



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**ESTRATEGIA REPRODUCTIVA DE**  
***Sphoeroides annulatus* (JENYNS, 1842)**  
**(TETRAODONTIDAE) EN LA COSTA DE**  
**MAZATLÁN, SINALOA, MÉXICO**

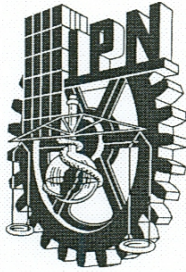
**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**EN**  
**MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA**

**REBECA SÁNCHEZ CÁRDENAS**

**LA PAZ, B.C.S., MAYO DE 2007**



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

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 23 del mes Mayo del año 2007, el (la) que suscribe REBECA SÁNCHEZ CÁRDENAS alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B051199 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ y DR. MARCIAL ARELLANO y cede los derechos del trabajo titulado:  
MARTÍNEZ

“ESTRATEGIA REPRODUCTIVA DE *Spherooides annulatus* (JENYNS, 1842)

(TETRAODONTIDAE) EN LA COSTA DE MAZATLÁN, SINALOA, MÉXICO”

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: rsanchezc0500@ipn.mx bceballo@ipn.mx marellam@ipn.mx

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

  
REBECA SÁNCHEZ CÁRDENAS

*nombre y firma*



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
*ACTA DE REVISION DE TESIS*

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 18 del mes de Mayo del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"ESTRATEGIA REPRODUCTIVA DE *Spherooides annulatus* (JENYNS, 1842)  
(TETRAODONTIDAE) EN LA COSTA DE MAZATLÁN, SINALOA, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

**SÁNCHEZ**  
Apellido paterno

**CÁRDENAS**  
materno

**REBECA**  
nombre(s)

Con registro: 

B	0	5	1	1	9	9
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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

**LA COMISION REVISORA**

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

\_\_\_\_\_  
DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

PRESIDENTE

\_\_\_\_\_  
DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ

SECRETARIO

\_\_\_\_\_  
DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA CÁRDENAS

SEGUNDO VOCAL

\_\_\_\_\_  
DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ  
2º. Director

TERCER VOCAL

\_\_\_\_\_  
M.C. MARCIAL TRINIDAD VILLALEJO FUERTE

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

\_\_\_\_\_  
DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE

L. P. N.  
CICIMAR  
DIRECCION

*Dedicado cariñosamente a:*

*Mi madre:*

*Carmen*

*Mi padre:*

*Carlos*

*Mis hermanos:*

*Karina, Karla y Carlos Alfonso*

*Mi sobrina:*

*Anirak*

*γ*

*Al amor de mi vida:*

*Luis Antonio*

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional que a través del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas hizo posible mis estudios de maestría.

A la Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez y al Dr. Marcial Arellano Martínez por la dirección de tesis y el invaluable apoyo que me han brindado. Asimismo, a los proyectos SIP: 20050987, 20060840, 20070215 y 20070360.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI-IPN) y a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del Instituto Politécnico Nacional (COFFA-IPN), por los estímulos económicos.

Al M. en C. Ramón Enrique Moran Angulo por facilitarme un espacio en Laboratorio de Ecología de Pesquerías de la Facultad de Ciencias de Mar durante los muestreos. Igualmente, al PhD Domenico Voltolina Lobina que desinteresadamente me proporcionó un espacio en su ultracongelador donde conservé parte de las muestras, así como su disponibilidad para resolver mis dudas.

A los pescadores de Playa Norte, la M. en C. María Candelaria Valdez Pineda, mi gran amiga Biol. Acuacultor Amir Inzunza Rojas, mi primo Biol. Pesq. José Manuel Sánchez Canizáles y mis compañeros Víctor Ríos y Abel Sánchez, por su incondicional colaboración y compañerismo durante los muestreos.

Al Sr. Fidel Camacho y al M. en C. Jorge Rocha por el apoyo técnico durante el proceso histológico de las muestras. Al M. en C. Roberto Hernández Herrera por su paciente asesoría y total apoyo durante los análisis bioquímicos.

Al M. en C. Marcial Villalejo Fuerte, al Dr. Federico Andrés García Domínguez y al Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas, por las revisiones y sugerencias a la presente.

A mi padre por ayudarme a volar y a mis hermanos les pido perdón por haberles dejado en momentos tan difíciles.

A mi amor Luis Antonio Salcido Guevara por acompañarme y apoyarme incondicionalmente durante el transcurso de mis estudios.

A mi madre, abuelos, tíos, primos y amigos de antaño por darme siempre sus mejores deseos.

A mi gran amiga Mariana Rodríguez Trejo por estar en las buenas y en las malas. A todos mis amigos y compañeros: Shelley Salcedo y Gil, Arturo Nava y Rosa, Juan Manuel Martínez, Natalia (Dañada), Azucena, Liliana Hernández y Oscar, Ricardo Díaz, Marcela Zuñiga, Dana Arizmendi, Humberto Ceseña, Bere, Nico, Cota, Jazmín, Carmen, Vanessa y Yassir, Valdo, Sandra, Susy, Malva, Margarita, Itzel García, Christian, Trini, Jeanneht, etc. Y a Yngwie por hacer la diferencia.

## PREFACIO

A partir de la presente tesis se derivaron los siguientes trabajos:

### **Ponencias (ver anexo):**

Sánchez-Cárdenas, R., B.P. Ceballos-Vázquez, M. Arellano-Martínez, M.C. Valdez-Pineda & R.E. Moran-Angulo. 2005. Aspectos reproductivos del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Pisces: Tetraodontidae), en la costa de Mazatlán, Sinaloa, México. X Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés, A.C. y IV Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Del 25 al 28 de octubre, Mazatlán, Sinaloa, México.

Sánchez-Cárdenas, R., B.P. Ceballos-Vázquez & M. Arellano-Martínez. 2006. Época de desove del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) y su relación con factores abióticos, en la costa de Mazatlán, Sinaloa, México. X Congreso Nacional de Ictiología. Del 23 al 27 de octubre, Querétaro, Querétaro, México.

Sánchez-Cárdenas, R., R. Díaz-Guevara, B.P. Ceballos-Vázquez, M. Arellano-Martínez, M.C. Valdez-Pineda & R.E. Moran-Angulo. 2007. Comparación del patrón reproductivo del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Tetraodontidae) en dos localidades del Golfo del California. XI Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés y V Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Del 24 al 27 de abril, Hermosillo, Sonora, México.

Sánchez-Cárdenas, R., B.P. Ceballos-Vázquez & M. Arellano-Martínez. 2007. Composición bioquímica en hembras de *Sphoeroides annulatus* y su relación con la reproducción. XI Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés y V Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Del 24 al 27 de abril, Hermosillo, Sonora, México.

### **Artículos (ver anexo):**

Sánchez-Cárdenas, R., B.P. Ceballos-Vázquez, M. Arellano-Martínez, M.C. Valdez-Pineda & R.E. Morán-Angulo. Reproductive aspects of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) inhabiting the Mazatlán coast, Sinaloa, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Sometido.

Sánchez-Cárdenas, R., B.P. Ceballos-Vázquez & M. Arellano-Martínez. Gametogenesis and sexual maturation in *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontidae). En preparación.

Sánchez-Cárdenas, R., B.P. Ceballos-Vázquez, M. Arellano-Martínez & M.C. Valdez-Pineda. Variability in the biochemical composition related with the oogenesis of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontidae). En preparación.

## ÍNDICE

	Página
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
2.1 ASPECTOS GENERALES .....	2
2.1.1 Características generales de la especie .....	2
2.1.2 Distribución y hábitat .....	4
2.2 ALIMENTACIÓN .....	5
2.3 CRECIMIENTO .....	6
2.4 REPRODUCCIÓN .....	6
2.5 ASPECTOS PESQUEROS .....	8
2.6 AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE CULTIVO .....	9
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	<b>13</b>
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
5.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
5.1.1 Objetivos Específicos .....	13
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
6.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	14
6.2 MUESTREO .....	15
6.2.1 Organismos .....	15
6.2.2 Variables ambientales .....	15
6.3 ACTIVIDAD REPRODUCTIVA .....	15
6.3.1 Análisis histológico .....	15

	Página
6.3.2 Índices morfofisiológicos .....	17
6.3.3 Fases de crecimiento de los ovocitos .....	18
6.3.4 Diámetro promedio de los ovocitos .....	18
6.3.5 Fases de desarrollo gonádico .....	19
6.3.6 Ciclo reproductivo y época de reproducción .....	19
6.3.7 Incidencia de los desoves .....	20
6.3.8 Talla de primera madurez .....	20
6.4 CICLO DE ALMACENAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES ...	21
6.4.1 Análisis bioquímicos .....	21
6.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	23
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
7.1 ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA .....	24
7.1.1 Estructura gonádica .....	24
7.1.2 Desarrollo ovárico .....	24
7.1.2.1 Fases de crecimiento de los ovocitos .....	25
7.1.2.2 Fases de desarrollo ovárico .....	26
7.1.3 Fases de desarrollo testicular .....	29
7.1.4 Ciclo reproductivo .....	31
7.1.4.1 Ciclo ovárico .....	32
7.1.4.2 Variación temporal del diámetro de los ovocitos .....	33
7.1.4.3 Índices morfofisiológicos .....	33
7.1.4.3.1 Variación de los índices morfofisiológicos por fase de desarrollo gonádico .....	33
7.1.4.3.2 Variación temporal de los índices morfofisiológicos y su relación con variables ambientales .....	35
7.1.4.4 Época de reproducción y su relación con variables ambientales	39
7.1.4.5 Incidencia de desoves y su relación con variables ambientales	40
7.1.5 Talla de primera madurez .....	42
7.2 CICLO DE ALMACENAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES ...	43



	Página
7.2.1 Índices morfofisiológicos .....	43
7.2.2 Fases de desarrollo ovárico .....	45
7.2.3 Composición bioquímica de los tejidos .....	46
7.2.3.1 Proteínas .....	46
7.2.3.2 Carbohidratos .....	48
7.2.3.3 Lípidos .....	50
7.2.3.4 Humedad relativa de los tejidos .....	52
7.2.3.5 Correlación entre los nutrientes .....	54
<b>8. DISCUSIÓN .....</b>	<b>55</b>
8.1 REPRODUCCIÓN .....	55
8.2 ALMACENAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES .....	63
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>69</b>
<b>11. ANEXO (Productos de la tesis) .....</b>	<b>80</b>

## GLOSARIO

**Alvéolo cortical:** Estructura citoplasmática sintetizada por el ovocito y compuesta principalmente por polisialoglicoproteínas de alto peso molecular. Estas estructuras liberan su contenido al momento de la fertilización, originando la reacción cortical y evitando la poliespermia (Tyler & Sumpter, 1996).

**Células foliculares:** Células que envuelven al gameto femenino formando el folículo; estas células proveen los elementos con que se nutre el gameto (Lender *et al.*, 1982).

**Ciclo reproductivo:** Frecuencia de aparición de las diferentes fases de desarrollo gonádico a través del año y que en general es cíclico (Arellano-Martínez, 1997).

**Espermátidas:** Son células haploides derivadas del proceso de espermatogénesis posteriores a los espermatocitos (Nagahama, 1983).

**Espermatocito:** Los espermatocitos primarios son células diploides derivadas del proceso de espermatogénesis formadas por el aumento en tamaño de las espermatogonias. Los espermatocitos secundarios son células haploides originadas tras la meiosis I; cada espermatocito secundario se diferencia en una espermátida (Curtís *et al.*, 2000).

**Espermatogénesis:** Proceso de formación de los espermatozoides (Nagahama 1983).

**Espermatogonia:** Células germinales primordiales masculinas diploides, que se multiplican activamente por mitosis en la zona germinativa de los testículos (Lender *et al.*, 1982).

**Estrategia reproductiva:** Es un complejo de tácticas reproductivas determinadas por el genotipo, pero además es un patrón general de la reproducción (Wootton, 1984).

**Fases de desarrollo gonádico:** Se refiere a la división artificial del proceso de maduración de las gónadas, en hembras y machos.

**Fases de desarrollo ovárico:** Se refiere a la división artificial del proceso de maduración de los ovarios.

**Fases de desarrollo testicular:** Se refiere a la división artificial del proceso de maduración de los testículos.

**Folículo postovulatorio:** Membranas externas que rodean al ovocito (teca y granulosa) que permanecen como residuo después de que el ovocito ha sido liberado (Houillon, 1978).

**Gametogénesis:** Proceso mediante el cual se forman los gametos en la reproducción sexual. Puede ser difusa, cuando los gametos son producidos en el celoma y son expulsados por un gonópodo; o localizada, cuando los gametos son producidos en un órgano especial (ovario o testículo) y son expulsados por un conducto y un poro genital (Curtis *et al.*, 2000).

**Granulosa:** Es una capa de epitelio que envuelve al ovocito y cuyas células son de origen mesenquimal o epitelial, con función esteroideogénica (Nagahama, 1983).

**Gránulos de vitelo:** Forma usual de almacenamiento del vitelo en el ovocito (Saborido, 2004).

**Hermafroditismo:** Condición mediante la cual los individuos de una población funcionan con ambos sexos, de manera simultánea o secuencial en cualquier etapa de su vida (Sadovy & Shapiro, 1987).

**Lumen:** Cavidad interna de los ovarios. Al lumen se liberan los ovocitos tras ser ovulados (Thresher, 1984).

**Nucleolo:** Orgánulo celular, único o múltiple, situado en el interior del núcleo; consiste en bucles de cromatina que sirven de molde para la producción de rARN (ácido ribonucleico ribosomal) (Curtis *et al.*, 2000).

**Ovocito atrésico:** Ovocito en reabsorción (Nagahama, 1983).

**Ovogénesis:** Proceso de formación de los gametos femeninos (Jameson, 1988).

**Ovogonia:** Células germinales primordiales femeninas. Son células diploides que aún no inician la meiosis (Jameson, 1988).

**Ovoplasma:** Matriz citoplasmática en la cual se encuentran todas las inclusiones que se desarrollan durante el proceso de maduración del ovocito (Balinski, 1978).

**Reabsorción:** Proceso mediante el cual se reabsorben los gametos no desovados, dando lugar a atresias. En los ovocitos, las células foliculares adquieren

propiedades fagocitarias, reabsorbiendo el contenido del ovocito. (Jameson, 1988).

**Reproducción:** Proceso mediante el cual las especies se perpetúan (Hempel, 1979).

**Teca:** Es una capa de epitelio que envuelve al ovocito y a la zona radiata. La teca contiene fibroblastos, fibras de colágeno, capilares y en algunas especies, células especializadas secretoras de esteroides (Nagahama, 1983).

**Tejido conjuntivo o conectivo:** Tejido que se encuentra dentro y fuera de los folículos, rodeándolo; provee de soporte, transporte de nutrientes y sustrato para la diferenciación del tejido gonádico (Saborido, 2004).

**Tácticas reproductivas:** son aspectos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, ecológicos y sociales cuya finalidad es la reproducción y que varían dentro de ciertos límites; la talla de primera madurez, la talla de los gametos, el almacenamiento de reservas energéticas destinadas para la maduración del ovario, la temporalidad y la duración de la época de reproducción y la sincronización por señales ambientales, son solo algunas tácticas reproductivas (Wootton, 1984).

**Vitelo:** Reservas del ovocito formadas de lipoproteínas y fosfoproteínas, derivadas principalmente de la vitelogenina (Tyler & Sumpter, 1996).

**Vitelogénesis:** Periodo de crecimiento del ovocito durante el cual las reservas energéticas en forma de vitelo son acumuladas en el ovocito (Lender *et al.*, 1982).

**Zona radiata:** Membrana del ovocito de apariencia estriada, compuesta de una capa interna y otra externa, y que se forma cuando las primeras inclusiones lipídicas aparecen en el ovoplasma (Matsuyama *et al.*, 1991).

