  años<sup>-1</sup> para machos (Fig. 17).



**Figura 17.** Modelo de crecimiento de von Bertalanffy de dos parámetros (MCVB-2).

Los parámetros resultantes para el modelo de Gompertz fueron:  $L_{\infty} = 98.26$  cm y  $k = 0.19$  años<sup>-1</sup> para hembras y  $L_{\infty} = 87.75$  cm y  $k = 0.23$  años<sup>-1</sup> para machos (Fig. 18). Se observaron diferencias significativas entre sexos para los tres modelos aplicados ( $p < 0.05$ ).



**Figura 18.** Modelo de crecimiento de Gompertz de las muestras de *Z. exasperata*.

### VII.1.3. Comparación entre los modelos de crecimiento

De acuerdo con el criterio de información de Akaike (AIC; Tabla 4), el MCVB y el MCVB de dos parámetros se ajusta bien a los datos de talla a la edad para machos y hembras.

Para hembras, los valores de  $\Delta_i$  y  $W_i$  presentaron ligeramente un mejor ajuste para el MCVB ( $\Delta_i = 0$ ,  $W_i = 0.686$ ), sin embargo, estos fueron casi igual de buenos que los del MCVB de dos parámetros ( $\Delta_i = 1.57$ ,  $W_i = 0.313$ ). El modelo de Gompertz fue el que presentó los valores más altos en  $\Delta_i$  (236.86) y el valor más bajo en peso ( $W = 2.53 \times 10^{-52}$ ). Para machos, los valores de  $\Delta_i$  y  $W_i$  se ajustaron ligeramente mejor los valores del MCVB de dos parámetros ( $\Delta_i = 0$ ,  $W_i = 0.608$ ), aunque los valores del MCVB fueron casi igualmente buenos ( $\Delta_i = 0.88$ ,  $W_i = 0.391$ ). Así como para las hembras, los valores del criterio para el modelo de Gompertz en machos también tuvieron las mayores diferencias ( $\Delta_i = 436.39$ ) y los menores pesos ( $W = 1.05 \times 10^{-95}$ ).

**Tabla 4.** Valores del criterio de información de Akaike (AIC) para los tres modelos de crecimiento en *Zapteryx exasperata* por sexos separados.

Hembras			Machos		
AIC	$\Delta_i$	W	AIC	$\Delta_i$	W

<b>MCVB</b>	195.56	<b>0</b>	<b>0.69</b>	405.87	0.88	0.39
<b>2-MCVB</b>	197.13	1.57	0.31	404.99	<b>0</b>	<b>0.61</b>
<b>Gompertz</b>	432.42	236.86	2.53E-52	841.38	436.39	1.05E-95

MCVB, modelo de crecimiento de von Bertalanffy; 2-MCVB, modelo de crecimiento de von Bertalanffy de dos parámetros, en donde la  $L_0$  es fija,  $\Delta_i$ , diferencia de Akaike;  $W$ , peso de Akaike.

## VII.2. Reproducción

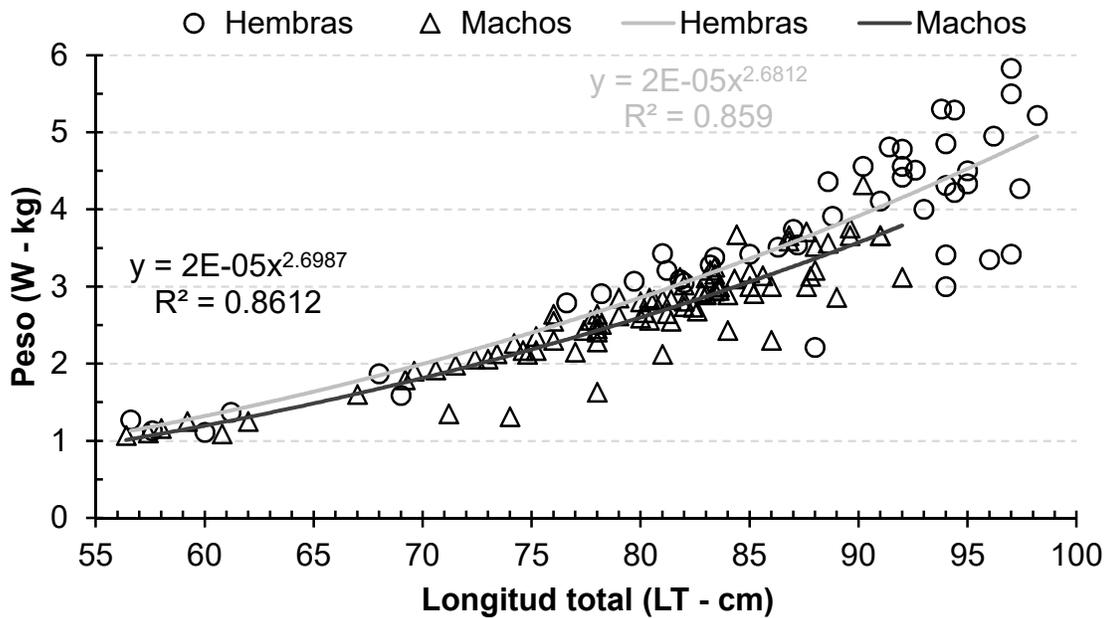
De los 244 organismos observados y medidos, se analizaron las gónadas de 198 para determinar la madurez, 62 hembras y 136 machos. De las 62 hembras analizadas sólo 14.52% correspondió a individuos inmaduros, es decir, sólo nueve y presentaron un intervalo de tallas de 56.6 a 82.2 cm LT (prom  $\pm$  desv. est., 64.1  $\pm$  8.7 cm LT). La hembra madura más pequeña midió 68 cm LT.

En los machos, de las 136 gónadas analizadas, sólo el 12.5% correspondió a individuos inmaduros, es decir, sólo 17 individuos, los cuales tuvieron un intervalo de tallas desde 56.4 hasta 75.2 cm LT (prom  $\pm$  desv. est., 64.3  $\pm$  6.2 cm). El macho maduro más pequeño midió 62 cm de LT.

El número de organismos inmaduros fue bajo ya que no son producto de la pesquería, siendo recolectados únicamente con fines de investigación, para tener un intervalo de talla más amplio. Normalmente cuando un organismo pequeño (inmaduro) es capturado, éste es regresado al mar inmediatamente.

### VII.2.1. Relación entre el peso y la longitud (W-LT)

Se observó que las hembras además de ser más longevas y de tallas más grandes que los machos, también son más pesadas, observándose que la hembra más liviana pesó 1.11 kg y midió 60 cm LT, mientras que la hembra de mayor peso 5.83 kg y midió 97 cm LT.



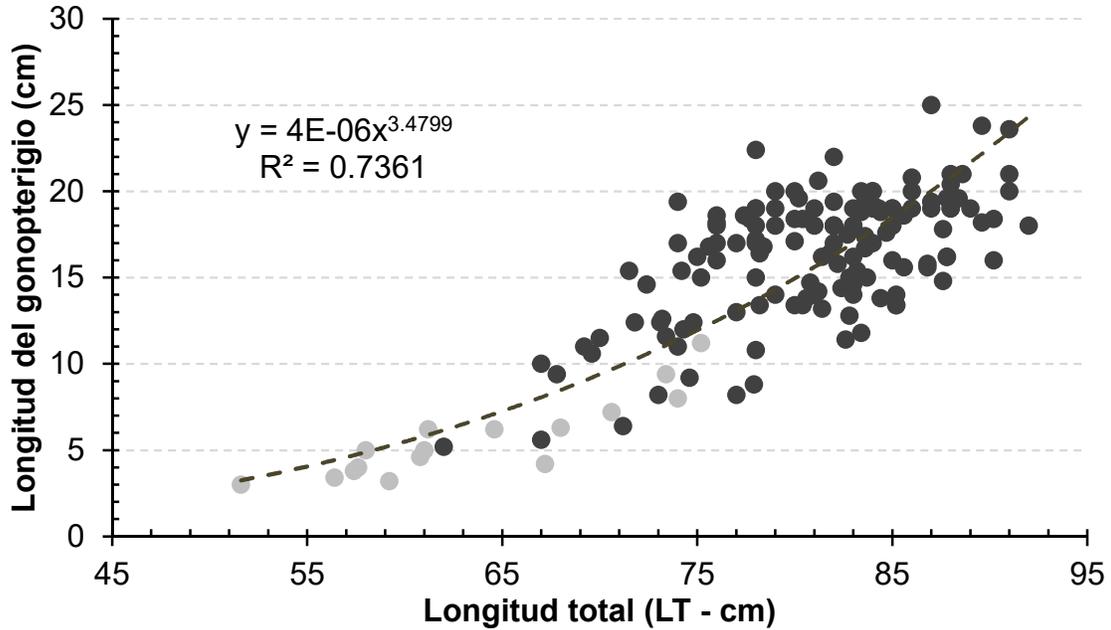
**Figura 19.** Relación peso–longitud (W-LT) de *Z. exasperata* en el presente estudio. La ecuación en negro es de machos y la ecuación en gris de hembras.

En cuanto a los machos, el más liviano fue de 1.07 kg y de 56.4 cm LT, y el macho más pesado fue de 4.32 kg y de 90.2 cm LT (Fig. 19). Ambos sexos presentaron crecimiento alométrico negativo, las hembras con valores de 2.68 y los machos con valores de 2.70. ( $p < 0.01$ )

VII.2.2. Relación entre la longitud del gonopterigio y la longitud total (LG–LT)  
Aunque sólo se analizaron 136 gónadas para machos, se registraron datos de 159 gonopterigios (18 inmaduros y 141 maduros).

El intervalo de longitudes del gonopterigio fue de 3–25 cm (promedio  $\pm$  desv. est.,  $15.31 \pm 4.78$  cm), con una moda de 19 cm, la LG del individuo inmaduro más grande fue de 11.2 cm (para un macho de 75.2 cm LT) y del individuo maduro más pequeño 6.4 cm LC (para un organismo de 71.2 cm LT).

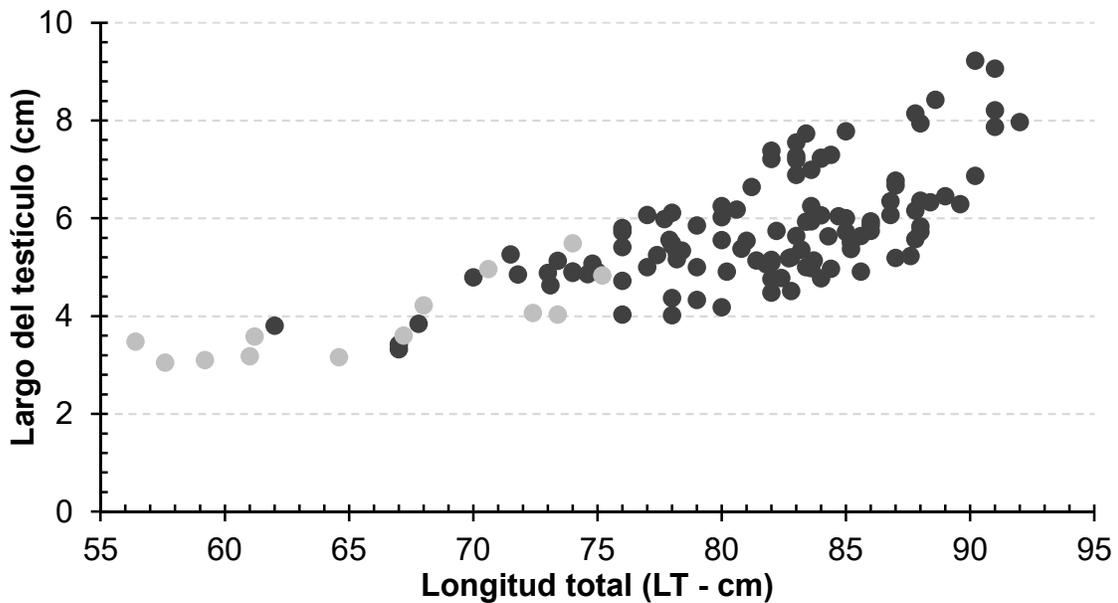
La función que mejor se ajustó al crecimiento del gonopterigio fue la exponencial, ya que esta es la que presenta un valor más alto en el coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.73$ , Fig. 20).



**Figura 20.** Relación entre la longitud del gonopterigio y la LT (LG-LT; n=159).

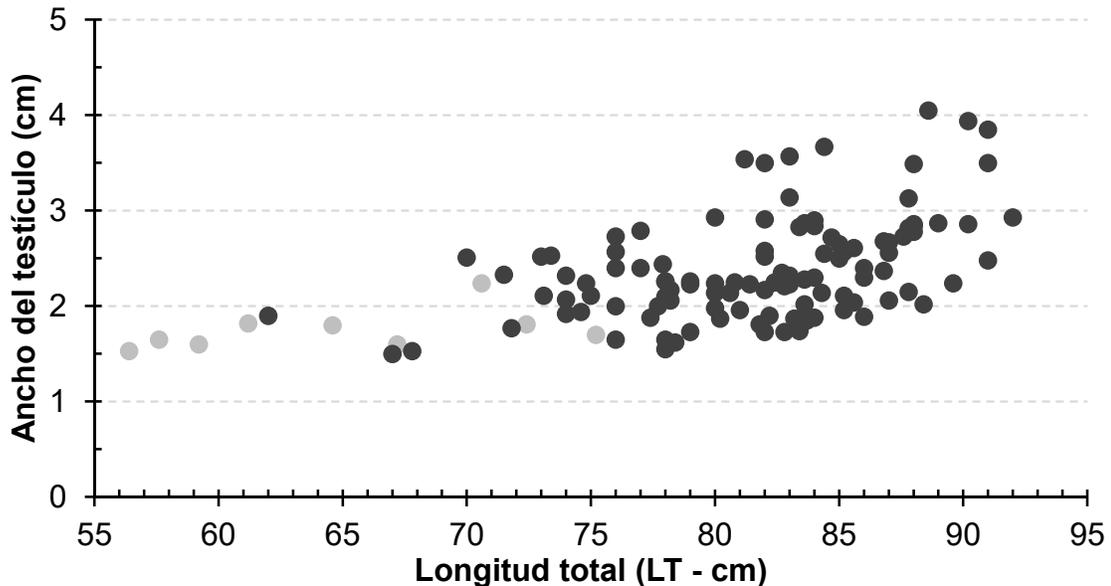
VII.2.3. Relación entre el largo/ancho del testículo y la longitud total (Lt-LT)

Al comparar la longitud del testículo con la longitud total, se observó que a partir de los 67 cm el testículo empieza a crecer con mayor rapidez, hasta alcanzar una talla máxima de 9.22 cm. El testículo más pequeño midió 3.05 cm de largo (Fig. 21).



**Figura 21.** Relación entre el largo del testículo y la longitud total (Lt-LT) de los organismos machos de *Z exasperata* en Bahía Tortugas, BCS.

En la relación entre el ancho del testículo y la longitud total (At–LT), no se observó un crecimiento tan marcado como en la relación del largo, el ancho más pequeño en el testículo fue de 1.53 cm y la anchura mayor fue de 4.05 cm (Fig. 22).

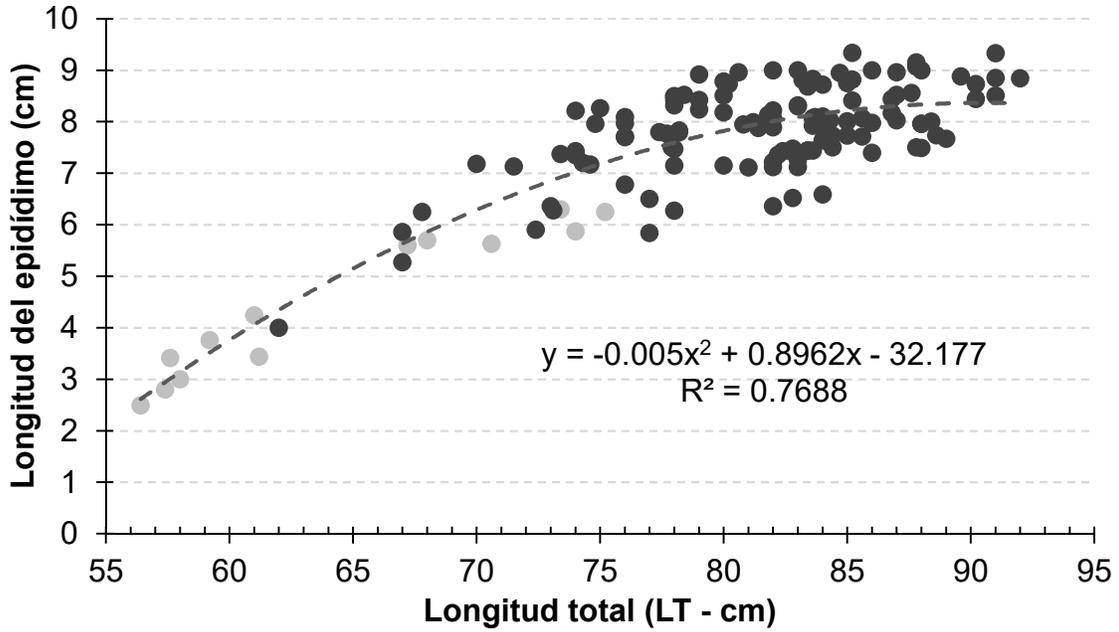


**Figura 22.** Relación entre el ancho del testículo (At) y la longitud total (LT) de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

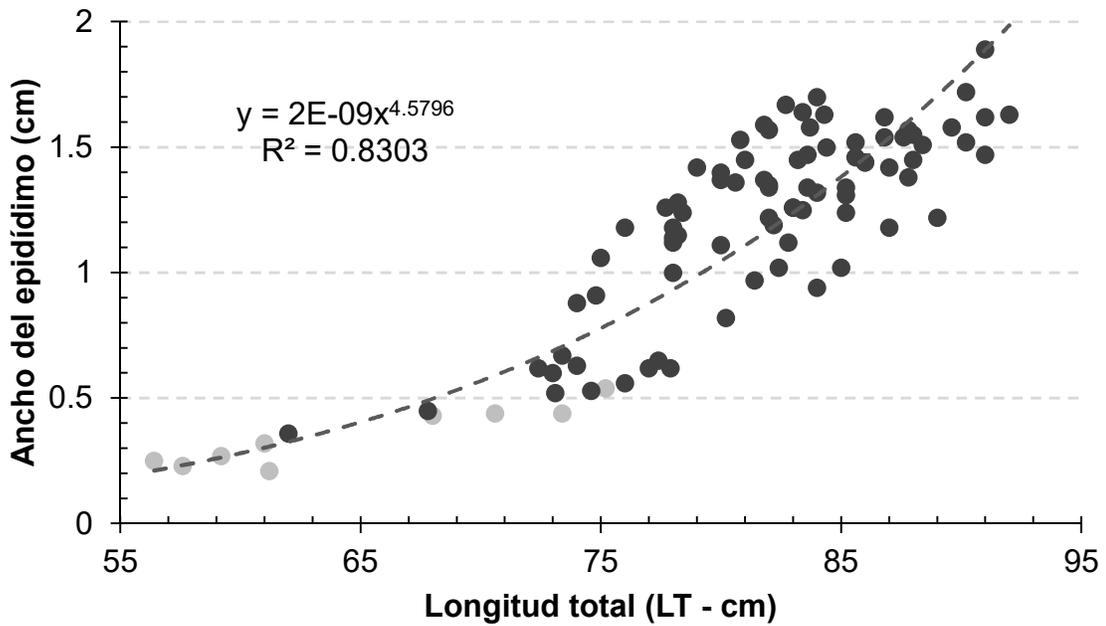
#### VII.2.4. Relación entre el largo/ancho del epidídimo y la longitud total (LE–LT)

La longitud del epidídimo presentó un mínimo de 2.49 cm y un máximo de 9.34 cm. El crecimiento en longitud es asintótico y más evidente que en relación con el ancho. Se observó que la longitud del epidídimo se va incrementando independientemente de la madurez. Presentó un coeficiente de determinación del 77% ( $R^2=0.768$ ; Fig. 23).

En la relación del ancho del epidídimo con la longitud total se observó que el crecimiento es tipo exponencial, es decir, en los organismos inmaduros el ensanchamiento no es tan evidente sino hasta que el organismo va madurando (72 cm aproximadamente), cuando el ancho del epidídimo presenta un crecimiento más acelerado (Fig. 24). El ancho mínimo del epidídimo es de 2 mm alcanzando un tamaño de hasta 1.89 cm. La relación en el crecimiento del ancho respecto a la longitud total presentó un coeficiente de determinación del 83% ( $R^2=0.83$ ).



**Figura 23.** Relación entre el largo del epidídimo (LE) y la longitud total (LT) de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

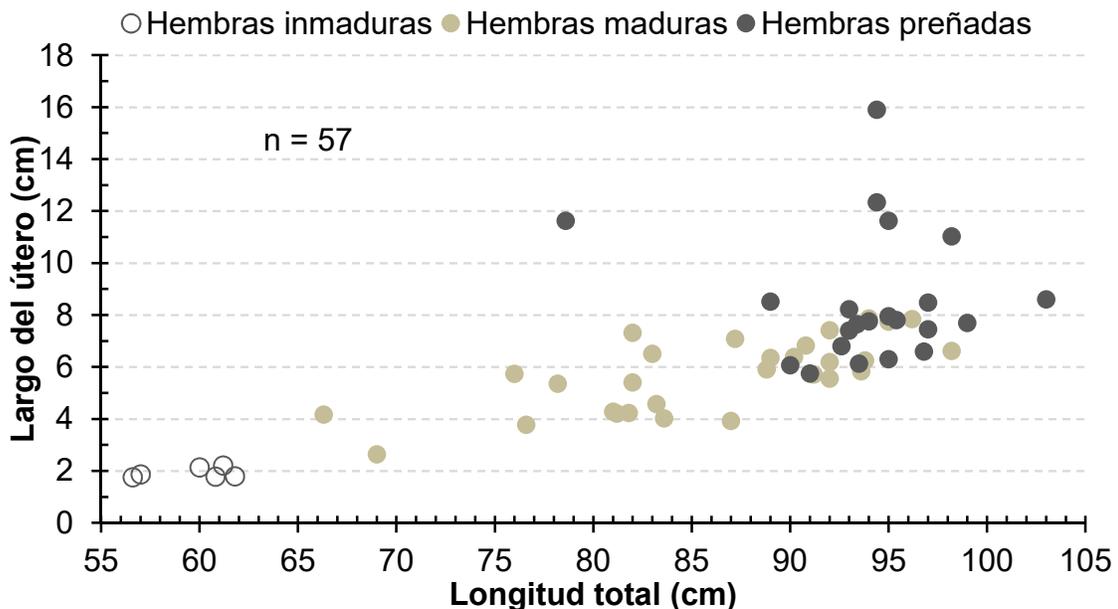


**Figura 24.** Relación entre el ancho del epidídimo (AE) y la longitud total de *Z. exasperata* en el presente estudio.

### VII.2.5. Relación entre el largo/ancho del útero y la longitud total (U-LT).

De las 62 hembras medidas y analizadas para éste estudio, cinco de ellas venían sin el útero o con restos del mismo (ya que como los organismos quedan atrapados en la red y son recogidos hasta uno o dos días después, son depredados total o parcialmente), debido a esto no se obtuvieron medidas del largo ni del ancho, por lo que ambas gráficas de esta relación tienen un tamaño de muestra de 57 organismos, en los cuales se puede observar que la relación del largo es más evidente ya que va creciendo con la talla del organismo. Sin embargo, el crecimiento en el ancho del útero se hace más evidente cuando la hembra está preñada.

