

**“BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL PEZ GLOBO  
*Sphoeroides nephelus* (GOODE Y BEAN, 1882)  
[TETRAODONTIFORMES: TETRAODONTIDAE], EN  
CHUBURNÁ PUERTO, YUCATÁN, MÉXICO”**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL  
GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES TROPICALES**

POR:

**Licenciado en Biología Marina**

**Jorge Carlos Peniche Pérez**

**Directores:**

**Dr. Carlos González Salas.**

**Dr. Gaspar Román Poot López.**

MÉRIDA, YUCATÁN, NOVIEMBRE DEL 2017



**POSGRADO INSTITUCIONAL EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
MANEJO DE RECURSOS NATURALES TROPICALES**

**ALUMNO: LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA  
JORGE CARLOS PENICHE PÉREZ**

**SÍNODO DEL EXAMEN DE TESIS DE GRADO**

**DR. ALFONSO AGUILAR PERERA  
CCBA-UADY**

\_\_\_\_\_

**DR. SERGIO GUILLÉN HERNÁNDEZ  
CCBA-UADY**

\_\_\_\_\_

**M. EN C. LIZBETH CHUMBA SEGURA  
CCBA-UADY**

\_\_\_\_\_

**DRA. ILEANA ORTEGÓN AZNAR  
CCBA-UADY**

\_\_\_\_\_

**DR. HAROLD VILLEGAS HERNÁNDEZ  
CCBA-UADY**

\_\_\_\_\_

**MÉRIDA, YUCATÁN, NOVIEMBRE DEL 2017**

## **DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD**

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

## **DEDICATORIA**

A mis PADRES, quienes en todo momento me brindaron su apoyo incondicional y que con tanto esfuerzo y dedicación educaron personas de bien y con un gran corazón...

A mis HERMANOS, quienes siempre fueron un ejemplo de perseverancia y esfuerzo para lograr sus objetivos....

A mi MUJER, quién es parte esencial en mi vida y me apoyó incondicionalmente en todo este trayecto...

A mi Pececita (María del Mar), quién me apoyó durmiendo sin despertar en las largas noches de trabajo, y además, es un incentivo por superarme cada día para poder darle el mejor ejemplo....

En especial, a Daniel Fernando Catzín Pech, quién siempre estuvo en la mejor disposición de apoyarme, aún y cuando las condiciones eran difíciles, estoy seguro de que, aun así, él siempre lo disfrutó...Descansa AMIGO.....

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que nada, quiero agradecer a mis asesores, el Dr. Carlos González Salas y el Dr. Gaspar Poot López, quienes me apoyaron y guiaron con sus sabios comentarios y consejos.

Al Dr. Sergio Guillén Hernández por brindarme su apoyo y estar siempre pendiente del avance del presente documento y por apoyarme en momentos difíciles de mi vida.

Al Dr. Harold Hernández Villegas por instruirme en el complejo mundo de la biología reproductiva de los peces y realizar observaciones de suma importancia en el presente documento.

A la M. en C. Madeleine Arjona Torres, por hacernos un espacio en el laboratorio de Patología del CCBA para procesar las muestras, pero le agradezco aún más, por brindarme tanto apoyo y tenerme muchísima paciencia al enseñarme como procesar las muestras.

Al casi Dr. Dawrin Pech Puch, al casi M. en C. Antonio González Mapen, a Daniel Catzín Pech (QEPD) y Andrea Marina Sánchez López, quienes jugaron un papel crucial en la elaboración del presente estudio, brindando mucho de su tiempo, pero en especial, brindándome su sincera amistad.

## RESUMEN

El pez globo *Sphoeroides nephelus* tiene potencial para ser consumido local y regionalmente; sin embargo, se carece de información de la biología de esta especie, incluyendo los aspectos reproductivos que son importantes para llevar a cabo un posible aprovechamiento. El presente trabajo tiene como objetivo describir en un ciclo anual, los aspectos reproductivos de hembras y machos de esta especie en Chuburná Puerto, Yucatán. Se realizaron 12 muestreos independientes, uno por mes de octubre del 2015 a septiembre del 2016. Se registró la longitud total (LT) y longitud estándar (LE) en centímetros y el peso total (PT), peso del hígado, peso de la gónada y peso eviscerado, en gramos. Para identificar las fases de desarrollo gonádico, tanto de machos como de hembras, se utilizó una técnica histológica y se tomó en cuenta la presencia del ovocito con el desarrollo más avanzado, independientemente de su frecuencia, para identificar las fases de desarrollo. Se calculó la proporción sexual general, mensual y por clases de talla (1 cm LT). Además, se calcularon el índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y el factor de condición (Kn), para conocer el ciclo reproductivo y la época de reproducción anual, además de determinar si existía alguna relación entre los índices. Por último, se determinó la fecundidad mediante la combinación del método gravimétrico y fotográfico que ayudan en la medición (diámetro  $\mu\text{m}$ ) y el conteo de los ovocitos en una submuestra de peso conocido. Se obtuvieron 412 especímenes de *S. nephelus*, de los cuales 189 fueron hembras y 223 machos. La talla LT de las hembras osciló entre 12.9 y 29.8 cm, mientras que para los machos entre 13.1 y 28.5 cm. La proporción sexual no fue significativamente diferente de 1:1 en todas y cada una de las clases de talla, ni en los meses de muestreo. Tanto en hembras como en machos solo se encontraron 4 de las 5 fases de desarrollo gonádico (Desarrollo, Capaz de desovar, Regresión y Regeneración). *S. nephelus* presentó un solo periodo reproductivo continuo para machos de agosto a mayo, con un periodo de inactividad reproductiva entre junio y julio, mientras que para las hembras el periodo reproductivo fue de agosto a abril y el periodo de inactividad fue de mayo a julio. Respecto al IHS, se observó que después de los meses de mayor actividad reproductiva sus valores disminuyeron considerablemente, y estos se recuperaron durante los meses de inactividad reproductiva. Un patrón similar se observó en la variación mensual de los valores promedio Kn, disminuyendo después de la época de mayor actividad reproductiva. En

cuanto a la fecundidad, se observaron ovocitos en diferentes fases de desarrollo en la época de puesta, lo que sugirió que la fecundidad es indeterminada, por lo que se calculó la fecundidad parcial relativa promedio con un valor de  $828 \pm 182$  ovocitos/g PE, mientras que para el peso de la gónada (PG) fue de  $11989 \pm 4774$  ovocitos/g PG. La falta de organismos en la etapa de inmaduro pudo deberse al arte de pesca (línea de mano con anzuelo) y a que los muestreos no se realizaron en lagunas costeras o en zonas con pastos marinos donde se han reportado juveniles de *S. nephelus*. De acuerdo con otros estudios se puede sugerir que la  $L_{50}$  se encuentra por debajo de 12.9 cm LT ya que en el presente estudio se registraron individuos de esta talla en la fase de desarrollo. Los ciclos reproductivos de las diferentes especies de *Sphoeroides* varia, ya que, en este caso, *S. nephelus* presenta un solo periodo reproductivo, mientras que para *S. annulatus* se reportaron dos periodos de reproducción anual. *Sphoeroides nephelus* pertenece al grupo denominado reproductor consumidor, ya que ingieren alimentos y desvían una fracción de lo consumido para la formación de los huevos sin depender en gran medida de las reservas almacenadas. El presente trabajo de tesis representa el primer estudio de la biología reproductiva de *Sphoeroides nephelus* para la costa norte de la península de Yucatán, así como para el resto de su distribución en el Atlántico.

## SUMMARY

The pufferfish *Sphoeroides nephelus* has potential to be consumed locally and regionally; however, there is a lack of information on the biology of this species, including the reproductive aspects that are important to carry out a possible exploitation. The present work aims to describe in an annual cycle the reproductive aspects of females and males of this species in Chuburna Port, Yucatan. Twelve independent samples were carried out, one per month from October 2015 to September 2016. Total length (TL) and standard length (SL) in centimeters and total weight (TW), liver weight, the gonad and eviscerated weight in grams. A histological technique was used to identify the gonadal developmental stages of both males and females, and the presence of the oocyte with the most advanced development was considered regardless of its frequency to identify developmental phases. The overall sex ratio, monthly and size classes (1 cm TL) were calculated. In addition, the gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic (HSI) and the condition factor (Kn) were calculated to know the reproductive cycle and the annual breeding season, as well as to determine if there were any relationship between indices. Finally, fecundity was determined by combining the gravimetric and photographic method to aid measurement ( $\mu\text{m}$  diameter) and oocyte counting in a sub-sample of known weight. 412 specimens of *S. nephelus* were obtained, of which 189 were females and 223 males. The size (TL) of the females ranged between 12.9 and 29.8 cm, while for males between 13.1 and 28.5 cm. The sex ratio was not significantly different from 1:1 neither in each of the size classes nor in the sampling months. In both females and males only 4 of the 5 stages of gonadal development (Development, Able to spawn, Regression and Regeneration) were found. *S. nephelus* presented a single continuous reproductive period for males from August to May, with a period of reproductive inactivity between June and July, while for females the reproductive period was from August to April and the period of inactivity was from May to July. Regarding the HSI, it was observed that after the months of increased reproductive activity, their values decreased considerably, and they recovered during the months of reproductive inactivity. A similar pattern was observed in the monthly variation of the average values of Kn, decreasing after the time of greater reproductive activity. As for fecundity, oocytes were observed at different stages of development at laying time, suggesting that the fecundity is indeterminate, so that the relative partial

fecundity was calculated with a value of  $828 \pm 182$  oocytes / g EW, whereas for the weight of the gonad (GW) was  $11989 \pm 4774$  oocytes / g GW. The lack of organisms in the immature stage could be due to the fishing art (hand line with hook) and that the samplings were not carried out in coastal lagoons or in areas with marine grasses where juveniles of *S. nephelus* have been reported. According to other studies it can be suggested that the *L50* is below 12.9 cm TL since in the present study individuals of this size were registered in the development phase. The reproductive cycles of the different species of *Sphoeroides* vary, since, in this case, *S. nephelus* presents a single reproductive period, whereas for *S. annulatus* two annual reproduction periods were reported. *Sphoeroides nephelus*, belong to the group called income breeder as they ingest food and divert a fraction of what is consumed for the formation of eggs without rely heavily on stored reserves. The actual thesis work represents the first study of reproductive biology for *Sphoeroides nephelus* for the northern coast of Yucatan peninsula, as well as for the rest of its distribution range in the Atlantic.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1 Estrategias de reproducción de teleósteos .....	3
2.2 Parámetros reproductivos .....	5
2.2.1 Proporción de sexos .....	5
2.2.2 Desarrollo gonádico .....	5
2.2.3 Índices morfofisiológicos .....	9
2.2.4 Fecundidad .....	10
2.3 Biología reproductiva del género <i>Sphoeroides</i> .....	12
2.4 Aspectos generales de <i>Sphoeroides nephelus</i> .....	13
<b>3. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>15</b>
3.2 Objetivos específicos .....	15
<b>4. REFERENCIAS .....</b>	<b>16</b>
<b>5. CAPÍTULO I: Biología reproductiva de <i>Sphoeroides nephelus</i> (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en Chuburná Puerto, Yucatán, México .....</b>	<b>26</b>
RESUMEN: .....	27
INTRODUCCION .....	28
MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
Área de estudio.....	29
Colecta de ejemplares.....	30
Desarrollo gonádico .....	30
Proporción sexual.....	31
Ciclo reproductivo y época de reproducción anual .....	31

Índices morfofisiológicos.....	31
Fecundidad.....	31
Análisis estadísticos.....	33
RESULTADOS.....	34
Proporción sexual.....	34
Ciclo reproductivo y estados de madurez.....	35
Índices de condición.....	37
Fecundidad.....	39
DISCUSIÓN.....	42
AGRADECIMIENTOS.....	45
REFERENCIAS.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

### INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

<b>Figura 1.</b> Progresión del crecimiento del ovocito y etapas del desarrollo comúnmente identificadas en peces: Crecimiento primario (PG), Alveolos corticales (CA), Vitelogénico primario (Vtg1), Vitelogénico secundario (Vtg2) y Vitelogénico terciario (Vtg3). (Tomado de Lowerre-Barbieri <i>et al.</i> , 2011).....	7
<b>Figura 2.</b> Progresión de la maduración del ovocito en peces: Migración temprana de la vesícula germinal (GVM), GVM avanzado con la fusión de la yema (proteólisis de la Yema: YC), rompimiento de la vesícula germinal (GVBD), hidratación después de completarse el GVBD, y totalmente hidratado durante la ovulación. Después de la ovulación, el folículo roto del ovocito se mantiene en el ovario y es llamado folículo postovulatorio (FPO). (Tomado de Lowerre-Barbieri <i>et al.</i> , 2011). .....	7
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de ovocitos atrésicos (A). (Tomado de Brown-Peterson <i>et al.</i> , 2011). .....	8
<b>Figura 4.</b> Pez globo, <i>Sphoeroides nephelus</i> , de la costa norte de la península de Yucatán. ....	14

### CAPÍTULO I: Biología reproductiva de *Sphoeroides nephelus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en Chuburná Puerto, Yucatán, México

<b>Figura 1.</b> Área de colecta de los organismos. El puerto de Chuburná se encuentra señalado en un rectángulo.....	30
<b>Figura 2.</b> Frecuencia de hembras (negro) y machos (blanco) por clases de talla de <i>S. nephelus</i> en Chuburná Puerto, Yucatán.....	34
<b>Figura 3.</b> Frecuencia relativa de los estados de maduración con respecto al IGS por meses para hembras (a) y machos (b) de <i>S. nephelus</i> en Chuburná Puerto, Yucatán. ...	35
<b>Figura 4.</b> Promedios del IGS con intervalos de Bonferroni para las hembras y machos de <i>S. nephelus</i> . ....	36
<b>Figura 5.</b> Promedios mensuales del índice hepatosomático (IHS) para hembras (a) y machos (b). Promedios mensuales del factor de condición (Kn) para hembras (c) y machos (d). ....	38
<b>Figura 6.</b> Promedios del IHS con intervalos de Bonferroni para las hembras y machos de <i>S. nephelus</i> . ....	39
<b>Figura 7.</b> Distribución de los diámetros ( $\mu\text{m}$ ) de los ovocitos en diferentes estados de desarrollo: = Alveolos corticales (AlvC), Vitelogénicos (Vtg) 1, 2 y 3 de <i>S. nephelus</i> .	40
<b>Figura 8.</b> Frecuencia de los ovocitos durante las distintas fases de desarrollo reportadas en el estudio para <i>S. nephelus</i> de acuerdo con el diámetro de los ovocitos ( $\mu\text{m}$ ). Cada	

uno de los gráficos representa la distribución de frecuencias por diámetros de una hembra de 26 cm LT en diferentes fases de desarrollo gonadal (Desarrollo, Capaz de Desovar, Regresión y Regeneración). ..... **41**

**Figura 9.** Estimación de la relación de la fecundidad parcial con la longitud total (a) y el peso eviscerado (b). El modelo ajustado para la talla fue  $Fp = 9.8113*(LT^{3.1147})$  ( $R^2=0.8509$ ;  $n=24$ ) y para el peso fue  $Fp = 738.75*(PE^{1.0172})$  ( $R^2=0.8407$ ;  $n=24$ ). ..... **42**

## ÍNDICE DE CUADROS

### INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

<b>Cuadro 1.</b> Estrategias reproductivas según Saborido (2008). .....	<b>4</b>
<b>Cuadro 2.</b> Especies del género <i>Sphoeroides</i> con estudios acerca de algunos aspectos de su biología reproductiva. ....	<b>13</b>

### CAPÍTULO I: Biología reproductiva de *Sphoeroides nephelus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en Chuburná Puerto, Yucatán, México

<b>Cuadro 1.</b> Proporción sexual mensual de <i>Sphoeroides nephelus</i> . El valor de significancia de la prueba $\chi^2$ fue ajustado (p-valor = 0.0042) con el método de Bonferroni ( $\alpha/k$ ) para identificar las diferencias significativas entre las proporciones para cada uno de los meses. ....	<b>37</b>
<b>Cuadro 2.</b> Media ( $\pm$ desviación estándar) del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y factor de Le Creen (Kn) para hembras y machos de <i>S. nephelus</i> por fase de desarrollo. Dentro de los renglones, los valores que no muestran la misma letra son significativamente diferentes. ....	<b>39</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la familia de los peces globo (Tetraodontidae) incluye 26 géneros y 146 especies (Nelson, 2006). Algunas especies de *Sphoeroides* son una fuente importante de alimento para consumo humano principalmente en Japón, además su consumo en otras regiones del mundo ha aumentado considerablemente (Núñez-Vázquez *et al.*, 2000). Los peces globo son consumidos por su carne blanca, por sus pocos huesos y por la facilidad con que son capturados y procesados (Abbott *et al.*, 2009; Abdo de la Parra *et al.*, 2013). Tanto en el Pacífico mexicano como en el Golfo de México y Mar Caribe algunas especies del género *Sphoeroides* son capturadas de manera incidental o dirigida. En el Pacífico, *Sphoeroides annulatus* es aprovechada y actualmente exportada particularmente al continente asiático, alcanzando un costo de hasta 10 dólares/kilogramo de filete (Abdo de la Parra *et al.*, 2013). En cuanto al Golfo de México y Caribe mexicano se capturan de manera incidental: *Sphoeroides testudineus*, *S. maculatus* y *S. nephelus*; sin embargo, se desconoce información sobre el consumo o importancia económica en la región de la costa norte de Yucatán (Leal *et al.*, 2009; Poot-Salazar *et al.*, 2009; DOF, 2012).