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 <i>Sphoeroides annulatus</i> (Jenyns, 1842). .....	3
2 Área de estudio y caladeros utilizados para la captura de <i>Sphoeroides annulatus</i> . .....	14
3 Secuencia y tiempos de inmersión para el procesamiento histológico. .	16
4 Secuencia y tiempos de inmersión para el proceso de tinción. ....	17
5 Técnicas generalizadas para la determinación de proteínas, lípidos y carbohidratos totales. ....	22
6 Ovarios y testículos de <i>Sphoeroides annulatus</i> . ....	24
7 Fases de desarrollo ovárico de <i>Sphoeroides annulatus</i> . ....	27
8 Estado de reabsorción observada en un ovario de <i>Sphoeroides annulatus</i> . ....	28
9 Fases de desarrollo testicular de <i>Sphoeroides annulatus</i> . ....	30
10 Ciclo reproductivo de <i>Sphoeroides annulatus</i> . ....	31
11 Ciclo ovárico de <i>Sphoeroides annulatus</i> . ....	32
12 Variación temporal del diámetro medio de los ovocitos. ....	33
13 Índice gonadosomático, hepatosomático y factor de condición por fases de desarrollo gonádico. ....	34
14 Variación temporal del índice gonadosomático en relación con la actividad reproductiva. ....	36
15 Variación temporal del índice hepatosomático y el factor de condición en relación con la actividad reproductiva. ....	38
16 Promedios mensuales del fotoperiodo y de la temperatura superficial del agua en relación con la actividad reproductiva. ....	39
17 Variación diaria de la temperatura (promedio mensual), fotoperiodo, nivel medio de la marea y el porcentaje de iluminación de la luna, en relación con los desoves observados. ....	41
18 Distribución de frecuencias de las hembras y los machos maduros con su respectivo modelo logístico. ....	42
19 Variación por fases de desarrollo ovárico del índice gonadosomático,	43

Figura	Página
hepatosomático y el factor de condición de las hembras. ....	
20 Variación temporal del índice gonadosomático, hepatosomático y el factor de condición de las hembras. ....	44
21 Distribución temporal de la frecuencia relativa de las fases de desarrollo ovárico. ....	45
22 Variación por fases de desarrollo de la concentración de proteínas del ovario, el hígado y el músculo. ....	46
23 Variación temporal de la concentración de proteínas del ovario, el hígado y el músculo. ....	47
24 Variación por fases de desarrollo ovárico de la concentración de carbohidratos del ovario, el hígado y el músculo. ....	48
25 Variación temporal de la concentración de carbohidratos del ovario, el hígado y el músculo. ....	49
26 Variación por fases de desarrollo ovárico de la concentración de lípidos del ovario, el hígado y el músculo. ....	50
27 Variación temporal de la concentración de lípidos del ovario, el hígado y el músculo. ....	51
28 Variación por fases de desarrollo del porcentaje de humedad del ovario, el hígado y el músculo. ....	52
29 Variación temporal del porcentaje de humedad del ovario, el hígado y el músculo. ....	53
30 Ubicación de los caladeros utilizados para la captura de <i>Sphoeroides annulatus</i> por los pescadores del campo pesquero Playa Norte. Zona de desove de <i>S. annulatus</i> . ....	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Volumen de la producción pesquera en peso vivo, del botete por entidad federativa (1999-2003) (Toneladas). .....	9
2 Descripción de la fase crecimiento primario de los ovocitos. ....	25
3 Descripción de las fases alveolo cortical y vitelogénesis de los ovocitos. .	25
4 Descripción de la fase maduración de los ovocitos. ....	26
5 Máximos y mínimos del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y el factor de condición (K), por sexos y clasificados en función de las fases de desarrollo gonádico. ....	35
6 Correlación de la temperatura y el fotoperiodo con los índices morfofisiológicos. ....	37
7 Correlación canónica y su significación estadística. ....	54
8 Coeficientes canónicos correspondientes a los componentes bioquímicos de cada tejido analizado. ....	54

## RESUMEN

El conocimiento de la estrategia reproductiva es fundamental para determinar medidas administrativas adecuadas a la pesquería, además es crucial para el control de la reproducción en cultivo. En este estudio se analizó la reproducción de *Sphoeroides annulatus* a partir de análisis morfológicos, fisiológicos, ecológicos y bioquímicos. *S. annulatus* presenta cistovarios y testículos lobulares. La evidencia histológica indicó que los ovarios de *S. annulatus* tienen un desarrollo asincrónico, desoves parciales y puede remadurar cuando menos una vez durante la época de reproducción. Mientras que los testículos continuamente se desarrollan, almacenan y liberan espermatozoides durante la época de reproducción. La talla de primera madurez poblacional se encontró en el intervalo de 27-29 cm de longitud total en ambos sexos. La principal época de reproducción se presentó durante primavera-verano y está regulada por el incremento anual del fotoperiodo y la temperatura, los cuales son factores disparadores de la ovogénesis y la vitelogénesis, respectivamente. Por su parte, el incremento del nivel medio de la marea podría ser el factor disparador del desove. Además, se encontró que *S. annulatus* presenta un breve periodo de actividad reproductiva durante el otoño relacionado con el descenso de la temperatura y el fotoperiodo. El estilo reproductivo de *S. annulatus* es no guardián y desovador en sustrato abierto. Las reservas energéticas almacenadas en los tejidos de las hembras de *S. annulatus* presentan fluctuaciones dinámicas; es posible que además de utilizar estas reservas durante la maduración ovárica, también se esté utilizando energía del alimento recién ingerido.



## ABSTRACT

Knowledge about reproductive strategy is fundamental to regulate fishery activity, also it is crucial to the fish reproduction control in captivity. In this research, the reproduction of *Sphoeroides annulatus* was analyzed, throughout morphological, physiological, ecological and biochemical analysis. *S. annulatus* has cystovaries and lobular testes. Histological evidence revealed that *S. annulatus*' ovaries have asynchronic development, partial spawning and may re-ripe at least once during the reproductive season. Whereas, the testes continuously have spermatogenic activity, storage and release of spermatozoa during the reproductive season. The length of first ripening of both sexes of *S. annulatus* was in the interval 27-29 centimeters of total length. The main reproductive season was during spring-summer and it is adjusted by the increase in photoperiod and temperature, which are trigger factors of oogenesis and vitellogenesis, respectively. On its part, the increase in tide could be the trigger factor of spawn. Additionally, it was found that *S. annualtus* has a reproductive activity period of low intensity during autumn, related with a decrease in photoperiod and temperature. The reproductive style of *S. annulatus* is nonguard with open substratum egg scatterer. The *S. annulatus*'s females have dynamic fluctuations in storage energetic reserves; it is possible that besides use these reserves during ovary ripening, also the energy from food recently ingested have been used.

## 1. INTRODUCCIÓN

Así como en otros aspectos de su biología, los teleósteos son los vertebrados más diversificados en términos de sus estrategias reproductivas (Munro *et al.*, 1990) lo suficiente como para proveer de ejemplos únicos (Devlin & Nagahama, 2002). Esta diversidad de estrategias reproductivas en los peces involucra como primer aspecto a la sexualidad, en sus numerosas variantes naturales que van desde un gonocorismo estricto hasta un hermafroditismo simultáneo funcional (Devlin & Nagahama, 2002). Sin quitarle importancia a la maduración, que implica la producción de gametos viables, ovocitos o espermatozoides y cuyo inicio determina que el pez ha pasado al periodo adulto (Helfman *et al.*, 1997). Por otra parte, patrones sociales, reproductivos y diferentes especializaciones morfofisiológicas resultan en una variedad de estilos reproductivos, que van desde un desove colectivo pelágico sin cuidado de la progenie, hasta un sofisticado comportamiento sexual con la construcción de un nido y el cuidado parental, o bien la incubación de los huevos (Balon, 1990). Incluyendo el hecho de que el proceso reproductivo de los peces esta estrechamente relacionado a las fluctuaciones de diferentes factores ambientales que se pueden percibir en el medio acuático y que tienen la característica de ser cíclicos (Jalabert, 2005).

A nivel mundial, la mayoría de los estudios sobre las poblaciones silvestres del género *Sphoeroides* [Lacepède] están relacionados con taxonomía y alimentación, siendo pocos los que describen características de la biología reproductiva de las especies (Schultz *et al.*, 2002). La diversidad de especies de *Sphoeroides* que habitan los litorales mexicanos es parte del hueco cognoscitivo donde igualmente se encuentran muchas otras especies de teleósteos. El panorama internacional para aprovechar estas especies es alentador. En Japón y otros países del mundo, especies como *Takifugu niphobles* y *T. rubripes* llegan a alcanzar fácilmente precios de 50 dólares por platillo, a pesar de que estas especies concentran grandes cantidades de tetraodotoxina. En México, *Sphoeroides annulatus* es considerada con buen potencial acuícola y pesquero. Actualmente es de las especies ícticas con alto valor comercial en el mercado; su consumo va en aumento gracias a las cualidades paliativas de su carne y a que no representa peligro para el consumo humano. En

este sentido el conocimiento de la estrategia reproductiva de *S. annulatus* que habita la costa de Mazatlán, Sinaloa, México, constituye, en el sentido práctico, información importante para el desarrollo de actividades antropogénicas que utilizan a esta especie como recurso.

En el presente estudio se incluyen aspectos morfológicos, fisiológicos, ecológicos y bioquímicos desde un contexto general, relacionados con la reproducción de *S. annulatus*, para llegar a determinar cual es su estrategia reproductiva. Para ello se realizó un seguimiento temporal de la gametogénesis a través de la observación microscópica de cortes histológicos de las gónadas. Se analizaron variables ambientales que podrían tener influencia en el ciclo reproductivo de *S. annulatus* en su hábitat natural. Además, se realizó un seguimiento de la utilización de nutrientes durante la reproducción mediante el estudio del contenido bioquímico en diferentes órganos.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 ASPECTOS GENERALES**

Se han desarrollado numerosas investigaciones sobre diferentes aspectos de la historia de vida de los teleósteos que habitan en los mares mexicanos. Sin embargo, los estudios sobre *Sphoeroides annulatus* y sus poblaciones silvestres son escasos, el conocimiento que se ha generado es en su mayoría ocasional y se encuentra disperso principalmente en estudios de ictiofauna. A diferencia de otras especies en las que se inicia su estudio sobre biología básica, en *S. annulatus* gran parte de los estudios han sido dirigidos para implementar las bases teóricas y prácticas de su cultivo.

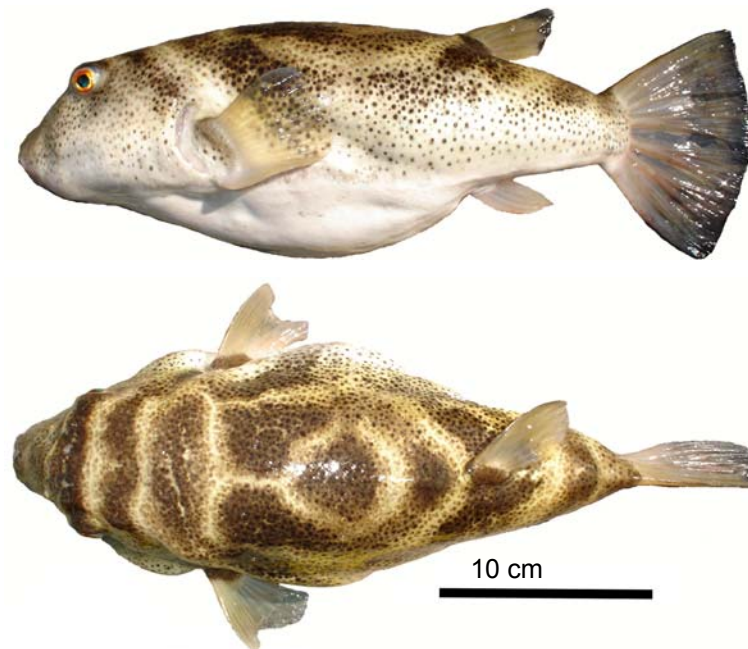
#### **2.1.1 Características generales de la especie**

El botete diana, *S. annulatus* (Fig. 1) pertenece al orden Tetraodontiformes y a la familia Tetraodontidae (Nelson, 1994). Los teleósteos más evolucionados son los pertenecientes al orden Tetraodontiformes, caracterizados por un alto grado de

fusión o de pérdida de huesos tanto en la cabeza como en el cuerpo (Helfman *et al.*, 1997).

Al igual que otros miembros de la familia Tetraodontidae, *S. annulatus* tiene cuatro dientes incisivos (Thomson, 1978), posee la piel gruesa con espinas ventrales muy pequeñas, no tiene aletas pélvicas, ni costillas ventrales y solo cuenta con 16 vértebras, número menor al comúnmente encontrado (26) en el superorden Acanthopterygii (Ocampo-Peraza, 1983; Helfman *et al.*, 1997).

El patrón de coloración que se observa en *S. annulatus* es muy característico; muestra en el área dorso-lateral un color café con puntos negros y círculos concéntricos blancos o amarillentos (Thomson, 1978; Amezcua-Linares, 1996), el vientre blanco y aletas pardas con márgenes oscuros casi negros (Amezcua-Linares, 1996) (Fig. 1).



**Figura 1.** *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842).

Muchas especies de tetraodontidos concentran la poderosa toxina TTX (tetraodotoxina) en diversos órganos, así como en la piel y en el músculo (Helfman *et al.*, 1997; Brillantes *et al.*, 2003). *S. annulatus* concentra la TTX en muy bajas cantidades en la piel, gónadas e hígado (Thomson, 1978; Amezcua-Linares, 1996;

Núñez-Vázquez *et al.*, 2000) y cuya concentración podría incrementarse durante la época de reproducción (Amezcu-Linares, 1996). De manera ocasional esta especie ha mostrado defectos oculares, interpretados como pérdida de visión por malformaciones en organismos en óptimas condiciones físicas (Saucedo-Barrón *et al.*, 1988). De lo poco que se conoce sobre sus relaciones interespecíficas es que sirve como huésped de dos monogéneos: *Heterobothrium ecuadori* y *Neobenedenia mellen* que habitan en las branquias y piel, respectivamente (Contreras-Arce, 2001). Ventajosamente los adultos tienen pocos depredadores (Thomson *et al.*, 1979; Amezcu-Linares, 1996) probablemente debido al contenido de TTX y a la capacidad que tiene el pez de inflarse (Thomson *et al.*, 1979) tragando agua o aire (Thomson, 1978). Es depredado por *Pelamis platurus* (Weldon, 1988) e *Istiophorus platypterus* (Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2006). Es un pez que durante la mayor parte de su vida está asociado al bentos e incluso suele enterrarse en la arena, por lo que se considera de hábitos demersales (Coronado-Molina & Amezcu-Linares, 1988; Mariscal-Romero *et al.*, 1998).

### **2.1.2 Distribución y hábitat**

*S. annulatus* es una especie exclusiva del Océano Pacífico oriental; habita desde la costa del sur de California, E. U. A., hasta la costa de Perú, incluyendo el Golfo de California y los mares adyacentes a Islas Galápagos (Castro-Aguirre *et al.*, 1999). Esta especie se considera eurihalina del componente marino; tolera vivir en salinidades de 0-45.5+ ups (Castro-Aguirre *et al.*, 1999) gracias a su gran capacidad osmoreguladora (Álvarez-Rubio *et al.*, 1984), encontrándose como juvenil en sistemas mixohálidos, ya que los utiliza como zonas de crianza (Yáñez-Arancibia, 1977; Álvarez-Cadena *et al.*, 1987; Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Sánchez-Cárdenas, 2005) y como adulto en la zona nerítica (Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Sánchez-Cárdenas, 2005). Vive preferencialmente en zonas protegidas y someras (Coronado-Molina & Amezcu-Linares, 1988; Amezcu-Linares, 1996; Mariscal-Romero *et al.*, 1998) entre los 20 y 40 m de profundidad (Mariscal-Romero *et al.*, 1998) con fondos lodosos, arenosos (Coronado-Molina & Amezcu-Linares, 1988; Castro-Aguirre *et al.*,

1999) o rocosos (Fischer *et al.*, 1995) y congregándose en la cercanía de las desembocaduras de los ríos (Castro-Aguirre *et al.*, 1999).

La temperatura es un factor importante en la distribución de *S. annulatus*. Es un pez considerado como parte de la fauna típica tropical, que con la presencia del fenómeno “El Niño” amplía su distribución latitudinal (Rosales-Casian, 2004) y batimétrica (Coronado-Molina & Amezcua-Linares, 1988). Sin embargo, la presencia de dicho fenómeno no favorece el aumento de la biomasa de esta especie (Coronado-Molina & Amezcua-Linares, 1988).

## 2.2 ALIMENTACIÓN

En general, se sabe que parte de la estrategia alimentaria de algunos tetraodontiformes (Balistidae, Tetraodontidae, Diodontidae) es depredar sobre invertebrados de exoesqueleto duro. *S. annulatus* está dotado de una dentición fuerte y dientes faríngeos con los que tritura moluscos y otros organismos de caparazón duro (Ocampo-Peraza, 1983; Bermúdez-Almada & García-Laguna, 1985). Usualmente los peces que se alimentan de moluscos con concha son de hábitos diurnos, aunque también se les ha observado activos durante la noche (Bermúdez-Almada & García-Laguna, 1985). Esta especie es capturada principalmente al amanecer o al atardecer, esto indica que posiblemente es un organismo de hábitos alimentarios crepusculares. Es un pez carnívoro (Yáñez-Arancibia, 1977; Amezcua-Linares, 1996) con un estómago e intestino propio de estos hábitos; su intestino es de tres veces el tamaño del pez (Ocampo-Peraza, 1983). En la literatura es considerado como un consumidor secundario (Yáñez-Arancibia, 1977; Maeda-Martínez, 1981). En su dieta se incluyen moluscos bivalvos como *Crassostrea corteziensis* (Stuardo & Martínez, 1974) y *Dosinia ponderosa*, otros moluscos como *Odostomia* sp., crustáceos decápodos como *Callinectes* sp., *Panopeus* sp., *Tetragrapsus jouyi* y *Litopenaeus* sp., anfípodos como *Corophium acherusicum* y *Ampithoe* sp.; poliquetos: *Nereis* sp. y *Ophelia* sp. (Maeda-Martínez, 1981), en menor cantidad consume peces (Maeda-Martínez, 1981; Amezcua-Linares, 1996), corales (Amezcua-Linares, 1996) y esporádicamente se pueden encontrar en su dieta algas y detritus (Yáñez-Arancibia, 1977).

## 2.3 CRECIMIENTO

La edad y el crecimiento de *S. annulatus* aún no han sido determinados. De acuerdo con las longitudes totales máximas observadas que han reportado diversos autores (Thomson, 1978; Fischer *et al.*, 1995; Amezcua-Linares, 1996; Sánchez-Cárdenas, 2005), *S. annulatus* puede llegar a medir entre 44 y 48 cm de longitud total.

El tipo de crecimiento de esta especie ha sido determinado llegando a conclusiones muy variables por efecto de los rangos de tallas que han sido utilizados. En general la forma de crecimiento de *S. annulatus* es isométrico (Castellanos-Rodríguez *et al.*, 1982). Sin embargo, si se considera un espectro amplio de tallas, el crecimiento alométrico positivo resulta significativo (Rojas-Mancillas, 2004). Por otro lado, si se considera solo a los adultos a partir de los 20 cm de longitud total, el crecimiento alométrico negativo resulta ser significativo. No obstante, existe una diferencia en la forma de crecer entre sexos, los machos crecen de modo isométrico, mientras que el crecimiento de las hembras es alométrico negativo; al parecer debido a que en las hembras la demanda de energía para el proceso reproductivo es mayor, y por lo tanto dedican menos al crecimiento somático que los machos (Sánchez-Cárdenas, 2005).

## 2.4 REPRODUCCIÓN

Las poblaciones de *S. annulatus* muestran diferentes proporciones de machos por hembra en diferentes latitudes; en la ensenada de La Paz (B.C.S.) se ha observado una proporción 1:1.7 (Díaz-Guevara *et al.*, 2005), en la costa de Mazatlán, Sinaloa una proporción 1:1 (Sánchez-Cárdenas, 2004); y en la costa y estero de Teacapán, Escuinapa, Sinaloa una proporción de 1:1.2 (Castellanos-Rodríguez *et al.*, 1982). La talla a la que la población de *S. annulatus* comienza a tener actividad reproductiva al menos en el 50% de sus organismos (primera madurez) es de 28 a 30 cm de longitud total (Díaz-Guevara *et al.*, 2005).