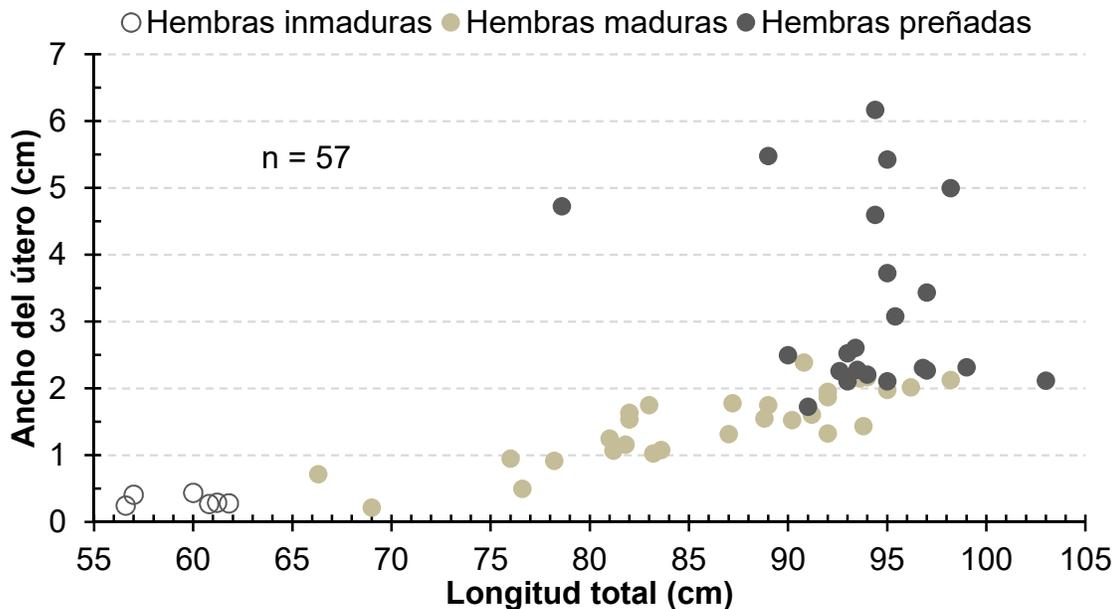
El largo máximo de útero fue el de una hembra preñada, el cual midió 15.9 cm, el útero de una hembra adulta puede llegar a medir hasta 7.86 cm aproximadamente y el útero más pequeño midió 1.75 cm de largo de la hembra más pequeña que fue la de 56.6 cm LT (Fig. 25).



**Figura 25.** Relación del largo del útero (LU) con la longitud total (LT) de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

En la relación del ancho del útero (AU) con la longitud total (LT) se observa que el crecimiento va siendo constante conforme crece el individuo, salvo en los caso en

los que la hembra está preñada que es cuando se va ensanchando, dentro de un rango de 2.3 cm a menos que la hembra esté preñada, se observa notablemente más marcado el ensanchamiento ( $\pm 4$  cm) ya que en una hembra preñada el ancho máximo llega hasta 6.17 cm y el ancho del útero de una hembra adulta, puede medir hasta 2.39 cm (Fig. 26).

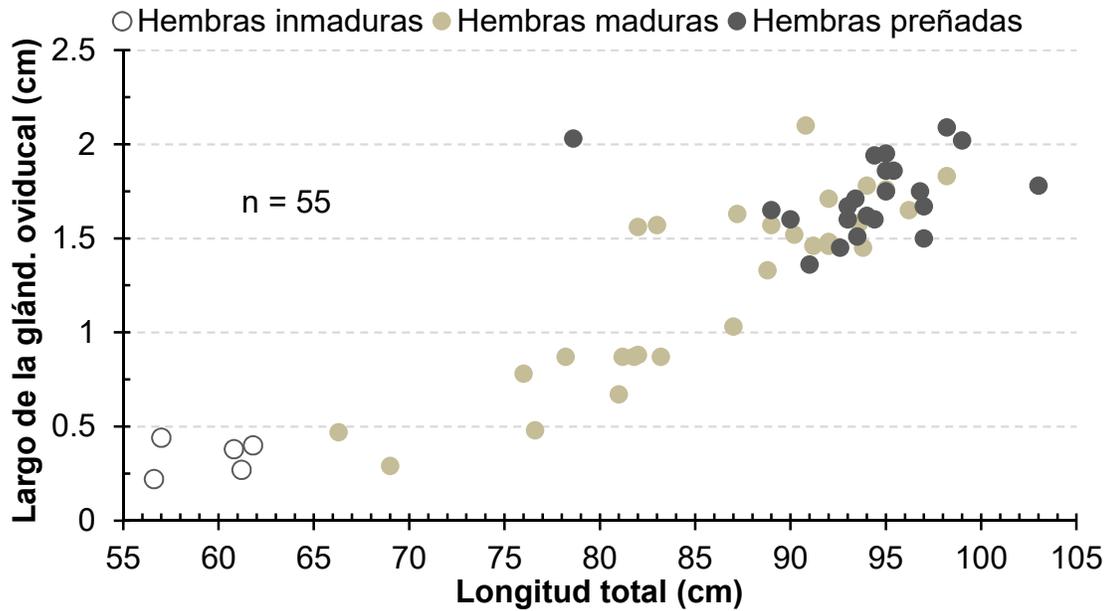


**Figura 26.** Relación entre el ancho del útero y la longitud total de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

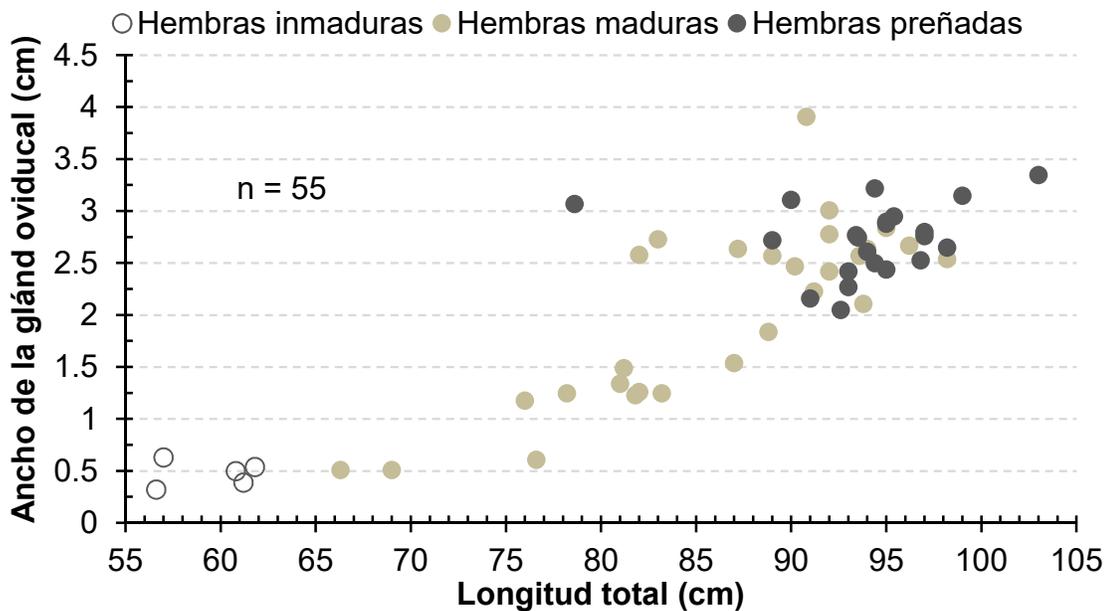
#### VII.2.6. Relación entre la glándula oviducal y la longitud total (GO–LT).

De las 62 muestras sólo 55 presentaban la glándula oviducal en buenas condiciones. Se observó que la glándula oviducal crece ligeramente y a partir de los 75 cm empieza a tener un crecimiento más evidente conforme se incrementa la talla del organismo. En las hembras preñadas, se observa un crecimiento mayor (2.09 cm de largo), en el caso de las hembras adultas pueden alcanzar un largo de la glándula de hasta 2.1 cm y en el caso de las hembras inmaduras poco menos de 0.5 cm de largo (Fig. 27).

El ancho máximo de una glándula oviducal fue de 3.91 cm en una hembra madura y 3.35 cm la glándula oviducal más ancha de una hembra preñada (Fig. 28).



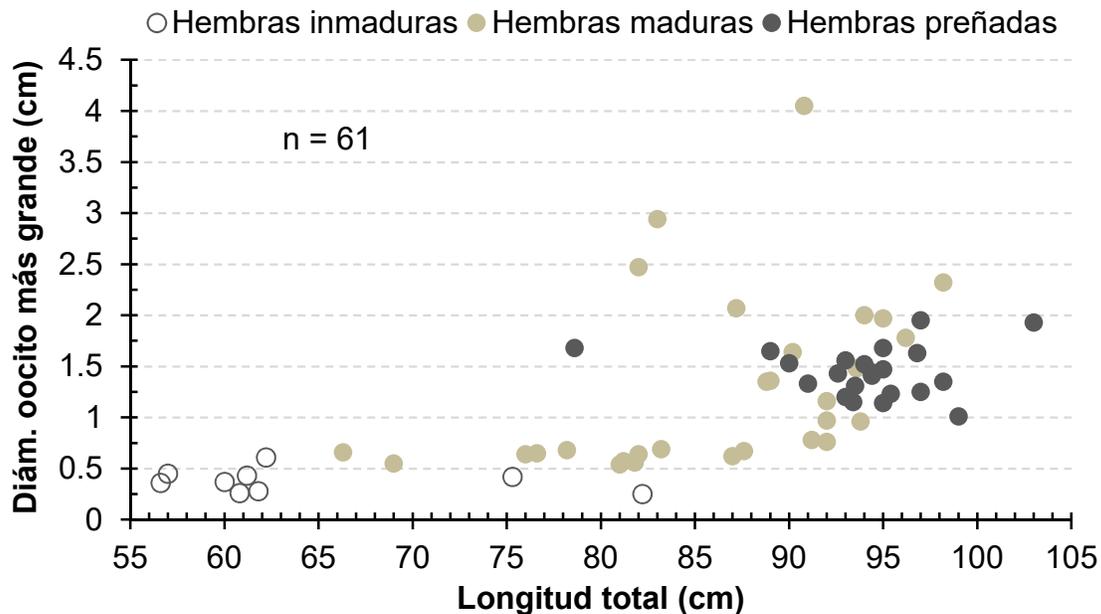
**Figura 27.** Relación entre el largo de la glándula oviduical (LG) con la longitud total (LT) de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.



**Figura 28.** Relación entre el ancho de la glándula oviduical (AG) y la longitud total (LT) de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur.

### VII.2.7. Relación entre el diámetro del oocito y la longitud total (DO–LT).

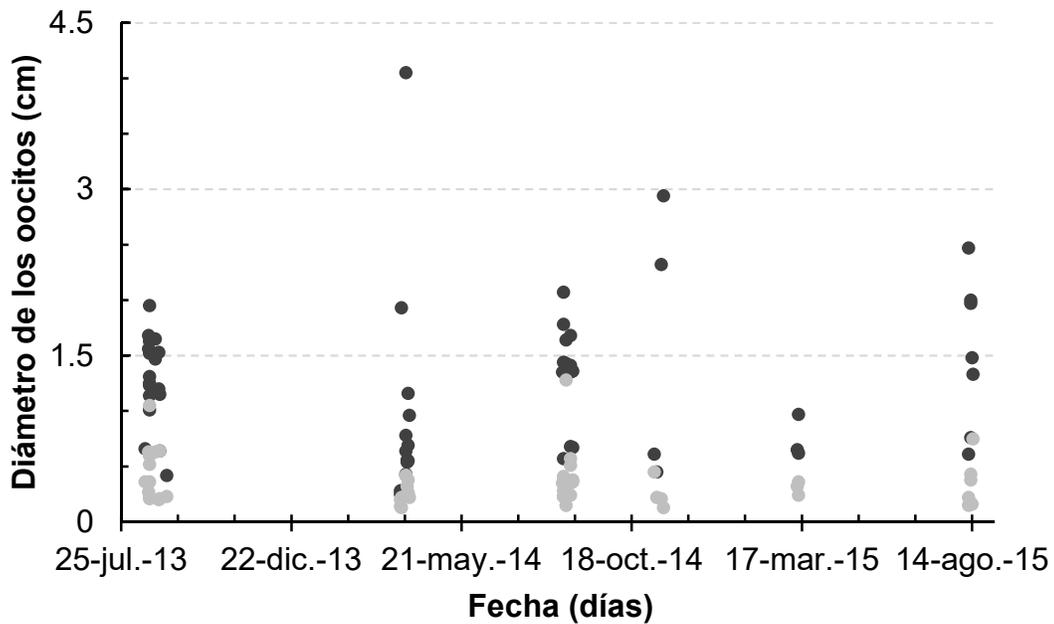
Se observó que *Z. exasperata* presenta desarrollo asincrónico, por lo que se observó oocitos de diferentes tamaños, el oocito de mayor tamaño fue uno de 4.05 cm observado en Abril, seguido de un oocito de 2.94 cm ambos de hembras maduras sin embriones, en cuanto a las hembras preñadas se observó que a pesar de presentar embriones, presentaban oocitos de entre uno y dos cm aproximadamente (1.01-1.95 cm; Fig. 29).



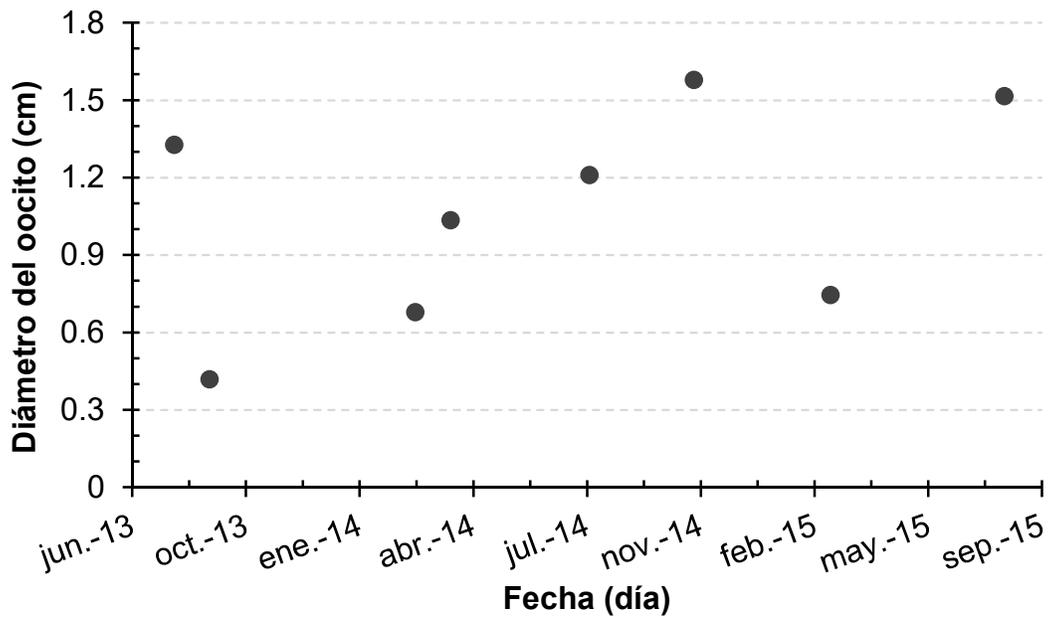
**Figura 29.** Diámetro del oocito más grande de cada hembra de *Z. exasperata* del presente estudio.

El diámetro de los oocitos se graficó por fecha de muestreo (considerando todos los meses y días de muestreo; Fig. 30) y el promedio por mes de muestreo (Fig. 31), en donde se observa un claro desarrollo de los oocitos asincrónico, por lo que ésta especie se define como reproductor heterócrono, es decir que se presentan oocitos de diferentes tamaños (en diferentes etapas de maduración) al mismo tiempo, en *Z. exasperata* se pudo observar hasta cuatro tamaños diferentes de oocitos en un ovario, incluso dentro de todos los ovarios observados en el presente estudio, se observan oocitos pequeños (de 0.25 cm en adelante; Fig. 30).

En abril y en noviembre del 2014 se observaron los oocitos de mayor tamaño en el estudio (4.05 y 2.94 respectivamente).



**Figura 30.** Diámetro de los oocitos por día de muestreo de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, BCS; círculos grises: diámetro de los oocitos más pequeños, círculos negros: diámetro de los oocitos más grandes.



**Figura 31.** Promedio del diámetro de los oocitos por mes y año de muestreo.

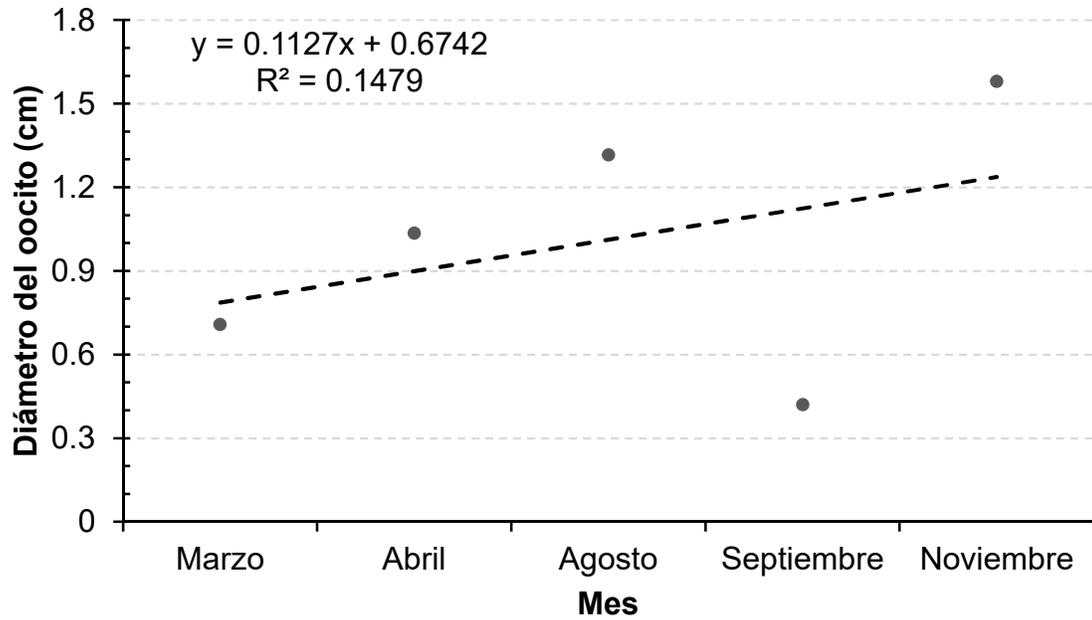
En la gráfica del promedio del diámetro de los oocitos por fecha de muestreo (Fig. 31; Tabla 5), se observó una tendencia más marcada que en la gráfica anterior (Fig. 30), el diámetro de los oocitos resultó de tamaño similar en el mes de agosto de los tres años de muestreo, de 1.33, 1.21 y 1.52 correspondiente a 2013, 2014 y 2015 respectivamente y en noviembre de 2014 se observó el promedio más alto del diámetro de los oocitos (1.58 cm).

**Tabla 5.** Valores de los promedios del diámetro del oocito por mes de muestreo.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Promedio del diámetro del oocito (cm)</b>
2013	agosto	1.33
	septiembre	0.42
2014	marzo	0.68
	abril	1.04
	agosto	1.21
	noviembre	1.58
2015	marzo	0.75
	agosto	1.52

Se graficó el promedio del diámetro de los oocitos por mes de muestreo (año tipo), para ver si había alguna tendencia. Se observó que el tamaño en el diámetro se va incrementando a partir de marzo hasta agosto y en septiembre se reduce considerablemente, aunque en el mes de septiembre sólo se tiene registrado una hembra con oocitos de 0.42 cm de diámetro (Fig. 32).