De las 13 especies descritas de *Sphoeroides* se ha encontrado que algunas, al igual que muchos tetraodontidos, poseen una potente ictiotoxina (tetraodotoxina TTX), la cual adquieren al ingerir presas como bivalvos, que a su vez se alimentan de microalgas tóxicas (*Gymnodinium* y *Pyrodinium*) (Shipp, 1974; Nelson, 2006; Abott *et al.*, 2009). La presencia y concentración de esta toxina en los congéneres de *Sphoeroides* suele variar entre tejidos, siendo el hígado, gónadas y piel, los órganos con mayor contenido de esta toxina (Noguchi *et al.*, 2006a; Abbott *et al.*, 2009; Arakawa *et al.*, 2010; Núñez-Vázquez *et al.*, 2000, 2013). A pesar de esto último, los peces globo (*Sphoeroides annulatus*, *S. nephelus*, *S. spengleri*, *S. testudineus*, *Tetraodon spp.*) aparecen como especies en venta en el comercio de E.U. (DSSH, 2011).

En Yucatán, *Sphoeroides nephelus* es capturada incidentalmente en la pesca artesanal con redes para capturar camarón rosado y rojo (Leal *et al.*, 2009; Poot-Salazar *et al.*, 2009) y está catalogada como una especie asociada a pesquerías multiespecíficas de tipo artesanal que utilizan línea de anzuelo como arte de pesca (CNA, 2012). Aunque existe evidencia de que los antiguos mayas utilizaban *Sphoeroides spp* como alimento

(Herrera-Flores y Markus-Götz, 2014), actualmente solo existe evidencia documentada de su consumo en Estados Unidos (Abbott *et al.*, 2009; DSSH, 2011). Debido a la calidad de su carne, *S. nephelus* tiene potencial para ser cultivado en ambientes controlados, ya que con base en experiencias con otras especies de peces globo, se podría eliminar la bioacumulación de las toxinas presentes en sus órganos mediante el control de su alimentación, en sistemas acuícolas (Noguchi *et al.*, 2006; Arakawa *et al.*, 2010; Núñez-Vázquez *et al.*, 2012).

Para comprender la biología de una especie y su ciclo de vida, es importante conocer algunos aspectos reproductivos (Granado, 1996). En el caso particular de los peces, algunos de los principales aspectos a considerar son: la proporción en sexos, la talla de madurez sexual, el tiempo y la duración del período reproductivo, ya que constituyen componentes críticos en las estrategias reproductivas (Villacorta-Correa y Saint-Paul, 1999; Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011; Brown-Peterson *et al.*, 2011). La información disponible sobre la biología de los peces indica que las estrategias de reproducción son diversas, ya que los nichos ecológicos, patrones sociales y las diferentes especializaciones morfo-fisiológicas conllevan a una amplia variedad de estrategias reproductivas. Éstos van desde un desove colectivo pelágico sin cuidado de la progenie, hasta la construcción de nidos y cuidados parentales, o en su caso la incubación de los huevos (Harvey y Hoar, 1980; Zanuy y Carrillo, 1987; Balon, 1990).

Debido a que *S. nephelus* representa una especie potencialmente comerciable y cultivable es importante conocer algunos aspectos de su biología, sin embargo, se carece de información, y el registro que se tiene sobre el ciclo reproductivo de la especie no es concluyente, además de que el estudio no se realizó en México. Por tal motivo, el presente trabajo tiene como propósito describir y comparar entre sexos, la biología reproductiva del pez globo *Sphoeroides nephelus* durante un ciclo anual (2015-2016) en Chuburná Puerto, Yucatán, México.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estrategias de reproducción de teleósteos

Durante la etapa de inmadurez de los peces, toda la energía que se adquiere es repartida entre dos importantes procesos: el crecimiento y la supervivencia. Dicha energía acumulada en ambos procesos se emplea en la etapa de madurez, en la cual se consume para los diversos procesos reproductivos. Para que la reproducción sea exitosa, dependerá en gran medida de donde y cuando se lleve a cabo dicho proceso y de cómo se utilicen los recursos energéticos para la misma (Wootton, 1990; Saborido, 2008; Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011b).

Las tácticas reproductivas son aspectos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, ecológicos y sociales cuya finalidad es la reproducción, y hacen referencia a los fenotipos alternativos, es decir que son flexibles (Wootton, 1984; Wootton, 1990; Gross, 1996). Las expresiones de las diferentes tácticas reproductivas dependen de las variaciones ambientales, ya que buscan incrementar el éxito de la reproducción (Saborido, 2008). Mientras que las estrategias reproductivas son un complejo de tácticas reproductivas que están determinadas por el genotipo y hacen referencia a una conducta inflexible, ya que está determinada filogenéticamente, cuyo propósito es maximizar el número de descendientes reproductivamente activos (Wootton, 1984; Wootton, 1990). Por lo que el éxito reproductivo de una especie dependerá en gran parte de las condiciones en las que se reproduce y del costo energético de la reproducción hasta el desove, dando como resultado un gran número de estrategias y tácticas reproductivas (Blaber, 1997; Saborido 2008).

Saborido (2008) menciona que los peces poseen una amplia variedad de estrategias reproductivas (**Cuadro 1**):

**Cuadro 1.** Estrategias reproductivas según Saborido (2008).

<b>1. Número de eventos reproductivos</b>	<b>5. Características sexuales secundarias</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Semélparo</i>. - Se reproduce una vez en la vida.</li> <li>b. <i>Iteróparo</i>. - Se reproduce más de una vez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Monomorfismo</i></li> <li>b. <i>Dimorfismo sexual</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Dimorfismo permanente</li> <li>ii. Dimorfismo temporal</li> </ul> </li> <li>c. <i>Polimorfismo</i>. - Más de una forma distinguible en uno o en los dos sexos.</li> </ul>
<p><b>2. Respecto al género</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Gonocorístico</i>. - sexos separados.</li> <li>b. <i>Hermafrodita</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Simultáneo</li> <li>ii. Protándrico</li> <li>iii. Protogínico</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>6. Lugar de freza</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>No definido</i></li> <li>b. <i>Definido</i></li> </ul>
<p><b>3. Modo de fertilización</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Externa</i></li> <li>b. <i>Interna</i></li> <li>c. <i>Bucal</i></li> </ul>	<p><b>7. Cuidado parental</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Sin cuidado</i>. - Oviparidad sin cuidado posterior a la freza.</li> <li>b. <i>Cuidado del macho</i></li> <li>c. <i>Cuidado de la hembra</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Oviparidad con cuidado posterior a la freza</li> <li>ii. Viviparismo <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Facultativo</li> <li>2) Obligado <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Lecitotrófico. - Antiguo ovoviviparismo</li> <li>b) Matrotrofico. - Antiguo viviparismo</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> <li>d. <i>Cuidado biparental</i></li> </ul>
<p><b>4. Cópula</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Promiscuidad</i></li> <li>b. <i>Poligamia</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Poliginia</li> <li>ii. Poliandria</li> </ul> </li> <li>c. <i>Monogamia</i></li> </ul>	

En peces tropicales se pueden observar picos de desove estacional debido a las condiciones locales de temperatura, la salinidad, el fotoperiodo, la concentración de oxígeno disuelto y los niveles de producción primaria (Johannes, 1978; Sánchez, 2007; Hernández, 2012).

Los ciclos que se presentan en el ambiente y la sincronía de la reproducción se asocian a las variantes relacionadas con el comportamiento reproductor o a los patrones sociales, ejemplos de ello se tiene a los organismos de gran tamaño que realizan migraciones gregarias con el fin de liberar huevos pelágicos en la columna de agua de zonas profundas, proporcionando un ambiente más protegido para los huevos y larvas; por el contrario, especies de menor tamaño desovan huevos demersales en zonas de resguardo como manglares o pastos marinos, proporcionando algún tipo de cuidado que minimice el riesgo de depredación (Balon, 1975, 1981; Johannes, 1978; Blaber, 1997; Sánchez, 2007; Saborido, 2008).

Por otra parte, algunas especies se guían con el fotoperiodo, las mareas o el ciclo de la luna, por lo que necesitan de tiempos, condiciones de luz o corrientes para realizar el desove; otras especies han evolucionado para mantener periodos extensos de desove con el fin de asegurar la supervivencia de la descendencia, aumentando la posibilidad de encontrar las condiciones más adecuadas con un prolongado periodo reproductivo (Johannes, 1987; Blaber, 1997; Sánchez, 2007; Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011).

## **2.2 Parámetros reproductivos**

La biología reproductiva abarca muchos aspectos que tienen implicaciones directas en ecología, específicamente en los mecanismos que determinan el número de la descendencia, ya que dichos mecanismos funcionan con base en la aproximación sexual, a la eficacia de la fecundación, al número y viabilidad de los descendientes generados. Además, con el estudio de la biología reproductiva de los peces se obtiene información que puede ser empleada para determinar su potencial reproductivo, es decir, la capacidad de producir descendencia viable de una especie en particular, el momento y sitio de la reproducción y la duración de todo el ciclo, inclusive hasta el desove (Holden y Raitt, 1975; Margalef, 1977).

### **2.2.1 Proporción de sexos**

La proporción de los sexos se refiere a la proporción de hembras y de machos en una población, la cual está determinada por varios factores como la época de reproducción, la talla de los organismos, la mortalidad, el hábitat, además de la utilización de artes de pesca selectivos (Acevedo *et al.*, 2007; Sánchez, 2007). El estudio de estos factores es de gran importancia para obtener un completo conocimiento de la biología en general de la población que se pretenda explotar (Nikolsky, 1963).

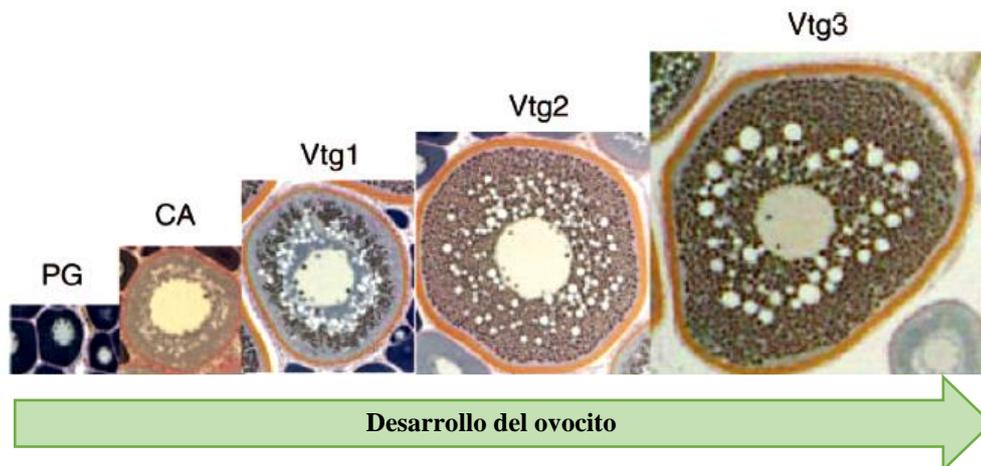
### **2.2.2 Desarrollo gonádico**

Para determinar el desarrollo gonadal se suelen realizar análisis a dos niveles: macroscópico y microscópico. El análisis macroscópico establece esquemas de clasificación basados en el color, tamaño y textura de las gónadas; estos esquemas se pueden resumir, para peces teleósteos, en cinco fases según Brown-Peterson *et al.* (2011): 1) Inmaduro, 2) En desarrollo, 3) Capaz de desovar, 4) Regresión y 5)

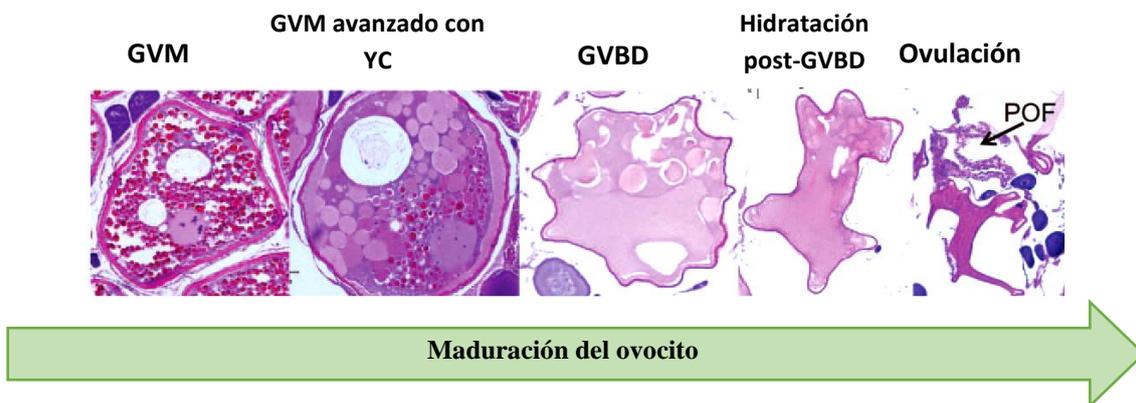
Regeneración. Este método es sencillo, económico y rápido, sin embargo, es poco eficaz debido a que está asociado a la subjetividad del observador (Saborido, 2008; Brown-Peterson *et al.*, 2011). El análisis microscópico se basa en cortes histológicos de las gónadas, los cuales brindan información más precisa pero más compleja de interpretar debido a los diferentes tipos estructurales de gónadas y ovocitos, y a las diferencias de los distintos estados de desarrollo de los gametos, los cuales tienen desarrollos graduales (Tyler y Sumpter, 1996; Saborido, 2008; Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Para clasificar las distintas fases de desarrollo ovárico, se toman en cuenta los diferentes estados de desarrollo de los ovocitos, siguiendo los criterios de Saborido, (2008) y Brown-Peterson *et al.* (2011) los cuales son (**Figura 1**):

- **Crecimiento primario (PG):** fase inicial que abarca la formación del ovocito a partir de las vesículas germinales y que contiene dos fases: 1) Nucleolo-cromatina (los ovocitos se rodean de células prefoliculares) y 2) Estado perinucleolar (citoplasma uniforme y presencia de microvili en la superficie del ovocito). Los ovocitos en este estado se encuentran presentes en todas las hembras.
- **Alvéolos corticales (CA):** aparecen vesículas o alveolos en el citoplasma, que indican que el ovocito ha comenzado el proceso de maduración y que el pez se encuentra en fase adulta.
- **Vitelogénesis (Vtg):** aparecen esferas o glóbulos llenos de vitelo, que aumentan de tamaño conforme avanza el estado de vitelogénesis. Los ovocitos vitelogénicos presentan dos capas de células principales: una exterior (la teca) y otra interior (la granulosa). La fase de vitelogénesis suele dividirse en fases sucesivas: Vitelogénico 1, Vitelogénico 2 y Vitelogénico 3.
- **Migración de la Vesícula Germinal (GVM):** el núcleo migra hacia la periferia del citoplasma y se fusiona la membrana. Al finalizar esta fase, se produce la ovulación (el ovocito es liberado, mediante la ruptura del folículo, en el lumen del ovario). La maduración del ovocito indica la reanudación de la meiosis e involucra distintos eventos nucleolares y citoplasmáticos: migración de la vesícula germinal, fusión de la yema (proteólisis de la yema), rompimiento de la vesícula germinal y la hidratación.