Se han realizado dos clasificaciones de las fases de desarrollo gonádico; una con base en a un análisis morfocromático, en el cual se determinaron cuatro fases de desarrollo testicular (reposo, desarrollo, eyaculación y posteyaculación) y cinco fases

de desarrollo ovárico (reposo, desarrollo inicial, desarrollo avanzado, madurez, desove y postdesove) (Sánchez-Cárdenas, 2005), y la otra clasificación se determinó con base en un análisis microscópico con el que se llegaron a diferenciar cinco fases de desarrollo gonádico (Díaz-Guevara *et al.*, 2005).

Se considera que el índice gonadosomático (IGS) es un indicador insesgado del desarrollo de las gónadas de *S. annulatus* (Sánchez-Cárdenas, 2005; Díaz-Guevara *et al.*, 2005); el valor promedio más alto del IGS (10.10) que se ha registrado en las hembras (Sánchez-Cárdenas, 2005) es muy similar al de los peces de latitudes templadas (10-25% de la masa total) (García-Cagide *et al.*, 1994).

El factor de condición (K) suele correlacionarse negativamente con el grado de madurez (IGS) (Maddock & Burton, 1999), reflejando con ello movimientos de energía somática hacia las gónadas para ayudar a la gametogénesis (González & Oyarzún, 2002). Para esta especie se ha encontrado dicha correlación (Sánchez-Cárdenas, 2005). El índice hepatosomático también se ha observado con una correlación inversa con el IGS (Díaz-Guevara *et al.*, 2005).

En función de su distribución geográfica, *S. annulatus* muestra diferencias en la duración del evento reproductivo y en general coinciden en las estaciones de primavera y verano. En la ensenada de La Paz, B.C.S. el periodo reproductivo es de mayo a septiembre; se relaciona con la fluctuación anual de temperatura (Díaz-Guevara *et al.*, 2005) y se ha reportado para algunas zonas (Canal de Zacatecas y Balandra, La Paz, B. C. S.) que la actividad reproductiva es durante todo el año con dos fluctuaciones de mayor intensidad, una en febrero y otra en junio-julio (Maeda-Martínez, 1981). En la costa de Mazatlán, Sinaloa ocurren dos periodos reproductivos uno de mayor intensidad de marzo a agosto y uno muy breve en octubre-noviembre (Sánchez-Cárdenas, 2005). En la costa y estero de Teacapán, Escuinapa, Sinaloa la máxima actividad reproductiva se observa durante mayo-junio (Castellanos-Rodríguez *et al.*, 1982) y un poco más al sur, en las costas de Nayarit se ha reportado que la especie se reproduce a finales de primavera (Amezcu-Linares, 1996).



## 2.5 ASPECTOS PESQUEROS

Existen antecedentes del abundante consumo de tetraodontidos en Japón y otras áreas del Pacífico, aunque se han registrado numerosas muertes por envenenamiento al consumirlos en Estados Unidos de América, México, Italia, Malasia, Bangladesh, India y sobre todo en Japón (Ghosh *et al.*, 2005).

En el Pacífico mexicano *S. annulatus* tiene una breve historia de consumo, sin reportes que señalen a esta especie como causa de muerte por envenenamiento. Se ha determinado que a diferencia de otras especies de tetraodontidos no contiene TTX en el músculo (Núñez-Vázquez *et al.*, 2000), por lo que es seguro consumirlo (Ocampo-Peraza, 1983) y requiere de mínimos cuidados para retirar las vísceras. Además ofrece un buen potencial pesquero (Coronado-Molina & Amezcua-Linares, 1988).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) tiene registradas varias especies de tetraodontidos, sin embargo estas no fungen como especies objetivo dentro de las actividades pesqueras, sino como asociadas o fauna de acompañamiento. En el Golfo de México y Mar Caribe figuran *Sphoeroides spengleri*, *S. testudineus*, *S. dorsalis*, *S. nephelus* y *Lagocephalus laevigatus*, y en el Pacífico mexicano *S. annulatus*, *S. angusticeps*, *S. sechurae* y *S. lobatus* (Diario Oficial de la Federación, 2004). En las estadísticas pesqueras se ha observado un incremento en la captura del recurso pesquero conocido comúnmente como botete, siendo los estados de Sinaloa, Baja California Sur, Sonora, Nayarit y Oaxaca las entidades que más destacan (Tabla 1).

En Mazatlán, Sinaloa se capturan dos especies, *S. annulatus* y *S. lobatus*, ya sea con fines comerciales o de subsistencia. En esta localidad la pesca intencionada de *S. annulatus* para el consumo humano se inició a partir de 1974, antes de ello y al no ser objeto de consumo humano se tenían grandes pérdidas por descomposición de cientos de toneladas en muelles, playas y diversos lugares de pesca (Ocampo-Peraza, 1983), además de haber sido descartado por la pesquería de arrastre.

Los pescadores con más de 40 años en la actividad mencionan que los japoneses les dieron el conocimiento de como separar las vísceras del músculo y de esta manera la posibilidad de consumirlo sin peligro por envenenamiento. Sin

embargo, se ha planteado, que algunas personas pudieron iniciar su consumo en busca de una alternativa más económica de saciar sus necesidades mínimas de alimentación (Ocampo-Peraza, 1983). Al igual que otras especies que surgieron en el mercado por las mismas causas, se cotizaba a un precio bajo, posteriormente y debido a la gran demanda se incremento su precio (Ocampo-Peraza, 1983). Actualmente es una de las especies ícticas de mayor valor comercial, alcanzando precios superiores a los 100 pesos por kilogramo.

Pese a la demanda, su pesca aún se práctica de modo muy artesanal, utilizando una línea con anzuelo (No. 11 ó 12), en embarcaciones de bajo calado denominados cayucos o desde la línea de costa. Como cebo utilizan principalmente el crustáceo *Emerita talpoida* y ocasionalmente cabezas de camarón que obtienen de los desechos de los barcos arrastreros que pescan en la misma zona. En Sinaloa, es de las pocas especies ícticas que son aprovechadas de la pesquería de arrastre ya sea para su venta y/o el consumo de la tripulación y sus familias.

**Tabla 1.** Volumen de la producción pesquera en peso vivo, del botete por entidad federativa (1999-2003) (Toneladas) (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2004).

Entidad	1999	2000	2001	2002	2003/p
Sinaloa	135.930	147.568	163.475	172.376	347.631
Baja California Sur	229.078	170.391	245.659	210.670	257.352
Nayarit	18.252	25.868	42.991	81.879	82.918
Sonora	44.203	25.965	12.347	22.167	54.424
Oaxaca	6.158	1.446	6.748	7.543	21.766
Colima	0.178	1.321	2.289	0.026	3.235
Baja California	0.749	0.213	0	0	2.674
Michoacan	0.434	2.444	2.715	2.575	2.180
Chiapas	0	0.048	0.605	0.277	0.880
Jalisco	1.296	3.688	2.040	2.358	0.800
Yucatan	0.575	0.003	0	0	0
Total general	436.853	378.954	478.868	499.871	773.859

## 2.6 AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE CULTIVO

Se han realizado diversas investigaciones para desarrollar protocolos para el cultivo de *S. annulatus*, especie considerada con gran potencial de cultivo (Abdo de la Parra & Duncan, 2002). Las cualidades de *S. annulatus* como especie

potencialmente cultivable son: su importancia comercial, su tolerancia al manejo y a las condiciones ambientales, y la posibilidad de crecer bajo las mismas condiciones de cultivo del camarón, ya que se le ha observado como un subproducto en estanques de engorda de este crustáceo (Abdo de la Parra & Duncan, 2002).

Los reproductores que actualmente se manejan son del medio silvestre. Antes de trasladarlos al área de maduración se aclimatan y se les da tratamientos para la eliminación de parásitos (Abdo de la Parra & Duncan, 2002) como *Heterobothrium ecuadori*, *Amyloodinium ocellatum* (Fajer-Ávila *et al.*, 2003) y *Neobenedenia sp.* (Bueno-Navarro, 2004). Se les alimenta con calamar, filetes de pescado fresco y alimento balanceado (Angulo-Urquidez & Zamora-Sánchez, 2000; Abdo de la Parra & Duncan, 2002).

Para la maduración, en los machos de *S. annulatus* el uso de la inducción hormonal con LHRHa (receptor de hormona luteinizante análogo) permite lograr un incremento en la producción de esperma y mantener su calidad constante por un tiempo prolongado (Duncan *et al.*, 2003). En las hembras ya se tiene muy bien establecido el protocolo de inducción hormonal con LHRHa para el desove en cautiverio, las cuales pueden producir hasta  $1,246,845 \pm 130,090$  ovocitos por kilogramo y asegurar así la producción de larvas y juveniles (Abdo de la Parra & Duncan, 2002)

Los huevecillos demersales (Komar *et al.*, 2004) se pueden incubar adheridos a placas de vidrio (Abdo de la Parra & Duncan, 2002). El tiempo de incubación depende de la temperatura (Martínez-Rodríguez, 2001). A las larvas, se les puede alimentar con artemia (Angulo-Urquidez & Zamora-Sánchez, 2000), con dietas microparticuladas (García-Ortega *et al.*, 2003) y alimento enriquecido con ácidos grasos altamente insaturados (Pelcastre-Campos, 2004). Para mantener en óptimas condiciones el cultivo de larvas e incluso mejorar los resultados es recomendable tratar el agua con filtros, rayos UV, una adecuada aeración (Komar *et al.*, 2004) y sifonear diariamente (Abdo de la Parra & Duncan, 2002). Las larvas recién eclosionadas miden  $2 \pm 0.008$  mm de longitud total y el saco vitelino ocupa casi la mitad de la longitud del cuerpo. Los ojos están pigmentados y presentan algunos melanóforos negros en el dorso, después de la eclosión las larvas flotan en la

columna del agua sin movimiento significativo. Después de que el saco vitelino se absorbe las larvas presentan una coloración oscura, casi negra y se observa que comen activamente en la columna de agua y en la superficie (Abdo de la Parra & Duncan, 2002). Se ha logrado ya la eclosión de organismos ginogenéticos y triploides (Arias-Rodríguez *et al.*, 2004).

En el caso de los juveniles, se les puede administrar una dieta preparada con ingredientes frescos (calamar y gónada de atún) (García-Ortega *et al.*, 2002) y/o soya mezclada con harina de pescado y gónada de atún (Blanco-Albarran, 2004). Ya se ha observado el crecimiento de estos en condiciones de vivero (Prado-Ávila, 2001).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Como recurso pesquero, *Sphoeroides annulatus* ha estado adquiriendo gran relevancia en Mazatlán, Sinaloa así como en todo el litoral del Pacífico mexicano, incluyendo el Golfo de California. Sus capturas se están incrementando sin algún tipo de regulación pesquera. Parte de esto es debido a que el conocimiento biológico de la especie no es suficiente para crear medidas administrativas, en algunos casos porque solo se trata de la documentación de observaciones que no siguieron una metodología dirigida y en otros casos, los resultados fueron sesgados y limitados por las técnicas utilizadas. Adicionalmente, *S. annulatus* ha sido objeto de diferentes líneas de investigación en medios controlados, para desarrollar una tecnología de cultivo. Estas investigaciones se han estado llevando a cabo sin estudios previos sobre la ecología y la biología de las poblaciones silvestres. Este contexto trae como consecuencia dificultades y/o resultados no satisfactorios al momento de implementar tratamientos de cultivo.

Por ende es importante realizar estudios para ampliar el conocimiento de la estrategia reproductiva de *S. annulatus*, que se espera sean complementados con estudios del crecimiento, la alimentación, etc. Se sabe, que establecer el desarrollo gonádico, la talla de primera madurez y los índices morfofisiológicos no solo es una aportación al conocimiento, sino que sirven como herramientas de monitoreo. La talla de primera madurez sirve como parámetro en la determinación de la talla mínima de captura, esta funge como un importante regulador del esfuerzo pesquero en muchas especies. La estacionalidad del proceso reproductivo y los factores que la regulan, son una referencia para el manejo temporal de la pesca y para la creación de un ambiente artificial para el control de la reproducción. Finalmente, conocer los ciclos de almacenamiento y utilización de energía relacionada con la reproducción de poblaciones silvestres ayudará a optimizar la nutrición de los peces en cautiverio, además de que dicho conocimiento puede ser crucial en la toma de decisiones del manejo pesquero, como el abrir o no una veda.

#### **4. HIPÓTESIS**

La estrategia reproductiva de *Sphoeroides annulatus* implica un periodo reproductivo amplio cuyas variaciones están relacionadas con la temperatura, el fotoperiodo y con un ciclo de almacenamiento de reservas energéticas.

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Conocer la estrategia reproductiva de *Sphoeroides annulatus* en la costa de Mazatlán, Sinaloa, México.

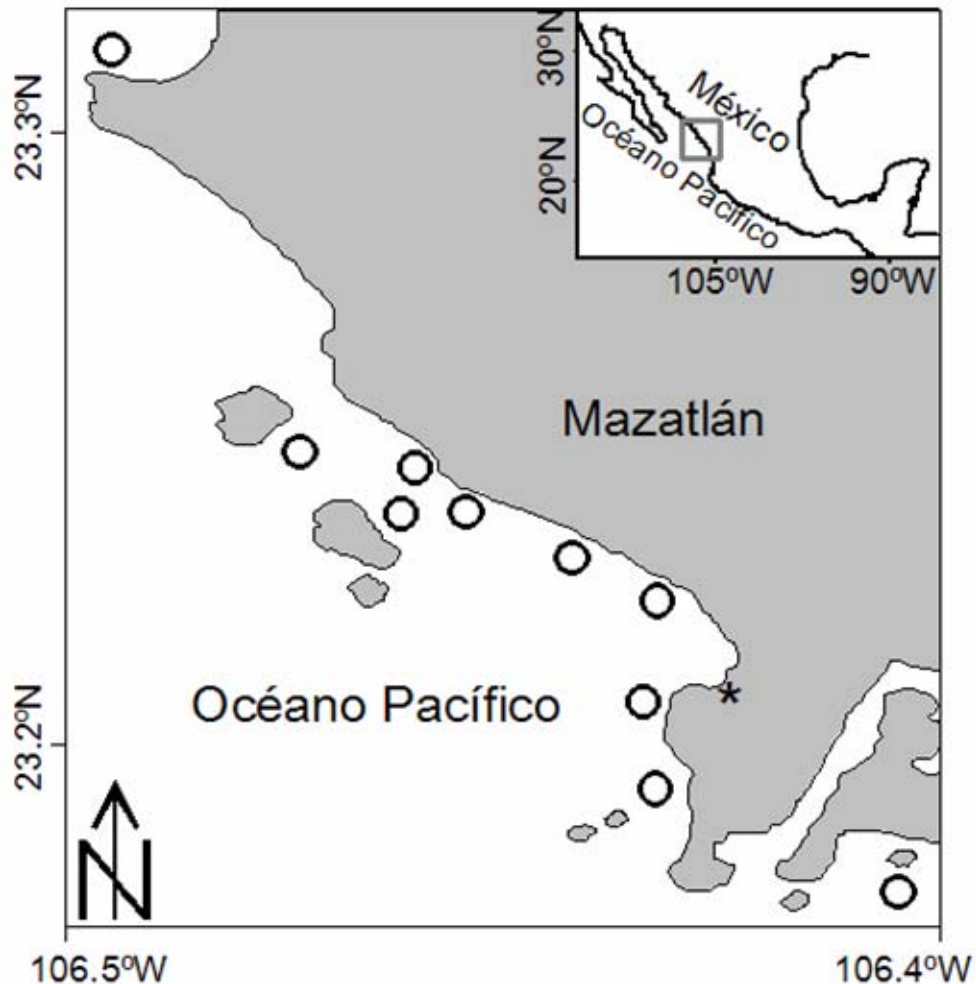
##### **5.1.1 Objetivos Específicos**

- a) Describir el desarrollo gonádico.
- b) Determinar el ciclo reproductivo.
- c) Establecer la época de reproducción en la costa de Mazatlán, Sinaloa y su relación con la temperatura y el fotoperiodo.
- d) Describir la incidencia de los desoves observados y su relación con la temperatura, el fotoperiodo, el porcentaje de iluminación de la luna y el nivel medio de la marea.
- e) Determinar la talla de primera madurez.
- f) Conocer la variación de los índices gonadosomático, hepatosomático y el factor de condición.
- g) Determinar si existe un ciclo de almacenamiento y utilización de energía, relacionado con la reproducción.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la zona de los caladeros o sitios de pesca de *S. annulatus* usados por los pescadores ribereños del campo pesquero Playa Norte de Mazatlán, Sinaloa (Fig. 2). Estos caladeros se caracterizan por estar atrás de la franja de oleaje. Se sitúan frente a las playas de la bahía y frente a rompientes rocosas. Algunos caladeros también se sitúan frente a las islas Venados, Pájaros y Cerro del Cardón.



**Figura 2.** Área de estudio y caladeros (O) utilizados para la captura de *Sphaeroides annulatus* por los pescadores del campo pesquero Playa Norte (\*).

## **6.2 MUESTREO**

### **6.2.1 Organismos**

Los muestreos se realizaron semanalmente a partir de la captura comercial, durante el periodo de enero de 2004 a agosto de 2005. En el sitio de muestreo se registraron la masa ( $M_t$ , g) y la longitud ( $L_t$ , cm) totales de cada ejemplar. Se realizó un corte ventral desde el poro urogenital hacia la boca para extraer la gónada, el hígado y una porción de músculo, del costado izquierdo cercano a la aleta pectoral.

En el laboratorio se registraron las masas de las gónadas e hígados. Un lóbulo de las gónadas se fijó en formaldehído al 10% con el objetivo de evitar los cambios postmortem como la putrefacción y la autólisis (Rodríguez-Gutiérrez, 1992) para posteriores análisis histológicos. El otro lóbulo junto con una porción de hígado y de músculo se conservaron en un ultracongelador a una temperatura de  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  para posteriormente analizar su composición bioquímica.