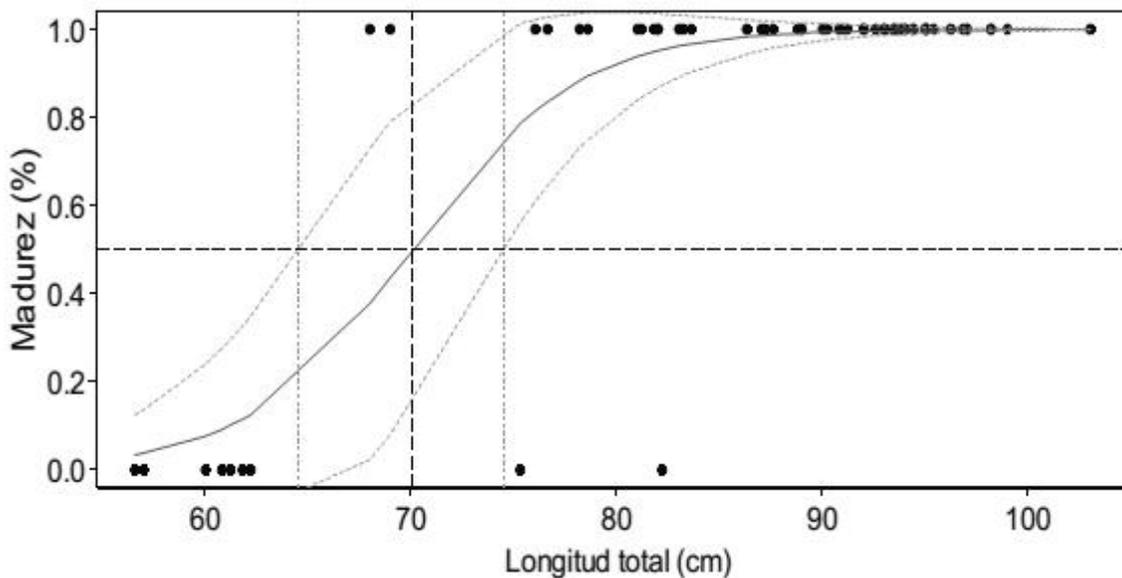
Se observó que el desarrollo de los oocitos podría ser en dos períodos al año, el primero sería de marzo a agosto y el segundo de septiembre al menos hasta noviembre, mes en el que se registraron los oocitos más grandes (1.58 cm; Fig. 32). Aunque como se mencionó anteriormente, en septiembre sólo hay una muestra, la cual podría ser un dato anómalo, por lo que el crecimiento sería de ocho meses (de marzo a noviembre).



**Figura 32.** Promedio del diámetro de los oocitos por mes (año tipo).

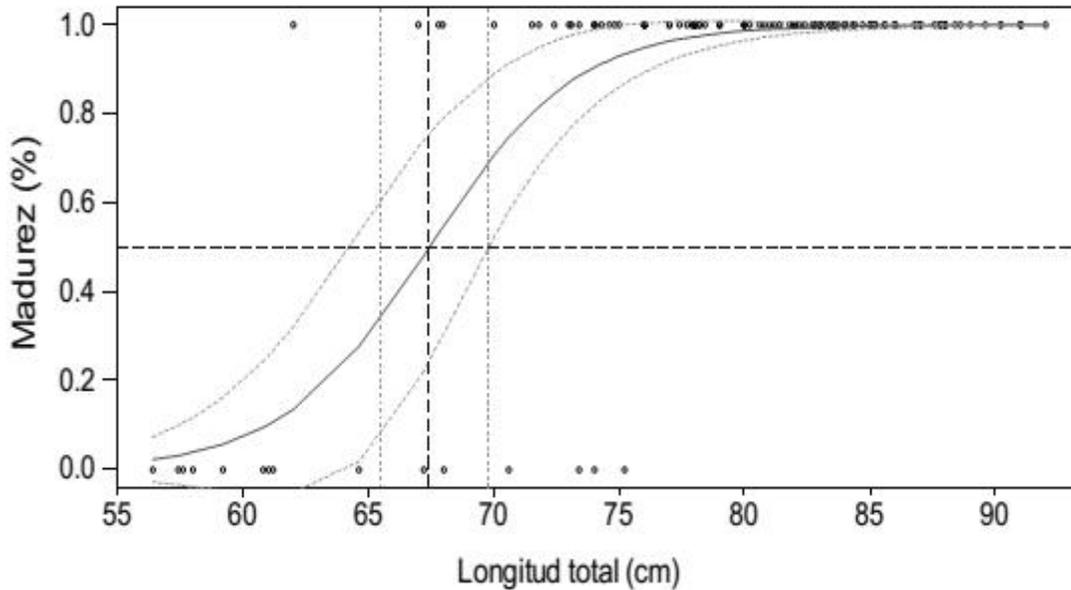
VII.2.8. Talla media de madurez ( $L_{50}$ ).

La talla media de madurez estimada para hembras fue de 69.86 cm LT con el programa STATISTICA 10 y de 70.05 cm LT con el programa R, ambos resultados son similares, sin embargo el resultado estimado con el programa R utiliza todas las tallas (Fig.33).



**Figura 33.** Talla media de madurez ( $L_{50}$ ) para hembras de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, BCS.

En el caso de los machos, se observó una talla media de madurez de 67.03 cm LT y de 67.42 cm LT con el programa STATISTICA y R respectivamente (Fig. 34).



**Figura 34.** Talla media de madurez (L<sub>50</sub>) para machos de *Z. exasperata* en Bahía Tortugas, BCS.

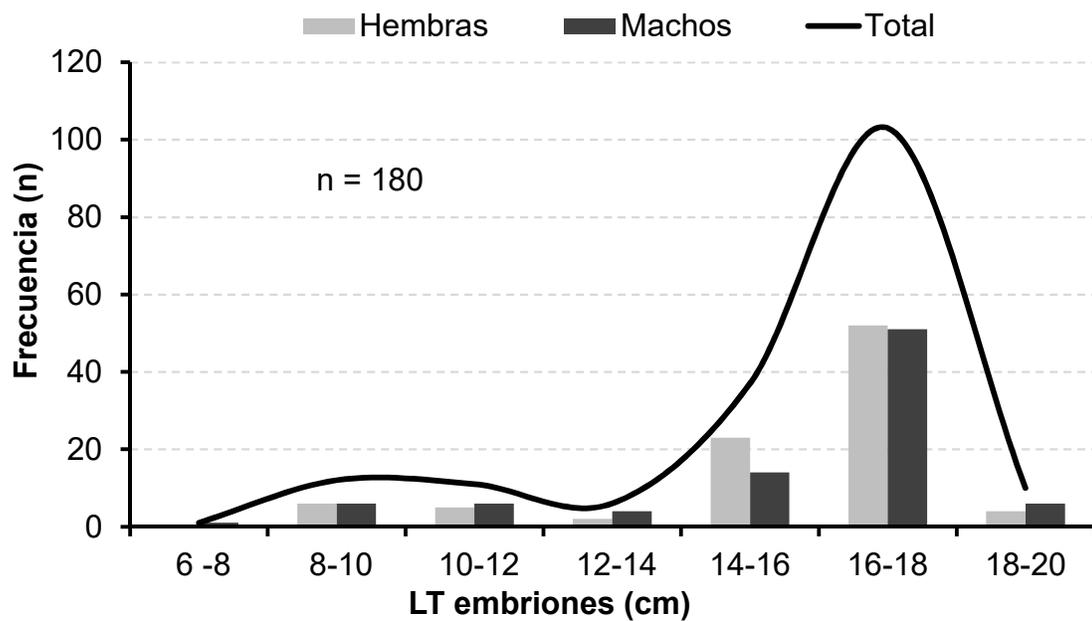
#### VII.2.9. Abundancia y talla de los embriones

Los embriones fueron encontrados dentro de una cápsula (Fig. 35), cada hembra preñada contenía dos cápsulas. La cápsula no venía sellada por completo sino que presentaba una pequeña abertura en el extremo anterior, además de observarse una zona de la pared uterina con vellosidades, lo cual podría indicar que la hembra secreta leche uterina o trofonemata como complemento alimenticio.

Se observaron un total de 180 embriones (92 hembras y 88 machos) con una proporción sexual de 1:0.96 (hembra:macho), sin observarse diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Se observó un máximo de 15 embriones por hembra y un mínimo de tres embriones con media y moda de ocho embriones. Los embriones presentaron tallas desde los 7.6 cm hasta los 18.8 cm LT siendo los embriones más abundantes de 16 y 18 cm LT (Fig. 36).



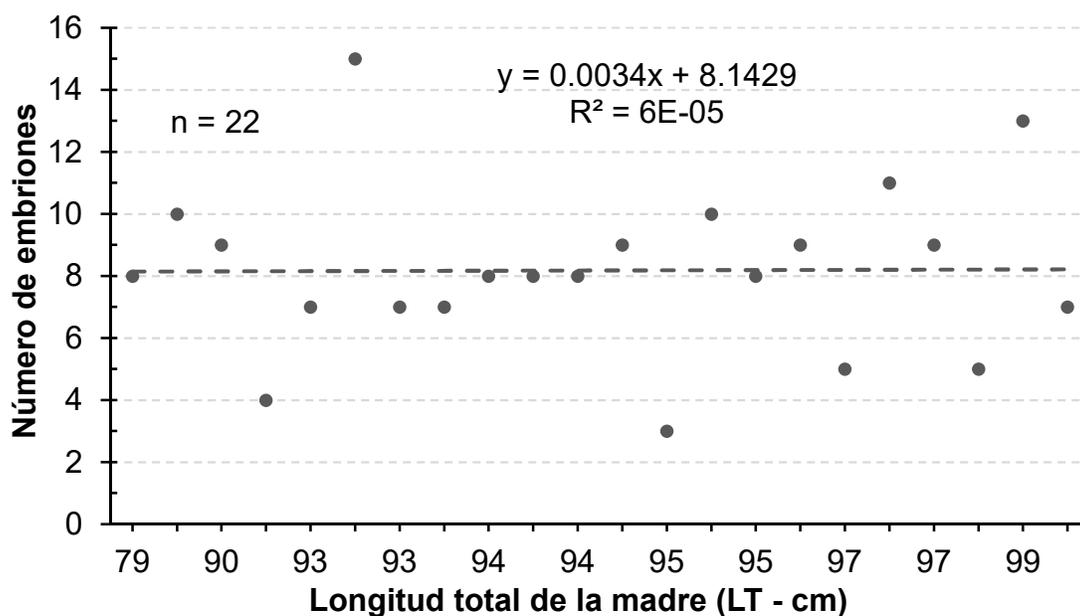
**Figura 35.** Cápsula que contenía los embriones, cuando la hembra está preñada comúnmente se observa una en cada útero.



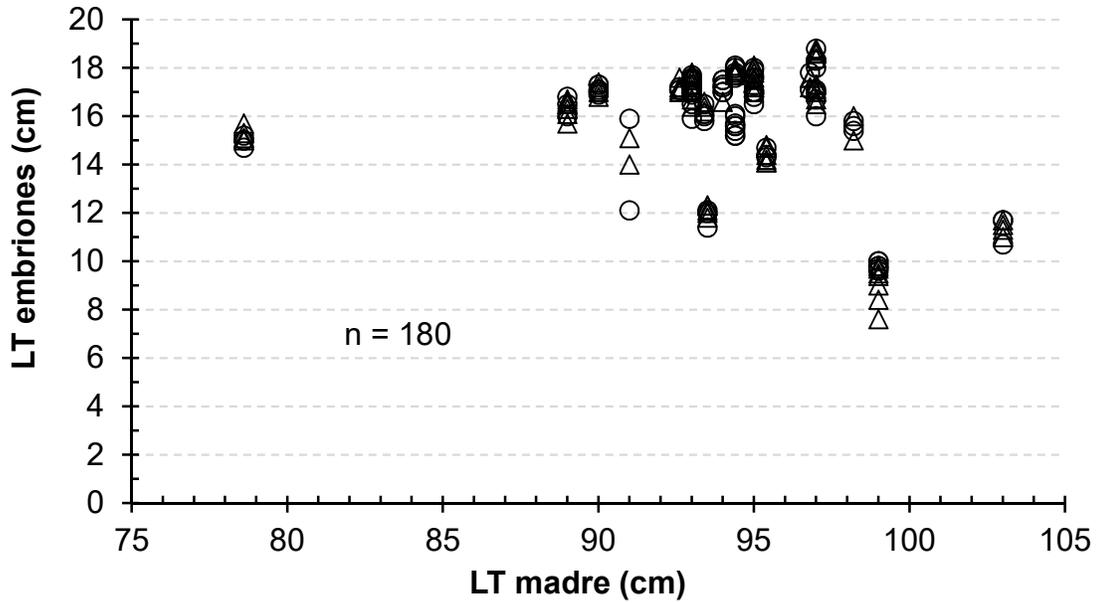
**Figura 36.** Distribución de tallas de los embriones de *Z. exasperata* durante la temporada de muestreo.

En abundancia de embriones por sexo, se observaron entre una y nueve hembras y entre cero y siete machos, a pesar de que el intervalo de ambos fue distinto, el promedio de embriones por hembra preñada fue de cuatro en ambos sexos y el intervalo de tallas fue de 7.6–18.8 cm LT (prom.  $\pm$  desv. est.:  $15.78 \pm 2.5$ ), sin diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

La hembra que presentó los 15 embriones midió 93 cm, y la hembra que presentó el número mínimo de embriones (3 embriones, 1 hembra y 2 machos) midió 95 cm LT; no se observó relación entre el número de embriones con la longitud total de la madre (Fig. 37). De igual manera se comparó la longitud de los embriones con la longitud de la madre y no se observó relación alguna (Fig. 38).

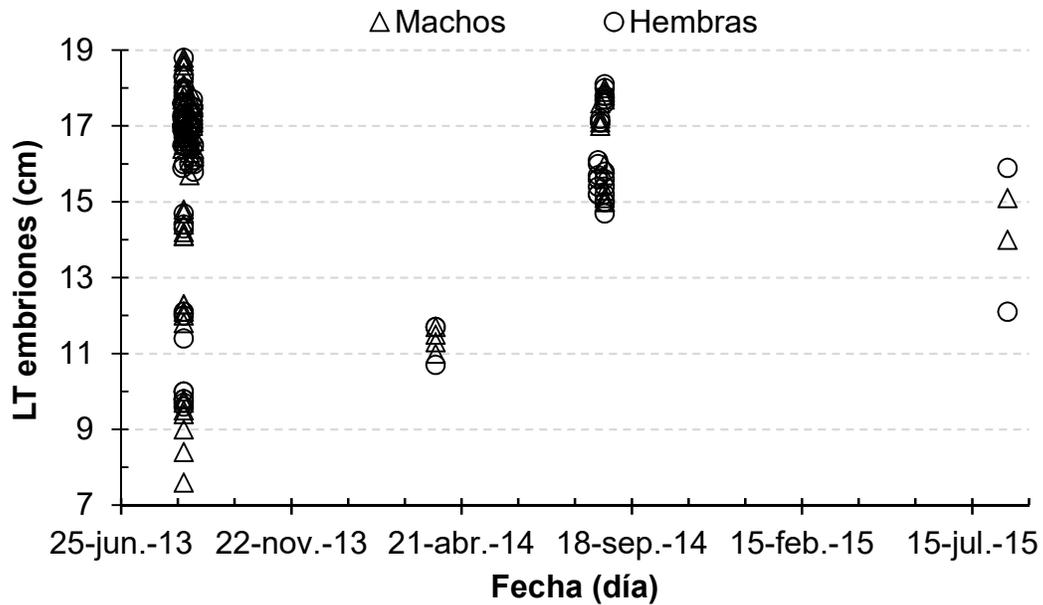


**Figura 37.** Relación entre el número de embriones y la talla de la madre.



**Figura 38.** Relación entre la talla de los embriones y la talla de la hembra.

Se observaron embriones en el mes de agosto de tres años diferentes (2013, 2014 y 2015), encontrándose que los embriones de agosto de 2013, tuvieron un intervalo de tallas promedio desde los 9.1 cm hasta los 18.6 cm; en el caso de la longitud total de los embriones, no siempre son más grandes las hembras, tal es el caso de los embriones observados el 15 de agosto de 2015, donde el macho fue medio centímetro más grande (Fig. 39).

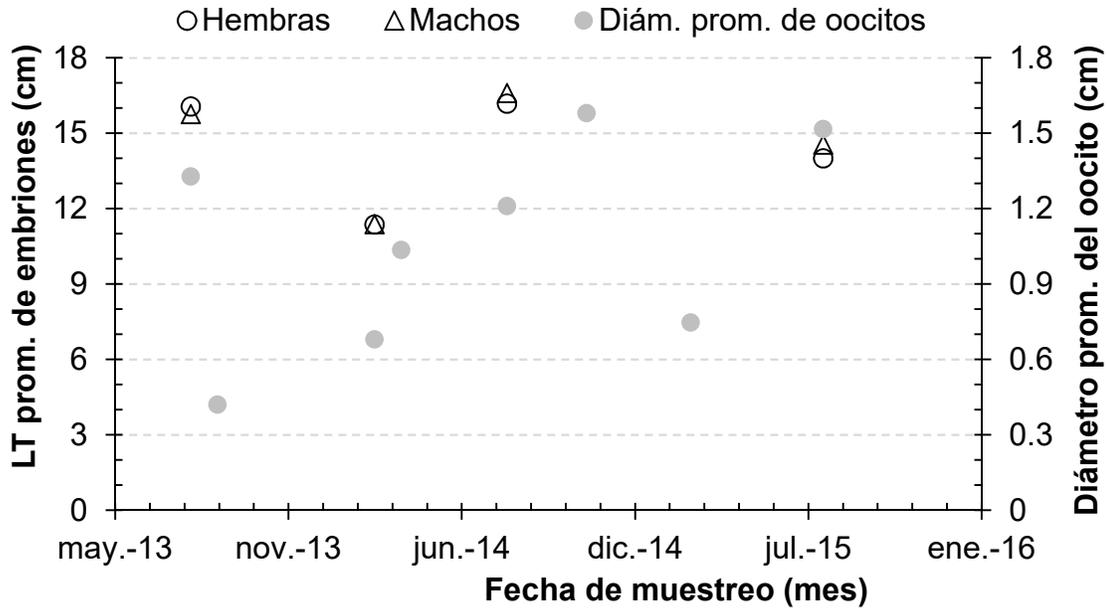


**Figura 39.** Talla de los embriones de cada hembra preñada por día de muestreo.

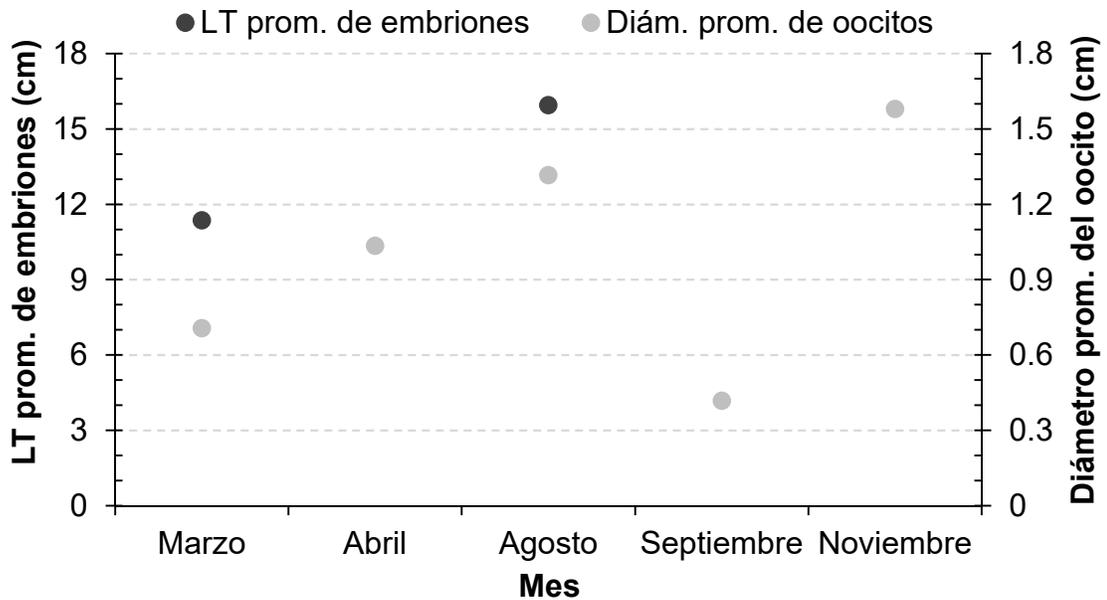
Las mayores tallas de los embriones se presentaron en el mes de agosto (Fig. 39), uno de los dos únicos meses en donde se observaron embriones, el otro mes fue marzo, donde se encontró una hembra de 103 cm (la hembra más grande observada en el estudio) preñada de siete embriones (3 hembras y 4 machos), los cuales midieron en promedio 11.38 cm LT.

#### VII.2.10. Desarrollo de embriones y vitelogénesis

Se graficó la longitud promedio de los embriones, primero por mes de muestreo considerándose los tres años, en donde se observó que en los meses de agosto (de los tres años) se presentaron las longitudes mayores de los embriones, entre 14 y 16.6 cm LT. En el mes de marzo se observaron tallas de los embriones de entre 10.7 y 11.7 cm LT (Fig. 40).



**Figura 40.** Longitudes promedio de los embriones por mes de muestreo, considerando los tres años (2013, 2014 y 2015).



**Figura 41.** Longitud promedio de los embriones en un año tipo.

Posteriormente, se graficó el promedio de las longitudes de los embriones por mes de un año tipo (Fig. 41). Se observó que en el mes de agosto, el promedio en la

talla de los embriones alcanzó 15.96 cm LT, que representa el 77% aproximadamente (76.92%) de la talla de nacimiento (la media entre 19.5 cm LT del embrión más grande observado por Meza-Castillo, 2014 y 22 cm LT del organismo observado en el estómago del *Cephaloscyllium ventriosum*: 20.75 cm LT). En cambio en el mes de marzo, se observó una talla promedio de los embriones de 11.37 cm LT, que representa aproximadamente el 55% de la talla de nacimiento (54.8%).

### VII.3. Demografía

La longevidad fue de 22.6 años, los parámetros de crecimiento (hembras) fueron  $L_{\infty} = 100.71$  cm LT;  $k = 0.144$  cm\*año<sup>-1</sup> y  $t_0 = -0.39$  años. La fecundidad fue de 7.5 embriones, la proporción sexual de los embriones no presentó diferencias significativas de 1:1 y la talla de primera madurez fue de 70.05 cm. (obtenida del resultado que proporciona el programa R, ya que considera todos los datos y no sólo intervalos de tallas).

#### VII.3.1. Mortalidad natural ( $M$ ) y mortalidad total ( $Z$ )

Se hicieron las dos estimaciones de la mortalidad total ( $Z$ ) propuestas por Beverton y Holt (1956), basadas en la edad y en la talla; donde se observó que a partir de la edad, la mortalidad total fue  $Z = 1.04$  y a partir de la talla, resultó una mortalidad total de  $Z = 0.04$ .