**Figura 1.** Progresión del crecimiento del ovocito y etapas del desarrollo comúnmente identificadas en peces: Crecimiento primario (PG), Alveolos corticales (CA), Vitelogénico primario (Vtg1), Vitelogénico secundario (Vtg2) y Vitelogénico terciario (Vtg3). (Tomado de Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011).

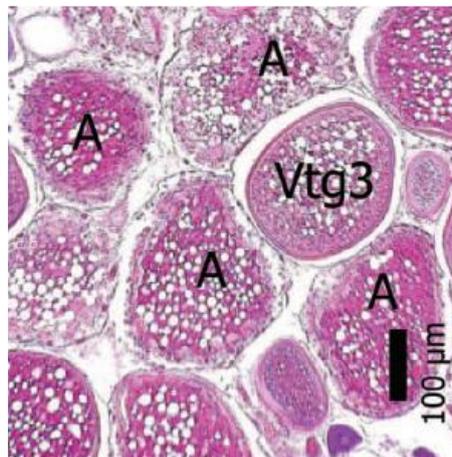


**Figura 2.** Progresión de la maduración del ovocito en peces: Migración temprana de la vesícula germinal (GVM), GVM avanzado con la fusión de la yema (proteólisis de la Yema: YC), rompimiento de la vesícula germinal (GVBD), hidratación después de completarse el GVBD, y totalmente hidratado durante la ovulación. Después de la ovulación, el folículo roto del ovocito se mantiene en el ovario y es llamado folículo postovulatorio (FPO). (Tomado de Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011).

Además, se emplea la presencia de algunas otras estructuras como indicadores complementarios de las fases de maduración, como el complejo folicular postovulatorio (FPO), que es el remanente después de la ovulación, el cual está compuesto de las células foliculares postovulatorias, la teca y las membranas que separan las porciones de la célula. Dicho estado se puede identificar de manera sencilla cuando la observación se

lleva a cabo poco después de la ovulación, ya que estos degeneran rápidamente con el aumento de la temperatura (**Figura 2**).

Otro proceso importante en el desarrollo de los ovocitos es la atresia (**Figura 3**), el cual es un proceso degenerativo en el cual las células de la granulosa invaden el citoplasma del ovocito y digieren el vitelo. Este proceso se presenta en ovocitos que no fueron ovulados, los cuales son reabsorbidos en el ovario; esto se presenta de manera similar en todas las especies de peces. Este proceso es de vital importancia para los organismos debido a que, gracias a él, se regula el número de huevos que serán liberados y se recupera la energía que se empleó para desarrollar el ovocito (Saborido, 2008; Hernández, 2012).



**Figura 3.** Ejemplo de ovocitos atrésicos (A).  
(Tomado de Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Se ha propuesto que el desarrollo ovogénico se agrupe en tres patrones generales: ovarios con desarrollo sincrónico en especies semélparas (se observa un solo grupo de ovocitos en un mismo estado de desarrollo, como es el caso de los salmones), especies iteróparas que presentan distintos patrones de desarrollo (ovarios con desarrollo sincrónico por grupos, en los que se presentan dos grupos de ovocitos de distintos tamaños y estados de desarrollo, el grupo más desarrollado será liberado en una sola puesta durante el ciclo reproductor) y los ovarios que presentan un desarrollo asincrónico en los que se observan simultáneamente ovocitos en distintos estados de desarrollo, los cuales serán liberados en múltiples puestas, siendo estos los más grandes

y en hidratación (Tyler y Sumpter, 1996; Saborido, 2008; Grier *et al.*, 2009; Núñez y Duponchelle, 2009; Brown-Peterson *et al.*, 2011).

En el caso de los machos, los testículos están conformados por dos estructuras tubulares conformadas por tejido intersticial y epitelio germinal en el cual se encuentran las células germinales y las somáticas. Basándose en la morfología de los testículos, existen tres tipos: 1) Los anastomados: forman compartimentos germinales en la periferia en forma de ramificaciones y son característicos de los salmónidos, ciprínidos y lepisostéidos, 2) Los lobulares restringidos a la periferia: presentan compartimentos germinales desde la periferia hasta la terminación de los lóbulos, las espermatogonias solo se restringen a la zona distal de los lóbulos, para que durante la espermiación, los cistos migren hacia el sistema de conductos deferentes; se puede observar en todos los Aterinomorfa, y 3) Lobulares no restringidos a la periferia: los compartimentos germinales que contienen a las espermatogonias se extienden desde la periferia y a lo largo del lóbulo, para que durante la espermiación, los espermatozoides sean liberados en el lumen del testículo para continuar por los conductos deferentes (Grier y Uribe-Aranzábal, 2009; Brown-Peterson *et al.*, 2011; Parenti y Grier, 2004; Knapp y Carlisle, 2011).

### **2.2.3 Índices morfofisiológicos**

El índice gonadosomático (IGS) se emplea comúnmente como un indicador de la madurez gonadal y se obtiene mediante la relación del porcentaje entre el peso de la gónada y el peso del organismo eviscerado ( $PG/PE*100$ ). Esta técnica es de gran utilidad para determinar los periodos de desove de diversas especies, siempre y cuando se realice en conjunto con la estimación de la frecuencia con la que ocurren los ovarios en diferentes fases de maduración, previamente clasificados mediante una escala de madurez macroscópica e histológica. Los resultados de dicha comparación consideran que los valores altos se asocian a estadios de madurez gonádica avanzados y subsecuentemente, la disminución de los valores promedio indicarían que el desove ha ocurrido (Brouwer y Griffiths, 2005; Acevedo *et al.*, 2007; Saborido, 2008). Para que lo anterior se pueda llevar a cabo, es necesario cumplir con ciertos criterios que puedan asegurar que los peces mantendrán la misma proporción de peso gonadal con respecto al peso del cuerpo durante todo el ciclo de su vida y en cualquier condición ambiental

(Tyler y Sumpter, 1996; Brouwer y Griffiths, 2005; Acevedo *et al.*, 2007). Dicho parámetro muestra valores bajos con poca variación en especies con temporadas reproductoras largas, lo que a su vez se puede relacionar con especies que tengan desarrollo asincrónico y sean desovadores parciales (Saborido, 2008).

El índice hepatosomático (IHS) y el factor de condición (K) se emplean para determinar la posible relación entre las reservas energéticas de los organismos y sus requerimientos en las distintas fases del ciclo reproductivo, ambos suelen correlacionarse de manera inversa con el grado de madurez (IGS) (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2007; Maddock y Burton, 1999).

Para obtener el índice hepatosomático, se relaciona porcentualmente el peso del hígado con el peso corporal eviscerado ( $PH/PE*100$ ). Para obtener el factor de condición de cada especie es necesario realizar una estimación de su peso y longitud para determinar el tipo de crecimiento que presenta, sea este isométrico o alométrico. Si el tipo de crecimiento es isométrico se puede emplear el factor de condición de Fulton (K), el cual se obtiene mediante la relación porcentual entre el peso eviscerado y la talla corporal del organismo ( $PE/LT^3*100$ ), siguiendo ciertas condiciones como: el mismo arte de pesca, la misma temporada, por sexos separados, misma talla, etc. (Acevedo *et al.*, 2007). En el caso de que el tipo de crecimiento sea alométrico se debe emplear un índice que compense la diferencia o los cambios de forma o condición con respecto al incremento de la talla, es decir, que tome en cuenta los diferentes factores que podrían ocasionar que el tipo de crecimiento varíe durante el desarrollo de la especie, para esto se puede emplear el factor de condición de Le Cren ( $K_n$ ), quien propuso el factor de condición relativo para comparar el peso de un individuo con la media del peso a una longitud derivada de la relación peso longitud de una muestra respectiva. Esto permite la comparación de la condición de diferentes especímenes de una misma muestra, independientemente de su longitud (Froese, 2006).

#### **2.2.4 Fecundidad**

La fecundidad se refiere al número de ovocitos puestos por una hembra en un momento determinado, la cual puede dividirse en dos tipos de acuerdo al desarrollo ontogénico: (1) *fecundidad determinada* cuando el número de huevos que será desovado es fijo y no

se adicionan otros cuando la puesta ha iniciado, es decir, se presenta en organismos desovadores totales con desarrollo sincrónico de los ovocitos por lo que se produce una sola liberación de huevos en la estación reproductora, y (2) *fecundidad indeterminada* cuando existe un aporte continuo de ovocitos vitelogénicos mientras se lleva a cabo la puesta, se presenta en organismos desovadores parciales múltiples, quienes presentan en sus gónadas ovocitos en varios estados de desarrollo (Tyler y Sumpter, 1996; Murua *et al.*, 2003; Saborido, 2008; Brown-Peterson *et al.*, 2011).

El método gravimétrico es el mayormente usado para calcular la fecundidad y está basado en la relación entre el peso de la gónada de la hembra y la densidad de los ovocitos (Murua *et al.*, 2003). Se pueden hacer distintas estimaciones de fecundidad, como se enumeran a continuación:

- ***Fecundidad total:*** se entiende como el número total de ovocitos que depositará una hembra en un momento dado.
- ***Fecundidad relativa:*** se define como el número de ovocitos por unidad de peso de la hembra.
- ***Fecundidad potencial anual:*** es la cantidad de ovocitos que una hembra puede desovar en la estación reproductora (vitelogénicos avanzados e hidratados).
- ***Fecundidad parcial:*** es el número de ovocitos (hidratados) que son liberados en cada una de las puestas en los desovadores múltiples.
- ***Fecundidad real:*** es el número de ovocitos que son efectivamente liberados (descontando las atresias) (Murua *et al.*, 2003; Saborido, 2008; Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Sin embargo, el cálculo de éstas estimaciones de la fecundidad dependerá del tipo de desarrollo de los ovocitos (sincrónico, sincrónico por grupos o asincrónico), ya que en aquellas especies que presentan un tipo de desarrollo asincrónico (caracterizado por la presencia simultánea de ovocitos en todos los estados de desarrollo PG hasta Vtg) únicamente se puede estimar la fecundidad parcial ( $F_p$ ) y la fecundidad parcial relativa ( $F_{pR}$ ), dado que hay un aporte continuo de ovocitos vitelogénicos mientras dura la puesta y se desconoce el número de lotes que son expulsados durante el período reproductivo (Murua *et al.*, 2003).

Las diversas estrategias de reproducción de las especies presentan una variación en la fecundidad, es decir, en las especies que habitan en zonas templadas esta tiende a ser alta debido a que producen huevos pequeños los cuales son liberados hacia la región pelágica; por el contrario, las especies de peces que habitan en zonas tropicales tienen valores de fecundidad mucho menores, pero se complementa con una temporada reproductora extendida (Acevedo *et al.*, 2007; Saborido, 2008).

### **2.3 Biología reproductiva del género *Sphoeroides***

Los tetraodontiformes se distribuyen en mares tropicales a templados y aguas dulces de todo el mundo, además muestran una notable diversidad en cuanto a su forma, tamaño y ciclos de vida, por ejemplo, un pez globo pequeño del género *Carinotetraodon* (Benl, 1957) madura aproximadamente a 2 cm de longitud total, mientras que el pez luna del género *Mola* madura alrededor de los 300 cm de longitud total (Britz y Kottelat, 1999; Pope *et al.*, 2010; Matsuura, 2015).

En cuanto al género *Sphoeroides*, Sánchez-Cárdenas *et al.* (2007) publicaron algunos aspectos reproductivos del *S. annulatus* en el cual mencionan que la época de reproducción presenta dos picos, el primero de abril a mayo y el segundo de octubre a noviembre y que la talla de madurez para machos es de 28.2 cm de longitud total mientras que para las hembras es de 28.6 cm de longitud total. *Sphoeroides annulatus* es la especie de mayor importancia para la acuicultura dentro del género debido a su importancia económica y al potencial que representa para ser exportado como producto alimenticio (Chávez-Sánchez *et al.*, 2008).

Pocas son las especies del género *Sphoeroides* a las cuales se les han realizado estudios acerca de temas relacionados con su biología reproductiva, en los cuales mencionan solo algunos aspectos que abordan la época reproductiva, fecundidad, entre otros (**Cuadro 2**).

**Cuadro 1.** Especies del género *Spherooides* con estudios acerca de algunos aspectos de su biología reproductiva.

Especie	Resultados	Localidad	Referencia
<i>S. greeleyi</i>	<p><b>Período reproductivo:</b> agosto a enero.  <b>Desove:</b> octubre a enero.  <b>Pico reproductivo:</b> septiembre a diciembre.  <b>Inactividad reproductiva:</b> enero a agosto.  <b>Tipo de desove:</b> Parcial.  <b>Proporción sexual:</b> enero, febrero y marzo: 1:1; mayor número de hembras lo que restó del año.</p>	Paraná, Brasil.	Schultz <i>et al.</i> , 2002.
<i>S. maculatus</i>	<p><b>Período reproductivo:</b> mayo a agosto.  <b>Pico reproductivo:</b> junio y julio.  <b>Inactividad reproductiva:</b> octubre y noviembre.  <b>Proporción sexual:</b> 1:1; durante pico reproductivo: 1M:3H.</p>	Chesapeake Bay, Mobjack Bay, y la boca del río York y Rappahannock, EUA.	Laroche y Davis, 1973.
	<p><b>Fecundidad relativa:</b> 751 ovocitos/g PE y 5204 ovocitos/g PG.</p>	Chesapeake Bay, EUA.	Marriner y Laroche, 1977.
<i>S. testudineus</i>	<p><b>Período reproductivo:</b> septiembre a enero.  <b>Inactividad reproductiva:</b> enero a mayo.  <b>Tipo de desove:</b> parcial.  <b>Proporción sexual:</b> 1:1 (octubre: 2M:1H (inicio del desove) y mayo: 2H:1M).</p>	Paraná, Brasil.	Rocha <i>et al.</i> , 2002
<i>S. annulatus</i>	<p><b>Período reproductivo:</b> abril a agosto y octubre a noviembre (machos más tiempo).  <b>Tipo de crecimiento:</b> Alométrico negativo.  <b>Proporción sexual:</b> 1:1 (junio 2M:1H).  <b>Índices:</b> no correlación / IGS y Kn en ningún sexo. Kn disminuye durante época reproductiva.</p>	Mazatlán, México.	Sánchez-Cárdenas <i>et al.</i> , 2007
	<p><b>Período reproductivo:</b> junio a septiembre y noviembre a diciembre.  <b>Tipo de crecimiento:</b> Alométrico negativo.  <b>Proporción sexual:</b> 1:1.</p>	Sinaloa, México.	Valdéz-Pineda <i>et al.</i> , 2014.

## 2.4 Aspectos generales de *Spherooides nephelus*

*Spherooides nephelus* habita la zona tropical y subtropical del Mar Caribe y la parte este del Golfo de México, aunque se ha reportado con menor abundancia en centro América y ausente para las costas de América del sur. Normalmente se encuentra a

profundidades que van de 0.10 m hasta los 20 m, lo cual genera que su abundancia aumente en las zonas que presentan una pendiente menos abrupta (Thayer *et al.*, 1987; Lieske y Myers, 1994; Carpenter, 2002; Shipp, 2002; Acero y Polanco, 2006; Bonilla-Gómez *et al.*, 2012).

Su talla promedio es de 20 cm de longitud total, pero se han encontrado especímenes de hasta 30 cm como talla máxima. Su cuerpo está cubierto por manchas pequeñas en forma de retícula y a los lados de la parte ventral exhibe unos puntos o manchas claramente visibles, las cuales terminan antes del inicio de la aleta caudal, siendo estas las principales características taxonómicas que lo distinguen de las demás especies del género (Shipp y Yerger, 1969; Shipp, 1978; Robins y Ray, 1986) (**Figura 4**). Su dieta está compuesta por una variedad de presas entre las que se encuentran peces, moluscos, equinodermos y crustáceos, por lo que es considerado como un depredador generalista con una amplia variedad de presas (Ralston y Wainwright, 1997). De acuerdo con Springer y Woodburn (1960) y Shipp y Yerger (1969) la época reproductiva del *S. nephelus* abarca desde la primavera hasta el otoño en la costa noreste de Florida, entre Jacksonville y Maryland, sin embargo, dicha información no es concluyente.