### **6.2.2 Variables ambientales**

La temperatura superficial del mar se obtuvo a partir de imágenes satelitales correspondientes a un promedio mensual con resolución de  $4\text{ km}^2$ . Dichas imágenes están disponibles en la página de internet <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> y fueron tomadas por el satélite Aqua-Modis. El dato puntual de temperatura se tomó del centro de la bahía de Mazatlán a través de una rutina en el programa Matlab 7.0.4. El fotoperiodo, el porcentaje de iluminación de la luna y el nivel medio de la marea fueron calculados por el programa Mar V0.7 del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Todos los datos fueron generados para la estación Mazatlán con periodicidad diaria para todo el periodo de estudio. Para el cálculo del nivel medio de marea se utilizó como punto de referencia el nivel medio del mar.

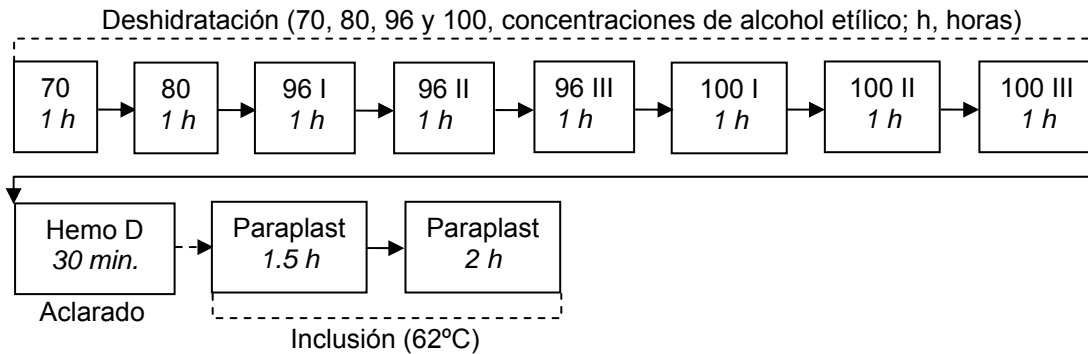
## **6.3 ACTIVIDAD REPRODUCTIVA**

### **6.3.1 Análisis histológico**

Para el análisis cualitativo del proceso reproductivo se aplicó una técnica histológica a las gónadas y así observar sus características microscópicas. Se



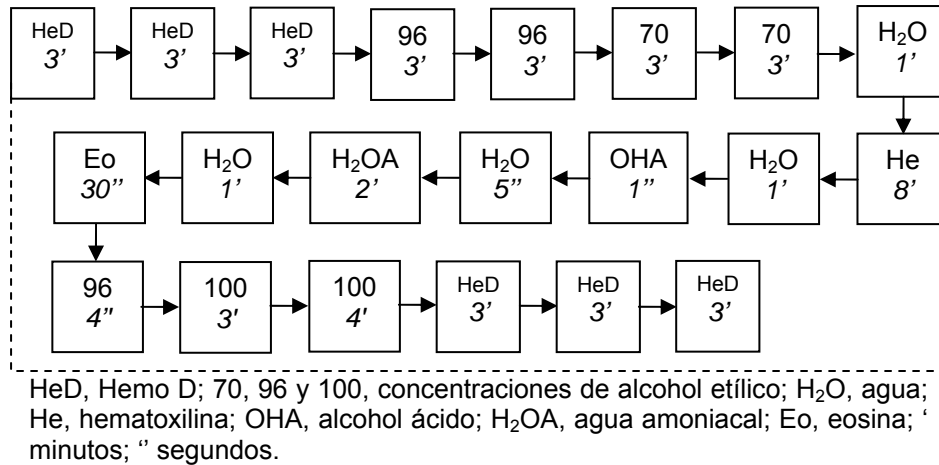
obtuvo un corte transversal de la parte media del lóbulo de la gónada, el cual fue deshidratado en alcohol etílico en concentraciones crecientes, se aclararon con Hemo De y se incluyeron en Paraplast (Humason, 1979) (Fig. 3).



**Figura 3.** Secuencia y tiempos de inmersión para el procesamiento histológico.

Una vez completado el proceso anterior, con la ayuda de moldes se colocaron los tejidos en bloques de Paraplast y se hicieron cortes de 7  $\mu\text{m}$  de espesor. Los portaobjetos con los tejidos adheridos se colocaron en una estufa durante 20 minutos, esto ayuda a que se adhiera el tejido.

Hasta este paso los tejidos son transparentes, por lo que se les aplicó la tinción hematoxilina-eosina (Fig. 4), con la finalidad de contrastar las estructuras celulares y tisulares, y de esta forma facilitar su identificación. Para ello se utilizó un centro de tinción automático marca Tissue-Tek DRS. El principio teórico de esta técnica es que las estructuras con un pH ácido tienen afinidad por la hematoxilina (tinción morada) y los tejidos con un pH básico tienen afinidad por la eosina (Rodríguez-Gutiérrez, 1992). Finalmente, a las preparaciones ya teñidas se les colocaron cubreobjetos con la ayuda de un adhesivo (Cytoseal) para su preservación y observación al microscopio.



**Figura 4.** Secuencia y tiempos de inmersión para el proceso de tinción hematoxilina-eosina.

### 6.3.2 Índices morfofisiológicos

El proceso reproductivo se caracterizó de manera cualitativa mediante un análisis histológico, y de manera cuantitativa mediante el análisis de la variación temporal de los índices gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y el factor de condición (K).

El IGS se calculó como indicador del grado de madurez, mediante la siguiente ecuación:

$$IGS = \frac{M_G}{M_{SG}} \cdot 100$$

donde:  $M_G$  = masa de la gónada y  $M_{SG}$  = masa del pez sin gónada (DeVlaming *et al.*, 1982). Se consideró que los valores promedio altos indican madurez gonádica y que la disminución de los valores promedio es indicadora de desove.

El IHS se calculó para tratar de explicar la participación del hígado en la vitelogenénesis exógena:

$$IHS = \frac{M_H}{M_{SH}} \cdot 100$$

donde:  $M_H$  = masa del hígado y  $M_{SH}$  = masa del pez sin hígado (Rodríguez-Gutiérrez, 1992).

Se calculó el K para explicar fundamentalmente la condición física que guarda el organismo en relación con su estado reproductivo:

$$K = \frac{M_{SGH}}{L_t^b} 100$$

donde:  $M_{SGH}$  = masa del pez sin gónada e hígado (g),  $L_t$  = longitud total del pez (cm) y  $b$  = pendiente de la regresión masa-longitud (Nikolsky, 1963), esta última difiere entre sexos; en hembras se utilizó el valor de 2.83 y en machos el valor de 2.96 previamente calculados para esta misma especie (Sánchez-Cárdenas, 2005). Los valores del IGS, IHS y K de machos y hembras se contrastaron con los resultados histológicos.

### **6.3.3 Fases de crecimiento de los ovocitos**

Para el presente estudio se tomaron como referencia la clasificación y caracterización de las fases de crecimiento del ovocito propuesta por Wallace y Selman (1981) y Tyler y Sumpter (1996), quienes consideran los eventos más relevantes que ocurren durante el desarrollo. La caracterización fue descrita específicamente para *S. annulatus* sobre la base de cinco fases de crecimiento de los ovocitos: crecimiento primario (estadios: cromatina nucleolar y perinucleolar), alveolo cortical, vitelogénesis y maduración (estadios: gránulo de vitelo, núcleo migratorio y proteólisis de vitelo).

### **6.3.4 Diámetro promedio de los ovocitos**

Se midieron por lo menos 100 ovocitos mensuales, diferenciándolos por fase de crecimiento. Los diámetros se obtuvieron a través del programa de digitalización de imágenes Sigma Scan Pro (Versión 5.0, Systat Software, Inc., Richmon, C.A., Estados Unidos). A partir de imágenes digitalizadas de los cortes histológicos. El criterio para seleccionar un ovocito fue que el núcleo y los nucleolos fueran visibles. En el programa, una vez asignada la escala de las imágenes se trazó manualmente el perímetro de los ovocitos y el programa automáticamente calculó el área. El diámetro se calculó a partir de la fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

donde: D = diámetro, A = área y  $\pi = 3.1416$  (Thema, 2003). Posteriormente se calculó el promedio y el error estándar mensual, por fase de crecimiento del ovocito.

### **6.3.5 Fases de desarrollo gonádico**

Para la asignación de las fases de desarrollo gonádico se hizo una descripción de todo lo observado en la panorámica de la preparación histológica. La caracterización de las fases de desarrollo gonádico se delimitó por la fase de crecimiento del ovocito más avanzada presente, y con una cobertura evidente, independientemente de su frecuencia. Bajo el supuesto de que la aparición de un tipo de ovocito en la gónada indica inequívocamente que ha entrado en un estado particular de desarrollo gonádico (Saborido, 2004). La descripción utilizada para cada fase de desarrollo gonádico se basó en la propuesta por Ceballos-Vázquez (1993) y Arellano-Martínez (1997), y se modificó para adecuarla al desarrollo gonádico de *S. annulatus*.

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

Con el objeto de conocer la actividad reproductiva durante el periodo de estudio, se calcularon las frecuencias relativas mensuales de las fases de desarrollo gonádico de hembras y machos, y se realizaron gráficas de barras. Asimismo, se describió la distribución temporal de las fases de desarrollo gonádico.

Se consideró como época de reproducción al periodo donde se observaron hembras en desarrollo avanzado, madurez y desove. Para determinar la sincronización de la actividad reproductiva con la fluctuación interanual de la temperatura y el fotoperiodo, se representaron las tendencias temporales con promedio mensuales. Estas tendencias se relacionaron con la actividad reproductiva de las hembras.

### 6.3.7 Incidencia de los desoves

Para un análisis más detallado de la época de reproducción se calcularon las frecuencias relativas por fecha de muestreo de las fases de desarrollo ovárico durante los meses donde se observaron desoves, y para la representación gráfica se utilizaron barras. Adicionalmente, para establecer el efecto del ambiente sobre el desove, se analizaron por fecha de muestreo, el fotoperiodo, el porcentaje de iluminación de la luna y el nivel medio de la marea durante los meses donde se observaron los desoves.

### 6.3.8 Talla de primera madurez

La talla de primera madurez poblacional se define como la talla a partir de la cual el 50% de los individuos de la población están maduros (Saborido, 2004). Partiendo de este concepto se calcularon las frecuencias en número de individuos que presentaron actividad reproductiva por intervalos de dos centímetros de longitud total, tanto en hembras como en machos. De este análisis se excluyeron los organismos que se encontraron en fase de reposo. Después se calculó la frecuencia relativa y la frecuencia relativa acumulada. La media de los rangos de longitud (marca de clase) y las frecuencias acumuladas se ajustaron al modelo logístico a través del programa CurveExpert 1.3.:

$$M_{\%} = \frac{a}{1 + be^{cL_t}}$$

donde:  $M_{\%}$  = porcentaje de maduros,  $a$  = intercepto,  $b$  = pendiente,  $c$  = constante,  $e$  = constante (2.72) y  $L_t$  = longitud total. Una vez que se obtuvo el modelo para cada sexo, los parámetros calculados por el programa se utilizaron como valores semilla en una rutina de optimización del modelo. Esto a partir de una técnica iterativa a través de la herramienta Solver en el programa Excel, haciendo mínima la suma de cuadrados de las desviaciones. Con los parámetros optimizados se calculó la longitud puntual a la cual el 50% de los organismos de cada sexo están maduros.

## 6.4 CICLO DE ALMACENAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES

Para establecer si *S. annulatus* presenta un ciclo de almacenamiento y utilización de nutrientes, se hizo una evaluación a dos niveles. El primero mediante el manejo de índices morfofisiológicos (IGS, IHS y K), los cuales pueden ser usados como indicadores del proceso de almacenamiento, transferencia y utilización de energía. El segundo mediante el análisis de la composición bioquímica de los diferentes tejidos involucrados (ovario, hígado y músculo), lo cual arroja resultados más detallados sobre la posible movilización de nutrientes hacia la gónada.

### 6.4.1 Análisis bioquímicos

Se seleccionaron los ovarios, el hígado y el músculo de 110 hembras dentro de los rangos de 22.5-36 cm de  $L_t$  y 210-1470 g de  $M_t$  colectadas durante el periodo de agosto de 2004 a agosto de 2005. A partir de estos tejidos, los cuales estuvieron congelados a  $-70^{\circ}\text{C}$ , se tomó una submuestra de aproximadamente 0.3 g. Contenidos en tubos eppendorff, los tejidos se sometieron a un proceso de liofilización, posteriormente triturados en seco y homogeneizados en 1 mL de solución salina. Una vez completada esta fase preparatoria, se determinaron las proteínas por el método de Bradford (Bradford, 1976), los lípidos totales por el método de la sulfosfosovainillina (Barnes & Blackstock, 1973) y los carbohidratos por el método de la antrona (Van Handel, 1965) (Fig. 5).

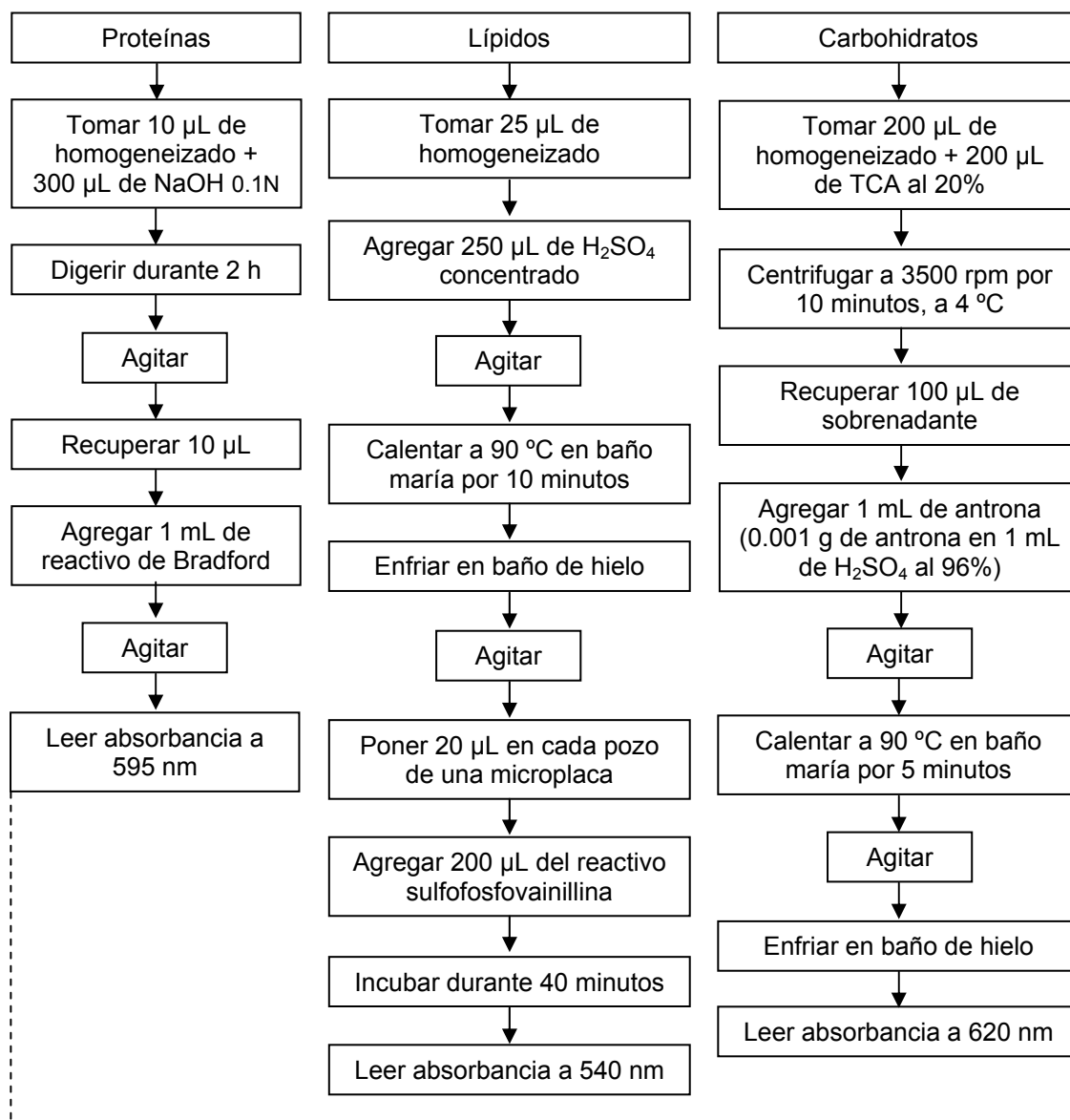
Las absorbancias para proteínas y carbohidratos se midieron en un espectrofotómetro y para lípidos en un lector de microplacas ELISA. En cada caso, se usaron curvas de calibración de los estándares respectivos (solución de albúmina bovina en hidróxido de sodio 1N para proteínas, mezcla de triglicéridos y colesterol para lípidos y solución de dextrosa en ácido tricloroacético al 10% para carbohidratos) e iniciando con un blanco (solución salina). Utilizando la absorbancia y las concentraciones de las curvas se realizó una regresión lineal simple, con el supuesto de que el intercepto es cero. Se obtuvo un modelo lineal para cada análisis a partir del cual se calcularon las concentraciones de los diferentes sustratos:

$$\text{Concentración}_{\left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}\right)} = \frac{\text{Absorbancia} \cdot \text{FD}}{\text{b} \cdot \text{masa}}$$

donde:  $b$  = pendiente de la regresión de los estándares de cada análisis, masa = masa seca en gramos de la muestra utilizada y  $FD$  = factor de dilución:

$$FD = \frac{V_D + V_M}{V_M}$$

donde:  $V_D$  = volumen del diluyente y  $V_M$  = volumen de la muestra.