La  $M$  estimada mediante la ecuación de Pauly (1980), a una temperatura de 18.9°C (temperatura media de Bahía Tortugas), resultó de 0.299 (Tabla 6). La  $M$  estimada con la ecuación de Hoenig (1983) desarrollada para peces fue de 0.185, mientras que utilizando la ecuación para cetáceos fue ligeramente menor (0.169).

Los valores de  $M$  mediante los métodos de Jensen (1996), fueron muy similares por diferencia de seis milésimas (A-B) y dos centésimas (A-C). El valor de  $M$  estimado por la ecuación B de Jensen (0.230) fue el más cercano al promedio utilizado para las tablas de vida, por diferencia de una milésima (0.231).

**Tabla 6.** Métodos utilizados para estimar la mortalidad de *Z. exasperata*.

Método	Mortalidad (M)	Promedio
<b>Peterson y Wroblewski (1984)</b>	Variable	-
<b>Pauly (1980)</b>	0.299	-
<b>Hoening (1983)</b>	0.169	-
Datos de cetáceo		
Datos de pez	0.185	-
<b>Jensen (1996)</b>		
Método A	0.210	
Método B	0.216	
Método C	0.230	0.231
<b>Then <i>et al.</i> (2015)</b>		
Edad máxima	0.282	
Crecimiento	0.218	

Para el método de Peterson y Wroblewski la mortalidad varía según la edad del organismo (por año). Promedio: valor de *M* utilizado en las tablas de vida.

Finalmente, con el método de Then *et al.* (2015), que considera la edad máxima la *M* estimada fue de 0.282, mientras que el método que considera el crecimiento se obtuvo una *M* menor, de 0.218.

El valor máximo fue el estimado mediante la ecuación de Pauly (0.299) y el valor mínimo fue el estimado por la ecuación de Hoening (0.169), a pesar de que estos dos valores no fueron incluidos en el promedio, son similares a los demás valores estimados; por ejemplo, el valor de la ecuación de Pauly fue diferente de la ecuación de Then *et al.* (2015) a partir de la edad máxima por 17 milésimas (0.282) y este último con una diferencia de cinco centésimas con el valor promedio de *M* (0.231).

Si se considera *M* estimada mediante todos los métodos, el valor promedio sería de 0.226 (desv. est.:  $\pm 0.044$ ), mientras que el valor utilizado (0.231) es sólo cinco milésimas mayor.

### VII.3.2. Parámetros demográficos.

En los valores de los parámetros de las tablas de vida (Tabla 7), se observó que a una fecundidad de cuatro embriones (la media, ocho entre dos, columna *M-4*), la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ) disminuyó 46.7% y en la tabla *Z~1.5M* decreció 64%, ambos con respecto a la tasa reproductiva de la tabla *M*; el tiempo generacional ( $G$ ) se mantuvo igual en las primeras dos tablas pero en la última (*Z~1.5M*) se redujo 9.5% (1.09 años); la tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ ) para la tabla *M-4* decreció 36.7% y la tabla *Z~1.5M* decreció 55.3%, igualmente ambas con respecto a la tabla *M*; el tiempo que tardaría en duplicarse la población ( $t_{x2}$ ) a una fecundidad de cuatro es 61.2% mayor (2.63 años) que en la tabla *M*, mientras que en la tabla *Z~1.5M* es 133.7% mayor (10.05 años); mientras que la tasa finita de la población ( $\lambda$ ) disminuyó 5.9% la tabla *M-4* con respecto a la tabla *M* (0.07) y la tabla *Z~1.5M* disminuyó 12.9% con respecto a *M* (0.109).

**Tabla 7.** Parámetros demográficos de la especie *Z. exasperata*.

<b>Parámetros</b>	<b><i>M</i></b>	<b><i>M-4</i></b>	<b><i>Z~1.5M</i></b>
Edad de madurez	7.87	7.87	7.87
Fecundidad ( $m_x$ o $b_x$ )	7.5	4	7.5
Tasa neta reproductiva ( $R_0$ )	5.59	2.98	2.010
Tiempo generacional ( $G$ )	11.44	11.44	10.352
Tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ )	0.15	0.095	0.067
Tiempo en que se duplica la población ( $t_{x2}$ )	4.30	6.93	10.05
Tasa finita de incremento poblacional ( $\lambda$ )	1.18	1.11	1.071

*M*-considera sólo la mortalidad natural (*M*); *M-4*-considera la mortalidad natural (*M*) y fecundidad de 4 embriones; *Z~1.5M*-considera la mortalidad natural (*M*) aumentada 50%.

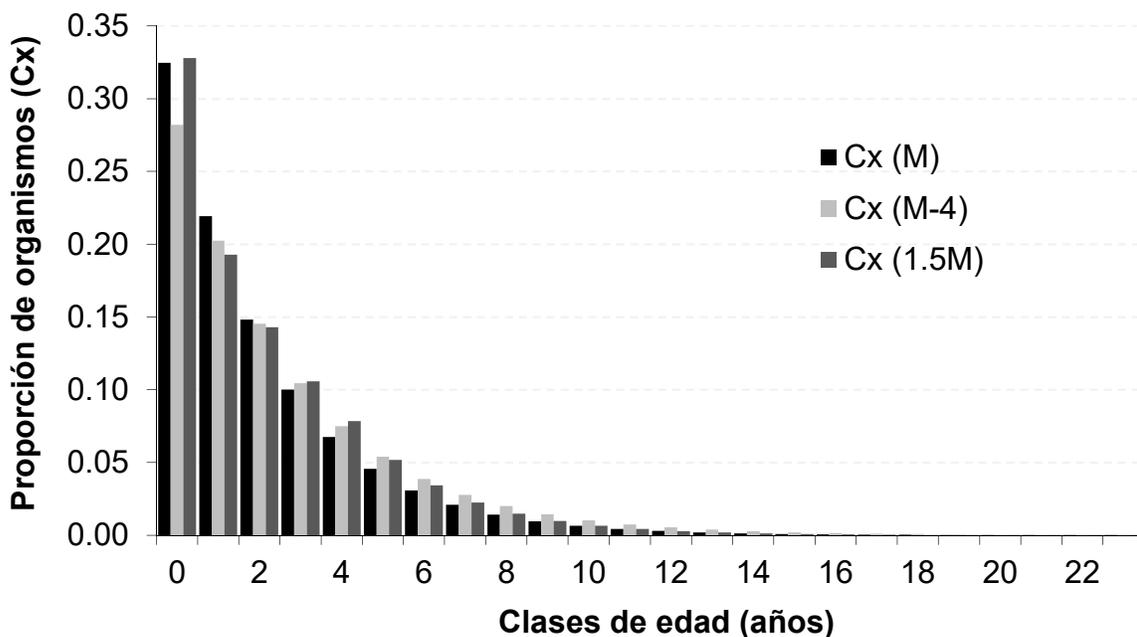
### VII.3.3. Tablas de vida

Las tablas de vida fueron estructuradas por grupos de edad, se realizaron tres para la especie *Z. exasperata*. La primera tabla se generó con los valores de la mortalidad natural ( $M$ ; Anexos, Tabla 1); en la segunda ( $M-4$ ; Anexos, Tabla 2), con el valor de  $M$  (el mismo de la tabla anterior) variándose la fecundidad ( $m_x$ ) a cuatro (número promedio de embriones observado entre dos), para considerar una fecundidad menor como medida precautoria.

Finalmente una tercera tabla ( $Z \sim 1.5M$ ; Anexos, Tabla 3), considerando los valores de la Tabla 1 y 2 sólo hasta la edad 4, considerando que de la edad 5 en adelante, ya son reclutados a la pesquería, por lo que para estimar la sobrevivencia fue a partir de la suma de  $M$  más 50% de su valor (0.116) para considerar el efecto de la pesquería.

Se observó que los valores de la sobrevivencia son similares en las tres tablas (diferencia de 0.05 en la edad 5), en cuanto a las primeras filas, los valores son los mismos, sólo cambia a partir de la edad de reclutamiento, y la fecundidad en la tabla dos (Anexos: Tabla A-2).

Debido a que se estimaron tres tablas de vida, resultaron tres diferentes probabilidades en la distribución de organismos respecto a la edad (Fig. 42).



**Figura 42.** Predicción de la distribución estable de los organismos por grupo de edad.

En el grupo cero y uno se observan las mayores diferencias, observándose que la sobrevivencia para  $M-4$  es la menor de las tres en el grupo cero (0.282) y a partir del grupo de edad dos, la proporción en la distribución de los individuos se observó muy similar, presentando el valor más bajo la tabla  $Z\sim 1.5M$ , pero para la edad tres y cuatro teniendo una mayor proporción de organismos que  $M$  y  $M-4$ , y decreciendo nuevamente a partir de la edad cinco, debido a que los organismos empiezan a formar parte de la pesquería a los cinco años.

#### VII.3.4. Matrices de Leslie

En cuanto a los valores de los parámetros, se observó que la tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ ) fue 62% mayor en la de la tabla  $M$  que en la  $M-4$ , la tasa finita de incremento poblacional ( $\lambda$ ) fue similar en la primera y segunda ( $M$  y  $M-4$ ), con una diferencia de 0.07 entre la tabla  $M$  (1.18) y  $M-4$  (1.11). El tiempo generacional ( $G$ ) fue igual en las dos tablas que usan la mortalidad natural (11.4 años). El tiempo que tardaría en duplicarse la población fue 2.4% mayor en  $M-4$  que en  $M$  (0.25 años), lo cual se debió a que la fecundidad se redujo a un 53% (de 7.5 a cuatro embriones).

Los valores de los parámetros de la última tabla son notablemente diferentes respecto a los dos anteriores ( $M$  y  $M-4$ ), debido a que se incrementó 50%  $M$  ( $Z\sim 1.5M$ ), por lo que los valores de la tasa intrínseca y finita de crecimiento poblacional ( $r$  y  $\lambda$ ) fueron menores que la tabla  $M$  por 0.09 y 0.10 respectivamente. La tasa neta reproductiva ( $R_0$ ) fue el menor (2.010), el tiempo que tardaría en duplicarse la población sería casi igual que las dos tablas anteriores (10 años aproximadamente) y el tiempo generacional de igual manera disminuyó 13 meses (1.09 años).

**Tabla 8.** Parámetros demográficos de *Z. exasperata* considerando  $M$ ,  $M$  a una fecundidad distinta y  $Z$ .

Parámetros demográficos	$M$	$M-4$	$Z\sim 1.5M$
$\lambda$	1.175	1.105	1.071
$r$	0.161	0.10	0.069
$R_0$	5.587	2.980	2.010
$t_{x2}$	10.665	10.919	10.126
$G$	11.441	11.441	10.352

En la matriz de elasticidad de la tabla  $M$  (Fig. 43) se observó que los organismos del grupo de edad uno al nueve aportan el 81% aproximadamente al crecimiento poblacional (0.8089) y del grupo de edad uno al ocho aportan 76.36%. En la matriz con los valores de  $M$  y fecundidad ( $m_x$ ) de cuatro ( $M-4$ , Fig. 44), los de uno a nueve años aportan 78.6% al incremento poblacional, y de uno a ocho años aportan el 73.7% (0.737). En la tercera matriz, con los valores de  $Z \sim 1.5M$  (Fig. 45), se observó que los grupos de edad de uno a nueve igualmente son los que aportan más al crecimiento poblacional, observándose un valor de 0.8159 (82% aproximadamente) y los organismos del grupo de edad uno a ocho aportan el 77% (0.7721).

Figura 43. Matriz de elasticidades para la tabla M (Tabla A-1).

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	0	0.03235	0.02185	0.01476	0.00997	0.00673	0.00455	0.00307	0.00208	0.00140	0.00095	0.00064	0.00043	0.00029	0.00020	0.00013	9.00E-05
2	0.09949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.09949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0.09949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.09949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0.09949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0.09949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.09949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0.06714	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01383	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00928	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00621	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00413	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00273	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00178	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00114	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00071	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00042	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00022	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.00E-05

**Figura 44.** Matriz de elasticidades de la tabla M-4 (Tabla A-2).

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	0	0.0271	0.0194	0.014	0.01	0.0072	0.0052	0.0037	0.0027	0.0019	0.0014	0.001	0.0007	0.00051	0.00037	0.00026	0.00019
2	0.0955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.0955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0.0955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.0955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0.0955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0.0955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.0955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0.0685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.049	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0351	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0179	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.009	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0063	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0044	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0013	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00082	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00045	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00019	0

Figura 45. Matriz de elasticidades de la tabla Z~1.5M (Tabla A-3).

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	0	0	0	0	0	0	0	0.0343	0.0226	0.0149	0.0099	0.0065	0.0043	0.0028	0.0019	0.0012	0.0008	0.0005	0.0004	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	
2	0.1008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.1008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0.1008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.1008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0.1008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0.1008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.1008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0.0665	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0438	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0035	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0009	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0006	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0003	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0002	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7E-05	0

### VII.3.5. Escenarios duplicando $M$ el primer año de vida

Escenario uno, es el valor de los parámetros con el valor de la mortalidad  $M$  de la ecuación del modelo de Then et al. (longevidad); el escenario dos, es el valor de los parámetros sólo de la ecuación de Then et al. (crecimiento); los escenarios tres y cuatro son las respuestas a la variación de la mortalidad natural el primer año de vida del escenario uno y dos respectivamente (Tabla 9). Se observó que la tasa neta reproductiva decreció 0.79 (escenario 3 respecto a 1) y 1.25 (escenario 4 respecto a 2), el tiempo generacional ( $G$ ) se mantuvo igual en ambas comparaciones; la tasa de crecimiento poblacional ( $r$ ) decreció 24% (0.026) y 11.87% (0.019), de escenario uno a tres y de escenario dos a cuatro respectivamente; la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) decreció ligeramente 2.8% (0.031) de escenario uno a tres y 2.2% (0.026) de escenario dos a cuatro y el tiempo que tardaría en duplicarse la población se incrementó 18% en el escenario tres (respecto al escenario uno, 1.25 años) y 14.4% en el escenario cuatro (respecto al dos, 0.58 años).

**Tabla 9.** Escenarios de mortalidad natural ( $M$ ).

<b>Escen.</b>	<b><math>E_{m\acute{a}x}</math></b>	<b><math>m_x</math></b>	<b><math>M</math></b>	<b><math>E_{ma}_d</math></b>	<b><math>R_0</math></b>	<b><math>G</math></b>	<b><math>r</math></b>	<b>Euler</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>t_{x2}</math></b>
1	23	7.5	0.28	8	3.232	10.911	0.108	0.112	1.119	6.932
2	23	7.5	0.22	8	6.341	11.576	0.160	0.172	1.188	4.023
3	23	7.5	0.28	8	2.443	10.911	0.082	0.085	1.088	8.185
4	23	7.5	0.22	8	5.088	11.576	0.141	0.151	1.162	4.604

*Escen.*, escenario;  $m_x$ , fecundidad;  $M$ , mortalidad natural (valor del método);  $E_{mad}$ , Edad de madurez.

### VII.3.6. Escenarios variando la edad máxima ( $E_{m\acute{a}x}$ ).

Para crear estos tres escenarios (Tabla 10), se varió la edad máxima y se mantuvo el valor de la mortalidad de la primera tabla de vida (Tabla A-1). Se observó una sensibilidad menor en estos escenarios, ya que la tasa de crecimiento ( $r$ ) entre los tres fue similar (0.14-0.15 aprox.), con diferencia de cinco a siete milésimas, la tasa finita de incremento poblacional a una edad máxima fue de 1.156 incrementando 0.019 a

los 27 años y permaneciendo igual a los 30 (1.175), la tasa reproductiva ( $R_0$ ) se incrementó tan sólo 2.6% a una mayor longevidad (30 años) con respecto a la longevidad observada (23 años), el tiempo generacional ( $G$ ) casi alcanzó los 12 años (11.8) y el tiempo que tardaría en duplicarse la población ( $t_{x2}$ ) fue similar 4.45 años en promedio.

Se observó que la especie *Z. exasperata* fue más sensible a los cambios en la mortalidad natural que a la edad máxima, donde las diferencias en los parámetros fueron menores.

**Tabla 10.** Escenarios variando la edad máxima ( $E_{m\acute{a}x}$ ).

<b>Escen.</b>	<b><math>E_{m\acute{a}x}</math></b>	<b><math>m_x</math></b>	<b><math>M</math></b>	<b><math>E_{mad}</math></b>	<b><math>R_0</math></b>	<b><math>G</math></b>	<b><math>r</math></b>	<b>Euler</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>t_{x2}</math></b>
<b>0</b>	<b>23</b>	<b>7.5</b>	<b>0.231</b>	<b>8</b>	<b>5.587</b>	<b>11.441</b>	<b>0.150</b>	<b>0.161</b>	<b>1.175</b>	<b>4.297</b>
5	12	7.5	0.231	8	3.924	9.548	0.143	0.145	1.156	4.775
6	27	7.5	0.231	8	5.672	11.649	0.149	0.161	1.175	4.293
7	30	7.5	0.231	8	5.733	11.824	0.148	0.161	1.175	4.291

*Escen.*, escenario;  $m_x$ , fecundidad;  $M$ , mortalidad;  $E_{mad}$ , Edad de madurez.

### VII.3.7. Escenarios variando la edad de madurez ( $E_{mad}$ .)

Para estos escenarios, se mantuvo el valor promedio de la mortalidad natural ( $M$ ), sólo se varió la edad de madurez un año más (siete años), un año menos (nueve años) y la edad de la talla a la cual el 95% de la población ya son maduros sexualmente ( $L_{95}$ : 11 años; Tabla 11). Se observó que a los siete años *Z. exasperata* tendría una tasa reproductiva 26.6% mayor que el valor de la tabla M, un tiempo generacional de casi un año menos (0.93 años), la tasa de crecimiento poblacional se incrementaría 24% y el tiempo que tardaría en duplicarse la población sería once meses menor de lo que le toma originalmente (3.4 en lugar de 4.3 años).

Si la edad de madurez fuera estimada a los nueve años, la tasa reproductiva se reduciría 18.3%, el tiempo generacional sería (12.7 años), la tasa intrínseca y finita de crecimiento de igual manera se reducirían (20% y 3.3% respectivamente) y la tasa de duplicación de la población sería 1.2 años mayor.

Los valores de los parámetros a la edad de madurez del 95% de la población (11 años) serían aún menores que los valores originales, la tasa reproductiva sería 48.4% menor (2.9), el tiempo generacional sería de 3.1 años más que el valor inicial, las tasas intrínseca y finita de la población serían 51% y 8.2% menores respectivamente mientras que el tiempo que tardaría en duplicarse la población sería de 9.3 años, dos veces el tiempo de duplicación inicial (4.3 años).

**Tabla 11.** Escenarios a diferente edad de madurez ( $E_{mad}$ ).

<b>Escen.</b>	<b><math>E_{m\acute{a}x}</math></b>	<b><math>m_x</math></b>	<b><math>M</math></b>	<b><math>E_{mad}</math></b>	<b><math>R_0</math></b>	<b><math>G</math></b>	<b><math>r</math></b>	<b><i>Euler</i></b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>t_{x2}</math></b>
<b>0</b>	<b>23</b>	<b>7.5</b>	<b>0.231</b>	<b>8</b>	<b>5.587</b>	<b>11.441</b>	<b>0.150</b>	<b>0.161</b>	<b>1.175</b>	<b>4.297</b>
8	23	7.5	0.231	7	7.075	10.507	0.186	0.205	1.228	3.377
9	23	7.5	0.231	9	4.567	12.662	0.120	0.127	1.136	5.454
10	23	7.5	0.231	11	2.885	14.540	0.073	0.075	1.078	9.258

*Escen.*, escenario;  $m_x$ , fecundidad;  $M$ , mortalidad natural (promedio);  $E_{mad}$ , Edad de madurez.

### VII.3.8. Escenarios incrementando la mortalidad natural ( $M$ ).

Debido a que las estimaciones mediante ambos métodos de Beverton y Holt (1956) no aplicaron para esta especie (basado en tallas y edades), ya que se observaron valores más bajos que la mortalidad natural (Tabla 19); se realizaron seis escenarios (11-16), los primeros dos (escenario 11 y 12), adicionando  $M$  a cada uno de los valores de Beverton y Holt, el tercero (escenario 13) sumando el valor promedio de  $M$  y los dos valores de Beverton y Holt (1956); en los siguientes tres (escenario 14, 15 y 16), se incrementó  $M$  50% ( $Z \sim 1.5M$ ), 75% ( $1.75M$ ) y 100% ( $2M$ ) respectivamente.

**Tabla 12.** Modelos con los que se estimaron la mortalidad total ( $Z$ ).

<b>Modelos</b>	<b>Mortalidad total (<math>Z</math>)</b>
<b>Beverton y Holt (1956)</b>	
Por talla (L)	0.084
Por edad (t)	0.104

**Tabla 13.** Escenarios de mortalidad total por pesca variando la mortalidad natural.

<b>Escenario</b>	<b><math>E_{m\acute{a}x}</math></b>	<b><math>Z\sim M</math></b>	<b><math>E_{rec}</math></b>	<b><math>R_0</math></b>	<b><math>G</math></b>	<b><math>r</math></b>	<b><math>Euler</math></b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>t_{x2}</math></b>
11	23	0.315	5	3.105	10.579	0.107	0.111	1.117	6.241
12	23	0.335	5	2.725	10.437	0.096	0.099	1.104	6.988
13	23	0.419	5	1.625	9.902	0.049	0.050	1.051	13.954
14	23	0.347	5	2.010	10.352	0.067	0.069	1.071	10.054
15	23	0.404	5	1.408	9.982	0.034	0.035	1.035	20.020
16	23	0.462	5	1.006	9.693	0.001	0.0005	1.001	1199.734

$E_{m\acute{a}x}$ , Edad máxima;  $Z\sim M$ , mortalidad total variando la mortalidad natural;  $E_{rec}$ , Edad de reclutamiento.

Los valores de los parámetros van disminuyendo conforme la mortalidad se va incrementando (Tabla 20), hasta llegar a un nivel en donde la población no crece o crece el mínimo ( $r = 0.001$  y  $\lambda = 1.001$ ), por lo que se vería afectada en caso de que la mortalidad por pesca o la mortalidad total llegara a un valor de 0.462.