**Figura 4.** Pez globo, *Sphoeroides nephelus*, de la costa norte de la península de Yucatán.

### **3. OBJETIVO GENERAL**

Describir y comparar entre sexos la biología reproductiva del pez globo *Sphoeroides nephelus* durante un ciclo anual en la costa norte de la península de Yucatán, México.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Describir el desarrollo gonádico de machos y hembras
- Determinar la proporción en sexos.
- Estimar la variación temporal entre el Índice hepatosomático, Factor de condición e Índice gonadosomático por sexo.
- Determinar la época de reproducción con base en el índice gonadosomático y el desarrollo gonádico.
- Estimar la relación de la longitud y el peso con la fecundidad parcial
- Estimar la fecundidad parcial relativa.

#### 4. REFERENCIAS

Abbott, J., Flewelling, L. y Landsberg, J. (2009). Saxitoxin monitoring in three species of Florida puffer fish. *Harmful Algae*. 8: 343-348.

Abdo de la Parra, M., Rodríguez-Ibarra, L., García-Aguilar, N., Velasco-Blanco, G. e Ibarra-Castro, L. (2013). Biotecnología para la producción masiva de juveniles del botete diana *Sphoeroides annulatus*: inducción hormonal y cultivo larvario. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 48(3): 409-420.

Acero, A. y Polanco, A. (2006). Peces del orden Tetraodontiformes de Colombia. *Biota Colombiana*. 7(1): 155-164.

Acevedo, J., Angulo, W., Ramírez, M. y Zapata, L. (2007). Reproducción del pez *Brotula clarkae* (Pisces: Ophidiidae) en el Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*. 55: 957-967.

Arakawa, O., Hwang, D., Taniyama, S. y Takatani, T. (2010). Toxins of pufferfish that cause human intoxications. *Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East China Sea*. 227-244.

Balon, E. (1975). Reproductive guilds of fishes: a proposal and definition. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 32: 821-864.

Balon, E. (1981). Additions and amendments of the classification of reproductive styles in fishes. *Environmental Biology of Fishes*. 6: 377-389.

Balon, E. (1990). Epigenesis of an epigeneticist: the development of some alternative concepts on the early ontogeny and evolution of fishes. *Guelph Ichthyology Reviews*. 1: 1-42.

Blaber, S. (1997). Fish and fisheries of tropical estuaries. Chapman & Hall. Fish and Fisheries Series 22, London, U. K.

Böhlke, J. y Chaplin, C. (1993). Fishes of the Bahamas and adjacent tropical waters. University of Texas Press, Austin. 769 pp.

Bonilla-Gómez, J., Tzeek-Tuz, J., Badillo, M. y Chiappa-Carrara, X. (2012). Crecimiento y mortalidad de *Sphoeroides testudineus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en una laguna costera tropical en el noroeste de la península de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83(4): 1237-1240.

Britz, R. y Kottelat, M. (1999). *Carinotetraodon imitator*, a new freshwater pufferfish from India (Teleostei: Tetraodontiformes). *Journal of South Asian Natural History*. 1: 39-47.

Brouwer, S. y Griffiths, M. (2005). Reproductive biology of carpenter seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pisces: Sparidae) in marine protected area. *Fishery Bulletin*. 103: 258-269.

Brown-Peterson, N., Wyanski, D., Saborido-Rey, F., Macewicz, B. y Lowerre-Barbieri, S. (2011). A standardized terminology for describing reproductive development in fishes, marine and coastal fisheries: dynamics, management and ecosystem science. *Marine and Coastal Fisheries*. 3: 52-70.

Carpenter, K. (2002). The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, mollusks, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras. *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication*. 5:600.

Chávez-Sánchez, M.C., Álvarez-Lajonchère, L., Abdo de la Parra, M. I. y García-Aguilar, N. (2008). Advances in the culture of the mexican bullseye puffer fish *Sphoeroides annulatus*, Jenyns (1842). *Aquaculture Research*. 39: 718-730.

CNA. (2012). La carta nacional acuícola. SAGARPA. Diario Oficial de la Federación.

<http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/2011/06062012%20SAGARPA.pdf>.

DOF. (2012). Acuerdo por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera, 24 de agosto de 2012.

DSSH. (2011). Fish and fishery products hazards and controls guidance [Orientación de controles y peligros de los productos pesqueros y piscícolas]. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DSSH) de EE.UU. Centro para la Seguridad de los Alimentos y Nutrición Aplicada de la Administración de Medicamentos y Alimentos. USA. 468 pp.

Froese, T. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*. 22(4): 241-153.

Granado, C. (1996). *Ecología de peces*. Editorial Mac-Graw Hill. Bogotá, Colombia. 45: 115-200 pp.

Grier, H. y Uribe-Aranzábal, M. (2009). The testis and spermatogenesis in Teleosteos, En: *Reproductive biology and phylogeny of fishes (Agnathans and bony fishes)*. S. A. Queensland Australia.

Grier, H., Uribe-Aranzábal, M. y Patiño, R. (2009). The ovary, folliculogenesis and oogenesis in teleosts. *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and bony fishes)*. Queensland Australia. 25-84.

Gross, M. (1996). *Alternative reproductive strategies and tactics: diversity within sexes*. Elsevier Science. 11: 92-98.

Harvey, B. y Hoar, W. (1980). *Teoría y práctica de la reproducción inducida en peces*. Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo. 48pp.

Hernández, C. (2012). *Ecología de la reproducción del bolín yucateco *Floridichthys polyommus* (Hubbs 1936) en el Sistema laguna La Carbonera, Yucatán*. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Campus Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Herrera-Flores, D.A. y Markus-Götz, C. (2014). La alimentación de los antiguos mayas de la Península de Yucatán: Consideraciones sobre la identidad y la cuisine en la época prehispánica. *Estudios de Cultura Maya*. 43: 69–98.

Holden, M. J., y Raitt, D. F. S. (1975). Manual de Ciencia Pesquera: Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Roma: FAO.

Johannes, R. (1978). Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. *Environmental Biology of Fishes*. 3(1): 65-84.

Knapp, R. y Carlisle, S. (2011). Testicular function and hormonal regulation in fishes. En D. O. Norris y K. H. Lopez (Ed.), *Hormones and reproduction of vertebrates Vol. 1: Fishes*. USA. Academic Press. ELSEVIER. 43-63 pp.

Laroche, J. y Davis, J. (1973). Age, growth and reproduction of the northern puffer *Sphoeroides maculatus*. *Fishery Bulletin*. 71(4): 955-963.

Leal, S. A., Cabrera, M. A., y Salas, S. (2009). Caracterización de la fauna incidental en la pesquería artesanal de camarón en la laguna de Chabihau, Yucatán, México. *Proceeding of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 61: 163-172.

Lieske, E. y Myers, R. (1994). *Collins Pocket Guide. Coral reef fishes. Indo-Pacific and Caribbean including the Red Sea*. Harper Collins Publishers. 400 pp.

Lowerre-Barbieri, S., Ganas, K., Saborido-Rey, F., Murua, H. y Hunter, J. (2011a). Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management and Ecosystem Science*. 3: 71-91.

Lowerre-Barbieri, S., Brown-Peterson, N., Murua, H., Tomkiewicz, J., Wyanski, D. y Saborido-Rey, F. (2011b). Emerging issues and methodological advances in fisheries reproductive biology. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management and Ecosystem Science*. 3: 32-51.

Maddock, D. M. y Burton, M. P. M. (1999). Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in American plaice. *Journal of Fish Biology*. 53: 928-944.

Margalef, R. (1977). *Ecología*. Omega S.A. Barcelona (España). 951 pp.

Matsuura, K. (1982). A new triacanthodid fish, *Triacanthodes indicus* from the Indian Ocean. *Japanese Journal of Ichthyology*. 28: 385-392.

Matsuura, K. (2015). Taxonomy and systematics of tetraodontiform fishes: a review focusing primarily on progress in the period from 1980 to 2014. *Ichthyologic Research*. 62: 72-113.

Matsuura, K. y Tyler J. (1997). Tetraodontiform fishes, mostly from deep waters, of New Caledonia. *Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle*. 174: 173-208.

McEachran J. y Fechhelm J. (2005). *Fishes of the Gulf of Mexico. Volume 2: Scorpaeniformes to Tetraodontiformes*. University of Texas Press, Austin.

Merriner, J. V. y Laroche, J. L. (1977). Fecundity of the northern puffer, *Spherooides maculatus*, from Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*. 18(1): 81-83.

Murua, H., Kraus, G., Saborido-Rey, F., Witthames, P., Thorsen, A. y Junquera, S. (2003). Procedures to estimate fecundity of marine fish species in relation to their reproductive strategy. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*. 33: 33-54.

Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the World*. John Wiley & Sons.

Nikolsky, G. V. (1963). *The ecology of fishes*. Academic Press London and New York. 352 pp.

Noguchi, T., Arakawa, O. y Takatani, T. (2006a). TTX accumulation in puffer fish. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part D*. 1: 145-152.

Noguchi, T., Arakawa, O. y Takatani, T. (2006b). Toxicity of pufferfish *Takifugu rubripes* cultured in netcages at sea or aquaria on land. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part D*. 1: 153-157.

Núñez, J. y Duponchelle, F. (2009). Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. *Fish Physiology and Biochemistry*. 35: 167-180.

Núñez-Vázquez, E., García-Ortega, A., Campa-Cordova, A. I., Abdo de la Parra, I., Ibarra-Martínez, L., Heredia-Tapia, A. y Ochoa, J. L. (2012). Toxicity of cultured bullseye puffer fish *Sphoeroides annulatus*. *Marine Drugs*. 10: 329-339.

Núñez-Vázquez, E., Yotsu-Yamashita, A., Sierra-Beltrán, A., Yasumoto, T. y Ochoa, J. (2000). Toxicities and distribution of tetrodotoxin in the tissues of pufferfish found in the coast of Baja California Peninsula, Mexico. *Toxicon*. 38: 729-734.

Núñez-Vázquez, E., Poot-Delgado, C. A., Yotsu-Yamashita, M., Domínguez-Solís, G., Hernández-Sandoval, F. E. y Bustillos-Guzmán, J. J. (2013). Toxicidad de los botetes silvestres *Sphoeroides* spp. Y *Lagocephalus* spp. de las costas de Campeche, México. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Disponible en: <http://www.researchgate.net/publication/257295770>

Parenti, L. y Grier, H. (2004). Evolution and phylogeny of gonad morphology in bony fishes. *Evolutionary Biology*. 44: 333-348.

Poot-Salazar, A., Pérez-Castañeda, R., Vega-Cendejas, M. E. y Defeo, O. (2009). Assessing patterns of ichthiofauna discarded by an artisanal shrimp fishery through selectivity experiments in a coastal lagoon. *Fisheries Research*. 97: 155-162.

Pope, E., Hays, G., Thys, T., Doyle, T., Sims, D., Queiroz, N., Hobson, V., Kubicek, L. y Houghton, J. (2010). The biology and ecology of the ocean sunfish *Mola mola*: a review of current knowledge and future research perspectives. *Reviews of Fish Biology and Fisheries*. 20: 471-487.

Ralston, K. y Wainwright, P. (1997). Functional consequences of trophic specialization in pufferfishes. *Functional Ecology*. 43-52pp.

Randall, J. (1996). Caribbean reef fishes. T. F. H. Publications, Jersey City. 318pp.

Robins, C. y Ray, G. (1986). A field guide to Atlantic coast fishes of North America. Houghton Mifflin Company, Boston, U.S.A. 354pp.

Rocha, C., Favaro, L. y Spach, H. (2002). Biología reproductiva de *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus) (Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae) da gamboa do Baguaçu, Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Revista brasileira de Zoologia*. 19(1): 57-63.

Saborido, F. (2008). Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Instituto de Investigaciones Marinas, Universidad de Vigo. España. 71pp.

Sánchez, R. (2007). Estrategia reproductiva de *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (tetraodontidae) en la costa de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis. CICIMAR IPN, La Paz Baja California Sur.

Sánchez-Cárdenas, R., Ceballos-Vázquez, B., Arellano-Martínez, M., Valdez-Pineda, M. y Morán-Angulo, R. (2007). Reproductive aspects of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) inhabiting the Mazatlan coast, Sinaloa, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 42: 385-392.

Schultz, Y., Favaro, L. y Spach, H. (2002). Reproductive aspects of *Sphoeroides greeleyi* (Gilbert) Tetraodontidae, from Gamboa Do Baguacu, State of Parana, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 19: 65-76.

Shipp, R. (1974). The pufferfishes (Tetraodontidae) of the Atlantic Ocean. Publication of the Gulf Coast Research Laboratory Museum. 4: 1-164.

Shipp, R. (1978). Tetraodontidae. In W. Fischer (ed.) FAO species identification sheets for fishery purposes. West Atlantic (Fishing Area 31). Volume 5. FAO, Rome.

Shipp, R. (2002). Tetraodontidae puffers. The living marine resources of the western central Atlantic. FAO, Roma. 1998-2013.

Shipp, R. y Yerger, R. (1969). Status, characters, and distribution of the Northern and Southern Puffers of the genus *Sphoeroides*. *Copeia*. 1969(3): 425-433.

Smith-Vaniz, W., Collette, B. y Luckhurst, B. (1999). Fishes of Bermuda: history, zoogeography, annotated checklist, and identification keys. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. No. 4.

Springer, V. y Woodburn, K. (1960). An ecological study of the fishes of the Tampa Bay area. Florida State Board of Conservation Marine Laboratory. 1: 1-104.

Thayer, G., Colby, D. y Hettler, W. (1987). Utilization of the red mangrove prop root habitat by fishes in south Florida. Marine Ecology Progress Series. 35: 25-38.

Tyler, C. y Sumpter, J. (1996). Oocyte growth and development in teleost. Rev. Fish Biol. Fisher. 6:287-318.

Valdéz-Pineda M., Morán-Angulo R., Voltolina D., Castillo-Vargasmachuca S. (2014). Population structure and reproductive aspects of puffer fish *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Osteichthyes: Tetraodontidae), landed in Tecapán, Sinaloa, México. Lat. Am. J. Aquat. Res. 42: 121-126.

Villacorta-Correa, C. y Saint-Paul, U. (1999). Structural indexes and sexual maturity of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Characiformes: Characidae) in central Amazon, Brasil. Revista Brasileira de Biología. 259(4): 637-652.

Wootton, R. (1990). Ecology of teleost fishes, USA. 404pp.

Wootton, R.J. (1984). Introduction: strategies and tactics in fish reproduction, 1-12. En: Potts, G. W. & R.J. Wootton (Eds.) Fish reproduction: strategies and tactics. Academic Press, New York. 410 pp.

Zanuy, S., y Carrillo, M. (1987). La reproducción de los teleósteos y su aplicación en la acuicultura. Reproducción en Acuicultura. Editorial CAICYT. Madrid, España, 1: 1-102.





**5. CAPÍTULO I: Biología reproductiva de *Sphoeroides nephelus*  
(Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en Chuburná Puerto, Yucatán, México**

El presente documento será sometido a la revista:

*Scientia Marina*

## **Biología reproductiva de *Sphoeroides nephelus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en Chuburná Puerto, Yucatán, México**

Jorge C. Peniche-Pérez<sup>1</sup>, Gaspar Poot-López<sup>1</sup> y Carlos González-Salas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Carr. Mérida-Xmatkuil Km. 15.5 A.P. 4-116 Itzimmá P.O. Box 97000, Yuc., México. Tel: +52 (999) 9423200. Fax: +52 (999) 9423205. Email: [squalo132@hotmail.com](mailto:squalo132@hotmail.com)

### **RESUMEN:**

El pez globo *Sphoeroides nephelus* tiene potencial para ser consumido local y regionalmente, sin embargo, hasta la fecha se carece de información importante sobre la biología de esta especie, por tal motivo el presente trabajo tiene como objetivo describir en un ciclo anual los aspectos reproductivos de hembras y machos de *S. nephelus* en Chuburná Puerto, Yucatán. Se realizaron 12 muestreos independientes de la pesca comercial, de octubre 2015 a septiembre 2016 (uno al mes). Se registró la longitud total (LT), el peso total (PT), peso del hígado, peso de la gónada y peso eviscerado. Para identificar las fases de desarrollo gonádico se utilizó una técnica histológica. Se calcularon el índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (HS) y el factor de condición (Kn), se determinó el ciclo reproductivo y la época de reproducción anual y se determinó la fecundidad parcial relativa promedio. Se capturaron 189 hembras y 223 machos. No se observaron diferencias significativas de 1:1 en la proporción sexual. El ciclo reproductivo de los machos de *S. nephelus* presentó un solo periodo reproductivo continuo que fue de agosto a mayo, teniendo un periodo de inactividad reproductiva entre junio y julio. La fecundidad parcial relativa promedio con un valor de  $828 \pm 182$  ovocitos/g PE. Lo que representa las bases de la biología reproductiva de *S. nephelus* para futuros estudios comparativos.