NaOH, hidróxido de sodio; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ácido sulfúrico; TCA, ácido tricloroacético.

**Figura 5.** Técnicas generalizadas para la determinación de proteínas (Bradford, 1976), lípidos (Barnes & Blackstock, 1973) y carbohidratos totales (Van Handel, 1965).

## 6.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Al tener las matrices de datos, se comprobó si las diferentes variables presentaban una distribución normal mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. La homoscedasticidad de los datos se determinó con la prueba de homogeneidad de variancias de Levene. Cuando una o ambas pruebas resultaron significativas, se aplicaron transformaciones a los datos, para reducir la variancia y normalizar la distribución. A los índices morfofisiológicos se les aplicó una transformación angular:

$$\theta = \arcsen\sqrt{p}$$

donde:  $\theta$  = dato transformado y  $p$  = la proporción del índice (Zar, 1996). Los diámetros de los ovocitos y las concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos se transformaron con logaritmo natural base  $e$  (Zar, 1996). La significación estadística del efecto de los meses y las fases de desarrollo gonádico (variables independientes) sobre la variación de los índices morfofisiológicos, el diámetro de los ovocitos y las concentraciones de los diferentes compuestos bioquímicos de cada tejido (variables dependientes) fueron probadas mediante un análisis de variancia de una vía (Zar, 1996). Seguidas por una prueba de comparaciones múltiples (Newman-Keuls). Para establecer la posible relación de los índices morfofisiológicos con el proceso reproductivo se emplearon análisis de correlación simple (Pearson), entre el IGS con el IHS y el K. Para determinar la relación de los factores ambientales con el proceso reproductivo se aplicó un análisis de correlación por rangos de Spearman entre la temperatura y el fotoperiodo con los promedios mensuales del IGS, el IHS y el K (Zar, 1996). Finalmente, con un análisis multivariado de correlación canónica, se analizó el efecto dependiente de las concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos de las gónadas sobre las respectivas concentraciones de los hígados y músculos. Y a través de los coeficientes canónicos se determinaron las posibles rutas de transferencia de reservas energéticas hacia los ovarios (Morrison, 1990).

Para realizar los análisis estadísticos se usaron los paquetes de programación STATISTICA (Versión 7.0, Statsoft, Inc., Tulsa, OK, Estados Unidos), STATGRAPHICS Plus (Versión 2.0, Statistical Graphics Corporation) y EXCEL (Versión 2002, Microsoft Corporation).

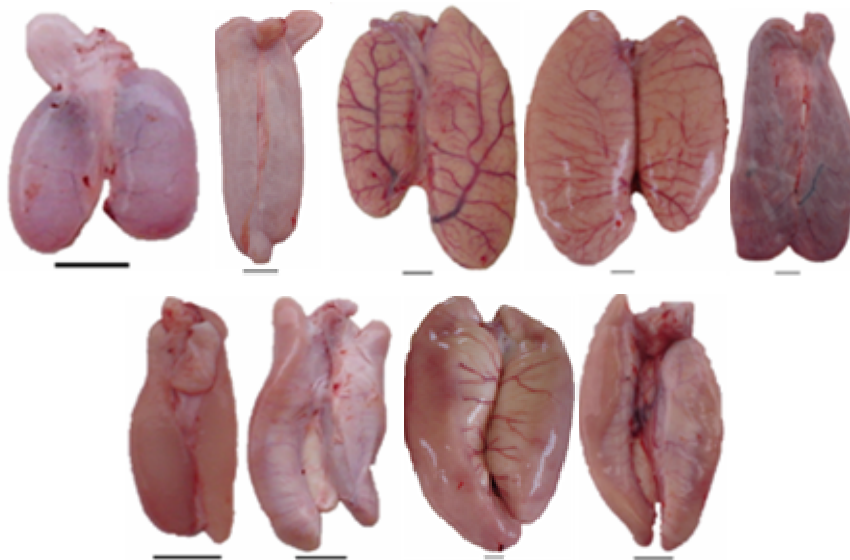


## 7. RESULTADOS

### 7.1 ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA

#### 7.1.1 Estructura gonádica

Los ovarios y testículos de *S. annulatus* son longitudinales y pareados (Fig. 6), suspendidos en la cavidad peritoneal en la parte abdominal por un mesenterio alargado (mesovaria y mesorchia, respectivamente). Ambos están conectados a través de un conducto que desemboca en el poro urogenital. Los ovarios tienen lamelas ovígeras bien organizadas que forman el estroma ovárico donde contienen los ovocitos en las diferentes fases de crecimiento. En los ovarios hay un lumen bien definido a diferencia de los testículos. En los testículos el tejido conjuntivo que forma los tubos seminíferos se compacta cuando no se están almacenando y/o liberando espermatozoides. El epíteto germinal estuvo presente en todos los tubos seminíferos.



**Figura 6.** Ovarios (arriba) y testículos (abajo) de *Spherooides annulatus*. La barra de escala indica 1 cm.

#### 7.1.2 Desarrollo ovárico

Se aplicó la técnica histológica a los ovarios de 313 hembras. Se observó que el desarrollo ovárico es asincrónico, caracterizado por la presencia simultánea de

ovocitos en diferentes fases de crecimiento. Se observó la remaduración después del desove y la atresia folicular en un ovario. Los rangos de tallas de las hembras fueron 19.5-44 cm de longitud total y 130-2200 g de masa total.

### 7.1.2.1 Fases de crecimiento de los ovocitos

Se caracterizaron cuatro fases de crecimiento de los ovocitos: crecimiento primario (Tabla 2), alveolo cortical y vitelogénesis (Tabla 3) y maduración (Tabla 4).

**Tabla 2.** Descripción de la fase crecimiento primario de los ovocitos de *Sphoeroides annulatus*.

Fase	Descripción	Diámetro <sup>1</sup>
Crecimiento primario	Estadio de cromatina nucleolar. Son ovocitos pequeños, envueltos en una capa muy delgada de células foliculares. Tienen ovoplasma basófilo y escaso (teñido densamente de color morado). El núcleo se encuentra localizado en el centro del ovocito y contiene un nucleolo proporcionalmente grande con respecto a otras fases. Este estadio de ovocito se observó durante todo el desarrollo ovárico.	30.19±1.53
	Estadio perinucleolar. Se ha incrementado el ovoplasma al igual que el tamaño del núcleo y la capa de células foliculares es aún muy fina. El ovoplasma es basófilo (se tiñe de morado) pero conforme va incrementando su tamaño va perdiendo ligeramente su afinidad por la hematoxilina, y además se torna de apariencia lisa a grumosa. Dentro del núcleo se observan múltiples nucleolos colocados en la periferia (n>10).	67.52±1.43




<sup>1</sup> media±error estándar (µm)

**Tabla 3.** Descripción de las fases alveolo cortical y vitelogénesis de los ovocitos de *Sphoeroides annulatus*.

Fase	Descripción	Diámetro <sup>1</sup>
Alveolo cortical	Son ovocitos con un ovoplasma que aún se tiñe de morado pero no tan intenso y contiene vesículas llamadas alvéolos corticales en la periferia. Los alveolos corticales se van incrementando en tamaño y se pueden identificar como estructuras transparentes, ya que no tienen afinidad por los colorantes hematoxilina-eosina. En esta fase del desarrollo ya se puede diferenciar la zona radiata como una delgada capa, los nucleolos aún se conservan colocados en la periferia del núcleo.	103.07±1.54
Vitelogénesis	Se ha incrementado aún más el ovoplasma, el cual tiene menos afinidad por la hematoxilina que el estadio anterior. Los alveolos corticales se observan de mayor tamaño, al igual que la zona radiata la cual es más evidente. Sin embargo las células foliculares correspondientes a la capa granulosa y las tecas, no se pueden diferenciar. En esta fase se incluyen desde ovocitos con gránulos diminutos de vitelo incorporado en el ovoplasma, hasta ovocitos con gránulos de vitelo muy evidentes. El núcleo se ve relativamente más pequeño con respecto al ovoplasma que en fases anteriores, además contiene un menor número de nucleolos.	162±2.29

<sup>1</sup> media±error estándar (µm)

**Tabla 4.** Descripción de la fase maduración de los ovocitos de *Spherooides annulatus*.

Fase	Descripción	Diámetro <sup>1</sup>
Maduración	Estadio de gránulo de vitelo. El tamaño de los ovocitos se ha incrementado aún más y la zona radiata es aún más evidente. El ovoplasma se encuentra totalmente lleno de gránulos de vitelo. El núcleo está en el centro del ovoplasma y contiene pocos nucleolos. Su tamaño es considerablemente menor en relación al ovoplasma.	343.37±2.03 
	Estadio de núcleo migratorio. La posición del núcleo en estos ovocitos ya no es central, lo que indica que ha iniciado su migración hacia el polo animal. Además cerca del núcleo se está dando una congregación de vesículas (alveolos corticales) de tamaño variable.	481.49±4.41 
	Estadio de proteólisis de vitelo. Finalmente se observan ovocitos con casi todo el vitelo fusionado o solo en algunas áreas del ovoplasma. Las vesículas (alvéolos corticales) que se observaron en el estadio anterior al parecer se fusionaron, ya que en este estadio se observan aún más grandes y en menor número.	466.25±3.82 

<sup>1</sup> media±error estándar (µm)

### 7.1.2.2 Fases de desarrollo ovárico

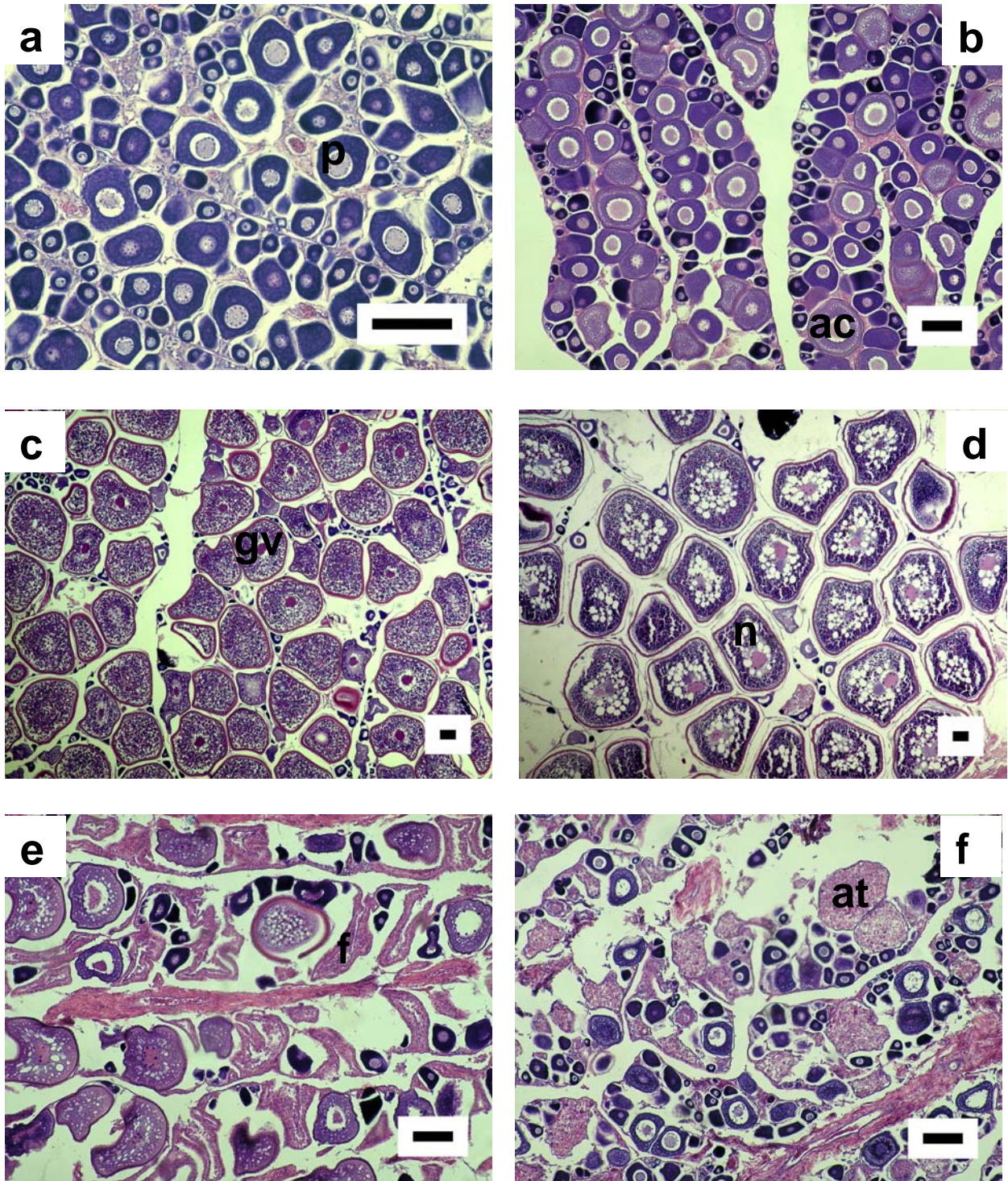
Se describieron seis fases de desarrollo ovárico: reposo, desarrollo inicial, desarrollo avanzado, madurez, desove y postdesove. Adicionalmente se observó a un ovario en un estado denominado en este trabajo como reabsorción.

**Reposo:** Se caracterizó por la amplia cobertura de ovocitos en la fase de crecimiento primario (Fig. 7a). Además se observan ovocitos atrésicos.

**Desarrollo inicial:** Se distingue por la presencia de ovocitos en la fase de alveolo cortical y/o vitelogénesis (Fig. 7b). También se presentan ovocitos en la fase de crecimiento primario. Algunos ovocitos atrésicos.

**Desarrollo avanzado:** Se caracteriza por una amplia cobertura de ovocitos en la fase de maduración del estadio de gránulo de vitelo (Fig. 7c). Se presentan ovocitos con menor grado de desarrollo, algunos atrésicos.

**Madurez:** Se puede identificar por la amplia cobertura de ovocitos en la fase de maduración (Fig. 7d). Lo que caracteriza a esta fase de desarrollo ovárico son la presencia simultánea de los estadios de crecimiento de los ovocitos: núcleo migratorio y proteólisis de vitelo. En algunos ovarios solo se observaron ovocitos en la fase de maduración del estadio de proteólisis de vitelo. Ovocitos en fases con menor grado de desarrollo estuvieron presentes, algunos atrésicos.

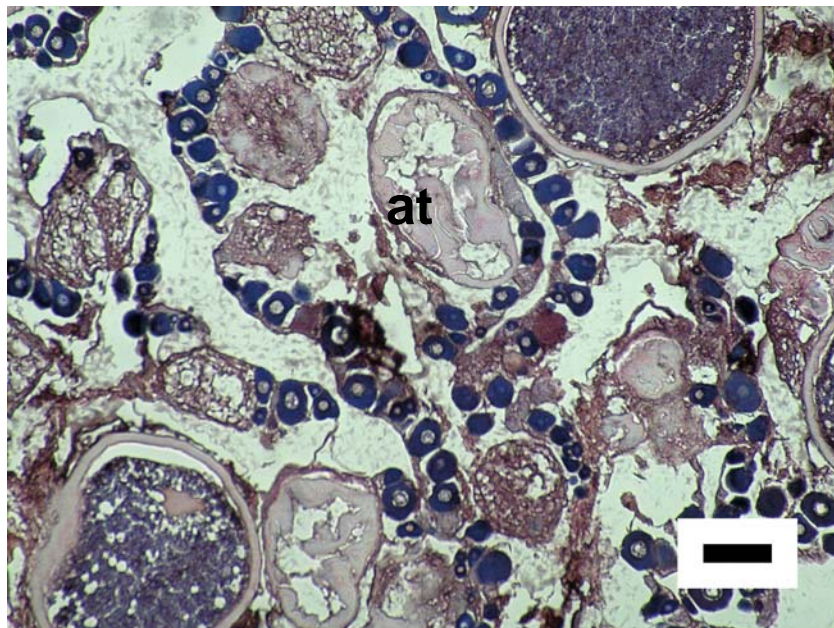


**Figura 7.** Fases de desarrollo ovárico de *Spherooides annulatus*. a) reposo, b) desarrollo inicial, c) desarrollo avanzado, d) madurez, e) desove y f) postdesove. p, ovocito en estadio perinucleolar; ac, ovocito en fase de alveolo cortical; gv, ovocito en estadio de granulo de vitelo; n, ovocito en estadio de núcleo migratorio; f, folículo postovulatorio; at, atresia. La barra de escala son 100 µm.

**Desove:** Se determinó por la presencia de folículos postovulatorios (Fig. 7e). Puede haber ovocitos de todas las fases de crecimiento, atresias y cantidades evidentes de tejido conjuntivo. En algunos ovarios se observó la presencia simultánea de folículos postovulatorios, ovocitos en las fases de alveolo cortical y vitelogénesis, lo que indica que es posible que hubiera un desove posterior.

**Postdesove:** Se caracterizó por la presencia de atresias de ovocitos en todas las fases de crecimiento y de tejido conjuntivo muy evidente (Fig. 7f). Se consideraron también algunos ovarios con una amplia cobertura de ovocitos en crecimiento primario, además de tejido conjuntivo muy evidente y lo que las ubicó dentro de esta fase fue la presencia de algunas atresias de maduros en el lumen o incluso aún dentro de las lamelas ovígeras. Este último criterio fue el más frecuente.

El estado de reabsorción se caracterizó por la presencia de atresias derivadas de ovocitos en la fase de maduración (Fig. 8). En las atresias se observaron claramente invaginadas las capas de la teca, granulosa y zona radiata en el ovoplasma. No se encontró evidencia de desove.



**Figura 8.** Estado de reabsorción observado en un ovario de *Spherooides annulatus*. at, ovocito atrésico. La barra de escala son 100  $\mu$ m.