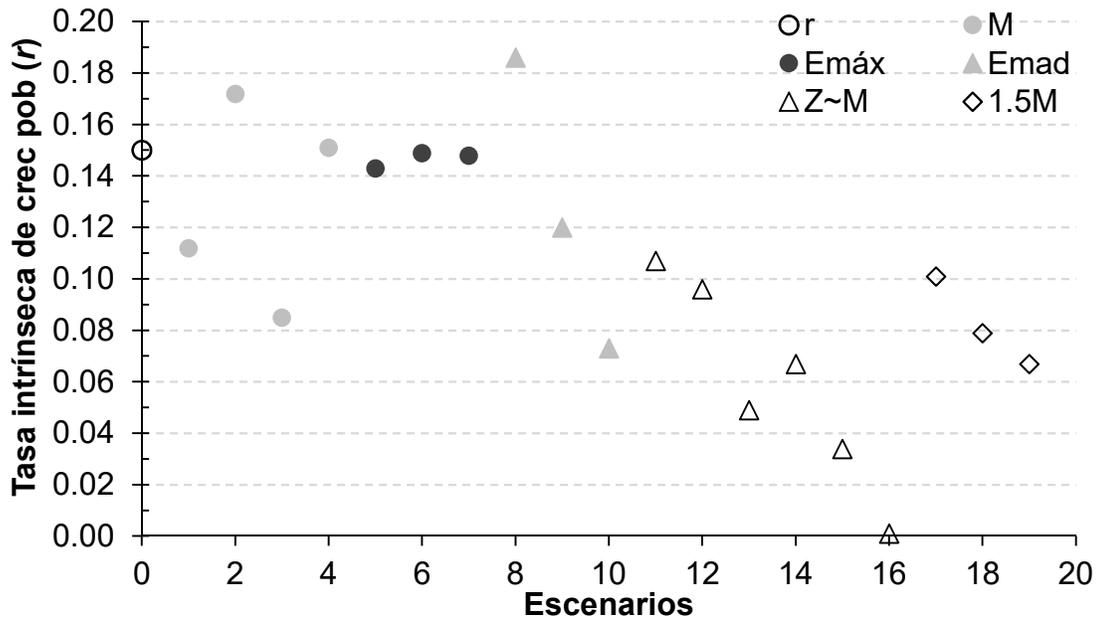
#### VII.3.9. Escenarios variando la edad de reclutamiento ( $E_{reclut}$ ).

Se generaron tres diferentes escenarios variándose la edad de reclutamiento a 6, 4 y 3, con el valor de la mortalidad total incrementada 50% ( $Z\sim 1.5M$ : 0.347; Tabla 21). Se observó que al duplicar M en el primer año, considerando la edad de reclutamiento normal (cinco años) tiene el mismo efecto que

**Tabla 14.** Parámetros demográficos variando la edad de reclutamiento ( $E_{reclut}$ ).

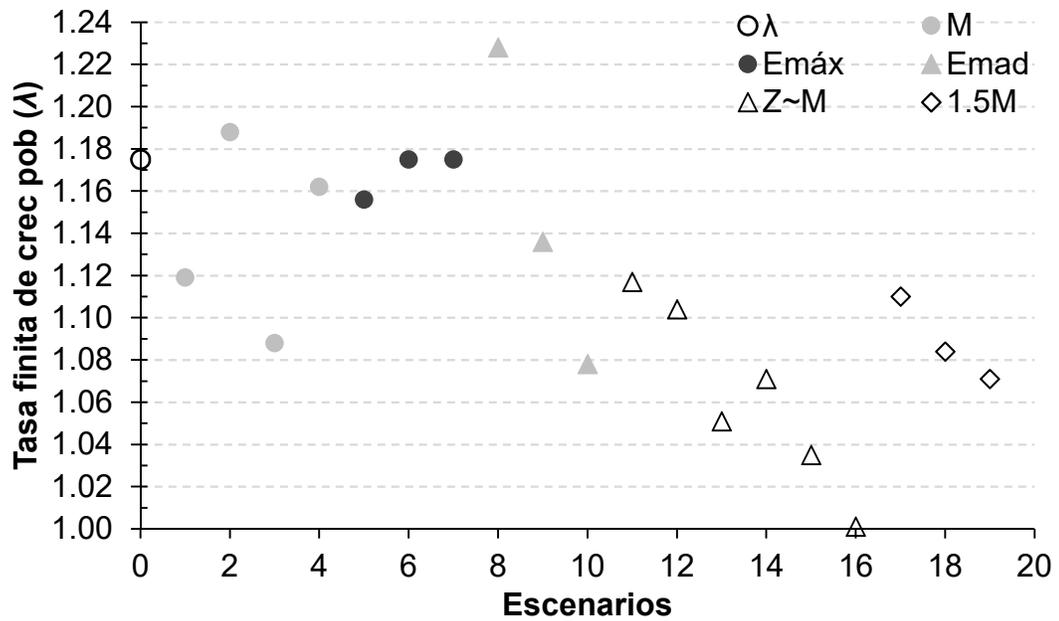
<b>Escenario</b>	<b><math>E_{m\acute{a}x}</math></b>	<b><math>Z\sim 1.5</math> <math>M</math></b>	<b><math>E_{reclut}</math></b>	<b><math>R_0</math></b>	<b><math>G</math></b>	<b><math>r</math></b>	<b><math>Euler</math></b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>t_{x2}</math></b>
<b>14</b>	<b>23</b>	<b>0.347</b>	<b>5</b>	<b>2.010</b>	<b>10.352</b>	<b>0.067</b>	<b>0.069</b>	<b>1.071</b>	<b>10.054</b>
17	23	0.347	6	2.842	10.352	0.101	0.104	1.110	6.653
18	23	0.347	4	2.256	10.352	0.079	0.081	1.084	8.597
19	23	0.347	3	2.010	10.352	0.067	0.069	1.071	10.054

$E_{m\acute{a}x}$ , edad máxima;  $Z$ , valor de la mortalidad total;  $E_{reclut}$ , edad de reclutamiento.



**Figura 46.** Tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ ) de los diferentes escenarios.

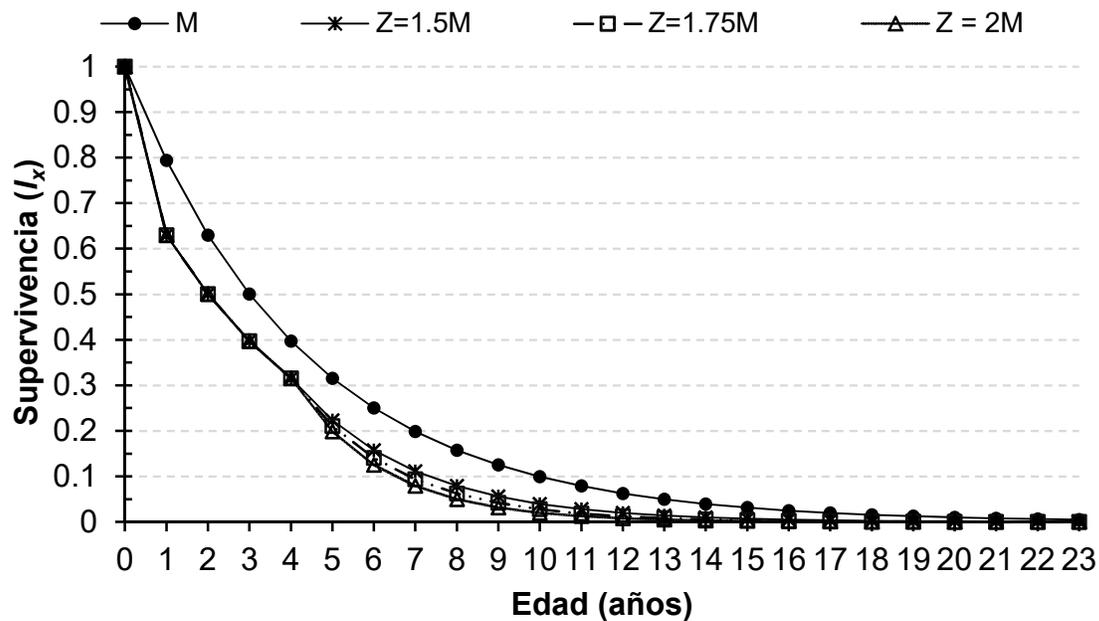
○ Valor de  $r$  de la tabla de vida  $M$  (Tabla A-1).



**Figura 47.** Tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) de los diferentes escenarios.

○ Valor de  $\lambda$  de la tabla de vida  $M$  (Tabla A-1).

Cómo se observa en las gráficas anteriores (fig.46 y 47), la tasas intrínseca y finita de incremento poblacional, el valor óptimo parece ser el del escenario ocho, pero en los parámetros de entrada sólo está considerada la mortalidad natural ( $M$ ), sin embargo el escenario 14, a pesar de que considera una mortalidad adicional a  $M$  sigue teniendo valores positivos en el incremento poblacional ( $r=0.067$  y  $\lambda=1.071$ ). Si la mortalidad por pesca fuera equivalente a la mortalidad duplicada, la población presentaría un incremento mínimo ( $r=0.001$  y  $\lambda=1.001$ ).



**Figura 48.** Supervivencia a cada grupo de edad incrementando el valor de  $M$ .

Si la mortalidad total ( $Z$ ) fuera equivalente al doble de la mortalidad natural, *Zapteryx exasperata* tendría un potencial de recuperación de  $r_{2M}=0.051$ . Si la mortalidad total fuera 50% adicional a la mortalidad natural  $r_{1.5M}=0.029$  y finalmente, si  $Z$  fuera 25% adicional al valor de la mortalidad natural  $r_{1.25M}=0.016$ .

## VIII. DISCUSIÓN

Durante el presente estudio se observó una mayor proporción de machos que hembras de *Z. exasperata* en las capturas de la pesquería artesanal en Bahía Tortugas Baja California Sur, en contraste con lo reportado por Villavicencio-Garayzar (1995) en Bahía Almejas, Baja California Sur. Esta diferencia puede deberse a las diferentes condiciones de ambas bahías, así como a las zonas de pesca dentro las mismas. Las hembras suelen preferir zonas más protegidas de los depredadores para alumbramiento y crianza. Debido a que, como mencionan Álvarez-Borrego *et al.* (1975), Bahía Almejas forma parte del complejo lagunar Bahía Magdalena, por lo que está menos expuesta a corrientes que Bahía Tortugas. Otra posible explicación podría ser la profundidad a la cual son capturadas, sin embargo, Villavicencio-Garayzar (1995) no reporta profundidad de muestreo.

Las mayores diferencias en la proporción sexual se observaron durante marzo, agosto y septiembre, meses asociados con la temporada de reproducción. Meza-Castillo (2014) reportó, sin embargo, que en los meses de agosto de 2009, 2011 y 2012 la proporción sexual fue 1:1, pero en agosto de 2010, los machos predominaron en las capturas en Bahía Tortugas. De igual manera, en el presente estudio la proporción sexual fue 1:1 en agosto del 2013, pero en agosto del 2014 y agosto del 2015 los machos predominaron en las capturas, lo cual puede deberse a diferentes sitios de muestreo o a las variaciones en las condiciones climáticas.

Al igual que en el presente estudio, Villavicencio-Garayzar (1995) y Meza-Castillo (2014) observaron segregación sexual. Sin embargo, Blanco-Parra *et al.* (2009) no encontró diferencias significativas en la proporción sexual de esta especie en la costa oriental del Golfo de California, reportando una proporción de 1:1 durante su muestreo, sugiriendo que no existe segregación sexual en esta especie en esa zona.

El intervalo de tallas en el presente estudio (51.6–103 cm LT) fue ligeramente más amplio que el reportado por Villavicencio-Garayzar (1995) en Bahía Almejas (55.5–97 cm LT) y al reportado por Blanco-Parra *et al.* (2009; 41-90 cm LT), pero menor que el intervalo reportado por Meza-Castillo (2014; 55–124 cm LT). En el presente

estudio se observaron tallas mayores a las reportadas previamente por Villavicencio-Garayzar (1995) para hembras y machos (6 y 7.2 cm mayores respectivamente). Sin embargo, las tallas máximas del presente estudio (para machos y hembras) fueron menores a las reportadas por Meza-Castillo (2014), quien observó hembras de hasta 124 cm LT, 27 cm mayor que la reportada por Villavicencio-Garayzar (1995) y 21 cm mayor que la reportada en el presente estudio. Esto se puede deber a los sitios de muestreo dentro de la misma área de estudio, a la temporada de pesca o al esfuerzo de muestreo. Por ejemplo, en el estudio de Villavicencio-Garayzar (1995) el intervalo de muestreo fue de 3 a 5 días, mientras en el estudio de Meza-Castillo (2014) y el presente estudio la frecuencia del muestreo fue de entre 15 días a 1 mes con muestreos diarios. Aunque Blanco-Parra *et al.* (2009) reportaron recolecta de muestras durante casi tres años (julio 1998–mayo 2000 y noviembre 2004–julio 2005), no mencionan la frecuencia con la que realizaron los muestreos.

### **VIII.1. Edad y crecimiento**

Las diferencias observadas entre sexos debido a las tallas son similares a las reportadas por Carrasco-Bautista (2011) para *Zapteryx xyster* y Downton-Hoffmann (2007) para *P. productus*, lo cual implica un dimorfismo sexual debido a las tallas. Bigelow y Schroeder (1948) reportaron que en el grupo de elasmobranquios es muy común observar que las hembras son de mayor tamaño que los machos. Cortés (2000) reporta que para elasmobranquios, la talla máxima en machos es comúnmente 10% menor que la longitud de las hembras, además de que las hembras tienden a vivir más que los machos.

Debido al periodo de veda establecido de mayo a julio (Diario Oficial de la Federación, 2013), no fue posible obtener muestras durante esos meses para el presente estudio. Sin embargo, se observó una tendencia anual aparente en el periodo de formación de las bandas opacas, la cual se forma principalmente en los meses cálidos (agosto, septiembre y noviembre), mientras que las bandas translúcidas se forman durante los meses fríos (marzo y abril). Timmons y Bray (1997) reportaron bordes opacos para *P. productus* en agosto, octubre y diciembre, concluyendo que la

banda opaca se forma de agosto a noviembre, como en el presente estudio, mientras que la banda translúcida se forma en enero. Aunque en el presente estudio no se obtuvieron muestras en el mes de enero, se observó una predominancia de bordes translúcidos en los meses siguientes. La periodicidad anual en la formación de los pares de bandas de crecimiento estimada en el presente estudio es consistente también con lo reportado por Carrasco-Bautista (2011) para *Z. xyster* en el sur del Pacífico mexicano.

Es necesario conocer la estructura de edades de una población y sus parámetros de crecimiento para poder entender la dinámica de una población (Araya y Cubillos, 2006). Para este estudio, no existen estudios previos de edad y crecimiento de *Z. exasperata*, únicamente para especies de la misma familia. Carrasco-Bautista (2011) observó en su estudio que *Z. xyster* presentaba intervalos de edad de cero a tres años para ambos sexos, observando organismos maduros en sus muestras. En el Océano Atlántico, Do-Carmo (2015) observó en las muestras de *Z. brevirostris*, una estructura de edades de 4-10 años. En Bahía Almejas, Downton-Hoffmann (2007) reportó una edad máxima de 16 años para hembras y 11 para machos de *P. productus*, mientras que Timmons y Bray (1997) reportaron una edad máxima de 11 años tanto para machos como para hembras de la misma especie (*P. productus*) en California. Enajjar *et al.* (2012) reportaron una edad máxima de 14 años para hembras y 10 para machos de *Rhinobatos cemiculus* (*Glaucostegus cemiculus*) en el centro del Mediterráneo. Finalmente, Başusta *et al.* (2008) reportaron una edad máxima de 15 y 24 años para machos y hembras de *Rhinobatos rhinobatos* en el noreste del Mediterráneo, en Turquía. Todas las especies del orden Rhinoprístiformes (Familias Rhinobatidae, Glaucostegidae y Trygonorrhinidae) y la longevidad de casi todas las especies es menor que la estimada para *Z. exasperata*, lo cual indica que esta especie puede ser más sensible a la mortalidad por pesca. Se puede inferir por lo tanto que dentro del orden de los Rhinoprístiformes e incluso dentro del género *Zapteryx*, las especies presentan marcadas diferencias en edad y crecimiento.

Los valores del porcentaje de error promedio entre lectores (APE = 6.71) y del coeficiente de variación (CV = 9.65) fueron mayores que los reportados por Carrasco-Bautista (2011) para *Z. xyster* (3.33 y 4.62 respectivamente) entre dos lectores, pero

menores a los reportados por Do-Carmo (2015) para *Z. brevirostris* (9.71 y 13.7 respectivamente). Sin embargo, los valores de precisión estuvieron dentro del rango más comúnmente observado (<10%) de acuerdo con Campana (2001).

Los valores estimados de  $L_{\infty}$  en ambos modelos (MCVB y VB de dos parámetros) fueron muy similares a las tallas máximas observadas en el presente estudio (103 cm para hembras y 92 para machos), tallas mayores que las observadas por Villavicencio-Garayzar (1995; 97 cm para hembras y 83 cm para machos), pero menores a las reportadas por Meza-Castillo (2014; 124 cm LT para ambos sexos).

Los valores del parámetro  $k$  en los tres modelos fue mayor a 0.10, lo cual indica que la tasa de crecimiento de estas especies es moderado entre los elasmobranchios (Cailliet y Goldman, 2004). De acuerdo con esos últimos autores, con Do-Carmo (2015) y con el presente estudio, las especies de rayas guitarra (*P. productus*, *Z. brevirostris* y *Z. exasperata*) tienen valores entre 0.02 y 0.25, indicando un amplio intervalo de constantes de crecimiento. Sin embargo, Cailliet and Goldman (2004) observaron esas diferencias en la constante de crecimiento ( $k$ ) a partir de varios estudios y mencionan que puede estar relacionado con el tamaño de muestra, los métodos utilizados para la estimación de la edad, la verificación y validación o a los modelos de crecimiento utilizados.

Downton-Hoffmann (2007) reportó valores de  $k$  de 0.16 para hembras y de 0.24 para machos de *P. productus*, lo que indica que *Z. exasperata* crece más lento. Sin embargo, para la misma especie (*P. productus*) en las costas de California, Timmons y Bray (1997) reportaron valores de  $k$  de 0.016 para hembras y 0.095 para machos, valores que son considerablemente menores a los reportados en el presente estudio para *Z. exasperata* y al estudio de Downton-Hoffmann (2007) para la misma especie, probablemente porque el estudio de Timmons y Bray (1997) consideró sólo 43 muestras (19 hembras y 24 machos). De igual manera, Baçusta *et al.* (2008) reportaron valores de  $k$  para hembras y machos de *R. rhinobatos* de 0.134 y 0.310 respectivamente, sugiriendo que al menos los machos de *R. rhinobatos*, crecen más rápido que las otras especies reportadas, seguida de *R. cemiculus* con valores de  $k$  de 0.272 (Enajjar *et al.*, 2012). Para hembras, Enajjar *et al.* (2012) reportaron un valor de  $k$  de 0.202 en *R. cemiculus*, lo cual indica un crecimiento rápido, seguida por las

hembras de *P. productus* con  $k = 0.16$  (Downton-Hoffmann, 2007) y finalmente *Z. exasperata* (Tabla 15).

Cailliet *et al.* (2006) indicaron la conveniencia de utilizar el modelo de von Bertalanffy de dos parámetros, en donde se utiliza  $L_0$ , considerando la falta de significado biológico de  $t_0$  (Sparre y Venema, 1997). Más aún,  $L_0$  es un parámetro que permite una fácil evaluación de la curva de crecimiento (Cailliet y Goldman, 2004). Sin embargo, en el presente estudio, ambos modelos se ajustaron adecuadamente, probablemente debido a la tendencia asintótica de los datos de talla a la edad estimada.

A diferencia de los modelos anteriores, el modelo de Gompertz no se ajustó muy bien a los datos, por su forma sigmoidea y el punto de inflexión. De acuerdo con Cailliet y Goldman (2004), el modelo de Gompertz puede ser una mejor opción cuando el volumen de un individuo se incrementa con la edad, como es el caso de las rayas Myliobatiformes, las rayas y mantarrayas.

**Tabla 15.** Comparaciones de los parámetros del modelo de von Bertalanffy de las diferentes especies de las familias Rhinobatidae y Trygonorrhinidae.

	Hembras			Machos		
	$L_\infty$ (cm)	$k$ (año <sup>-1</sup> )	$t_0$ (años)	$L_\infty$ (cm)	$k$ (año <sup>-1</sup> )	$t_0$ (años)
<b><i>Rhinobatos productus</i></b> (Timmons and Bray, 1997)	594	0.016	-3.80	142	0.095	-3.942
<b><i>Rhinobatos productus</i></b> (Downton-Hoffmann, 2007)	136.69	0.16	-0.83	100.5	0.24	-0.83
<b><i>Rhinobatos rhinobatos</i></b> (Başusta <i>et al.</i> , 2008)	154.88	0.134	-1.264	121.65	0.310	-0.131
<b><i>Rhinobatos cemiculus</i></b> (Enajjar <i>et al.</i> , 2012)	198.7	0.202	-0.81	179	0.272	-0.71
<b><i>Zapteryx brevirostris</i></b> (Do Carmo, 2015)	59.5	0.11	-3.42	54.9	0.13	-3.07
<b><i>Zapteryx exasperata</i></b> (Presente estudio)	100.71	0.14	-0.39	89.78	0.17	-0.65

De acuerdo con Cailliet y Goldman (2006), las especies con coeficientes de crecimiento menores a 0.10 ( $k < 0.10$ ) tienden a ser particularmente vulnerables. Aunque no fue el caso para la especie examinada en el presente estudio, ya que presentó valores de crecimiento mayores a 0.10, se recomienda un manejo cuidadoso de la población ya que *Z. exasperata* es una especie que se encuentra bajo presión de pesca durante varios meses al año, en diferentes regiones de Baja California Sur. La estructura de tallas y los parámetros de crecimiento reportados en el presente estudio ofrecen datos de aspectos biológicos de esta especie que no habían sido estudiados previamente en el noroeste del Pacífico Mexicano, proveyendo información de su longevidad, edad de madurez y crecimiento, los cuales son importantes para estudios futuros de su dinámica poblacional.