**Running title:** Biología reproductiva del *S. nephelus* en Yucatán, Mex.

**Palabras clave:** Biología reproductiva, *Sphoeroides nephelus*, longitud- peso, IGS, IHS, fecundidad.

## INTRODUCCION

La alta demanda de alimento provoca la sobreexplotación de los recursos pesqueros y conlleva problemas asociados como la captura incidental de especies no objetivo, el descarte de las especies sin valor comercial y el deterioro ambiental, especialmente en las áreas costeras, que provoca la pérdida de hábitats y la contaminación (Arreguín-Sánchez et al. 2006). La pesca como actividad del sector productivo primario requiere de generación de conocimiento como soporte a la administración del uso de los recursos pesqueros, así como en la búsqueda de alternativas del posible aprovechamiento de especies asociadas o capturadas incidentalmente, cuya importancia económica es escasa o bien, desconocida (Arreguín-Sánchez et al. 2011, Salas et al. 2011).

Un grupo de especies de peces que son capturados incidentalmente y que poseen un potencial para ser aprovechados, son los peces globo, los cuales son consumidos por su carne blanca, por sus pocos huesos y por la facilidad con que son capturados y procesados (Abbott et al. 2009, Abdo de la Parra et al. 2013). En el Pacífico mexicano ya se ha comenzado a aprovechar este recurso, dado que *Sphoeroides annulatus* es exportada y genera un importante aporte económico (\$10 dls./kg.) cuya demanda va en aumento (Sánchez-Cárdenas et al. 2007). Pese a que en Yucatán se tienen registros de especies de *Sphoeroides* capturadas incidentalmente (*S. testudineus*, *S. maculatus*, *S. nephelus*), no se ha propuesto un aprovechamiento de dichas especies e incluso se desconocen muchos aspectos de la biología de estas (Leal et al. 2009, Poot-Salazar et al. 2009, DOF 2012).

Para comprender la biología de una especie y sus ciclos de vida es importante conocer algunos aspectos reproductivos (Granado 1996). En el caso particular de los peces, algunos de los principales aspectos a considerar son la proporción en sexos, la talla de madurez sexual, el tiempo y la duración del período reproductivo, ya que constituyen componentes críticos en las estrategias reproductivas (Villacorta-Correa y Saint-Paul 1999, Lowerre-Barbieri et al. 2011, Brown-Peterson et al. 2011). La información disponible sobre la biología de los peces indica que las estrategias de reproducción son diversas, ya que los nichos ecológicos, patrones sociales y las diferentes especializaciones morfo-fisiológicas conllevan a una amplia variedad de estrategias reproductivas, las cuales van desde un desove colectivo pelágico sin cuidado de la progenie, hasta la construcción de nidos y cuidados parentales, o en su caso la incubación de los huevos (Harvey y Hoar 1980, Zanuy y Carrillo 1987, Balon 1990).

Se reportan en algunos trabajos, aspectos relacionados con la biología reproductiva de especies de *Sphoeroides*. Por ejemplo, en Brasil el período reproductivo para *S. greeleyi*

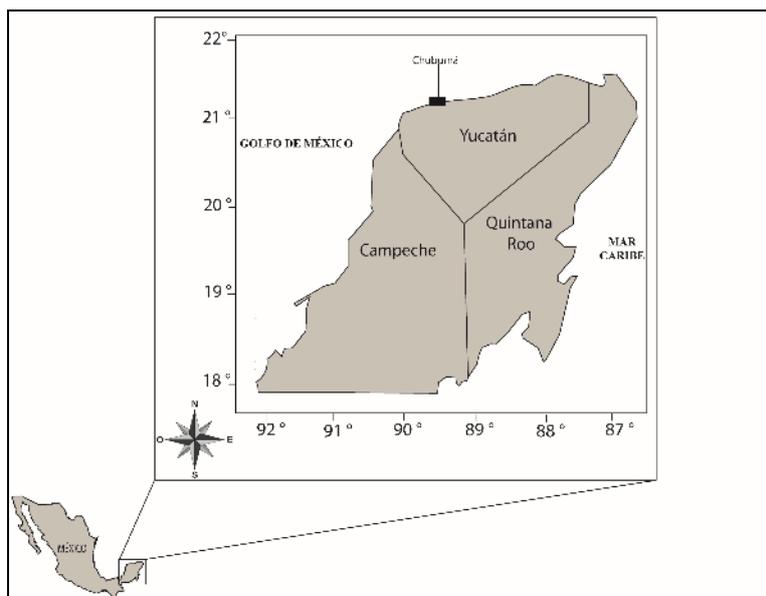
abarca de agosto a enero (Schultz et al. 2002.). También en Brasil el período reproductivo de *S. testudineus* comprende de septiembre a enero (Rocha et al. 2002). Para *S. maculatus* se reporta un período reproductivo de mayo a agosto en Chesapeake Virginia (E.U.) (Laroche y Davis 1973.). *S. annulatus* reporta dos períodos de reproducción en Sinaloa, México (abril a agosto y octubre a noviembre) (Sánchez-Cárdenas et al. 2007, Valdéz-Pineda et al. 2014). En el caso de *S. nephelus* Shipp y Yerger (1969) reportaron que la época reproductiva abarca desde la primavera hasta el otoño en la costa noreste de Florida, sin embargo, los mismos autores mencionan que dicha información no es concluyente.

Pese a que *S. nephelus* es capturada incidentalmente (pesca artesanal con redes para camarón rosado y rojo) y a que se tienen registros de su consumo en Estados Unidos, la información relacionada con la biología reproductiva de *S. nephelus* no es concluyente, y en la región de Yucatán no existe información sobre la especie, por tal motivo el presente trabajo tiene como objetivo, describir y comparar entre sexos la biología reproductiva del pez globo *S. nephelus* durante un ciclo anual (2015-2016) en Chuburná Puerto, Yucatán, México.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El puerto de Chuburná (21°15'07"N y 89°48'57"O) se encuentra en el litoral del Golfo de México, al norte de la Península de Yucatán, a 10 km al oeste de Puerto Progreso y a 55 km al noroeste de Mérida, Yucatán (**Figura 1**). Predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias regulares en verano. La temperatura media anual es de 25.6 °C, siendo la máxima de 36°C. La región presenta un clima de tipo cálido semi-seco de marzo a junio, con intensas lluvias de julio a octubre, y fuertes vientos del norte y lluvias de menor intensidad el resto del año (Ordoñez-López et al. 2013).



**Figura 4.** Área de colecta de los organismos. El puerto de Chuburná se encuentra señalado en un rectángulo.

### Colecta de ejemplares

Se realizaron 12 muestreos independientes de la pesca comercial, uno por mes, de octubre 2015 a septiembre 2016, con líneas de mano y anzuelos. Los ejemplares de *S. nephelus* capturados se almacenaron en hieleras. Una vez en el laboratorio, para cada individuo se le registró la longitud total (LT) y longitud estándar (LE) en centímetros y el peso total (PT), peso del hígado, peso de la gónada y peso eviscerado en gramos. Las gónadas fueron colocadas en frascos con solución Bouin al 10%, rotulados previamente.

### Desarrollo gonádico

Para identificar las fases de desarrollo gonádico de machos y hembras se utilizó una técnica histológica tomando en cuenta la presencia del ovocito con el desarrollo más avanzado independientemente de su frecuencia (Sánchez 2007, Saborido 2008) para identificar cinco fases del desarrollo gonádico: inmaduro, en desarrollo, capaz de desovar, regresión y regeneración (Brown-Peterson et al. 2011).

Para cada gónada se realizó una disección transversal de la parte media de cada lóbulo, y ambas disecciones se colocaron en un cassette de inclusión para comenzar el proceso de deshidratación, aclarado y parafinado.

Se realizaron cortes histológicos de 7 µm de espesor a los bloques de parafina con ayuda de un micrótomo (Leica®). Posteriormente los cortes histológicos montados se tiñeron (Hematoxilina-Eosina) y fijaron con resina sintética (Leica®) para su posterior observación.

Previo a esto, se verificó si la maduración de los ovocitos es uniforme a lo largo de la gónada mediante cortes histológicos realizados en tres disecciones de cada lóbulo (cercano al oviducto, medio y extremo al oviducto) en 10 gónadas.

### **Proporción sexual**

Se calculó la proporción sexual total (dividiendo el número total de hembras entre el número total de machos), la proporción sexual mensual y la proporción sexual por clase de talla (rango de talla de 1 cm).

### **Ciclo reproductivo y época de reproducción anual**

Para determinar la actividad reproductiva de *S. nephelus*, se calcularon las frecuencias relativas mensuales de las fases de desarrollo gonádico de hembras y machos. Se consideró como época reproductiva al período donde se observaron hembras en la fase de capaz de desovar.

### **Índices morfofisiológicos**

La caracterización cuantitativa del proceso de reproducción se llevó a cabo mediante el análisis de la variación temporal de los índices gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y el factor de condición (FC). El IGS es un indicador del grado de madurez y se calculó mediante la ecuación:  $IGS = \frac{PG}{PE} 100$ , donde PG = peso de la gónada (g) y PE = peso eviscerado del pez (g). El IHS proporciona información acerca de los procesos de almacenamiento y transferencia de proteínas y lípidos asociados con el esfuerzo reproductivo (Santos et al. 1996) y se calculó de la siguiente manera:  $IHS = \frac{PH}{PE} 100$ , donde PH = peso del hígado (g) y PE= peso eviscerado del pez (g).

### **Fecundidad**

En la estimación de la fecundidad únicamente se tomaron en cuenta aquellas hembras que fueron identificadas previamente con el análisis histológico como capaces de desovar sin la presencia de folículos postovulatorios (FPO), debido a que la presencia de dichos folículos indica que algunos ovocitos ya han sido liberados (Hunter y Macewicz 1985) y que en aquella

hembra el desove ya ha comenzado y por consecuencia, el número de ovocitos ha disminuido lo cual conduciría a una subestimación de la fecundidad. Una vez comprobado esto se procedió a estimar la fecundidad parcial por lotes de cada uno de los ovarios que fueron previamente seleccionados.

Para la estimación de la fecundidad se empleó un procedimiento que combina el método gravimétrico con un programa automatizado computacional que ayuda en la medición (diámetro  $\mu\text{m}$ ) y el conteo de los ovocitos en una submuestra de peso conocido (Witthames y Greer Walker 1987, Kraus et al. 2000). El método gravimétrico se basa en la relación entre el peso del ovario y la densidad de los ovocitos en el ovario, la cual resulta del número de ovocitos por gramo de tejido ovárico, y es determinado contando el número de ovocitos ( $o_i$ ) en una submuestra ( $w_i$ ) de peso conocido de tejido ovárico con una precisión de 0.001 gramos, de acuerdo a la siguiente formula:

$$F = \frac{[\sum_i \frac{o_i}{w_i}]}{n} * W_{\text{ovario}}$$

Cada una de estas submuestras fue tomada de la región central del ovario y los ovocitos fueron separados del tejido conjuntivo empleando un proceso de lavado mediante una separación con tamices de diferentes aberturas de malla (1000-100  $\mu\text{m}$ ), lo cual facilitó el conteo y medición de los ovocitos utilizando un análisis de imagen (IMAGEJ V. 1.51). La ventaja de emplear un contador de partículas automatizado para determinar el número de ovocitos en una submuestra es que el procedimiento de conteo consume menos tiempo y nos aporta un gráfico de distribución de frecuencias por diámetro de los ovocitos (Murua et al. 2003). Con ayuda de estos gráficos de distribución de frecuencia se determinó la fecundidad por lotes (fecundidad parcial  $F_p$ ) tomando en cuenta aquellas hembras que poseían una distribución de ovocitos más avanzados (vitelogénicos 2 y 3) que mostraban una separación del reservorio de ovocitos previtelogénicos (crecimiento primario y alveolos corticales). En este sentido, aquellas hembras que no mostraban una separación evidente en la distribución de frecuencias de diámetros no fueron consideradas para la estimación de la fecundidad. Finalmente se estimó la fecundidad parcial relativa ( $F_{pR}$ ) que se calculó de dos maneras, primero como el número de ovocitos por lotes por gramo de peso eviscerado (PE) y luego como el número de ovocitos por lotes por gramo de peso de la gónada (PG) (Hunter et al. 1989, Murua et al. 2003).

Para explorar el rango de tallas de cada uno de los ovocitos en diferentes fases de desarrollo (alveolos corticales, vitelogénicos 1, 2 y 3) se midieron los diámetros de 50

ovocitos en cada una de estas fases de desarrollo a partir de los cortes histológicos (Villegas-Hernández et al. 2014).

### **Análisis estadísticos**

Para determinar si la proporción de machos y hembras difiere o no significativamente de una proporción 1:1, se aplicó una prueba de bondad de ajuste, usando el estadístico chi-cuadrada ( $X^2$ ) (STATISTICA®). Para comparar la proporción sexual a lo largo de los meses de muestreo y para reducir el error tipo I en dichas comparaciones se ha ajustado el nivel de significancia (95%) mediante el método de Bonferroni ( $\alpha/k$ ) donde  $\alpha$  (significancia) = 0.05 y  $k$  (comparaciones) = 12 meses.

Para seleccionar el factor de condición Fulton K (1902) o Le Creen Kn (1951) acorde al tipo de crecimiento resultante de la relación LT-PE se realizó una regresión lineal mediante la fórmula:  $\log PE = \log a + b \log LT$ , donde  $a$ =intercepto y  $b$ =pendiente. Para evaluar si el tipo de crecimiento en la relación LT-PE es isométrico o alométrico, se empleó una prueba t-student comparando las pendientes ( $b=3$  vs.  $b\neq 3$ ). Finalmente, se contrastó la relación LT-PE entre machos y hembras con un análisis de comparación de líneas de regresión (Análisis de Covarianza, ANCOVA).

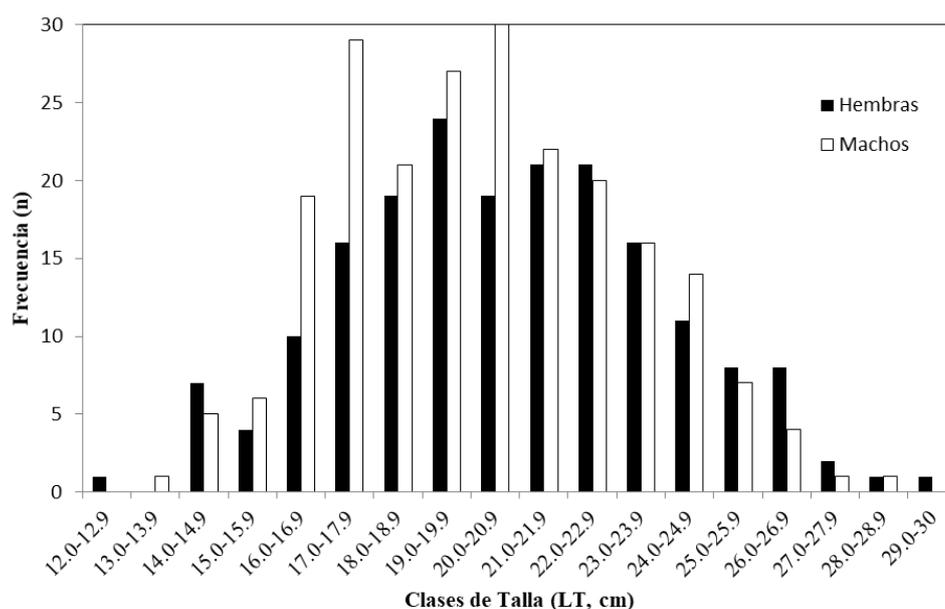
Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables (IHS, IGS y Kn) para estimar la relación y el grado de asociación entre estas. Luego para comparar los niveles de condición entre las diferentes fases de desarrollo gonádico se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) comparando los valores del IGS, IHS y Kn para hembras y machos de *S. nephelus* por fase de desarrollo tomando en cuenta un nivel de confianza del 95% y si el ANOVA resultaba ser significativo se llevó a cabo una prueba *a posteriori* de intervalos de Bonferroni debido a los diferentes tamaños de muestra para cada uno de los meses (Zar 1999). También, para establecer la significancia de la variación estacional en el IGS, IHS y Kn, se realizó un ANOVA y una prueba *a posteriori* de intervalos de Bonferroni por mes de muestreo para hembras y machos de *S. nephelus*. Cabe destacar que previamente a cualquier ANOVA realizado se corroboró la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks y la homocedasticidad con la prueba de Levene como supuestos necesarios para llevar a cabo este tipo de pruebas (Zar 1999).