### 7.1.3 Fases de desarrollo testicular

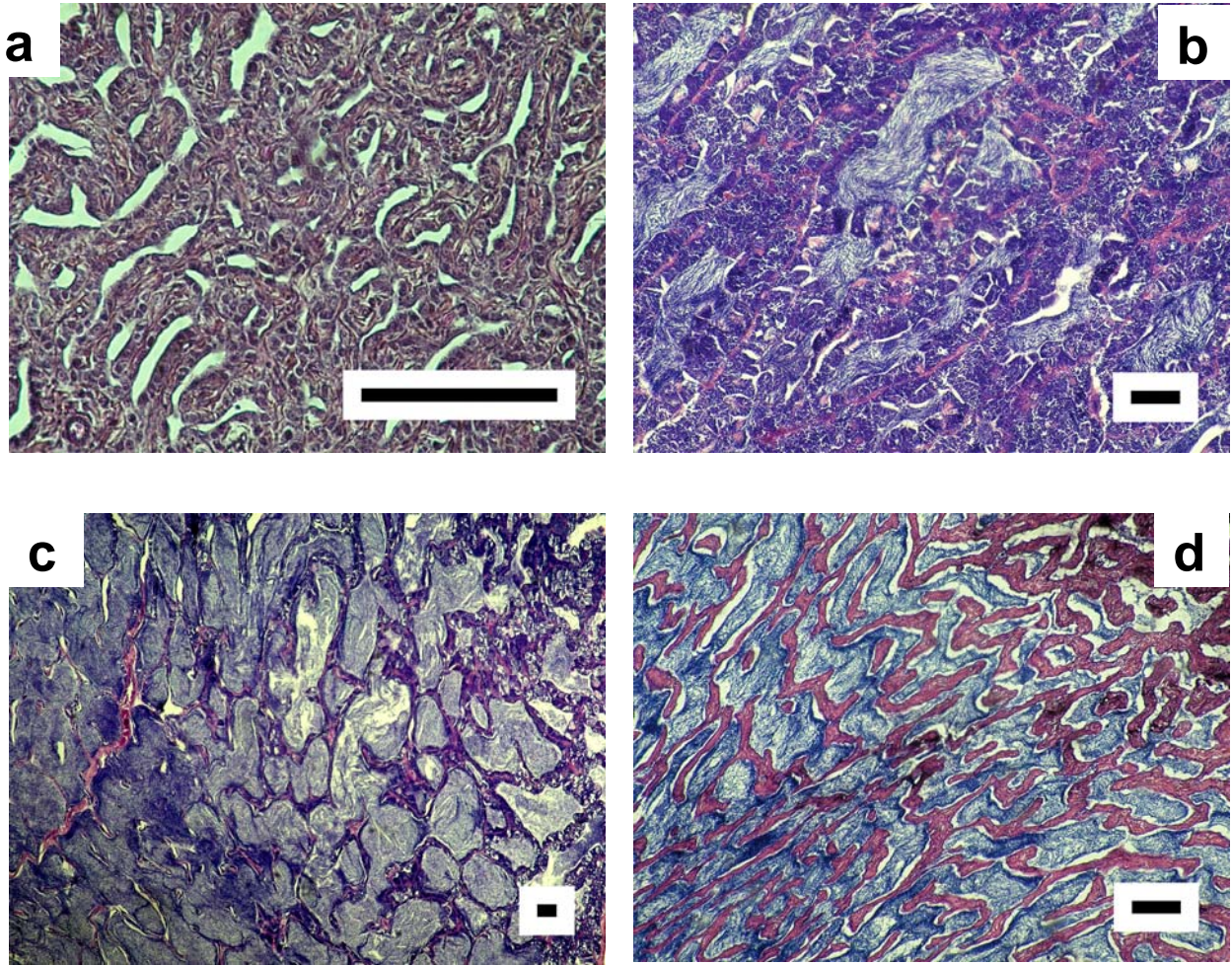
En los machos, se realizaron cortes histológicos de 307 testículos, a partir de las cuales se caracterizaron solo cuatro fases de desarrollo testicular: reposo, desarrollo, eyaculación y eyaculada. La fase de madurez no se incluyó debido a que los espermatozoides son liberados conforme se van produciendo. Los rangos de tallas de los machos fueron 20-42 cm de longitud total y 180-1550 g de masa total.

**Reposo:** Se pueden observar espermatogónias y escasos espermatoцитos. Los tubos seminíferos pueden estar compactos o semicompactos; con las paredes (tejido conjuntivo) muy engrosadas, además el tubo colector o canal de eyaculación puede contener espermatozoides residuales en poca cantidad. Los testículos son generalmente pequeños (Fig. 9a).

**Desarrollo:** En esta fase se clasifican los testículos en los cuales se observaron agrupaciones notables de espermatoцитos adheridos a las paredes de los tubos seminíferos. Se pueden observar espermátidas y espermatozoides en el interior de los tubos seminíferos. Además puede observarse acumulación de espermatozoides (Fig. 9b).

**Eyaculación:** Se observa un patrón de desarrollo, maduración y eyaculación en los testículos. El progreso del desarrollo de la espermatogénesis ocurre desde la parte distal de los testículos y se desarrolla y madura hacia el canal de eyaculación donde se acumulan los espermatozoides. En los tubos que presentan la ruptura de sus paredes (característica de la eyaculación) también se observan espermatozoides, particularidad de esta fase. Aún cuando parece que el testículo esta solamente eyaculando, puede observarse en la periferia actividad de desarrollo (Fig. 9c).

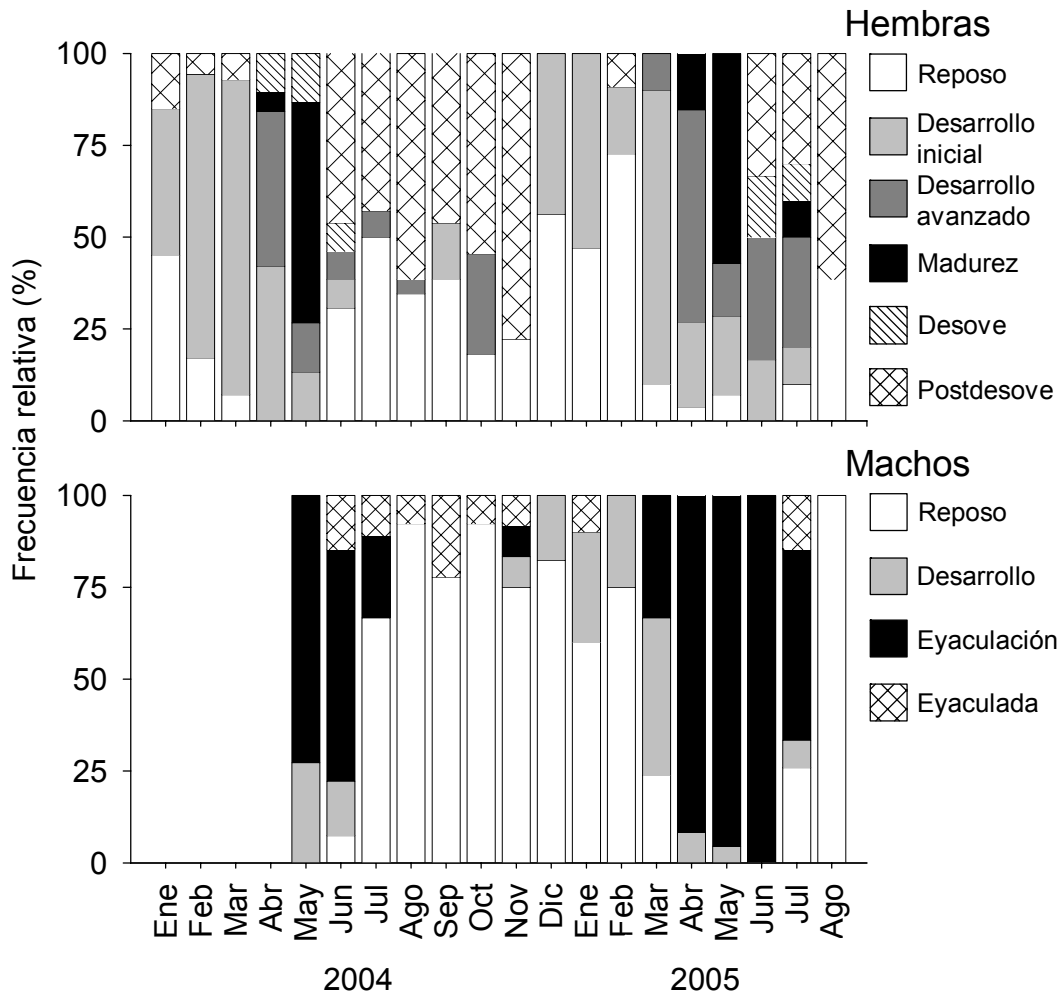
**Eyaculada:** La actividad espermatogénica es muy escasa; no hay proliferación y se presentan espermatozoides residuales principalmente en el canal de eyaculación. Los tubos seminíferos no son compactos y sus paredes (tejido conjuntivo) están ligeramente engrosadas (Fig. 9d).



**Figura 9.** Fases de desarrollo testicular de *Spherooides annulatus*. a) reposo, b) desarrollo, c) eyaculación y d) eyaculada. La barra de escala son 100 µm.

### 7.1.4 Ciclo reproductivo

Durante el 2004 y el 2005 la mayor actividad reproductiva se observó en primavera, mostrando que el evento reproductivo es estacional (Fig. 10).



**Figura 10.** Ciclo reproductivo de *Sphoeroides annulatus* en la costa de Mazatlán, Sinaloa, México.

Las fases sin actividad gametogénica; el reposo (hembras y machos), el postdesove (hembras) y la fase eyaculada (machos) estuvieron presentes durante casi todos los meses (Fig. 10), aunque fueron menos frecuentes en los meses donde se presentó el desarrollo avanzado, la madurez (hembras) y la eyaculación (machos). El postdesove (hembras) que se observó en la mayoría de los meses tuvo una gran cobertura de ovocitos en crecimiento primario, con capas gruesas de tejido



conjuntivo formando el estroma ovárico, y atresias de maduros que aún no se habían reabsorbido. El postdesove con atresias muy evidentes y reabsorción de folículos postovulatorios se observó inmediatamente después del desove.

En los machos, el desarrollo testicular se observó en casi todos los meses excepto de julio a octubre de 2004 y la eyaculación de mayo a julio de 2004, con una pequeña proporción de organismos en noviembre y de marzo a julio durante el 2005. Cabe mencionar que de enero a abril de 2004 no se colectaron testículos para someterlos al proceso histológico.

En las hembras, el desarrollo inicial se presentó prácticamente en todo el periodo de estudio. En esta fase, la presencia de ovocitos en vitelogénesis se observó de febrero a mayo de 2004 y de marzo a mayo de 2005. Durante el 2004 el desarrollo avanzado se observó de abril a agosto y en octubre, y durante el 2005 de marzo a julio. La madurez se observó en abril y mayo (2004 y 2005) y en julio (2005). El desove se observó de abril a junio en 2004 y de junio a julio en 2005. Cabe destacar que en agosto de 2004 es donde se presentó un ovario en estado de reabsorción.

#### 7.1.4.1 Ciclo ovárico

De acuerdo con las fases de desarrollo ovárico descritas y su variación temporal, el ciclo ovárico puede seguir las secuencias esquematizadas en la figura 11.

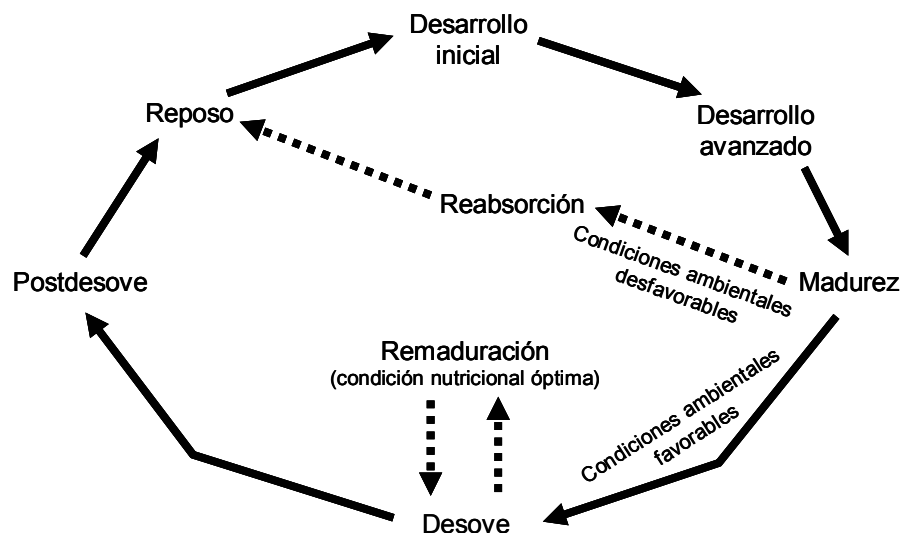
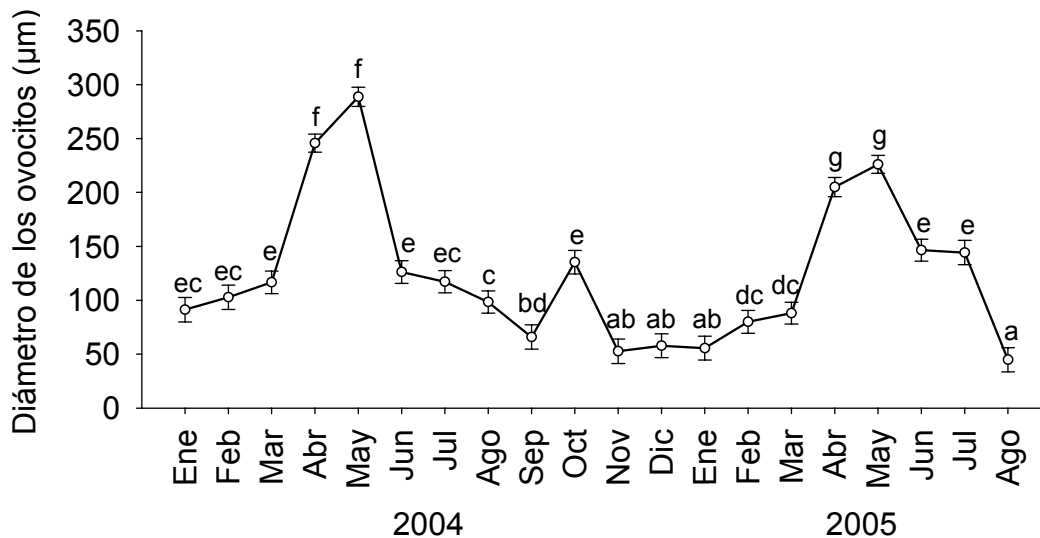


Figura 11. Ciclo ovárico de *Sphoeroides annulatus*.

#### 7.1.4.2 Variación temporal del diámetro de los ovocitos

El diámetro promedio de los ovocitos presentó diferencias significativas entre los meses ( $F_{19,2437} = 42.174$ ,  $p < 0.001$ ). Los valores significativamente más altos se observaron en abril y mayo (2004 y 2005), seguidos de un descenso significativo a partir de junio (Fig. 12). Por otra parte, en octubre del 2004 se observó un incremento significativo, y disminución en los siguientes meses.



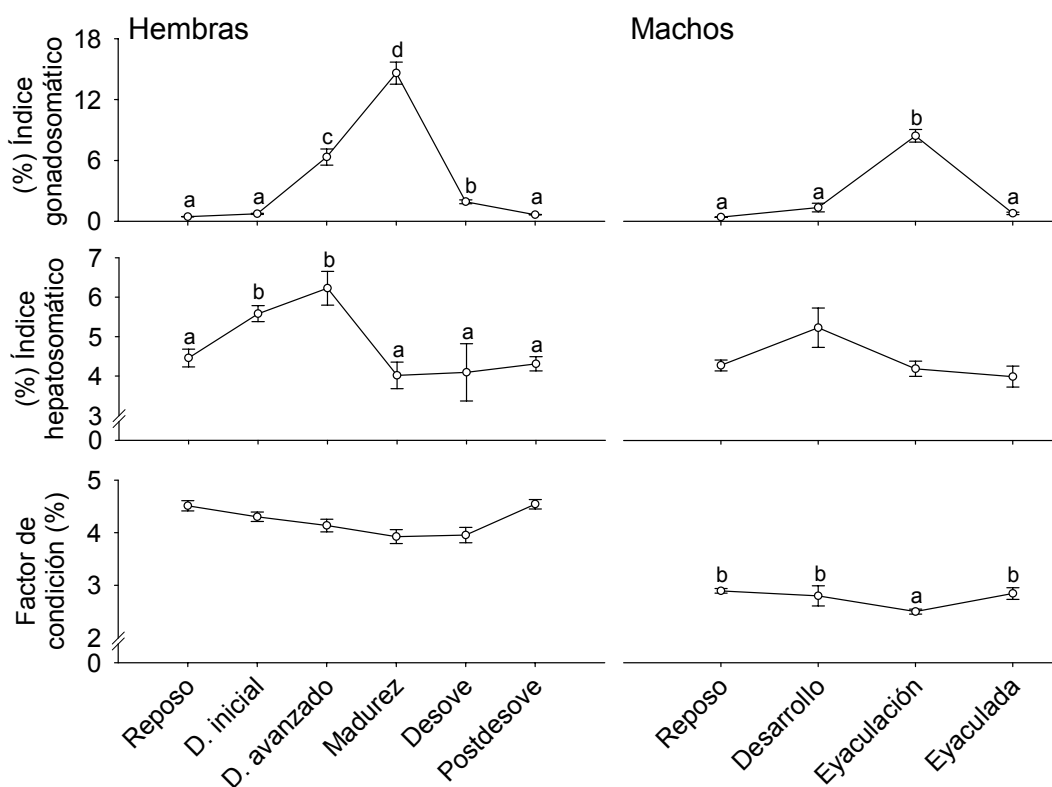
**Figura 12.** Variación temporal del diámetro medio de los ovocitos de *Spherooides annulatus*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

#### 7.1.4.3 Índices morfofisiológicos

##### 7.1.4.3.1 Variación de los índices morfofisiológicos por fase de desarrollo gonádico

El IGS varió significativamente conforme avanzó el desarrollo de las gónadas, tanto en las hembras ( $F_{5,304} = 307.99$ ,  $p < 0.001$ ) como en los machos ( $F_{3,308} = 189.57$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 13). Las fases de reposo, desarrollo inicial y postdesove en las hembras, y reposo, desarrollo y eyaculada en los machos, tuvieron los valores del IGS significativamente más bajos. La fase de madurez (hembras) y eyaculación (machos) tuvieron los valores medios significativamente más altos. El rango de los

valores del IGS observados en el periodo de estudio para hembras fue de 0.20-25.71 y para machos fue de 0.09-26.32.