## **VIII.2. Reproducción**

Debido al porcentaje de organismos inmaduros observados en el estudio (12.5%) y considerando que varios de estos fueron extraídos únicamente para investigación, podemos inferir que la pesquería en el área de Bahía Tortugas no está impactando sobre organismos inmaduros; de igual manera se corrobora la responsabilidad de los pescadores para preservar el recurso.

En el presente estudio se observó que la hembra madura de menor tamaño fue de 68 cm LT, en el estudio de Villavicencio-Garayzar (1995), se estimó una talla inicial de madurez de 77 cm LT y menciona que esa talla corresponde al 79% de la LT, en el presente estudio la talla inicial de madurez en hembras de *Z. exasperata* (68 cm LT) corresponde a un 66% de la LT. Lo anterior depende del criterio de cada autor para determinar la madurez, en el caso de Villavicencio estimó la madurez por presencia de embriones y por el diámetro de oocitos, en el presente estudio se analizó la presencia de embriones, el diámetro de los oocitos y se realizó una curva de madurez (Tabla 23).

El macho maduro más pequeño del presente estudio (62 cm LT), presentó una talla siete cm menor a la observada por Villavicencio-Garayzar (1995) en su estudio en Bahía Almejas (69 cm), a partir de la cual ya presentaban gonopterigios calcificados

y presencia de semen (maduros), a pesar de que no le fue posible determinar una talla media de madurez, asigna 69 cm como talla de madurez, sin embargo, no contó con organismos de entre 55 y 69 cm LT, por lo cual no puede inferir una talla media de madurez para machos (Tabla 16).

**Tabla 16.** Tallas de madurez de *Z. exasperata* de los diferentes estudios.

Autor	Hembras		Machos	
	Mín.–máx. (cm)	Proporción de la LT (%)	Mín.–máx. (cm)	Proporción de la LT (%)
Villavicencio-Garayzar (1995)	77–97	79.4	69–83	83.1
Blanco-Parra <i>et al.</i> (2009)	66.5–90	73.9	55–81	67.9
Meza-Castillo (2010)	85–124	68.6	77–124.5	61.9
Presente estudio (2017)	68–103	66	62–92	72.8

Tanto el estudio de Villavicencio-Garayzar (1995), como el de Meza-Castillo (2014) y el presente estudio presentan diferencias. El estudio de Villavicencio-Garayzar (1995) fue en un área de estudio diferente (complejo lagunar), el presente estudio podría ser comparable con el de Meza-Castillo, pero a pesar de que fueron en la misma área (Bahía Tortugas), los muestreos variaron en la temporalidad (Meza-Castillo, 2014 solo tiene muestras de agosto) y probablemente en los sitios de pesca.

Se observó un bajo porcentaje de organismos inmaduros, lo cual concuerda con lo observado en el estudio de Meza-Castillo (2014) quien de igual manera observó pocos organismos entre 55 y 70 cm, observando una mayor proporción de organismos entre los 75 y 85 cm (83%) y de igual manera el estudio de Villavicencio-Garayzar (1995) quien observó principalmente organismos entre 70 y 92 cm.

En el presente estudio se observó que las hembras además de ser más grandes que los machos, también fueron 28.3% más pesadas (promedio: 3.67 kg y los machos 2.63 kg), similar a lo reportado por Blanco-Parra (2009b) en el Golfo de California,

quienes observaron que las hembras son más pesadas que los machos por un 40% (promedio de 2.51 kg para hembras y 1.49 kg para machos).

En el caso de las hembras, el mayor peso fue de 5.83 kg y de 5.5 kg ambos de dos hembras de 97 cm LT, mientras que en el estudio de Blanco-Parra *et al.* (2009b), el mayor peso observado fue una hembra de 6.97 kg con una longitud de 82 cm LT, a pesar de ser más pequeña es más pesada, a pesar de que Blanco-Parra *et al.* (2009b), lo anterior es atribuido a la alimentación rica en proteínas de la población del Golfo de California (Blanco-Parra *et al.*, 2011).

En cuanto a los machos, el más pesado fue de 4.32 kg con una longitud de 90.2 cm, en el estudio de Blanco-Parra *et al.* (2009b), el macho más pesado fue de 4.33 kg, con una longitud de 75 cm, en comparación tuvieron el mismo peso (una diferencia de sólo 10 g) sin embargo, la talla difiere por 15 cm, lo cual corrobora que la diferencia en peso puede ser atribuida a la diferencia en la alimentación en cada una de las dos zonas. Blanco-Parra *et al.* (2011) reportaron que la dieta en el Golfo de California es principalmente de peces, en su mayoría peces demersales (*Porichthys margaritatus*; >90%) y un pequeño porcentaje de peces pelágicos también (*Engraulis mordax*; ~2%); en cambio en el estudio de Vázquez-Moreno (2015) menciona que en la zona de Bahía Tortugas, *Z. exasperata* se alimenta principalmente de langostilla *Pleuroncodes planipes* (72.6%) y sólo en un 10% de *Porichthys notatus*.

La diferencia en las tallas de madurez entre el Golfo de California (Blanco-Parra *et al.*, 2009) y la del Pacífico (Villavicencio-Garayzar, 1995; Meza-Castillo, 2014 y el presente estudio) puede ser atribuida a la temperatura, ya que en el Golfo de California las temperaturas son más cálidas, por lo tanto, los organismos maduran antes que en el Océano Pacífico (temperatura menor), lo cual causaría que la energía que normalmente es dedicada al crecimiento, se empleara para reproducción y por ende, los organismos no crecen igual que un organismo que madura a una talla mayor.

El tipo de crecimiento de observado en la relación peso-longitud (W-LT) resultó alométrico negativo ( $<3$ ;  $b= 2.7$ ) lo cual indicaría que el crecimiento en talla es mayor que el crecimiento en peso, los resultados en el presente estudio contrastan con lo observado por Meza-Castillo (2014) quien observó un crecimiento alométrico positivo en esta relación ( $b=3.54$ ), de igual manera contrastan con los resultados observados

por Downton-Hoffmann para la especie *P. productus* quien observó que esta especie presenta un crecimiento isométrico (valor cercano o igual 3).

#### VIII.2.1. Madurez en machos

Se observó una longitud máxima del gonopterigio de 25 cm (promedio: 15.3), talla mayor a la reportada por Blanco-Parra *et al.* (2009) quienes observaron una talla máxima del gonopterigio de 19 cm, pero menor a la talla observada por Meza-Castillo (2014) de 23 cm, en un organismo de 94 cm aproximadamente; en el presente estudio se observó una relación similar en un organismo de 91 cm LT con un gonopterigio de 23.6 cm, las mediciones tienen dispersiones similares. A pesar de que Meza-Castillo menciona en su estructura de tallas que se observaron organismos de 124 cm, no reporta medidas de gonopterigios para tallas superiores a 94 cm. A pesar de que los organismos del presente estudio y los de Meza-Castillo (2014) son más grandes en longitud del gonopterigio y talla, no se observa una asíntota como en el estudio de Blanco-Parra *et al.* (2009), donde parece que el gonopterigio llega a una cierta longitud (18 cm aproximadamente), lo cual nos indica que puede haber organismos aún más grandes con tallas mayores de gonopterigios.

La relación observada del testículo con la talla, se observa que entre los 67 y los 75 cm LT el organismo está en una transición y a partir de los 76 cm ya se observa el cambio más marcado en el desarrollo del testículo, lo cual corresponde con la talla de madurez observada en machos que fue a los 67.4 cm LT. En el estudio de Meza-Castillo (2014) no se observa una relación en el desarrollo del testículo (ni en largo ni en ancho), en el desarrollo del ancho se mantiene entre 1.6 y 3 cm a lo largo desde los 77 hasta los 92 cm LT, sin observarse tendencia alguna. En el estudio de Blanco-Parra (2014) sí se observa una tendencia en el desarrollo del testículo, sólo que observaron testículos de mayor tamaño (de 9 cm) en organismos de 70-75 cm aproximadamente, en el presente estudio también se observa una longitud de 9.2 cm pero en un organismo de 90 cm LT, una relación de 1:10, la talla máxima del testículo es la misma (9 cm aprox.), la diferencia es en la talla a la que alcanzan el máximo, los organismos del Golfo de California alcanzan la talla testicular máxima con mayor rapidez, lo cual de igual manera, puede ser atribuido a la temperatura, ya que los

organismos ectotermos, a temperaturas más frías, tienden a crecer y madurar más lento que en temperaturas más cálidas pero alcanzan tallas mayores (Atkinson, 1994; Forster *et al.*, 2011).

En cuanto al crecimiento del epidídimo, se observó que el incremento en la longitud es representativo al crecimiento del organismo, en escala de 1:10 cm aproximadamente, lo anterior puede deberse a que la estructura está adherida a la columna vertebral mediante una membrana, por lo que va creciendo proporcionalmente mientras el organismo se va desarrollando. La relación entre el ancho del epidídimo y la longitud total es inversa, ya que el crecimiento es más tipo exponencial (similar al crecimiento del testículo), lo cual se puede atribuir a la madurez del organismo; tanto el epidídimo como el testículo son órganos encargados del almacén, maduración y transporte de los espermatozoides, el ensanchamiento del mismo se notará conforme el organismo madura y produce los espermatozoides (Pratt Jr., 1979; Hamlett, 2005).

#### VIII.2.2. Madurez en hembras

En lo referente al tamaño del útero se observa que se va incrementando conforme al crecimiento del organismo, presentando un ancho de poco menos de medio a dos centímetros cuando las hembras no están preñadas, en caso contrario, el incremento en el tamaño del útero es evidente, observándose tamaños de útero de hasta seis centímetros cada útero aproximadamente, conteniendo la cápsula con los embriones, la cual tiene aproximadamente cinco centímetros de ancho. El crecimiento del ancho del útero es de tipo lineal, si no está preñada, en caso contrario se aprecia un crecimiento exponencial. Meza-Castillo (2014), aunque compara el tamaño del ovario con la longitud (y en éste estudio no), no compara el tamaño del útero, por lo que no se puede hacer una comparación; en cambio, en el estudio de Blanco-Parra *et al.* (2009), se observa un crecimiento similar al del presente estudio; aunque con tallas más grandes de útero en hembras de entre 75 y 85 cm LT (3-8 cm AU) y en el presente estudio, las tallas más grandes del útero se observan en hembras de entre 90 y 100 cm (2-6 cm AU), el útero más ancho es dos centímetros menor que el más ancho del Golfo de California, puede ser que los embriones del Golfo estén un poco más gruesos

y sea lo que le dé una mayor anchura, lo anterior no puede ser atribuido a la talla, ya que en etapa embrionaria se observaron tallas similares en los dos estudios previos con respecto al presente, lo cual puede indicar que las diferencias entre las dos zonas se van notando después de que el organismo nace (Blanco-Parra *et al.*, 2009; Meza-Castillo, 2014).

En cuanto al largo del útero, no fue comparado en los dos estudios previos, en esa relación se observa un crecimiento lineal, con tallas un poco mayores en las hembras preñadas, aunque la diferencia no tan evidente como con el ancho (AU). La cápsula que contiene los embriones es muy similar en el largo (aproximadamente 10 cm), independientemente del número de embriones que contenga (Fig. 35).

En la relación entre la glándula oviducal y la longitud total (LE-LT), al igual que en la relación del largo y ancho del útero, el crecimiento de la glándula oviducal es más evidente con la madurez, ya que esta estructura se encarga del almacén de esperma; en el caso de los organismos con un tipo de reproducción vivípara, no está muy desarrollada, pero en el caso de *Z. exasperata* que es una especie vivípara aplacentada, se encarga de la formación de la membrana donde vienen incluidos los embriones, por lo que tiene una función importante y por lo mismo tendrá una relación con la talla del organismo (Pratt Jr., 1993; Hamlet, 2005).

Blanco-Parra *et al.* (2009) observan la misma relación en su estudio, como en las demás relaciones, a partir de los 62 cm LT el tamaño de la glándula se va incrementando, alcanzando un tamaño de hasta tres cm el ancho de la glándula (entre los 75-85 cm LT de la hembra), en el presente estudio se observa que a partir de los 75 cm LT (no se tienen organismos entre 70-75 cm LT), el ancho de la glándula se va incrementando hasta alcanzar igualmente los 3.9 cm aproximadamente sólo que después de la talla de madurez. En el caso de Meza-Castillo (2014) el no compara el ancho de la glándula, sólo el largo con la longitud total (LT) y con el ancho de disco (AD), pero en la relación con el AD no se observa una relación tan definida como con la LT, donde sí se observa mejor el crecimiento de la glándula, sin embargo, en su análisis no se observan organismos menores a 75 cm LT, por lo que no se ve cómo se va desarrollando la glándula, en cambio en el presente estudio, se observa cómo se va desarrollando esta estructura a partir de su talla de madurez.

Según lo observado para la especie en estudios previos, Blanco-Parra *et al.* (2009) observaron que el oocito se va desarrollando de febrero con un mínimo de 0.5 cm y en Julio de 2.5–4 cm, Meza-Castillo (2014) observó tamaños de diámetro de los oocitos entre 0.4 y 2.1 cm en agosto; Villavicencio-Garayzar (1995) observó el tamaño promedio máximo de oocitos en el mes de marzo (4.2 cm; Tabla 17), con una reducción en el mes de abril (0.3 cm de diámetro), lo cual corresponde con el presente estudio, donde se observó el diámetro de los oocitos mayor a principios del mes de abril (4.05). En la figura 31 y 32 se observa cómo se van desarrollando los oocitos, con el valor más bajo en septiembre (un sólo valor) y el valor más alto en noviembre seguido por agosto; en la figura 32 (año tipo) se observa que de marzo a noviembre el oocito se va desarrollando, en septiembre se observa una disminución en el tamaño debido al valor mencionado, el cual se tomó como valor anómalo u outlier y en noviembre se observó una diámetro promedio de 1.6 cm. Lo anterior (sin considerar el valor de septiembre), sugiere que el desarrollo es de ocho meses aproximadamente (de marzo a noviembre, Fig. 31), lo cual concuerda con el estudio de Villavicencio-Garayzar (1995).

**Tabla 17.** Diámetro máximo de oocitos observados para *Z. exasperata*.

	<b>Villavicencio-Garayzar (1995)</b>	<b>Blanco-Parra et al. (2009)</b>	<b>Meza-Castillo (2014)</b>	<b>Presente estudio</b>
Diámetro máximo (mes)	4.2 (marzo, abril)	4.0 (julio)	2.3 (agosto)	4.02 (abril)
Vitelogénesis	agosto-abril	febrero-julio	-	marzo-noviembre

### VIII.2.3. Talla de madurez (L<sub>50</sub>)

La talla media de madurez para hembras de *Z. exasperata* del presente estudio fue de 70 cm LT, anteriormente no se había estimado talla de madurez mediante una curva, sólo una talla mínima que fue la que reportó Villavicencio-Garayzar (1995) de 77 cm. En el presente estudio se observaron hembras de 68 cm LT con oocitos de 0.6 cm de diámetro y a los 69 cm LT una hembra con la glándula oviducal ya desarrollada, en los individuos menores a 68 no presentaba oocitos sino solo gránulos transparentes menores a 0.5 cm.

La talla media de madurez para machos de *Z. exasperata* observada en el presente estudio fue de 70.4 cm LT, de igual manera no se había estimado mediante una curva de madurez, sino sólo por el diámetro de oocito y por la presencia de embriones, Villavicencio-Garayzar observó para machos una talla de madurez de 69 cm LT, pero en este caso, el no observó individuos de entre 55.5 y 69 cm por lo que no pudo determinar una talla media de madurez sino sólo una talla mínima de madurez.

En el estudio de Blanco-Parra *et al.* (2009) observaron que la talla media de madurez para *Z. exasperata* en el Golfo de California es de 64 cm LT para machos y de 69 cm LT para hembras, semejante a los estudios con la especie *P. productus* (Downton-Hoffmann, 2007; Márquez-Farías, 2007) donde se observa que el desarrollo se da a tallas menores en el Golfo de California que el Océano Pacífico, estas diferencias se deben principalmente a la temperatura, ya que en el Golfo de California las temperaturas promedio son más cálidas que en el Pacífico, donde influye la corriente de California. Los organismos en temperaturas más frías, maduran y crecen más lento pero alcanzan tallas más grandes (Forster *et al.*, 2011) y al parecer una fecundidad un poco mayor también, ya que en el estudio de Blanco-Parra *et al.* (2009) de 81 hembras grávidas observaron una fecundidad mínima de dos, máxima de 13 y una media de 8 embriones; en el presente estudio, a partir de 22 hembras grávidas se observó una fecundidad mínima de tres, máxima de 15, aunque la media fue igual, ocho embriones.

#### VIII.2.4. Abundancia y talla de los embriones.

En el presente estudio no se observaron diferencias significativas en cuanto a la proporción sexual ( $p > 0.05$ ; 1:0.96 H:M; 92 hembras y 88 machos), lo cual fue similar a lo reportado por Villavicencio-Garayzar (1995) y Blanco-Parra *et al.* (2009). El único autor que reportó diferencias en la proporción sexual es Meza-Castillo (2014), donde observó 105 hembras y 65 machos, para determinar el sexo en esa etapa es mediante la presencia o ausencia de los gonopterigios, puede que varios de ellos no hayan tenido desarrollados aún los gonopterigios.

El número máximo de embriones por hembra observado en éste estudio fue mayor al reportado por Villavicencio-Garayzar (1995; 11 embriones) en Bahía Almejas;

Blanco Parra *et al.* (2009) observó un número máximo de 13 embriones en el Golfo de California y Meza-Castillo (2014) hasta 12 embriones en la misma área que el presente estudio.

Villavicencio-Garayzar (1995) menciona que el número de embriones aumenta conforme se incrementa el tamaño de la hembra ( $n=20$ ;  $R^2=0.71$ ), lo cual contrasta con los resultados obtenidos en el presente estudio, en donde no se observó una relación significativa ( $R^2=6E-5$ ).

En cuanto a la talla de los embriones, en el presente estudio se observó una talla máxima de 18.8 cm LT, lo cual varía un poco a lo reportado por Villavicencio-Garayzar (1995) quien observó una talla máxima de embriones de 16.3 cm LT, pero concuerda con lo reportado por Blanco-Parra *et al.* (2009) quien observó una talla máxima de 18.7 cm LT y con Meza-Castillo (2014) quien observó cuatro embriones machos de 19.5 cm LT.

En el presente estudio, se observaron embriones sólo en los meses de marzo y agosto, en el estudio de Meza-Castillo (2014) fue sólo en agosto debido a los muestreos realizados, en el estudio de Villavicencio-Garayzar (1995) observó embriones en los meses de abril, mayo, junio y julio; a pesar de que en los meses de marzo y agosto no observó embriones, sí pudo observar cómo se va incrementando la talla promedio a lo largo de esos cuatro meses. En el presente estudio no se pudo observar el desarrollo; sin embargo, se observaron embriones en dos meses en los que no se observaron en el estudio de Villavicencio-Garayzar (1995), en marzo embriones de (11.4 cm LT en promedio) y en agosto (16.4 cm LT en promedio) (Fig. 37), lo cual sugiere que la especie se reproduce todo el año, ya que en agosto del 2013 se observaron tallas desde 7.6 hasta 18.8 cm LT o que su período de gestación dure más de lo que menciona Villavicencio-Garayzar (1995) en su estudio (tres a cuatro meses); Blanco-Parra *et al.* (2009) menciona que el periodo de gestación de esta especie es de aproximadamente cinco meses en el Golfo de California.

#### VIII.2.5. Desarrollo de embriones y vitelogénesis.

A pesar de que no se observaron embriones en más de dos meses de muestreo (marzo y agosto), sí se observa un crecimiento en el diámetro promedio de los oocitos y en

los mismos meses se observan embriones, lo cual muestra que el desarrollo ovárico y el periodo de gestación suceden al mismo tiempo (Fig. 36), concordando con lo que menciona Blanco-Parra *et al.* (2009), quienes mencionan que el ciclo ovárico y el periodo de gestación son concurrentes. Villavicencio-Garayzar (1995) observó también una concurrencia entre el ciclo reproductivo y el ciclo ovárico. Aunque Meza-Castillo (2014) no analizó un ciclo reproductivo debido a la temporalidad de las muestras, en el mes de agosto observó embriones en la primera fase de desarrollo así como embriones a término, similar al presente estudio.

En el mes de marzo se observó una talla de embriones de  $11.37 \pm 0.4$  cm LT (prom  $\pm$  desv. est.), lo cual representó el 58% de la LT máxima embrionaria (19.5 cm LT) y en el mes de agosto se observó una talla de  $15.96 \pm 2.39$  cm LT, lo cual representa el 82% aproximadamente de la talla máxima embrionaria, lo anterior sugiere que el tiempo de gestación es de ocho meses. Sin embargo, considerando que la especie presenta un desarrollo de oocitos asincrónico, además de que en agosto se observaron embriones en diferentes etapas de desarrollo (7.6–18.8 cm LT), se puede inferir que la especie no tiene una temporada reproductiva definida.

### **VIII.3. DEMOGRAFÍA**

Los estudios demográficos son importantes, ya que representan alternativas a evaluaciones pesqueras tradicionales aprovechando la información biológica disponible para la especie que se quiera analizar, ya que los datos de las pesquerías de elasmobranquios por periodos de tiempo largos son muy escasos (Cortés, 1998). Pueden ser por lo tanto importantes en la toma de decisiones para el manejo de las especies explotadas al permitir el desarrollo de puntos de referencia biológicos límite en las pesquerías (Simpfendorfer, 2005; Chen y Yuan, 2006). A pesar de lo anterior, los modelos demográficos han sido aplicados apenas hace 25 años para los elasmobranquios (Cailliet, 1992; Cortés, 1998, 2000, 2004 y 2007; Frisk *et al.*, 2002; Simpfendorfer, 1999, 1999b; Smith *et al.*, 2008).