Para estimar la relación tanto entre la longitud (LT), como con el peso eviscerado (PE), con la fecundidad parcial ( $F_P$ ) se ajustaron modelos de regresión potencial ( $y=ax^b$ ).

## RESULTADOS

Se obtuvieron 412 especímenes de *S. nephelus*, de los cuales 189 fueron hembras y 223 fueron machos. Las tallas (LT) de las hembras se observaron desde 12.9 hasta 29.8 cm y los pesos (PT) variaron entre 52.4 y 481.3 g. Mientras que para los machos las tallas variaron entre 13.1 y 28.5 cm LT y los pesos entre 40.2 y 440 g PT (**Figura 2**).

Respecto a la relación longitud-peso, no se encontraron diferencias significativas entre machos y hembras, ni en los interceptos ( $F_{3,1}=0.18$ ; p-valor=0.6751) ni en las pendientes ( $F_{3,1}=0.40$ ; p-valor=0.5255). Por lo tanto, el crecimiento es similar entre los sexos de esta especie. Además, debido a que el parámetro  $b$  de la relación longitud peso fue estadísticamente diferente de 3 ( $b \neq 3$ ), tanto para hembras ( $b=2.8796$ ,  $t_{(0.05, 170)}=2.5343$ , p-valor=0.0122) como para machos ( $b=2.928$ ,  $t_{(0.05, 238)}=1.9728$ , p-valor=0.0497), se procedió descartar el factor de condición de Fulton (K) ya que supone un crecimiento isométrico ( $b=3$ ) y en su lugar se decidió utilizar el factor de condición de Le Creen ( $K_n$ ) (Blackwell et al. 2000, Rennie y Verdon 2008).



**Figura 5.** Frecuencia de hembras (negro) y machos (blanco) por clases de talla de *S. nephelus* en Chuburná, Yucatán.

### Proporción sexual

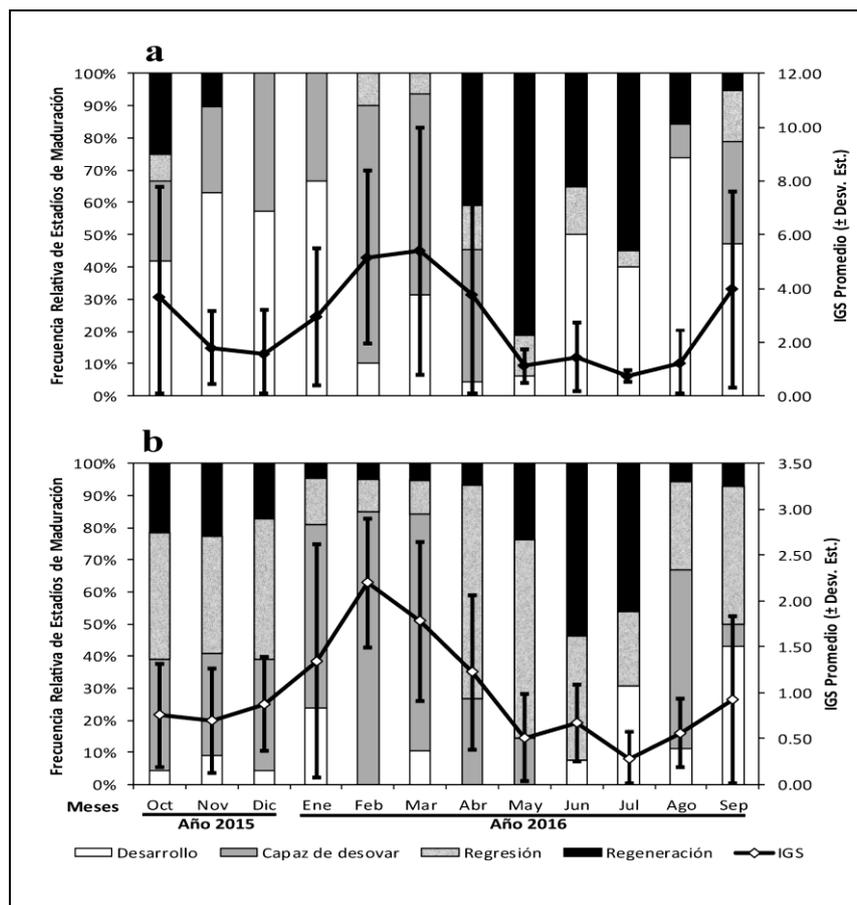
No hubo diferencias significativas (p-valor>0.05) en la proporción general de sexos durante el año de muestreo ( $\chi^2 = 2.80$ , p-valor=0.0939). Tampoco se observaron diferencias significativas en la proporción sexual para cada uno de los meses (p-valor > 0.0042) (**Cuadro**

1). Asimismo, para las clases de talla la proporción entre hembras y machos no fue significativa ( $p\text{-valor} > 0.05$ ) en todos y cada uno de los intervalos (1 cm).

### Ciclo reproductivo y estados de madurez

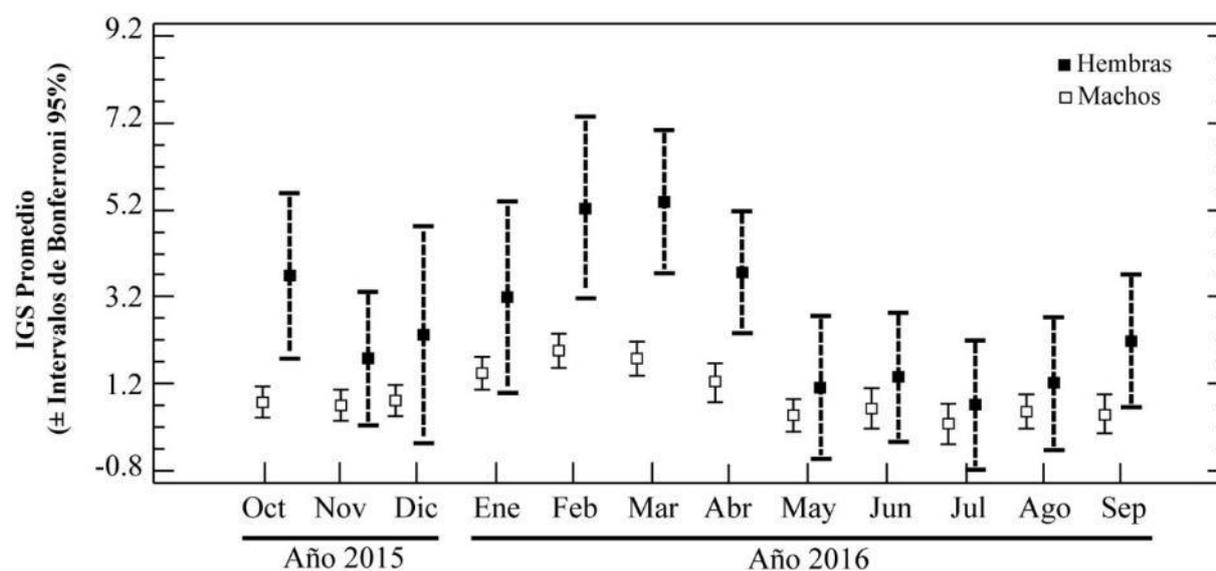
La maduración de los ovocitos es uniforme a lo largo de la gónada ya que en las tres disecciones de cada lóbulo (cercano al oviducto, medio y extremo al oviducto) se encontraron ovocitos en los mismos estadios de desarrollo. Dicho esto, se procedió a emplear únicamente el corte medio de la gónada para todo el análisis histológico.

Tanto en hembras como en machos solo se encontraron 4 de las 5 fases de desarrollo gonádico, las cuales fueron: Desarrollo, Capaz de desovar, Regresión y Regeneración. El ciclo reproductivo de los machos de *S. nephelus* presentó un solo periodo reproductivo continuo que fue de agosto a mayo, teniendo un periodo de inactividad reproductiva entre junio y julio. En cuanto a las hembras, su periodo reproductivo fue de agosto a abril y su período de inactividad fue entre mayo y julio.



**Figura 3.** Frecuencia relativa de los estados de maduración con respecto al IGS por meses para hembras (a) y machos (b) de *S. nephelus* en Chuburná Puerto, Yucatán.

De acuerdo con la variación mensual del IGS y la frecuencia relativa de las fases de desarrollo gonádico se observó la presencia de un pico de reproducción, tanto en hembras como en machos, entre febrero y marzo (**Figura 3**). Fue en estos meses en los cuales se observó una mayor proporción de organismos capaces de desovar. Asimismo, los valores más altos del IGS se observaron en machos en febrero (IGS promedio=2.2±0.7), mientras que en las hembras fue durante marzo (IGS promedio=5.39±4.6). Por otro lado, los valores más bajos del IGS fueron 0.73 y 0.27 en hembras y machos respectivamente, que correspondieron a junio y julio, en los cuales se observó una mayor proporción de organismos en la fase de regresión (**Figura 3**). A pesar de que ambos sexos mostraron similares tendencias estacionales en el desarrollo gonádico, los valores del IGS fueron relativamente más bajos en machos en relación a los valores obtenidos para las hembras (**Figura 3**). Sin embargo, esta variación estacional del IGS resultó ser significativa tanto en hembras ( $F=5.24$ ,  $p\text{-valor}<0.0001$ ) como en machos ( $F=10.91$ ,  $p\text{-valor}<0.0001$ ) (**Figura 4**). Cabe destacar que, en relación a las fases de desarrollo gonádico, el IGS únicamente mostró diferencias significativas entre la fase de capaz de desovar y el resto, tanto para hembras como para machos (**Cuadro 1**).



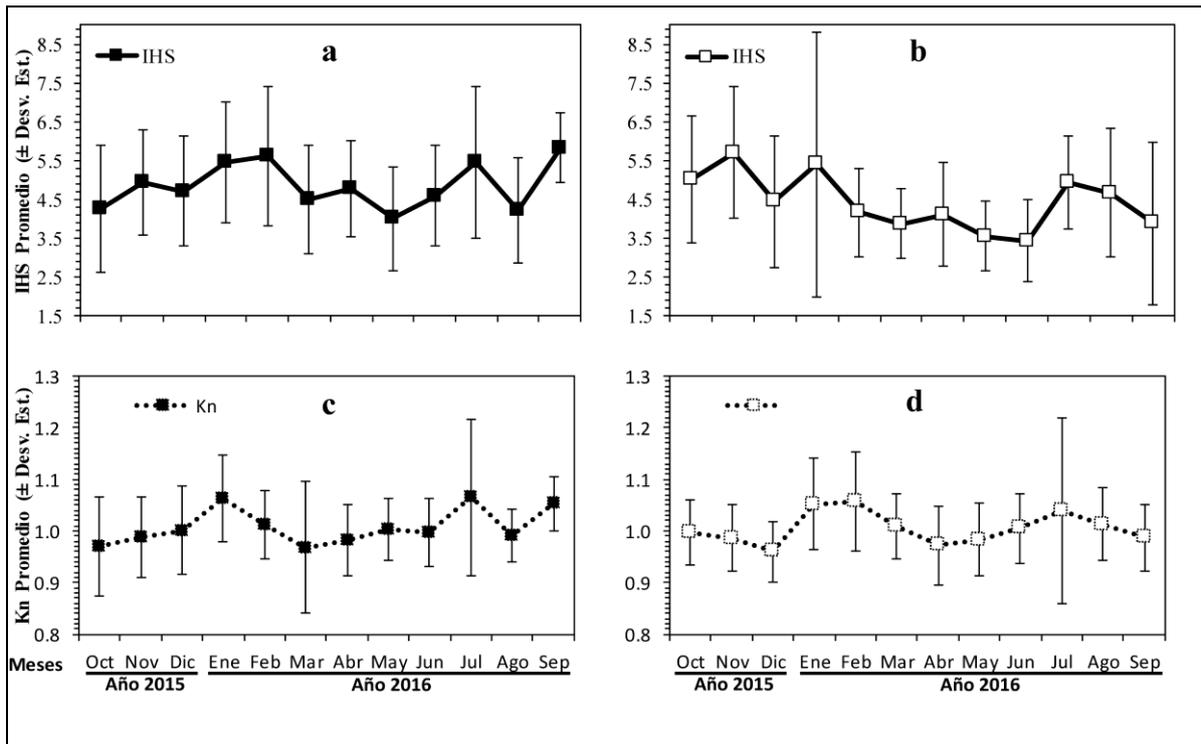
**Figura 4.** Promedios del IGS con intervalos de Bonferroni para las hembras y machos de *S. nephelus*.

**Cuadro 2.** Proporción sexual mensual de *Sphoeroides nephelus*. El valor de significancia de la prueba  $\chi^2$  fue ajustado (p-valor = 0.0042) con el método de Bonferroni ( $\alpha/k$ ) para identificar las diferencias significativas entre las proporciones para cada uno de los meses.

Mes	Hembras	Machos	Proporción H:M	$\chi^2$ (p-valor)
Octubre	9	21	1:2.3	4.80 (0.0285)
Noviembre	10	20	1:2	3.33 (0.0679)
Diciembre	16	19	1:1.2	0.25 (0.6121)
Enero	22	15	1.5:1	1.32 (0.2498)
Febrero	16	21	1:1.3	0.68 (0.4111)
Marzo	20	13	1.5:1	1.48 (0.2230)
Abril	20	13	1.5:1	1.48 (0.2230)
Mayo	19	18	1.1:1	0.03 (0.8694)
Junio	19	15	1.3:1	0.47 (0.4927)
Julio	12	23	1:1.9	3.46 (0.0630)
Agosto	19	22	1:1.6	0.22 (0.6394)
Septiembre	7	23	1:3.3	8.53 (0.0035)

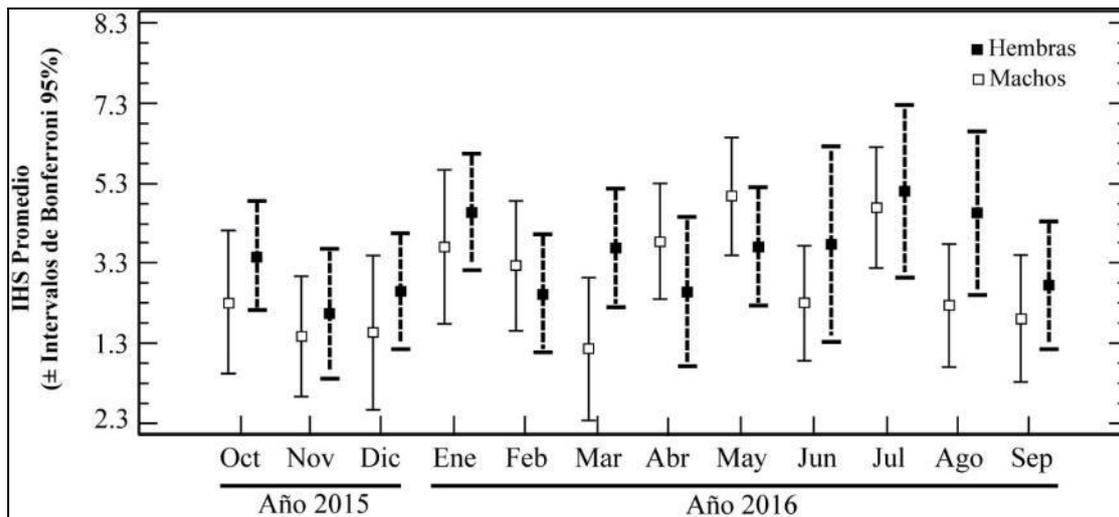
### Índices de condición

No hubo correlación significativa entre el IGS y el IHS en las hembras ( $R=0.09$ , p-valor=0.2146), no obstante, en los machos, aunque fue significativa la correlación entre estas variables, es relativamente débil ( $R=0.26$ , p-valor=0.0001). Algo similar fue observado entre el IGS y Kn, aunque no fue significativa la correlación entre las variables para las hembras ( $R=0.0880$ , p-valor=0.2286), sí lo fue para los machos ( $R=0.1686$ , p-valor=0.0118). Por otro lado, se encontró una correlación significativa entre el IHS y el Kn tanto para hembras ( $R=0.15$ , p-valor=0.0293) como para machos ( $R=0.19$ , p-valor=0.0041).