**Figura 13.** Índice gonadosomático, hepatosomático y factor de condición por fases de desarrollo gonádico. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

El IHS varió significativamente conforme avanzó el desarrollo de los ovarios ( $F_{5,287} = 7.80$ ,  $p < 0.001$ ) pero no con el desarrollo de los testículos ( $F_{3,303} = 1.68$ ,  $p = 0.17$ ) (Fig. 13). En las hembras hubo un descenso significativo del valor medio del IHS de la fase de desarrollo avanzado a la de madurez. El rango de los valores del IHS observados en el periodo de estudio para hembras fue 0.00-11.63 y para machos fue de 0.79-10.24.

El K varió significativamente en función del desarrollo de los testículos ( $F_{3,308} = 11.88$ ,  $p < 0.001$ ) pero no con el desarrollo de los ovarios ( $F_{5,307} = 1.55$ ,  $p = 0.17$ ) (Fig. 13). Las hembras tuvieron los valores medios del K más altos que los machos; en éstos últimos el K descendió significativamente en la fase de eyaculación. El

rango de los valores del K observados en el periodo de estudio para hembras fue de 2-7.02 y para machos fue de 1.14-4.14 (Tabla 5).

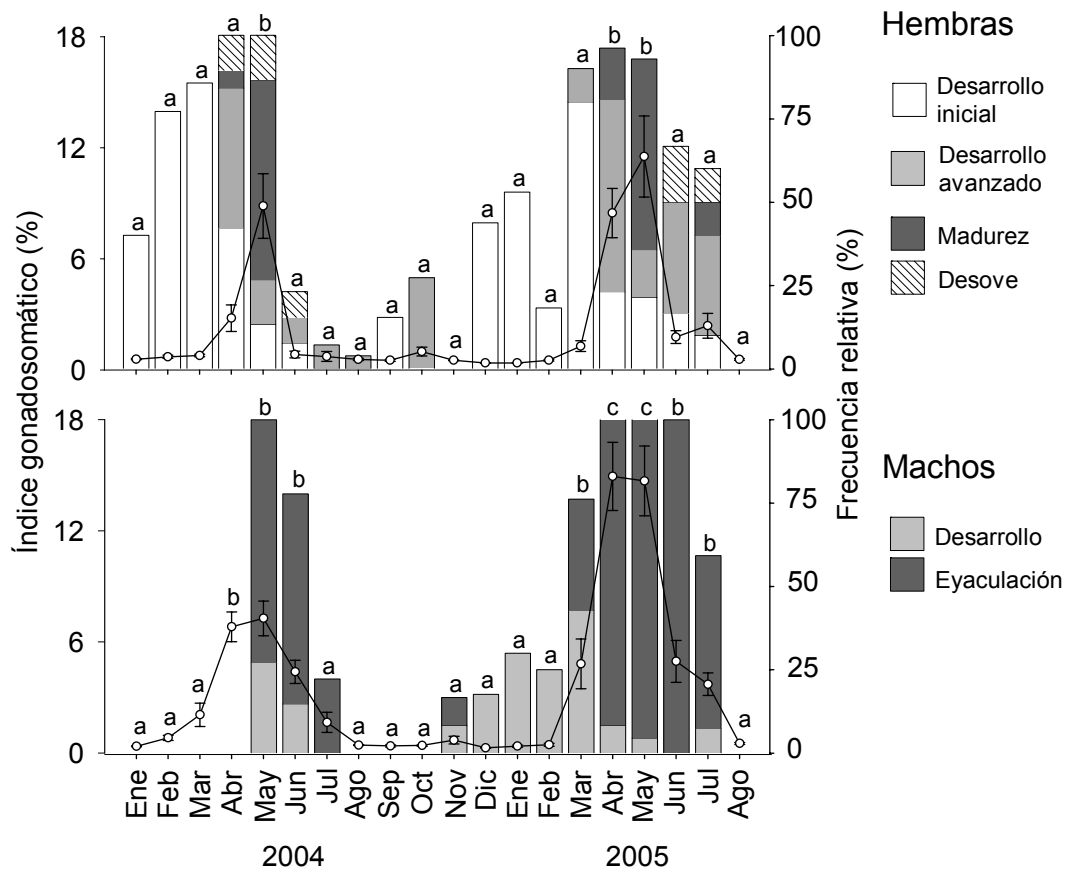
**Tabla 5.** Valores máximos y mínimos del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y el factor de condición (K), por sexos y clasificados en función de las fases de desarrollo gonádico de *Sphoeroides annulatus*.

Sexo	Fase de desarrollo ovárico	IGS		IHS		K	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Hembra	Reposo	0.20	1.08	1.07	11.63	2.00	7.02
	Desarrollo inicial	0.27	3.59	0.00	11.45	2.46	6.61
	Desarrollo avanzado	1.59	20.99	1.84	11.10	2.71	5.65
	Madurez	4.73	25.71	1.65	6.99	3.05	5.41
	Desove	1.06	2.74	2.07	7.91	3.52	4.43
	Postdesove	0.39	1.69	2.02	8.65	3.37	6.91
Macho	Reposo	0.09	1.28	0.87	10.24	1.50	4.14
	Desarrollo	0.23	7.52	1.33	9.59	1.54	3.99
	Eyaculación	0.38	26.32	0.79	9.48	1.14	4.01
	Eyaculada	0.23	2.13	1.30	5.68	1.92	3.84

No hubo una correlación estadísticamente significativa entre el IGS y el IHS tanto en hembras ( $R = 0.08$ ,  $p = 0.16$ ) como en machos ( $R = 0.07$ ,  $p = 0.22$ ). Sin embargo, hubo una disminución en el valor del IHS en la fase de máxima madurez en ambos sexos. Por el contrario, el IGS y el K si presentaron una correlación inversa significativa tanto en hembras ( $R = -0.30$ ,  $p < 0.05$ ) como en machos ( $R = -0.40$ ,  $p < 0.05$ ).

#### **7.1.4.3.2 Variación temporal de los índices morfofisiológicos y su relación con variables ambientales**

El IGS mostró un marcado patrón estacional en *S. annulatus*, y sus valores medios significativamente más altos a través de los meses coinciden con la mayor actividad reproductiva tanto en hembras (abril-mayo) ( $F_{20,296} = 21.92$ ,  $p < 0.001$ ) como en machos (marzo-julio) ( $F_{20,376} = 39.94$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 14).



**Figura 14.** Variación temporal del índice gonadosomático en relación con la actividad reproductiva de *Sphaeroides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

En las hembras, se presentó un ligero incremento del IGS en octubre, y en noviembre para machos, y aunque éste no es significativo coincide con la presencia de hembras en desarrollo avanzado y de machos en eyaculación (Fig. 14). Esto podría indicar que existe una segunda época reproductiva de menor intensidad.

El valor promedio del IHS varió significativamente a través de los meses en las hembras ( $F_{19,278} = 4.08$ ,  $p < 0.001$ ) y en los machos ( $F_{19,361} = 7.05$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 15). En ambos sexos el IHS se incrementa en primavera (marzo-abril) y desciende en mayo con la madurez y eyaculación.

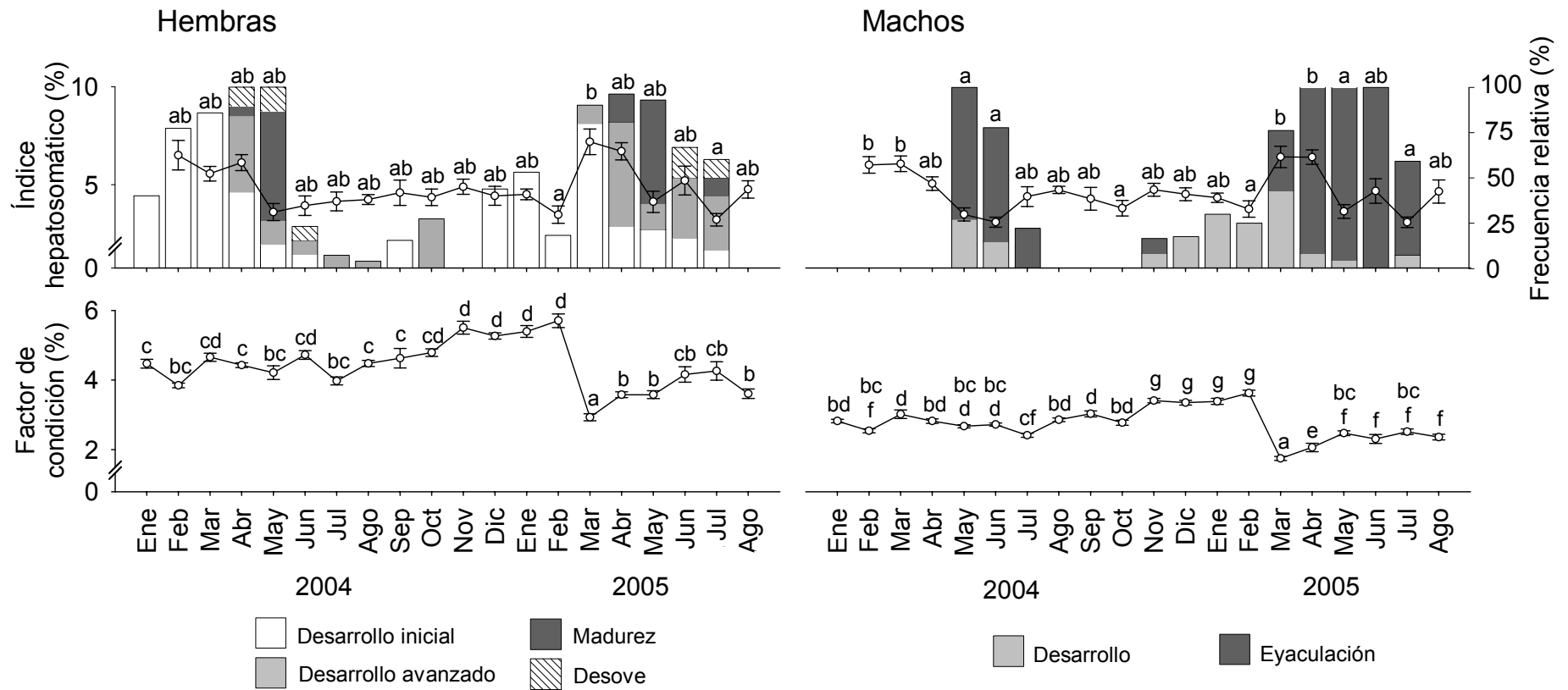
En los valores medios del K hubo fluctuaciones significativas en función de los meses tanto en hembras ( $F_{20,299} = 23.30$ ,  $p < 0.001$ ) como en machos ( $F_{20,378} =$

35.29,  $p < 0.001$ ) (Fig. 15). En ambos sexos, los valores más altos se observaron de noviembre de 2004 a febrero de 2005. Durante el 2005 se observó un descenso significativo con el inicio de la madurez (hembras) y la eyaculación (machos), seguido de una tendencia de incremento que coincide con la primavera. Las fluctuaciones temporales de los índices morfofisiológicos casi siempre coinciden entre ambos sexos.

Durante el periodo de estudio el IGS y el K se correlacionaron directamente con el fotoperiodo pero no con la temperatura tanto en hembras como en machos (Tabla 6). En cambio el IHS tuvo una correlación inversa y significativa con la temperatura pero no con el fotoperiodo en ambos sexos.

**Tabla 6.** Correlación de la temperatura y el fotoperiodo con los índices morfofisiológicos de *Sphoeroides annulatus*.

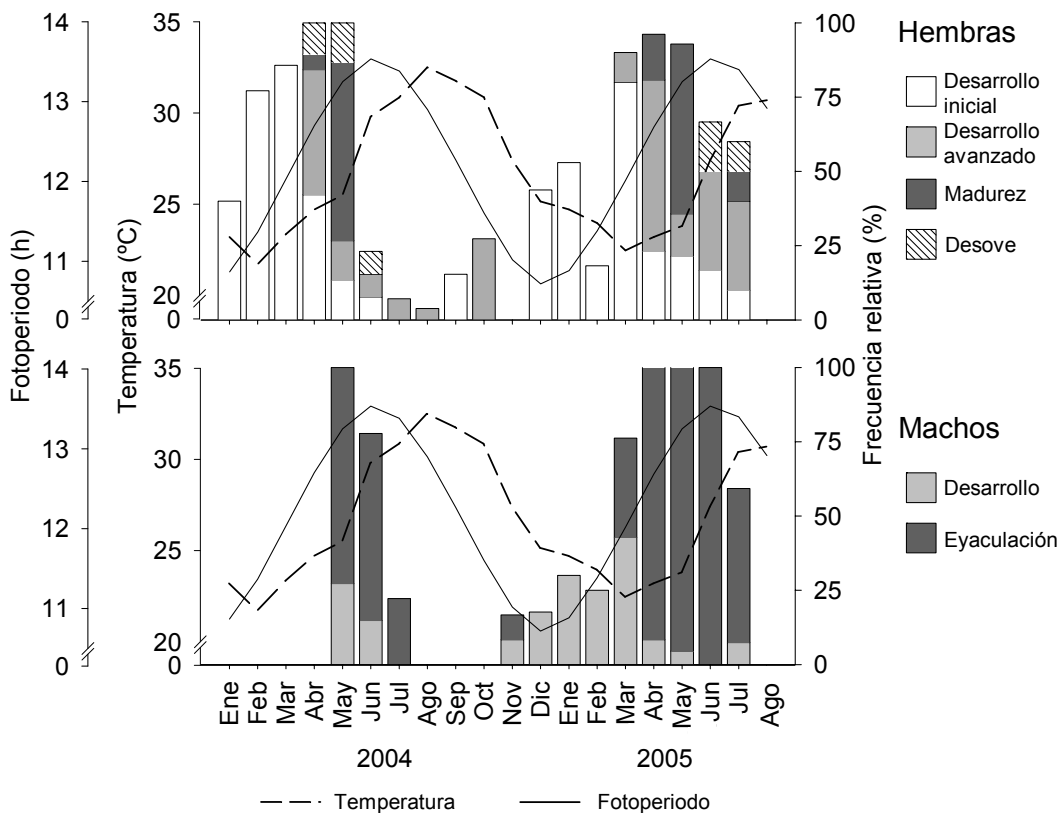
Sexo	Índices	Temperatura		Fotoperiodo	
		R	p	R	p
Hembras	IGS	-0.19	0.42	0.62	0.003
	IHS	-0.47	0.04	-0.34	0.15
	K	0.27	0.25	-0.45	0.04
Machos	IGS	-0.27	0.25	0.65	0.001
	IHS	-0.45	0.05	-0.37	0.12
	K	0.12	0.60	-0.59	0.006



**Figura 15.** Variación temporal del índice hepatosomático y del factor de condición en relación con la actividad reproductiva de *Sphoeroides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar de la media.

#### 7.1.4.4 Época de reproducción y su relación con variables ambientales

Para el periodo de estudio (enero 2004-agosto 2005) y con base en el ciclo reproductivo se establece que anualmente *S. annulatus* tiene dos épocas de reproducción, bajo el criterio de presencia de las fases de desarrollo avanzado, madurez y desove en las hembras y eyaculación en los machos. Durante el 2004 la principal época de reproducción fue de abril a agosto y la segunda fue muy breve y de baja intensidad con respecto a la anterior y ocurrió de octubre a noviembre. En el 2005 se observó la principal época de reproducción en el periodo de marzo a julio (Fig. 16).



**Figura 16.** Promedios mensuales del fotoperiodo y de la temperatura superficial del agua en relación con la actividad reproductiva de *Sphoeroides annulatus*.

Durante el periodo de estudio, la temperatura oscilo en un rango de 21.7 a 32.5 °C y el fotoperiodo en un rango de 10.72 a 13.55 horas. En ambos, los valores promedio más bajos se registraron durante otoño-invierno y los más altos en



primavera-verano en coincidencia con la principal época de reproducción. Se aprecia en la figura 16 que con el incremento del fotoperiodo inicia el desarrollo ovárico en las hembras en el 2004 y el 2005, representado por el desarrollo inicial. Aunque no se destaca en la gráfica, cabe mencionar que en febrero de 2004 y marzo de 2005 la vitelogénesis inicia junto con el incremento de la temperatura.