Para aplicar los modelos demográficos es necesario conocer los parámetros de edad, crecimiento y reproductivos de la especie. Sin embargo, esta información biológica generalmente es escasa en los elasmobranquios (Cortés, 1998). Los análisis

demográficos asumen que los organismos son capaces de reproducirse desde su edad de madurez hasta su edad máxima. Al menos en tiburones no se ha comprobado tengan un periodo de senescencia reproductiva. En los elasmobranquios no hay evidencia de un aumento en la mortalidad asociado a los periodos reproductivos (Beverton, 1987). Por lo anterior es de gran importancia realizar estudios de la biología básica de las especies; con el fin de poder incorporar dicha información en los modelos.

Aunque pueden utilizarse parámetros biológicos de especies similares o estudios en otras regiones, el resultado puede no ser tan confiable como utilizar información de muestras provenientes de la misma zona, ya que cada localidad posee características diferentes. Por lo tanto, los estudios demográficos de una cierta especie en una zona determinada, estarían los estudios de su biología serían el reflejo de los factores que están influyendo en la zona de estudio (Hoenig, 1983; Cailliet, 1992).

La mortalidad es un parámetro determinante cuando se aplican los modelos demográficos (Simpfendorfer, 2005). En el presente estudio se observó que los valores de mortalidad natural ( $M$ ) estuvieron dentro del intervalo estimado para los elasmobranquios. Chen y Yuan (2006) observaron para el cazón ley, *Rhizoprionodon terraenovae*, una  $M$  de 0.573, mientras que para el cazón espinoso, *Squalus acanthias*, se ha estimado una  $M$  de 0.051, representando los límites de  $M$  entre los elasmobranquios. Los valores de  $M$  para *Z. exasperata* fueron de 0.169 (estimación mediante el modelo de Hoenig con los valores para cetáceos) a 0.299 (estimación mediante el método de Pauly), lo cual queda dentro de los valores estimados, incluso el promedio de los valores observados en el estudio de Chan y Yuan (2006) es ligeramente menor que el promedio de los valores observados en el presente estudio (0.226), sólo que en el presente estudio no se observó un valor de mortalidad tan bajo (0.051), ya que esta especie tiende a alcanzar la madurez a una talla pequeña.

Hoenig (1983) menciona que una de las limitantes de estimar  $M$  a partir de la longevidad es que los organismos más longevos requieren de un periodo de muestreo más largo, por lo que el modelo debe considerar el tamaño de muestra. Otra limitante de este método es que la estructura de edades va cambiando con el tiempo, por lo que

la edad máxima estimada en cierto año, va a ir decreciendo con el tiempo hasta que llega a sub o sobreestimarse.

El método propuesto por Pauly (1980) considera la temperatura ambiental, sin embargo, no es muy aplicable en una especie que se distribuye en un rango amplio de temperaturas, y utilizar una temperatura media puede ser riesgoso (Chen y Yuan, 2006). Una posibilidad es considerar los diferentes valores de mortalidad con cada temperatura a la que se observe el organismo, tomando el intervalo de  $M$  estimadas a las distintas temperaturas a la que se observa el organismo.

Se utilizaron los tres métodos propuestos por Jensen (1996), para éste método los valores de la mortalidad estuvieron dentro del intervalo de valores de la mortalidad natural ( $M$ ) (0.219 el promedio de los 3 métodos).

Las  $M$  estimadas mediante los métodos de Then *et al.* (2015) a partir de la edad y la talla máximas, retoman lo propuesto por Hoenig (1983) y ambos concluyen que los métodos para estimar  $M$  a partir de la edad máxima es el mejor de los estimadores que evaluaron.

Varios estudios han utilizado distintos métodos combinados para estimar  $M$ , ya sea a partir de la constante de crecimiento o a partir de la edad máxima (longevidad), por ejemplo el estudio de Simpfendorfer (1999), donde utilizó cinco modelos para estimar la mortalidad en la especie *C. obscurus*, en donde observó que la mayoría proporcionaban resultados similares. Otro ejemplo es el caso de Cortés (1999) quien también utilizó cuatro métodos para estimar  $M$  en *Carcharhinus plumbeus*, los cuales de igual manera, fueron parecidos, en el presente estudio los resultados obtenidos también fueron similares.

Los parámetros demográficos obtenidos en el presente estudio, son los primeros para *Z. exasperata*, por lo cual solo pueden ser comparados con los de especies similares. Tal es el caso de Vélez-Tacuri (2015) quien observó una fecundidad de seis embriones, una talla aproximada de nacimiento de 16.5 cm LT, una talla máxima de 66 cm, proporción sexual igualitaria (1:1) y una madurez sexual a los 48 cm LT aproximadamente, los cual, a pesar de ser especies del mismo género y ser muy parecidas morfológicamente, son muy diferentes en cuanto a su biología reproductiva, siendo más parecida a la especie hermana *Z. brevirostris* (del lado del

Atlántico) y con características reproductivas similares, Do-Carmo (2015) observó que tiene una fecundidad de 7 embriones, una talla aproximada de nacimiento de 14 cm, una talla máxima de 56 cm, una edad máxima de 10 años; y en el presente estudio, *Z. exasperata* difiere de las dos anteriores (*Z. xyster* y *Z. brevirostris*). Lo anterior nos indica que no importa que tan emparentadas puedan estar las especies, incluso dentro de la misma especie se pueden dar grandes diferencias.

En el presente estudio casi todos los valores de la tasa intrínseca de crecimiento ( $r$ ) dieron entre 0.001 y 0.186, los demás valores de los diferentes escenarios nos dieron valores positivos, lo cual indicaría que la población seguiría creciendo, ya que como menciona Chen y Yuan (2006) cuando el valor de la tasa intrínseca de crecimiento es positiva cercana a cero, significa que la población ha tenido un completo desarrollo en la tendencia de la pesquería en ese momento, sin embargo, cuando el valor de  $r$  es negativo o cercano a cero significaría que la población no crece y posiblemente que no soportaría la explotación.

En el presente estudio no se observó una relación entre la fecundidad y la talla de la madre como se observó en el estudio de (Downton-Hoffmann, 1997), donde observaron que el valor de la fecundidad es variable por edad, debido a que las hembras van teniendo una fecundidad diferente conforme van creciendo, por lo cual el valor de  $m_x$  fue constante.

Las matrices de Leslie para análisis demográficos, se ha utilizado desde 1990, para el manejo de las poblaciones de tiburones, estas matrices ya se han utilizado en varias especies de tiburones y rayas como *Negaprion brevirostris* (Hoenig y Gruber, 1990), para *Rhizoprionodon taylori* (Simpfendorfer, 1999b); *Leucoraja erinacea*, *L. ocellata* y *Dipturus laevis* (Frisk *et al.*, 2002), *Dayatis violacea*, *Carcharias taurus*, *Alopias pelagicus* y *Carcharodon carcharias* (Mollet and Cailliet, 2002), *Dipturus laevis* y *Negaprion brevirostris* (Gedamke *et al.*, 2007), los cuales usaron para estimar las clases de edad que podían ser pescadas y que el crecimiento poblacional tuviera el mismo potencial.

Los análisis demográficos que involucran las matrices de Leslie no sólo han sido abordados en elasmobranchios sino en otras especies como por ejemplo en tortugas. Tal es el caso de Heppell (1998), quien analizó 10 especies, en ese estudio concluye

que los estudios de elasticidad deben ser comparados con precaución, debido a que como son modelos determinísticos, que asumen una distribución estable por edad, una solución a esto, podría ser que considerando que son modelos determinísticos, considerar todos los posibles escenarios para poder concluir algo sobre la especie de estudio.

En los modelos demográficos, los resultados consideran la historia de vida de cada organismo, por lo que están sujetos a la efectividad y veracidad de los estudios realizados de su biología básica; los resultados obtenidos de los análisis de elasticidad pueden ayudar en la creación de estrategias de conservación o planes de manejo (según sea el caso) adecuados a cada una de las especies (Heppell *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 2008).

Antes de elaborar los análisis demográficos es necesario revisar los datos de la historia de vida de la especie que se quiera estudiar para confirmar la calidad de los parámetros de entrada para estimar la demografía, ya que los modelos de rigen por estos parámetros y aun así tienen esos parámetros tienen un rango de incertidumbre (Smith *et al.*, 2008).

En el presente estudio se aplicaron 19 escenarios probando diferentes parámetros de entrada, una de las ventajas es que se pueden realizar simulaciones con cualquier valor y analizar la sensibilidad de la especie ante los diferentes cambios, es por ello que se generan varios escenarios, para observar las diferentes respuestas a diferentes cambios.

Para llevar a cabo los análisis de sensibilidad, se seleccionaron los dos métodos propuestos por Then (2015) a partir de la talla y a partir del crecimiento, ya que los métodos de Then consideran lo propuesto por Hoenig a cerca de los métodos para estimar la mortalidad natural, varios autores de igual manera han utilizado diferentes escenarios para medir la sensibilidad de la especie a los parámetros de entrada en otras especies como *C. obscurus* y *R. taylori* (Simpfendorfer 1999a y 199b).

En los diversos escenarios el valor de la tasa intrínseca de crecimiento resultan valores entre 0.001 y 0.186, nos indica que la población va creciendo lentamente con la tendencia que presenta, los valores positivos de todos los escenarios nos indican que esta especie, con las características que tiene, puede soportar hasta el momento

la presión que la pesca está ejerciendo hasta el momento, sin embargo, para estar seguros de ello, se necesitaría realizar estudios constantes tanto de su biología y ampliarla a medida de lo posible para que los parámetros de entrada en la elaboración de los modelos demográficos vayan teniendo un mayor peso y un menor nivel de incertidumbre.

Los resultados indican que *Z. exasperata* es una especie que podría soportar el efecto de la pesquería, ya que es una especie longeva con capacidad reproductiva media; sin embargo, es necesario probar más escenarios donde se considere la fecundidad media y mínima (ocho y tres embriones respectivamente) como medida precautoria, ya que en el presente estudio se consideró la fecundidad máxima (15 embriones) y sólo una de 22 hembras que se observaron en el estudio presentó dicha fecundidad; tanto el promedio como la moda fue de ocho embriones, lo que daría una fecundidad de cuatro organismos, fue la razón por la que se creó la tabla de vida considerando la fecundidad de cuatro organismos (*M-4*). Es necesario incluir también la fecundidad menor (cuatro embriones) y si es posible, la fecundidad mínima observada (1.5 embriones, tres embriones en proporción uno a uno), y ver cómo resultan los parámetros demográficos, para poder confirmar que tan factible es de explotar esta especie.

Para poder determinar si una especie es apta para seguir explotándose o es necesario protegerla, se tiene que analizar minuciosamente incluyendo medidas precautorias y dado caso sus respectivas medidas de manejo, probar varios escenarios y analizar los resultados de los parámetros demográficos, considerando que son recursos que dan sustento a una parte de la población y de ser necesario proteger alguna especie, considerar medidas a implementar tanto para la especie como para las personas que generan el sustento a partir de estos recursos.

## IX. CONCLUSIONES

Se observaron diferencias significativas entre sexos ( $p < 0.05$ ), debido a la proporción sexual, talla y peso de las muestras de *Zapteryx exasperata*, siendo las hembras menos abundantes, de mayor talla y peso en la zona de Bahía Tortugas.

La pesquería de rayas de la zona de Bahía Tortugas captura principalmente organismos maduros, observándose sólo el 12.5% de organismos inmaduros ( $n=17$ ), considerando los que fueron recolectados con fines de investigación.

Las marcas de crecimiento presentes en las vértebras de la raya guitarra bandeada *Z. exasperata* presentaron una periodicidad anual.

De igual manera se observaron diferencias significativas entre sexos ( $p < 0.05$ ) debido a la edad, siendo las hembras más longevas que los machos (22.6 años las hembras y 18.6 años los machos).

Los valores de los parámetros del modelo que mejor se ajustó a los datos (MCVB) fueron:  $L_{\infty} = 100.8$  cm LT,  $k = 0.14$  año<sup>-1</sup>,  $t_0 = -0.81$  años para hembras y  $L_{\infty} = 89.77$  cm LT,  $k = 0.18$  año<sup>-1</sup>,  $t_0 = -0.93$  años para machos.

Según la talla media de madurez ( $L_{50}$ ) observada en el presente estudio (70 cm LT las hembras y 67.4 cm LT los machos), la edad de madurez de las hembras de *Z. exasperata* es de ocho y de los machos de siete años.

Las hembras de *Z. exasperata* pueden alcanzar una mayor fecundidad ya que presentan los dos ovarios funcionales, observándose un mínimo de tres, máximo de 15 y una media de ocho embriones.

Se observó una temporalidad de los embriones en marzo y agosto, un periodo de gestación de ocho meses (marzo a noviembre) y un desarrollo de oocitos asincrónico, por lo que la gestación y el desarrollo de los oocitos pueden darse de manera simultánea.

Debido al desarrollo asincrónico de los oocitos aunado al intervalo de tallas de los embriones de 7.6-18.8 cm LT observado en agosto y a la temporalidad de los embriones, se infiere que *Z. exasperata* se puede reproducir continuamente.

*Zapteryx exasperata* presentó una mortalidad promedio de 0.231, una tasa intrínseca de crecimiento poblacional de 0.15 y una tasa finita de crecimiento de 1.18 y asumiendo que la especie esté sometida a una mortalidad por pesca

## **X. RECOMENDACIONES**

*Zapteryx exasperata* es una especie que hasta el momento no había sido estudiada, a pesar de ser una especie de importancia comercial. Con los resultados generados en el presente estudio se crea una línea base respecto a parámetros de edad, crecimiento y demografía.

Es necesario realizar análisis demográficos de esta especie a lo largo de su rango de distribución, para poder ampliar el conocimiento o corroborar el generado en el presente estudio y poder definir si es factible a ser explotada o de lo contrario, idear planes de manejo adecuados a las características de cada especie.

Es necesario generar información biológica básica y posteriormente los análisis demográficos de las especies que son objetivo de la pesquería, para saber qué especie puede soportar la pesquería y que especie está siendo sobreexplotada.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson, D. 1994. Temperature and organism size: a biological law for ectotherms?. *Advances in Ecological Research*. 25. 58p.
- Applegate, S.P., F. Sotelo-Macías y L. Espinosa-Arrubarrena. 1993. An Overview of Mexican Shark Fisheries, with Suggestions for Shark Conservation in Mexico. (Ed. S. Branstetter) NOAA Technical Report NMFS 115. USA. 99p.
- Au, D.W. y S.E. Smith. 1997. A demographic method with population density compensation for estimating productivity and yield per recruit of the leopard shark (*Triakis semifasciata*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 54: 415-420.
- Başusta, N., S.A. Demirhan, E. Çiçek, A. Başusta, y T. Kuleli. 2008. Age and growth of the common guitarfish, *Rhinobatos rhinobatos*, in Iskenderun Bay (northeastern Mediterranean, Turkey). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88: 837-842.
- Beamish, R.J. y D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*. 38: 982–983 p.
- Beverton, R.J.H. 1987. Longevity in Fish: Some Ecological and Evolutionary Considerations. 161–185p. En: *Evolution of Longevity in Animals* (Eds. A.D. Woodhead y K.H. Thompson). Springer, Boston, MA. 354 pp.
- Bigelow, H. B. y W.C: Schroeder. 1948. Sharks. In 'Fishes of the western North Atlantic' Part 1. (Eds. A. E. Parr and Y. H. Olsen) pp. 59-546. (Sears Found. Mar. Res: Yale University, New Heaven, CT.).
- Blanco-Parra, M.P., F. Galván-Magaña, J.F. Márquez-Farías y C.A. Niño-Torres. 2011. Feeding ecology and trophic level of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, inferred from sable isotopes and stomach contents analysis. *Environmental Biology of Fishes*. 13 pp.
- Blanco-Parra, M.P., J.F. Márquez-Farías y F. Galván-Magaña. 2009. Reproductive biology of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, from the Gulf of

- California, México. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. UK. 89(8): 1655-1662 p.
- Branstetter, S. 1990. Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. *In: Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the biology, ecology, systematic and the status of the fisheries.* NOAA Technical Report. NMFS 90: 17–28.
- Cailliet, G.M. 1992. Demography of the central California population of the Leopard shark (*Triakis semifasciata*). *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 43:183-193.
- Cailliet, G. M., L.K. Martin, J.T. Harvey, D. Kusher y B.A. Welden. 1983. Preliminary studies on the age and growth of blue, *Prionace glauca*, common thresher, *Alopias vulpinus*, and shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, sharks from California waters. *In: Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and Sharks.* E.D. Prince and L.M. Pulos (Eds.). U.S. Department Commer. NOAA Technical Report. NMFS 8: 189-191.
- Cailliet, G.M., H.F. Mollet, G.G. Pittinger, D. Bedford y L.J. Natanson. 1992. Growth and demography of the Pacific angel shark (*Squatina californica*), based upon tag returns off California. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research.* 43: 1313-1330.
- Carrier C., H.L. Pratt y J.I. Castro. 2004. Reproductive biology of elasmobranchs. *In Carrier C., J. A. Musick, y M. R. (eds.) Biology of sharks and their relatives.* Boca Raton, FL. CRC Press 269-284 p.
- Cartamil, D., O. Santana-Morales, M. Escobedo-Olvera, D. Kacev, L. Castillo-Géniz, J., B. Graham, R.D., Rubin, O. Sosa-Nishizaki. 2011. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California, México. *Fisheries Research*, 108: 393-403 p.
- Castro-Aguirre, J.L., Arvizu-M., J. & Páez, B.J. 1970. Contribución al conocimiento de los peces del Golfo de California. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 31: 107-181p.

- Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39: 1208–1210p.
- Chen, Y., D.A. Jackson & H.H. Harvey. 1992. A comparison of von Bertalanffy y polynomial functions in modeling fish growth data. *Canadian Journal of Fisheries y Aquatic Science*, 49:1228–1235.
- Chen, P. y W. Yuan. 2006. Demographic analysis based on the growth parameter of sharks. *Fisheries Research*, 78: 374–379.
- Cochrane, K.L. 2005. Guía del administrador pesquero Medidas de ordenación y su aplicación. *FAO Documento Técnico de Pesca 424*. Roma. 231 pp.
- CONAPESCA–INP. 2004. Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México (PANMCT). SAGARPA. Mazatlán, México. 85p.
- Cortés, E. 1998. Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fisheries Research*, 39:199–208.
- Cortés, E. 1999. A stochastic stage-based population model of the sandbar shark in the western North Atlantic. En: *Life in the slow lane: Ecology and conservation of long-lived marine animals: proceedings of the Symposium Conservation of Long-Lived Marine Animals held at Monterey, California, USA*. 24 de Agosto de 1997. American Fisheries Society Symposium, 23: 115–136.
- Cortés E. 2004. Life history patterns, demography, and population dynamics. En. *Biology of sharks and their relatives*. Carrier, J. C., Musick, J.A. y Heithaus M.R. (Eds.). CRC Press 449–469.
- Cortés, E. y G. Parsons. 1996. Comparative demography of two populations of the bonnethead shark (*Sphyrna tiburo*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53: 709-718.
- Csirke J. 1989. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. *FAO Documento Técnico de Pesca No. 192*. 79pp.
- Downton-Hoffmann, C.A. 2001. Edad y crecimiento del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres, 1856) en la costa Occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. *CICIMAR-IPN*. La Paz, B.C.S., México. 73 pp.

- Downton-Hoffmann, C.A. 2007. Biología del pez guitarra *Rhinobatos productus* (Ayres, 1856), en Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 194 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2013). Establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna Veda para todas las especies de tiburón, a partir del 1 de mayo. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)*. 23 de julio de 2013. México.
- Do-Carmo, W. P. D. (2015). Caracterización de la reproducción, edad, crecimiento y acumulación de metales en *Zapteryx brevirostris* (Elasmobranchii: Rhinobatidae), una especie endémica del Atlántico Sur (En Portugués). Tesis de Doctorado. Federal University of Paraná, Brasil. 118pp.
- Dulvy N.K. & J.D. Reynolds. 2002. Predicting extinction vulnerability in skates. *Conservation Biology*. 16, p. 440-450.
- Ebert, D.A. 2003. Sharks, rays and chimaeras of California. Los Angeles: University of California.
- Ehrhardt, N.M. 1981. Curso sobre métodos de evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. Tercera parte: Parámetros poblacionales. FAO-INP. 134 pp.
- Enajjar, S., Bradai, M. N., and Bouain, A. (2012). Age, growth and sexual maturity of the blackchin guitarfish *Rhinobatos cemiculus* in the Gulf of Gabès (southern Tunisia, central Mediterranean). *Cahiers de Biologie Marine* **53**, 17-23.
- Eschmeyer, W.N., E.S. Herald & H. Hammann. 1983. A field guide to Pacific coast fishes. Houghton Mifflin Co., Boston, Massachusetts.
- Forster, J., A.G. Hirst y D. Atkinson. 2011. How do organisms change size with changing temperature? The importance of reproductive method and ontogenetic timing. *Functional Ecology*, 25, 1024–1031.
- Frisk, M.G., T.J. Miller y M.J. Fogarty. 2002. The population dynamics of little skate *Leucoraja erinacea*, winter skate *Leucoraja ocellata*, and barndoor skate *Dipturus laevis*: predicting exploitation limits using matrix analyses. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 576–586.