**Figura 5.** Promedios mensuales del índice hepatosomático (IHS) para hembras (a) y machos (b). Promedios mensuales del factor de condición (Kn) para hembras (c) y machos (d).

Respecto al IHS de *S. nephelus*, en ambos sexos se observó que después de los meses de mayor actividad reproductiva (febrero a marzo) sus valores disminuyeron considerablemente, y posteriormente estos se recuperaron durante los meses de inactividad reproductiva (junio y julio) (**Figura 5 a-b**). Cabe destacar que la variación estacional del IHS únicamente resultó ser significativa en machos ( $F=3.83$ ,  $p\text{-valor}<0.0001$ ) pero no así en hembras ( $F=1.83$ ,  $p\text{-valor}<0.0522$ ) (**Figura 6**). En relación con la variación del IHS con las fases de desarrollo gonádico, se observaron valores significativamente mayores en aquellas hembras capaces de desovar (**Cuadro 2**).



**Figura 6.** Promedios del IHS con intervalos de Bonferroni para las hembras y machos de *S. nephelus*.

Aunque un patrón similar se observó en la variación mensual de los valores promedio de condición (Kn), disminuyendo considerablemente después de la época de mayor actividad reproductiva (**Figura 5 c-d**), resultó no ser significativa en hembras ( $F=1.83$ ,  $p\text{-valor}<0.0522$ ) pero sí en machos ( $F=2.81$ ,  $p\text{-valor}<0.0019$ ). En relación a las fases de desarrollo gonádico no se observaron diferencias significativas en el Kn en ninguno de los dos sexos (**Cuadro 2**).

**Cuadro 3.** Media ( $\pm$  desviación estándar) del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y factor de Le Creen (Kn) para hembras y machos de *S. nephelus* por fase de desarrollo. Dentro de los renglones, los valores que no muestran la misma letra son significativamente diferentes.

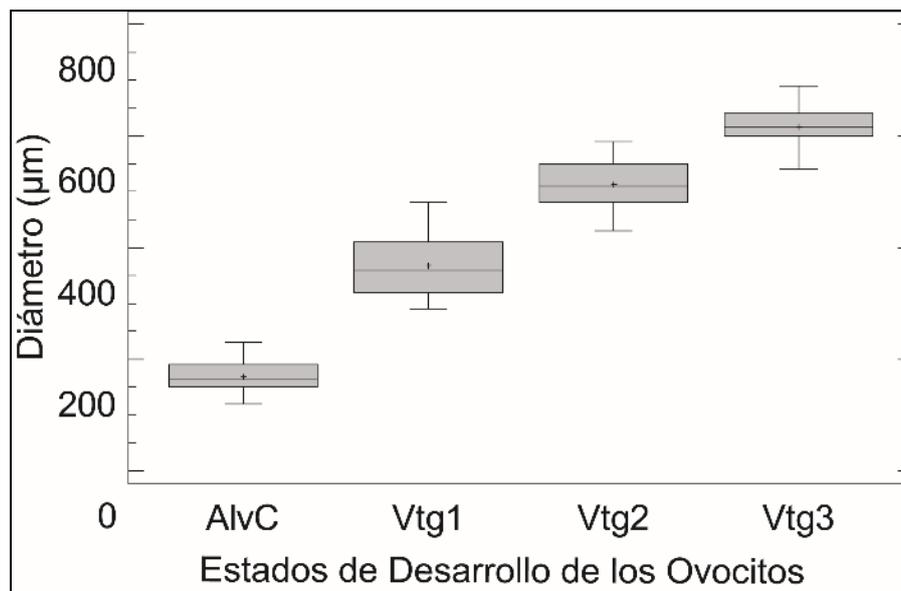
Sexo/Índice	Desarrollo	Capaz de desovar	Regresión	Regeneración
Hembras/IGS	1.31 $\pm$ 1.67 (a)	6.12 $\pm$ 3.61 (b)	1.92 $\pm$ 1.10 (a)	0.88 $\pm$ 0.35 (a)
Machos/IGS	0.42 $\pm$ 0.49 (a)	1.61 $\pm$ 0.96 (b)	0.60 $\pm$ 0.45 (a)	0.52 $\pm$ 0.42 (a)
Hembras/IHS	4.79 $\pm$ 1.69 (b)	5.23 $\pm$ 1.35 (c)	4.38 $\pm$ 2.23 (b)	4.16 $\pm$ 1.49 (a)
Machos/IHS	3.85 $\pm$ 1.46 (a)	4.83 $\pm$ 2.23 (a)	4.20 $\pm$ 1.52 (a)	4.50 $\pm$ 1.45 (a)
Hembras/Kn	1.00 $\pm$ 0.09 (a)	0.99 $\pm$ 0.09 (a)	0.99 $\pm$ 0.07 (a)	1.01 $\pm$ 0.09 (a)
Machos/Kn	0.98 $\pm$ 0.10 (a)	1.01 $\pm$ 0.07 (a)	0.99 $\pm$ 0.07 (a)	1.00 $\pm$ 0.10 (a)

## Fecundidad

La fecundidad se estimó únicamente con 24 hembras que mostraron signos de desarrollo gonadal avanzado (presencia de ovocitos vitelogénicos 2-3) y con un lote unimodal diferenciado del reservorio de ovocitos previtelogénicos. El rango de las hembras con las que

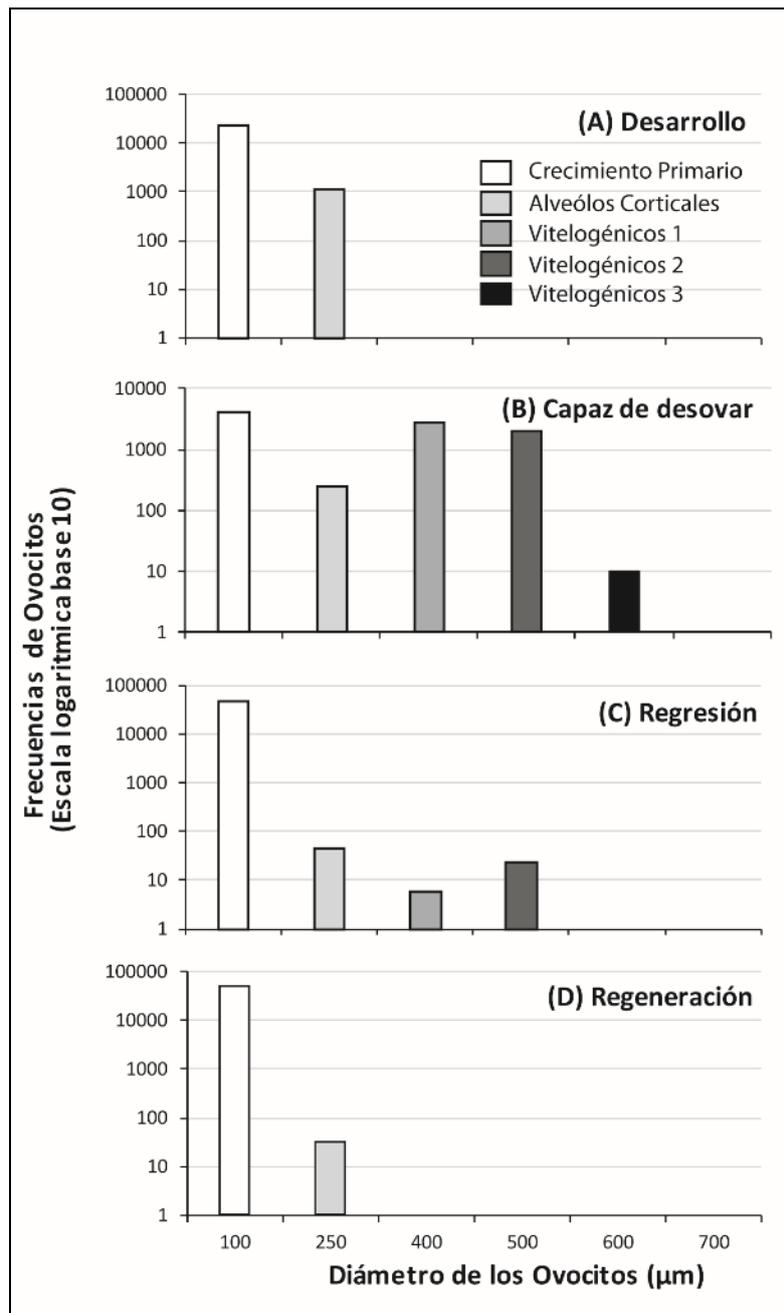
se estimó la fecundidad parcial fue desde 16.4 hasta 29.8 cm LT, y en relación al peso desde 74.4 hasta 393 g PE.

El rango de los diámetros de los ovocitos en diferentes fases de desarrollo fueron los siguientes: alveólos corticales (AlvC, 120-230  $\mu\text{m}$ ), vitelogénico 1 (Vtg1, 290-480  $\mu\text{m}$ ), vitelogénico 2 (Vtg2, 430-590  $\mu\text{m}$ ) y vitelogénico 3 (Vtg3, 540-690  $\mu\text{m}$ ) (**Figura 7**).



**Figura 7.** Distribución de los diámetros ( $\mu\text{m}$ ) de los ovocitos en diferentes estados de desarrollo: = Alveolos corticales (AlvC), Vitelogénicos (Vtg) 1, 2 y 3 de *S. nephelus*.

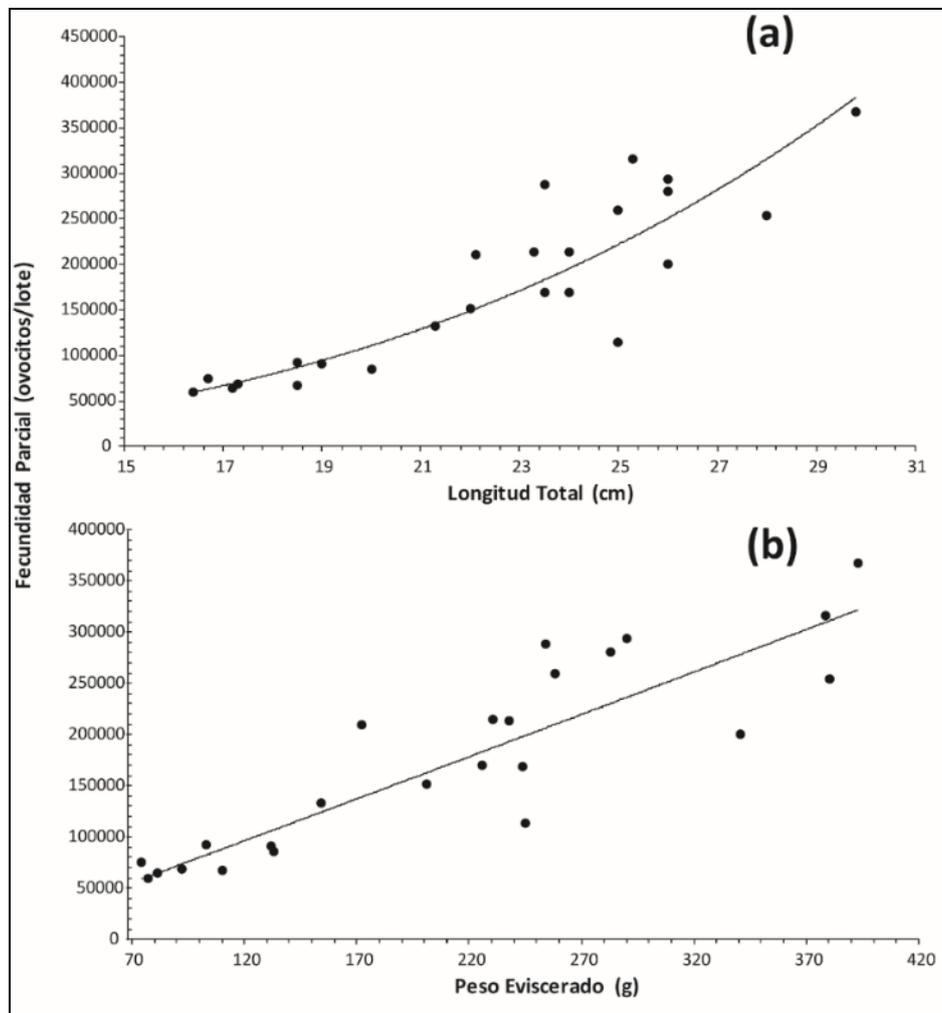
La presencia de ovocitos en diferentes fases de desarrollo (desde alveolos corticales hasta Vitelogénicos 3) en plena época de puesta (**Figura 8 a-d**), junto con la presencia de atresia masiva en la fase de regresión, sugiere un tipo de desarrollo asincrónico de los ovocitos y fecundidad indeterminada.



**Figura 8.** Frecuencia de los ovocitos durante las distintas fases de desarrollo reportadas en el estudio para *S. nephelus* de acuerdo con el diámetro de los ovocitos ( $\mu\text{m}$ ). Cada uno de los gráficos representa la distribución de frecuencias por diámetros de una hembra de 26 cm LT en diferentes fases de desarrollo gonadal (Desarrollo, Capaz de Desovar, Regresión y Regeneración).

La fecundidad parcial ( $F_p$ ) se ajustó significativamente ( $R^2=0.85$ ) al modelo de regresión potencial ( $y=ax^b$ ) tanto con la longitud total y como con el peso eviscerado de cada una de las hembras analizadas. El modelo resultante para la talla fue  $F_p=9.8113(LT^{3.1147})$

( $R^2=0.8509$ ;  $n=24$ ; **Figura 9 a**) y para el peso fue  $Fp=738.75(PE^{1.0172})$  ( $R^2=0.8407$ ;  $n=24$  **Figura 9 b**). Por otro lado, la fecundidad parcial relativa promedio ( $F_{pR}$ ) en el caso de la relación con el peso eviscerado (PE) fue de  $828\pm 182$  ovocitos/g PE, mientras que para el peso de la gónada (PG) fue de  $11989\pm 4774$  ovocitos/g PG.



**Figura 9.** Estimación de la relación de la fecundidad parcial con la longitud total (a) y el peso eviscerado (b). El modelo ajustado para la talla fue  $Fp = 9.8113*(LT^{3.1147})$  ( $R^2=0.8509$ ;  $n=24$ ) y para el peso fue  $Fp = 738.75*(PE^{1.0172})$  ( $R^2=0.8407$ ;  $n=24$ ).

## DISCUSIÓN

El presente trabajo, representa el primer estudio de la biología reproductiva de *Sphoeroides nephelus* para la costa norte de la península de Yucatán. De las cinco fases de desarrollo gonádico propuesta por Brown-Peterson et al. (2011), la fase inmadura fue la única

que no se observó en los especímenes colectados de *S. nephelus* en Yucatán. Sin embargo si se observó un ejemplar macho de 14.2 cm LT que fue catalogado como inactivo. Cabe mencionar que se encontraron individuos de tallas menores ya maduros, como una hembra de 12.9 cm LT y un macho de 13.1 cm LT, ambos en la fase de desarrollo, lo que indicaría que estos ejemplares hubieran podido continuar la maduración de sus gametos y realizar la puesta en el aquel ciclo reproductivo de no haber sido capturados (Lowerre-Barbieri, 2011).