- Haddon, M. 2001. *Modeling y Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman y Hall/CRC Press. 406pp.
- Hamlett, W.C. 2005. *Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes Sharks, Batoids and Chimaeras*. Science Publishers. USA. 562pp.
- Hayashi, Y. 1976. Studies on the growth of the red tilefish in the East China Sea. A foundational consideration for age determination from otoliths. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 42(11): 1237–1242.
- Heppell, S.S. 1998. Application of Life-History Theory and Population Model Analysis to Turtle Conservation. *Copeia*, 2:367–375.
- Heppell, S.S., Crowder L.B. y Menzel T.R. 1999. Life Table Analysis of Long-Lived Species with Implications for Conservation and Management. *American Fisheries Society Symposium*, 23:137–148.
- Hoening, J.M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fisheries Bulletin*, 82(1):898-905.
- Hoening, J.M. y S.H. Gruber. 1990. Life-History Patterns in the Elasmobranchs: Implications for Fisheries Management, p. 1-16. *In*: H.L. Pratt Jr., S.H. Gruber y T. Taniuchi (Eds.). *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics, and the Status of the Fisheries*. NOAA Technical Report NMFS 90. U.S. Department of Commerce, 518pp.
- Holden, M. J. 1977. Elasmobranchs. En J. A. Gully (Editor), *Fish Population Dynamics*, p. 117-215, J. Wiley y Sons. Londres.
- Holden, M.J. y D.F.S. Raitt. 1975. *Manual de Ciencia Pesquera, Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación*. Documento Técnico de la FAO. Roma. 21pp.
- Ishiyama, R. 1978. Reexamination of the age y growth of Raja. *Monthly Marine Science (Japan)*. 10(3): 188 – 194.
- Kessler, S.W: 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*. Elsevier. USA. 69: 181-217.
- Last, P. R., B. Séret, and G.J.P. Naylor. 2016. A new species of guitarfish, *Rhinobatos borneensis* sp. nov. with a redefinition of the family-level classification in the

- order Rhinopristiformes (Chondrichthyes: Batoidea). *Zootaxa*. New Zealand. 4, 451–475.
- Márquez-Farías, J.F. 2007. Demografía del pez guitarra, *Rhinobatos productus* (Ayres, 1854) del Golfo de California. Tesis de Doctorado. CIBNOR. México. 197 pp.
- Márquez-Farías, J.F. y J.L. Castillo-Géniz y M.C. Rodríguez Cruz. 1998. Demografía del tiburón pech, *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), en el sureste del Golfo de México. *Ciencias Marinas*. 24(1):13-34.
- Meza-Castillo, J. H. (2014). Aspectos reproductivos de la raya *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) (Chondrichthyes: Rhinobatidae) en Bahía Tortugas, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar Campus Puerto Ángel, Oaxaca, México. 92p.
- Michael, S.W. 1993. Reef sharks and rays of the world. A guide to their identification, behavior and ecology. Sea Challengers, Monterey, California. 107pp.
- Mollet, H.F. y G. M. Cailliet. 2002. Comparative population demography of elasmobranchs using life story tables, Leslie matrices stage-based matrix models. *Marine and Freshwater Research*, 53:503-516.
- Moureau, J. 1987. Mathematical and biological expression of growth in fishes: Recent trends and further developments. pp. 81-113. En: The Age and Growth of Fish. R.C. Summerfelt and G. E. Hall (Eds.). The Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010.
- Neer J.A. y G.M. Cailliet. 2001. Aspects of the Life History of the Pacific Electric Ray *Torpedo californica* (Ayres). *Copeia*, 3: 842–847.
- Officer, R.A., A.S. Gason, T.I. Walker y J.G. Clement. 1996. Sources of variation in counts of growth increments in vertebrae from gummy shark, *Mustelus antarcticus*, and school shark, *Galeorhinus galeus*: Implications for age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53: 1765-1777.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 39(2):175–192.

- Powter, D.M. y W. Gladstone. 2008. Demographic analysis of the Port Jackson shark *Heterodontus portusjacksoni* in the coastal waters of eastern Australia. *Marine and Freshwater Research*, 59: 444–455.
- Pratt, Jr., H.L. 1979. Reproduction in the Blue Shark, *Prionace glauca*. *Fishery Bulletin*, 77(2): 445–470.
- Pratt, Jr., H.L. 1993. The storage of spermatozoa in the oviducal glands of western North Atlantic sharks. *Environmental Biology of Fishes*. Holanda. 38, 139-149.
- Ramírez-Amaro, S.R., D. Cartamil, F. Galván-Magaña, G. González-Barba, J. B. Graham, M. Carrera-Fernández, O. Escobar-Sánchez, O. Sosa-Nishizaki, A. Rochín-Alamillo. 2013. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, México, management implications. *Scientia Marina*. Barcelona, España. 77(3), 473-487.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*. 191. Ottawa. 382pp.
- Simpfendorfer, C.A. 2000. Predicting population recovery rates for endangered western Atlantic sawfishes using demographic analysis. *Environmental Biology of Fishes*. 58, 371-377.
- Simpfendorfer, C.A. 2005. Demographic models: life tables, matrix models and rebound potential. En: Management Techniques for elasmobranch fisheries. J.A. Musick y R. Bonfil (Eds.). FAO Fisheries Technical Paper 474, 143–153.
- Simpfendorfer, C.A. 1999. Demographic Analysis of the Dusky Shark Fishery in Southwestern Australia. *American Fisheries Society Symposium* 23:149-160.
- Smith, J.W. & J.V. Merriner. 1987. Age and growth, movements and distribution of the cownose ray, *Rhinoptera bonasus* in Chesapeake Bay. *Estuaries* 10(2):153-164.
- Sokal, R. y F. Rohlf. 1981. Biometry. Second edition. W.H. Freeman y Company. New York. 859p.p.
- Sparre, P. y S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca 306(1). 420 pp.

- Stevens, J. D., 1975. Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca*). *Journal of Marine Biological Association from the United Kingdom*, 54: 373-378.
- Stevens, J.D., R. Bonfil, N.K. Dulvy y P.A., Walker. 2000. The effects of fishing on sharks, rays and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 476-494.
- Tanaka S. y K. Mizue. 1979. Age y growth of Japanese dogfish *Mustelus manazo* in the East China Sea. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 45(1): 43 – 50.
- Then, A.Y., J.M. Hoenig, N.G. Hall y D.A. Hewitt. 2015. Evaluating the predictive performance of empirical estimators of natural mortality rate using information on over 200 fish species. *ICES Journal of Marine Science*, 72(1): 82–92.
- Timmons, M. y N.B. Bray. 1997. Age, growth and sexual maturity of the shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus* (Ayres). *Fishery Bulletin -NOAA* 94: 349-359.
- Tovar-Ávila, J., Garcés-García, K. C., and Zarza-Meza, E.A. (2014). Estimación del crecimiento del tiburón puntas negras, *Carcharhinus limbatus*, del Golfo de México con un enfoque estocástico. *Ciencia Pesquera*, 22: 19-28.
- Vázquez-Moreno, R.A. 2015. Hábitos alimentarios de la raya *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) (Chondrichthyes: Rhinobatidae) de la zona de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Tesis de Licenciatura*. Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. México. 74 p.
- Villavicencio-Garayzar, C.J. 1993. Biología reproductiva de *Rhinobatos productus* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*. 41(3):441–446 p.
- Villavicencio-Garayzar, C.J. 1995. Biología Reproductiva de la guitarra pinta, *Zapteryx exasperata* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*. México. 21(2):141–153 p.
- Villavicencio-Garayzar, C.J. 1996. Tallas, proporción de sexos y reproducción de *Myliobatis californica* y *M. longirostris* (Pisces: Myliobatidae) en Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*. 43(2): 291–295p.

Villavicencio-Garayzar, C.J. 2000. Taxonomía, abundancia estacional, edad y crecimiento y biología reproductiva de *Narcine entemedor* Jordan y Starks (Chondrichthyes; Narcinidae), en Bahía Almejas, B.C.S., México. *Tesis de Doctorado*. Universidad Autónoma de Nuevo León. 138p.

## **XI.1. LITERATURA ELECTRÓNICA**

Bizarro, J.J. y Kyne, P.M. 2006. *Zapteryx exasperata* In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2013.1. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)  
<http://www.fao.org/docrep/008/y3427s/y3427s04.htm>  
<https://www.meteorologiaenred.com/corrientes-marinas.html>  
Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). 2016. El aprovechamiento de Tiburón en México. <https://www.gob.mx/inapesca/articulos/el-tiburon?idiom=es>

## XII. ANEXOS

### XII.1. Clasificación de la especie

Reino:	Animalia
Subreino:	Bilateria
Infrarreino	Deuterostomia
Phylum:	Cordados
Subphylum:	Vertebrados
Infraphylum:	Gnatostomados
Clase:	Chondrichthyes
Subclase:	Elasmobranquios
Superorden:	Euselachii
Orden:	Rhinopristiformes
Familia:	Trygonorrhinidae (Last <i>et al.</i> 2016)
Genero:	Zapteryx

Especie: ***Zapteryx exasperata*** (Jordan & Gilbert, 1880)

### XII.2. Foto de la especie



### XII.3. Descripción general de la especie

Cuerpo alargado deprimido dorso-ventralmente, de color café con manchas grisáceas en el dorso, presenta numerosas espinas pequeñas a lo largo del cuerpo, y ausencia de ocelos, una de las características que la diferencian de *Zapteryx xyster*, especie que presenta dos ocelos amarillos (uno en cada aleta), además de que es de menor talla que *Z. exasperata*.

La talla de nacimiento es de aproximadamente 19.5 cm LT de acuerdo con el embrión más grande observado por Meza-Castillo (2014). Las hembras pueden alcanzar tallas de hasta 103 cm LT y los machos de hasta 92 cm LT (Cervantes-Gutiérrez *et al.*, 2017).

Se distribuye desde los 2 hasta los 100 m de profundidad, sin embargo es más común observarla entre los primeros 30m de profundidad (Bizarro y Kyne, 2006).

Las especies pertenecientes a éste género son tres: dos en el pacífico (*Z. exasperata* y *Z. xyster*) y una en el atlántico (*Z. brevirostris*).

### XII.4. Categoría de la especie

La especie *Zapteryx exasperata* se encuentra catalogada como **datos deficientes** en la lista roja de la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza (Bizarro y Kyne, 2006).



### XII.5. Tablas y matrices de la sección de demografía

**Tabla A-1.** Tabla de vida de *Zapteryx exasperata* capturada con valores de la mortalidad natural ( $M$ ).

<b>Edad (x)</b>	<b><math>LT_t</math></b>	<b><math>W_t</math></b>	<b><math>M</math></b>	<b><math>l_x</math></b>	<b><math>m_x</math></b>	<b><math>l_x*m_x</math></b>	<b><math>l_x*m_x*x</math></b>	<b><math>e^{-rx}</math></b>	<b><math>l_x*m_x*e^{-rx}</math></b>	<b><math>l_x*e^{-rx}</math></b>	<b><math>C_x</math></b>
0	5.5	0.002	0.003	1	0	0	0	1	0	1	0.325
1	18.3	0.048	0.072	0.794	0	0	0	0.851	0	0.675	0.219
2	29.3	0.172	0.257	0.630	0	0	0	0.724	0	0.456	0.148
3	38.9	0.366	0.548	0.500	0	0	0	0.616	0	0.308	0.100
4	47.2	0.615	0.920	0.397	0	0	0	0.525	0	0.208	0.068
5	54.4	0.899	1.344	0.315	0	0	0	0.446	0	0.141	0.046
6	60.6	1.202	1.797	0.250	0	0	0	0.380	0	0.095	0.031
7	66.0	1.510	2.258	0.198	0	0	0	0.323	0	0.064	0.021
8	70.6	1.813	2.711	0.158	7.5	1.182	9.453	0.275	0.325	0.043	0.014
9	74.7	2.104	3.147	0.125	7.5	0.938	8.441	0.234	0.220	0.029	0.010
10	78.2	2.379	3.557	0.099	7.5	0.744	7.445	0.199	0.148	0.020	0.006
11	81.2	2.634	3.939	0.079	7.5	0.591	6.500	0.170	0.100	0.013	0.004
12	83.8	2.868	4.289	0.063	7.5	0.469	5.628	0.144	0.068	0.009	0.003
13	86.1	3.081	4.607	0.050	7.5	0.372	4.840	0.123	0.046	0.006	0.002
14	88.0	3.273	4.894	0.039	7.5	0.295	4.137	0.105	0.031	0.004	0.001
15	89.7	3.445	5.152	0.031	7.5	0.235	3.518	0.089	0.021	0.003	0.001
16	91.2	3.599	5.382	0.025	7.5	0.186	2.979	0.076	0.014	0.002	0.001
17	92.5	3.736	5.586	0.020	7.5	0.148	2.512	0.064	0.010	0.001	0.000
18	93.6	3.856	5.767	0.016	7.5	0.117	2.111	0.055	0.006	0.001	0.000
19	94.5	3.963	5.926	0.012	7.5	0.093	1.769	0.047	0.004	0.001	0.000
20	95.4	4.057	6.066	0.010	7.5	0.074	1.478	0.040	0.003	0.000	0.000
21	96.1	4.139	6.189	0.008	7.5	0.059	1.232	0.034	0.002	0.000	0.000
22	96.7	4.211	6.297	0.006	7.5	0.047	1.024	0.029	0.001	0.000	0.000
23	97.2	4.274	6.391	0.005	7.5	0.037	0.850	0.024	0.001	0.000	0.000
									1	3.084	

$LT_t$ , Longitud total a la edad;  $W_t$ , peso a la edad;  $M$ , Mortalidad a la edad de Peterson y Wroblewski (1984).

**Tabla A-2.** Tabla de vida de *Zapteryx exasperata* con valores de mortalidad natural ( $M$ ) y fecundidad de 4 embriones.

<b>Edad (x)</b>	<b><math>LT_t</math></b>	<b><math>W_t</math></b>	<b><math>M</math></b>	<b><math>l_x</math></b>	<b><math>m_x</math></b>	<b><math>l_x*m_x</math></b>	<b><math>l_x*m_x*x</math></b>	<b><math>e^{-rx}</math></b>	<b><math>l_x*m_x*e^{-rx}</math></b>	<b><math>l_x*e^{-rx}</math></b>	<b><math>C_x</math></b>
0	5.5	0.002	0.003	1	0	0	0	1	0	1	0.282
1	18.3	0.048	0.072	0.794	0	0	0	0.905	0	0.718	0.202
2	29.3	0.172	0.257	0.630	0	0	0	0.819	0	0.516	0.145
3	38.9	0.366	0.548	0.500	0	0	0	0.741	0	0.370	0.104
4	47.2	0.615	0.920	0.397	0	0	0	0.670	0	0.266	0.075
5	54.4	0.899	1.344	0.315	0	0	0	0.607	0	0.191	0.054
6	60.6	1.202	1.797	0.250	0	0	0	0.549	0	0.137	0.039
7	66.0	1.510	2.258	0.198	0	0	0	0.497	0	0.099	0.028
8	70.6	1.813	2.711	0.158	4	0.630	5.042	0.449	0.283	0.071	0.020
9	74.7	2.104	3.147	0.125	4	0.500	4.502	0.407	0.203	0.051	0.014
10	78.2	2.379	3.557	0.099	4	0.397	3.970	0.368	0.146	0.037	0.010
11	81.2	2.634	3.939	0.079	4	0.315	3.467	0.333	0.105	0.026	0.007
12	83.8	2.868	4.289	0.063	4	0.250	3.002	0.301	0.075	0.019	0.005
13	86.1	3.081	4.607	0.050	4	0.199	2.581	0.273	0.054	0.014	0.004
14	88.0	3.273	4.894	0.039	4	0.158	2.206	0.247	0.039	0.010	0.003
15	89.7	3.445	5.152	0.031	4	0.125	1.876	0.223	0.028	0.007	0.002
16	91.2	3.599	5.382	0.025	4	0.099	1.589	0.202	0.020	0.005	0.001
17	92.5	3.736	5.586	0.020	4	0.079	1.340	0.183	0.014	0.004	0.001
18	93.6	3.856	5.767	0.016	4	0.063	1.126	0.165	0.010	0.003	0.001
19	94.5	3.963	5.926	0.012	4	0.050	0.943	0.150	0.007	0.002	0.001
20	95.4	4.057	6.066	0.010	4	0.039	0.788	0.135	0.005	0.001	0.000
21	96.1	4.139	6.189	0.008	4	0.031	0.657	0.122	0.004	0.001	0.000
22	96.7	4.211	6.297	0.006	4	0.025	0.546	0.111	0.003	0.001	0.000
23	97.2	4.274	6.391	0.005	4	0.020	0.453	0.100	0.002	0.000	0.000
									1	3.548	

$LT_t$ , Longitud total a la edad;  $W_t$ , peso a la edad;  $M$ , Mortalidad a la edad de Peterson y Wroblewski (1984).

**Tabla A-3.** Tabla de vida de *Zapteryx exasperata* con valor promedio de *M* incrementado 50% ( $Z \sim 1.5M$ ).

Edad (x)	$LT_t$	$W_t$	$M$	$l_x$	$m_x$	$l_x * m_x$	$l_x * m_x * x$	$e^{-rx}$	$l_x * m_x * e^{-rx}$	$l_x * e^{-rx}$	$C_x$
0	5.5	0.002	0.003	1	0	0	0	1	0	1	0.328
1	18.3	0.048	0.072	0.630	0	0	0	0.933	0	0.588	0.193
2	29.3	0.172	0.257	0.500	0	0	0	0.871	0	0.436	0.143
3	38.9	0.366	0.548	0.397	0	0	0	0.813	0	0.323	0.106
4	47.2	0.615	0.920	0.315	0	0	0	0.759	0	0.239	0.078
5	54.4	0.899	1.344	0.223	0	0	0	0.708	0	0.158	0.052
6	60.6	1.202	1.797	0.158	0	0	0	0.661	0	0.104	0.034
7	66.0	1.510	2.258	0.111	0	0	0	0.617	0	0.069	0.023
8	70.6	1.813	2.711	0.079	7.5	0.591	4.727	0.576	0.340	0.045	0.015
9	74.7	2.104	3.147	0.056	7.5	0.418	3.761	0.538	0.225	0.030	0.010
10	78.2	2.379	3.557	0.039	7.5	0.295	2.955	0.502	0.148	0.020	0.006
11	81.2	2.634	3.939	0.028	7.5	0.209	2.299	0.468	0.098	0.013	0.004
12	83.8	2.868	4.289	0.020	7.5	0.148	1.773	0.437	0.065	0.009	0.003
13	86.1	3.081	4.607	0.014	7.5	0.104	1.358	0.408	0.043	0.006	0.002
14	88.0	3.273	4.894	0.010	7.5	0.074	1.035	0.381	0.028	0.004	0.001
15	89.7	3.445	5.152	0.007	7.5	0.052	0.784	0.356	0.019	0.002	0.001
16	91.2	3.599	5.382	0.005	7.5	0.037	0.591	0.332	0.012	0.002	0.001
17	92.5	3.736	5.586	0.003	7.5	0.026	0.444	0.310	0.008	0.001	0.000
18	93.6	3.856	5.767	0.002	7.5	0.018	0.333	0.289	0.005	0.001	0.000
19	94.5	3.963	5.926	0.002	7.5	0.013	0.248	0.270	0.004	0.000	0.000
20	95.4	4.057	6.066	0.001	7.5	0.009	0.185	0.252	0.002	0.000	0.000
21	96.1	4.139	6.189	0.001	7.5	0.007	0.137	0.235	0.002	0.000	0.000
22	96.7	4.211	6.297	0.001	7.5	0.005	0.102	0.219	0.001	0.000	0.000
23	97.2	4.274	6.391	0.000	7.5	0.003	0.075	0.205	0.001	0.000	0.000
									1	3.05	

$LT_t$ , Longitud total a la edad;  $W_t$ , peso a la edad;  $M$ , Mortalidad a la edad de Peterson y Wroblewski (1984).

**Tabla A-4.** Matriz de proyección de la tabla *M* (Tabla 1) y valores de los parámetros.

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	0	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95
2	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0

**Figura A-1. Matriz de transición de la tabla M (Tabla 1).**

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0
17	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0
18	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0
19	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0
20	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0
21	0.0099	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0
22	0.0078	0.0099	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0
23	0.0062	0.0078	0.0099	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1
R esperada																							
	5.5867	7.0384	8.8674	11.172	14.075	17.732	22.34	28.145	27.959	27.725	27.429	27.057	26.588	25.997	25.252	24.315	23.133	21.644	19.769	17.406	14.429	10.678	5.953

**Tabla A-5.** Matriz de proyección de la tabla *M-4* (Tabla 2) y valores de los parámetros.

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	0	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
2	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.79	0

**Figura A-2.** Matriz de transición de la Tabla M-4 (Tabla 2).

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0
17	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0	0
18	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0	0
19	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0	0
20	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0	0
21	0.0099	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0	0
22	0.0078	0.0099	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1	0
23	0.0062	0.0078	0.0099	0.0124	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.63	0.7937	1
Resperada																							
	2.9796	3.7538	4.7293	5.9582	7.5065	9.4572	11.915	15.011	14.912	14.786	14.629	14.43	14.18	13.865	13.468	12.968	12.338	11.544	10.543	9.2831	7.6953	5.695	3.175

**Tabla A-6.** Matriz de proyección de la Tabla Z~1.5M (Tabla A-3)

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	0	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73
2	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71

**Figura A-3.** Matriz de transición de la Tabla Z~1.5M (Tabla 3).

Edad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.6300	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.5001	0.6300	0.7937	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.3536	0.4455	0.5613	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.2501	0.3151	0.3969	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.1768	0.2228	0.2807	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.1251	0.1576	0.1985	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.0884	0.1114	0.1404	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.0625	0.0788	0.0993	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.0442	0.0557	0.0702	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.0313	0.0394	0.0496	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0.0221	0.0279	0.0351	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0.0156	0.0197	0.0248	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.0111	0.0139	0.0176	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0.0078	0.0099	0.0124	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0	0
17	0.0055	0.0070	0.0088	0.0111	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0	0
18	0.0039	0.0049	0.0062	0.0078	0.0111	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0	0
19	0.0028	0.0035	0.0044	0.0055	0.0078	0.0111	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0	0
20	0.0020	0.0025	0.0031	0.0039	0.0055	0.0078	0.0111	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0	0
21	0.0014	0.0017	0.0022	0.0028	0.0039	0.0055	0.0078	0.0111	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0	0
22	0.0010	0.0012	0.0016	0.0020	0.0028	0.0039	0.0055	0.0078	0.0111	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1	0
23	0.0007	0.0009	0.0011	0.0014	0.0020	0.0028	0.0039	0.0055	0.0078	0.0111	0.0156	0.0221	0.0313	0.0442	0.0625	0.0884	0.1251	0.1768	0.2501	0.3536	0.5001	0.7072	1
Resperada	2.0099	2.5323	3.1903	4.0193	5.6837	8.0374	11.3658	16.0725	16.0464	16.0094	15.9572	15.8833	15.7788	15.6310	15.4220	15.1265	14.7087	14.1178	13.2822	12.1005	10.4295	8.0666	4.7252

(Adjuntar Artículo)