Debido a la ausencia de especímenes inmaduros no se pudo calcular la talla media de primera madurez ( $L_{50}$ ). Esto pudo deberse a que los individuos muestreados presentaron un rango de talla relativamente pequeño (12.9-29.8 cm LT), quizá por el efecto del arte de pesca utilizado que no permitió la captura de organismos de menores tallas, o también pudo deberse a la exclusión de sitios de muestreos en sistemas lagunares costeros, ya que otros estudios han observado especímenes de tallas menores de *S. nephelus* (3-8 cm) dentro de los sistemas lagunares costeros (Mallard-Colmenero 1982, Palacios-Sánchez y Vega-Cendejas 2010).

El hecho de que el espécimen más pequeño (12.9 cm LT) recolectado en el presente estudio mostró características gonádicas de madurez sexual, sugiere que la  $L_{50}$  de *S. nephelus* para la costa norte de Yucatán se encontraría por debajo de dicha talla. Esto concuerda con el trabajo de Mallard-Colmenero (1982), quien encontró que los organismos de *S. nephelus* de la Laguna de Términos en Campeche alcanzan la madurez después de los 10 cm LT. Otras investigaciones refuerzan este hecho al señalar que las tallas medias de primera madurez de especies del mismo género también se encuentran por debajo de los 12.9 cm LT (este estudio). Por ejemplo, la  $L_{50}$  ha sido estimada para *S. greeleyi* en 7.2 cm LT (Schultz et al. 2002) y para *S. testudineus* en 10.8 cm LT en Paraná, Brasil (Rocha et al. 2002) y en 12.5 cm LT en la Laguna de la Carbonera, Yucatán, México (Mallard-Colmenero 1982).

No se encontraron diferencias significativas en la proporción sexual general, ni en la proporción sexual mensual, ni en la proporción sexual entre las clases de talla (intervalos de 1 cm de LT). Estos resultados difieren de los reportados para otras especies del mismo género, ya que se observa una proporción diferente (más machos que hembras o viceversa) durante los períodos reproductivos o durante los picos reproductivos. Tal es el caso de *S. annulatus* (Sánchez-Cárdenaz et al. 2007), *S. greeleyi* (Schultz et al. 2002), *S. testudineus* (Rocha et al. 2002) y *S. maculatus* (Laroche y Davis 1973, Marriner y Laroche 1977).

De acuerdo con el ciclo reproductivo, *S. nephelus* en Yucatán presenta un solo periodo reproductivo continuo que va de agosto a mayo, con un pico de desove que se encuentra entre febrero y marzo para ambos sexos, mientras que el período de inactividad reproductiva abarca junio y julio. En cuanto a las hembras, el período de inactividad incluye además mayo. Cabe

mencionar que esta es la primera descripción parcial (no se encontraron inmaduros) del ciclo reproductivos de *S. nephelus*; sin embargo estudios similares se han desarrollado en otras especies del mismo género, como: *S. testudineus* de la costa de Yucatán, México cuya temporada de reproducción para las hembras abarca de junio a enero, con un pico de desove localizado en octubre y noviembre (Tzeek-Tuz 2013) en tanto que, *S. annulatus* de la bahía de Mazatlán, México presenta dos período reproductivos (de abril a agosto y de octubre a noviembre); y con picos de desove en mayo para hembras y de abril a mayo para machos. A pesar de ser especies del mismo género, la variabilidad en los meses del periodo reproductivo y pico de desove de cada especie está completamente regida por las características específicas de la especie y de las condiciones del medio de estudio (Sánchez 2007)

En los ejemplares de *S. nephelus* de Chuburná, Yucatán no hubo correlación significativa entre el IGS y el IHS en las hembras, no obstante, en los machos, aunque fue significativa la correlación entre estas variables fue poco significativa. El Kn tampoco mostró variaciones estacionales significativas, lo cual hace referencia a que las reservas energéticas tampoco se almacenan como grasa corporal previas o durante la reproducción. Esto coincide con los estudios reproductivos realizados en otras especies de *Sphoeroides*, por ejemplo, en *S. testudineus* no se encontró relación entre el IHS, Kn y el IGS; así como también para *S. annulatus*, en la cual no se observó relaciones significativas entre el IGS y el Kn; esta falta de correlación podría indicar que los organismos utilizan la mayor parte de esa energía obtenida de la alimentación inmediata y constante en sus gastos metabólico reproductivo. Con relación a este proceso Drent y Deen (1980) propusieron dos términos con respecto al consumo de energía previo a la reproducción: “reproductor capital” (“capital breeder”) y “reproductor consumidor” (“income breeder”). Posteriormente, Thomas (1988), señala que los individuos que son “reproductores capitales” acumulan las reservas de nutrientes en el cuerpo y órganos de las hembras antes de la puesta y los utilizan únicamente para el desarrollo de los ovocitos para la puesta, mientras que los “reproductores consumidores” ingieren sus alimentos e inmediatamente desvían una fracción a la formación de los huevos sin gran dependencia de las reservas almacenadas. Dicho esto, podemos suponer que *S. nephelus* podría ser una especie catalogada como “reproductor consumidor” ya que los resultados obtenidos en el presente estudio indican que no acumulan grandes reservas en ningún órgano del cuerpo ni en la condición corporal, sino que, por el contrario, siguen alimentándose en todas las fases de desarrollo gonadal.

En cuanto a la fecundidad se observó que los ovocitos de las gónadas de *S. nephelus* presentan desarrollo asincrónico, así como también una fecundidad indeterminada, lo cual

resultó similar a lo reportado por Schultz et al. (2002) y Rocha et al. (2002) para *S. greeleyi* y *S. testudineus* respectivamente. La fecundidad parcial relativa promedio ( $F_{PR}$ ) en relación con el peso eviscerado, para *S. nephelus* en Chuburná Puerto fue de  $828 \pm 182$  ovocitos/g PE, mientras que para el peso de la gónada fue de  $11989 \pm 4774$  ovocitos/g PG. Los resultados obtenidos para *S. nephelus* son similares a los que obtuvieron Marriner y Laroche (1977) con *S. maculatus*, el cual presentó una fecundidad parcial relativa promedio de 751 ovocitos/g de peso eviscerado, sin embargo, la fecundidad parcial relativa por gramo de gónada resultó ser mucho menor a la encontrada en el presente trabajo (5204 ovocitos/g de peso de la gónada).

Debido a que no se pudo estimar la talla a la cual el 50% de la población ha alcanzado la madurez sexual ( $L_{50}$ ) y a que el motivo pudo ser el arte de pesca empleada, se recomienda, para estudios futuros, emplear artes de pesca que capturen organismos de menor talla, como las redes de arrastre. También se recomienda que los sitios de muestreo incluyan lagunas costeras y zonas aledañas someras, en donde se haya observado la presencia de pastos marinos ya que se ha reportado en otros estudios que los juveniles de *S. nephelus* utilizan estos sitios como refugio (Mallard-Colmenero 1982, Palacios-Sánchez y Vega Cendejas 2010).

En conclusión, se pudo observar que *S. nephelus* en Chuburná Puerto, Yucatán se reproduce de agosto a abril (hembras) y de agosto a mayo (machos), con un pico reproductivo en febrero y marzo, con un periodo de inactividad de mayo a julio. La proporción sexual se mantuvo 1:1 en todos los meses y rangos de tallas, además de que el desarrollo de los ovocitos fue asincrónico. Lo anterior, permite establecer que la fecundidad de *S. nephelus* es indeterminada, con múltiples desoves a lo largo del mismo período reproductivo anual, teniendo una fecundidad parcial relativa promedió de  $828 \pm 182$  ovocitos/g PE y de  $11989 \pm 4774$  ovocitos/g PG. Esta información es la base de futuros estudios comparativos o bien, para fines de conocer si *S. nephelus* pudiera reproducirse en condiciones de cultivo como en el caso de *S. annulatus* y poder ser aprovechada en un futuro.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la M. en C. Madeleine Arjona Torres por su apoyo en el laboratorio de Patología del CCBA para procesar las muestras. Al Dr. Harold Hernández Villegas por su apoyo en la revisión de muestras histológicas. Al Dr. Dawrin Pech Puch, al M. en C. Antonio González Mapen, a la M. en C. Fanny C. Sánchez Cámara, a Daniel Catzín Pech (QEPD) y Andrea Marina Sánchez López, por su apoyo en la colecta y procesamiento de las muestras.

## REFERENCIAS

- Abbott J., Flewelling L., Landsberg J. 2009. Saxitoxin monitoring in three species of Florida puffer fish. *Harmful Algae*. 8: 343-348.
- Abdo de la Parra M., Rodríguez-Ibarra L., García-Aguilar N., Velasco-Blanco G., Ibarra-Castro L. 2013. Biotecnología para la producción masiva de juveniles del botete diana *Sphoeroides annulatus*: inducción hormonal y cultivo larvario. *Rev. Biol. Mar. Oceano*. 48(3): 409-420.
- Arreguín-Sánchez F, Arcos-Huitrón, E. 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiol*. 21(3):431-462.
- Arreguín-Sánchez F, Beléndez-Moreno L., Gómez-Humarán I., Solana-Sansores R., Rangel-Dávalos. 2006. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Instituto Nacional de la Pesca. Benito Juárez, México DF, 560 pp.
- Balon E. 1990. Epigenesis of an epigeneticist: the development of some alternative concepts on the early ontogeny and evolution of fishes. *Guelph. Ichthyol. Rev.* 1:1-42.
- Blackwell B., Brown M., Willis D. 2000. Relative weight (Wr) status and current use in fisheries assessment and management. *Rev. Fish. Sci.* 8:1-44.
- Brown-Peterson N., Wyanski D., Saborido-Rey F., Macewicz B., Lowerre-Barbieri S. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes, marine and coastal fisheries: dynamics, management and ecosystem science. *Mar. Coast. Fish.* 3: 52-70.
- DOF. 2012. Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera, 24 de agosto de 2012.
- Drent R., Deen S. 1980. The prudent parent: energetic adjustments in avian breeding. *Ardea*. 68:225-252.
- Granado C. 1996. *Ecología de Peces*. Mac-Graw Hill, Bogotá, Colombia, 200 pp.
- Harvey B., Hoar W. 1980. *Teoría y práctica de la reproducción inducida en peces*. CIID, Bogotá, Colombia, 48 pp.
- Hunter J., Macewicz B., Kimbrell C. 1989. Fecundity and other aspects of the reproduction of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in Central California waters. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.* 30: 61-72.
- Hunter J., Macewicz B. 1985. Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. En: Lasker R. (eds). *An egg production method for estimating spawning*

- biomass of pelagic fish: Application to the Northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. 36: 79-93.
- Kraus G., Muller A., Trella K., Koster W. 2000. Fecundity of Baltic cod temporal and spatial variation. J. Fish. Biol. 30: 225-235.
- Laroche J., Davis J. 1973. Age, growth and reproduction of the northern puffer *Sphoeroides maculatus*. Fish. Bull. 71: 955-963.
- Leal S. A., Cabrera M. A., Salas S. 2009. Caracterización de la fauna incidental en la pesquería artesanal de camarón en la laguna de Chabihau, Yucatán, México. Proceeding of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 61: 163-172.
- Lowerre-Barbieri S., Brown-Peterson N., Murua H., Tomkiewicz J., Wyanski D., Saborido-Rey F. 2011. Emerging issues and methodological advances in fisheries reproductive biology. Mar. Coast. Fish. 3:32-51.
- Mallard-Colmenero L., Yáñez-Arancibia A., Amezcua-Linares F. 1982. Taxonomía, diversidad, distribución y abundancia de los tetraodontidos de la Laguna de Términos, sur del Golfo de México (Pisces: Tetraodontidae). An. Inst. Cienc. Mar. Limnol. Univ. Nac. Auton. Mex. 9:161-212.
- Merriner J., Laroche J. 1977. Fecundity of the northern puffer, *Sphoeroides maculatus*, from Chesapeake Bay. Chesapeake Science. 18: 81-83.
- Murua H., Kraus G., Saborido-Rey F., Witthames P., Thorsen A., Junquera S. 2003. Procedures to estimate fecundity of marine fish species in relation to their reproductive strategy. J. Northwest. Atl. Fish. Sci. 33:33-54.
- Ordoñez-López U., Huchin-Sel R., Peniche-Pérez J., Gallegos-Fernández S., Sosa-Pinto R., Vásquez-Yeomans L. 2013. Variación temporal del ictioplancton colectado con trampas de luz en los puertos de Chuburná y Yucalpetén, Yucatán, México. Hidrobiol. 23:265-273.
- Palacios-Sánchez E., Vega-Cendejas M. 2010. Cambios alimenticios en tres especies de *Sphoeroides* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) posterior al huracán Isidoro en Bocana de la Carbonera, Sureste del Golfo de México. Rev. Biol. Trop. 58:1223-1235.
- Poot-Salazar A., Pérez-Castañeda R., Vega-Cendejas M. E., Defeo O. 2009. Assessing patterns of ichthyofauna discarded by an artisanal shrimp fishery through selectivity experiments in a coastal lagoon. Fisheries Research. 97: 155-162.
- Ronnie M., Verdon R. 2008. Development and evaluation of condition indices for the lake. N. Am. J. Fish. Manag. 28:1270–1293

- Rocha C., Favaro L., Spach H. 2002. Biología reproductiva de *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus) (Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae) da gamboa do Baguaçu, Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. Ver. Bras. Zool. 19:57-63.
- Saborido F. (2008). Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Instituto de Investigaciones Marinas, Univ. de Vigo, España, 71 pp.
- Salas S., Cheunpagdee R., Charles A., Seijo J. 2011. Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean. FAO Fish. Tech. Pap. No. 544, Roma, 430 pp.
- Sánchez R. 2007. Estrategia reproductiva de *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontidae) en la costa de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de M., CICIMAR IPN La Paz Baja California Sur, 82 pp.
- Sánchez-Cárdenas R., Ceballos-Vázquez B., Arellano-Martínez M., Valdez-Pineda M., Morán-Angulo R. 2007. Reproductive aspects of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) inhabiting the Mazatlan coast, Sinaloa, Mexico. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 42:385-392
- Santos R., Hawkins S., Nash R. 1996. Reproductive phenology of the Azorean rock pool blenny a fish alternative mating tactics. J. Fish. Biol. 48:842-858.
- Schultz Y., Favaro L., Spach H. 2002. Reproductive aspects of *Sphoeroides greeleyi* (Gilbert) Tetraodontidae, from Gamboa Do Baguacu, State of Parana, Brazil. Rev. Bras. Zool. 19:65-76.
- Shipp R., Yerger R. 1969. Status, characters, and distribution of the Northern and Southern Puffers of the genus *Sphoeroides*. Copeia. 1969(3): 425-433.
- Thomas V. 1988. Body condition, ovarian hierarchies, and their relation to egg formation in Anseriform and Galliform species En: Quillet H. (eds), Acta XIX Congressus Internationalis Ornithologici. National Musseum of Natural Science, Ottawa, Ontario, Canada, 353-363 pp.
- Tzeek-Tuz J. 2013. Biología de la reproducción de *Strongylura notata* y *Sphoeroides testudineus*, de la laguna "La Carbonera" en Sisal, Yucatán. Tesis de Maestria, UNAM México, D. F. 133 pp.
- Valdéz-Pineda M., Morán-Angulo R., Voltolina D., Castillo-Vargasmachuca S. 2014. Population structure and reproductive aspects of puffer fish *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Osteichthyes: Tetraodontidae), landed in Tecapán, Sinaloa, México. Lat. Am. J. Aquat. Res. 42: 121-126.

- Villacorta-Correa C., Saint-Paul U. 1999. Structural indexes and sexual maturity of tambaqui *Colossoma macropanum* (Cuvier, 1818) (Characiformes: Characidae) in central Amazone, Brasil. Rev. Bras. Zool. 259:637-652.
- Villegas-Hernández H., Muñoz M., Lloret J. 2014. Life-history traits of temperate and thermophilic barracudas (Teleostei: Sphyraenidae) in the context of sea warming in the Mediterranean Sea. J. Fish. Biol 84: 1940-1957.
- Withames P., Greer Walker M. 1987. An automated method for counting and sizing fish eggs. J. Fish. Biol. 30: 225-235.
- Zanuy S., Carrillo M. 1987. La reproducción de los teleósteos y su aplicación en la acuicultura. Reproducción en Acuicultura. CAICYT Madrid, España. 1: 1-102.
- Zar, J. 1999. Bioestatistical analysis. Prentice Hall. New Jersey, USA. 929 pp.