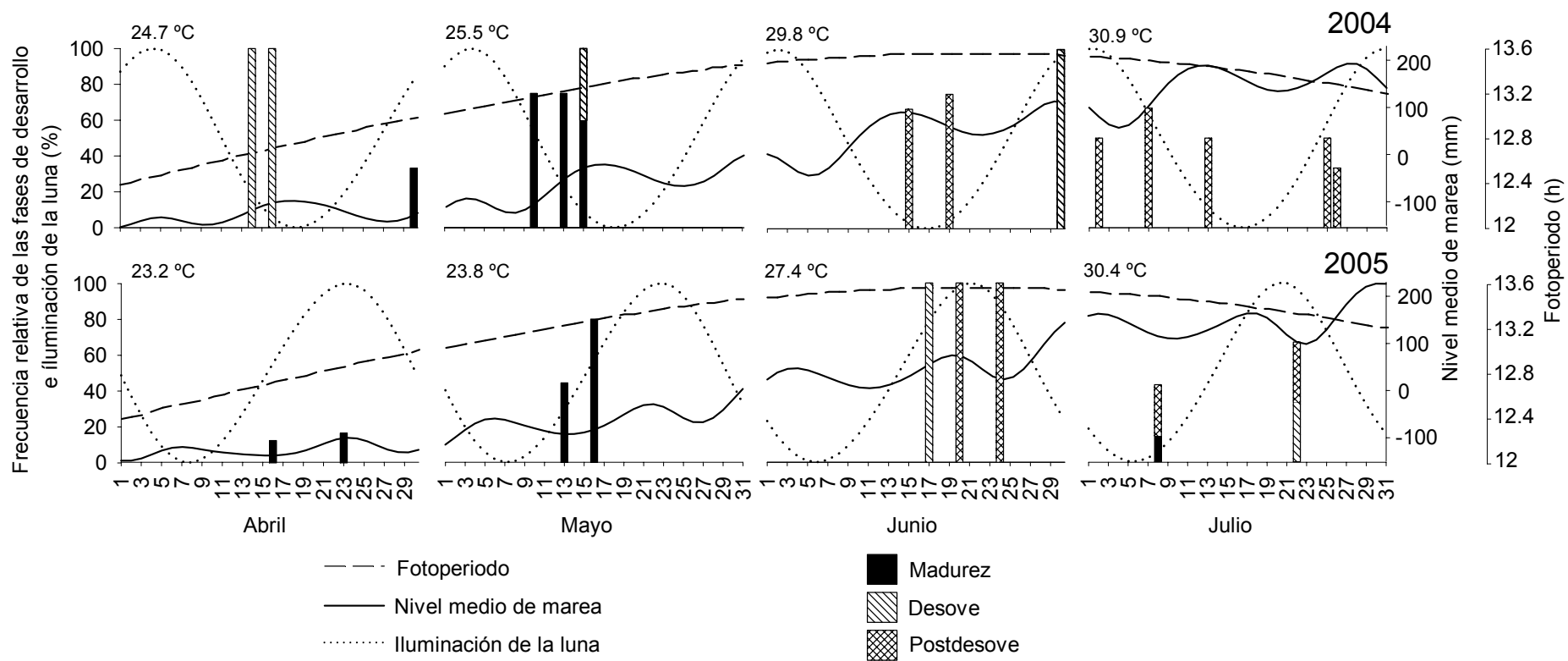
La segunda época de reproducción de 2004 ocurrió durante el descenso anual de la temperatura (30.9°C a 27.4°C) y del fotoperiodo (11.6 horas a 11.2 horas).

#### **7.1.4.5 Incidencia de desoves y su relación con variables ambientales**

Se presentaron organismos en desove de abril a junio en el 2004 y de junio a julio en el 2005. En la figura 17 se presenta la variación de la temperatura y el fotoperiodo en relación con los desoves.

Los desoves se observaron cada 30 días aproximadamente. Casi todos los desoves coincidieron con un incremento en el nivel medio de la marea, sin embargo no se relacionó con alguna fase lunar (porcentaje de iluminación de la luna). En general ocurrieron entre los 24.7-30.4 °C de temperatura y las 12.67-13.55 h de fotoperiodo.

Las frecuencias de madurez que se observaron en abril de 2004, y en abril y mayo de 2005 son un indicador de que hubo desoves posteriormente. Estos desoves a su vez estarían relacionados con el incremento del nivel de marea, tal como ocurrió en mayo de 2004. De igual forma, las frecuencias del postdesove de junio y julio de 2004 son un indicador de una previa incidencia de desove tal como se observa en junio y julio de 2005.

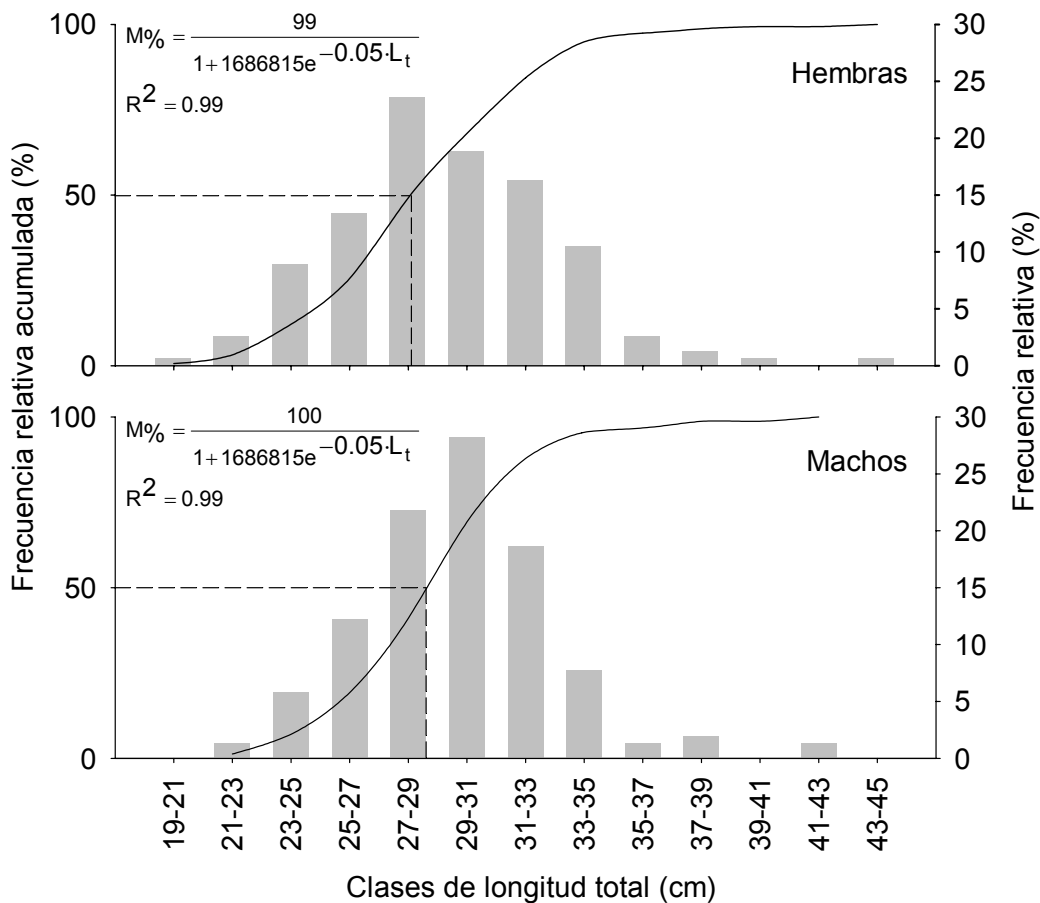


**Figura 17.** Variación diaria del fotoperiodo, el nivel medio de la marea y el porcentaje de iluminación de la luna, y variación mensual de la temperatura, en relación con los desoves observados de *Sphaeroides annulatus* durante abril-julio (2004-2005).

### 7.1.5 Talla de primera madurez

El rango de longitud total en el cual se encontraron hembras maduras fue 19.5 a 44 cm y en los machos fue 22.5 a 42 cm. El rango de longitud total en el cual se encontró el 50% de organismos maduros fue 27 a 29 cm en las hembras y en los machos.

Las tallas de primera madurez que se calcularon a partir de los modelos logísticos (Fig. 18) fueron 28.2 cm  $L_t$  para hembras y 28.6 cm  $L_t$  para machos.

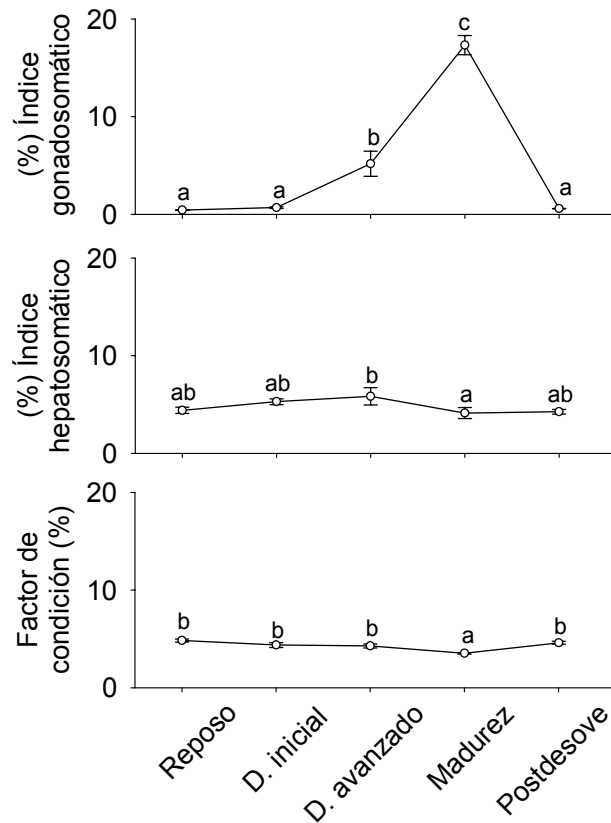


**Figura 18.** Distribución de frecuencias de las hembras y los machos maduros de *Sphaeroides annulatus*, con su respectivo modelo logístico ajustado, a través del cual se calculó la talla de primera madurez.

## 7.2 CICLO DE ALMACENAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES

### 7.2.1 Índices morfofisiológicos

En este análisis, los valores del IGS, IHS y K solo corresponden a las hembras consideradas para los análisis bioquímicos por lo cual no son exactamente los mismos datos que en la sección anterior. Los valores medios del IGS ( $F_{4,105} = 263.97$ ,  $p < 0.001$ ), el IHS ( $F_{4,105} = 2.84$ ,  $p = 0.03$ ) y el K ( $F_{4,105} = 4.39$ ,  $p = 0.01$ ) variaron significativamente en función de las fases de desarrollo ovárico (Fig. 19).

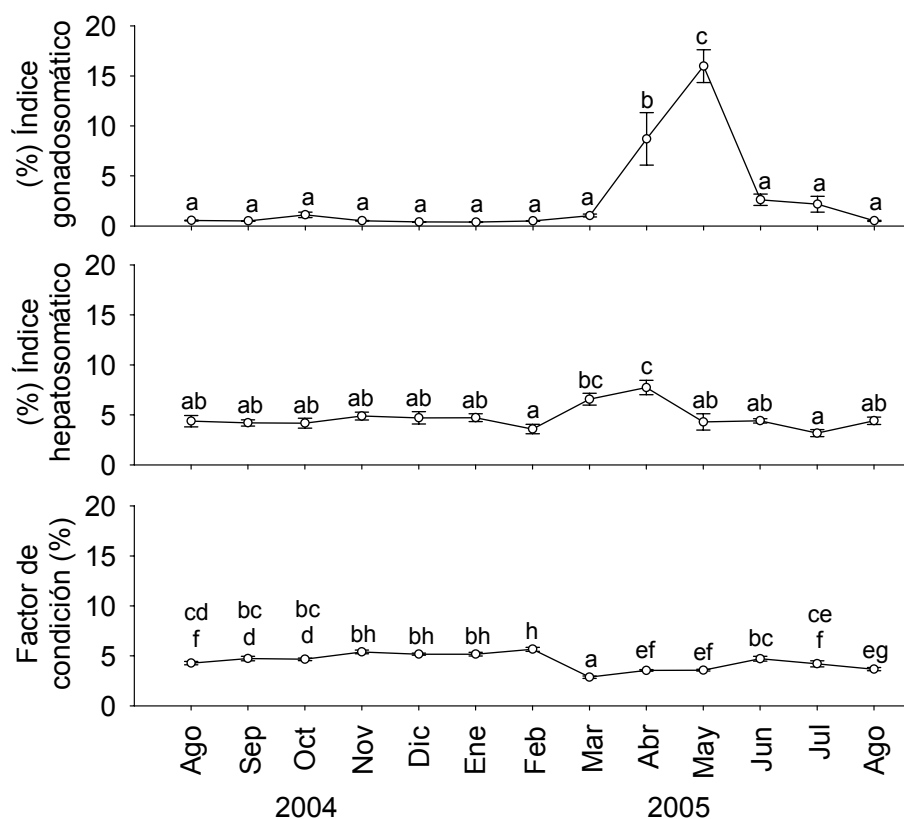


**Figura 19.** Variación por fases de desarrollo ovárico del índice gonadosomático, hepatosomático y el factor de condición de las hembras de *Spherooides annulatus* cuya composición bioquímica fue determinada. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

Junto con el aumento significativo del IGS en la fase de madurez, se presentó una disminución significativa en los valores medios del IHS y del K (Fig. 19). Las

fases de reposo, desarrollo inicial y postdesove tienen los valores del IGS significativamente más bajos. El desarrollo avanzado tiene el valor promedio más alto del IHS. Y el K tuvo sus valores significativamente más altos en el reposo, desarrollo inicial, desarrollo avanzado y postdesove.

La media del IGS ( $F_{12,97} = 25.24$ ,  $p < 0.001$ ), el IHS ( $F_{12,97} = 4.93$ ,  $p < 0.001$ ) y el K ( $F_{12,97} = 23.05$ ,  $p < 0.001$ ) también fluctuó significativamente a través de los meses (Fig. 20).



**Figura 20.** Variación temporal del índice gonadosomático, hepatosomático y el factor de condición de las hembras de *Spherooides annulatus* cuya composición bioquímica fue determinada. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar de la media.

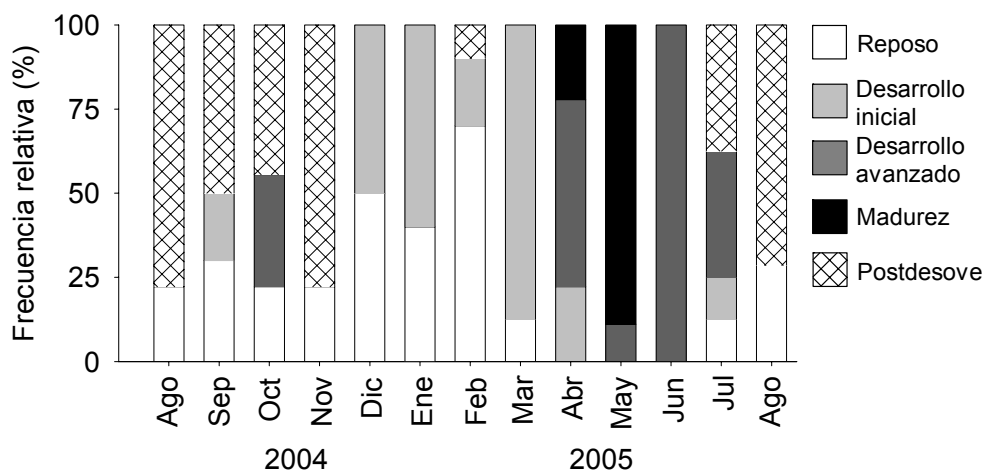
La madurez que se presentó en abril y mayo provocó los valores del IGS significativamente más altos, durante el resto de los meses los valores permanecieron significativamente bajos. El IHS tuvo un periodo de incremento en

marzo y abril de 2005. Los valores más bajos del IHS se observaron en febrero y julio de 2005. Por su parte, el K se mantuvo casi constante desde agosto de 2004 hasta febrero de 2005, tuvo un descenso significativo en marzo. A partir de abril el K inició un periodo de incremento que finaliza en junio.

No hubo correlación significativa entre el IGS y el IHS ( $R = 0.08$ ,  $p = 0.39$ ), no obstante si se observó una correlación inversa y significativa entre el IGS y el K ( $R = -0.41$ ,  $p < 0.001$ ).

### 7.2.2 Fases de desarrollo ovárico

Las frecuencias relativas (%) de las fases de desarrollo ovárico que se muestran en la figura 21 corresponden únicamente a las hembras cuya composición bioquímica fue determinada.



**Figura 21.** Distribución temporal de la frecuencia relativa de las fases de desarrollo ovárico de *Spherooides annulatus* cuya composición bioquímica fue analizada.

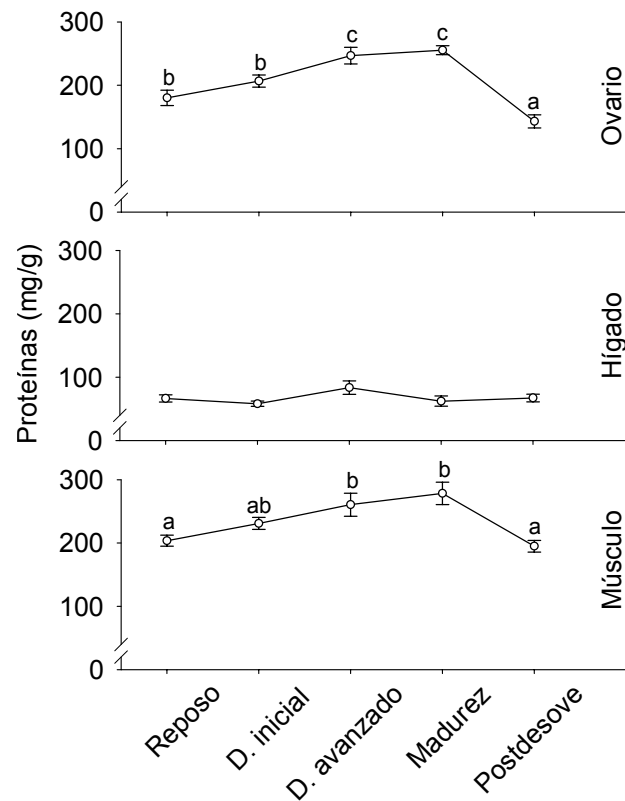
El reposo se observó en casi todo el periodo excepto durante abril-junio de 2005 (Fig. 21). El desarrollo inicial figura en septiembre de 2004, de diciembre de 2004 hasta abril de 2005 y también en julio; pero es en marzo de 2005 donde se observa la mayor frecuencia. La actividad reproductiva caracterizada por la evidente acumulación de vitelo esta representada por el desarrollo avanzado en octubre de 2004 y de abril a julio de 2005. La madurez solo se observó en abril y mayo de 2005.

Finalmente, el postdesove se presentó de agosto a noviembre de 2004, en febrero de 2005 y en julio-agosto de 2005.

### 7.2.3 Composición bioquímica de los tejidos

#### 7.2.3.1 Proteínas

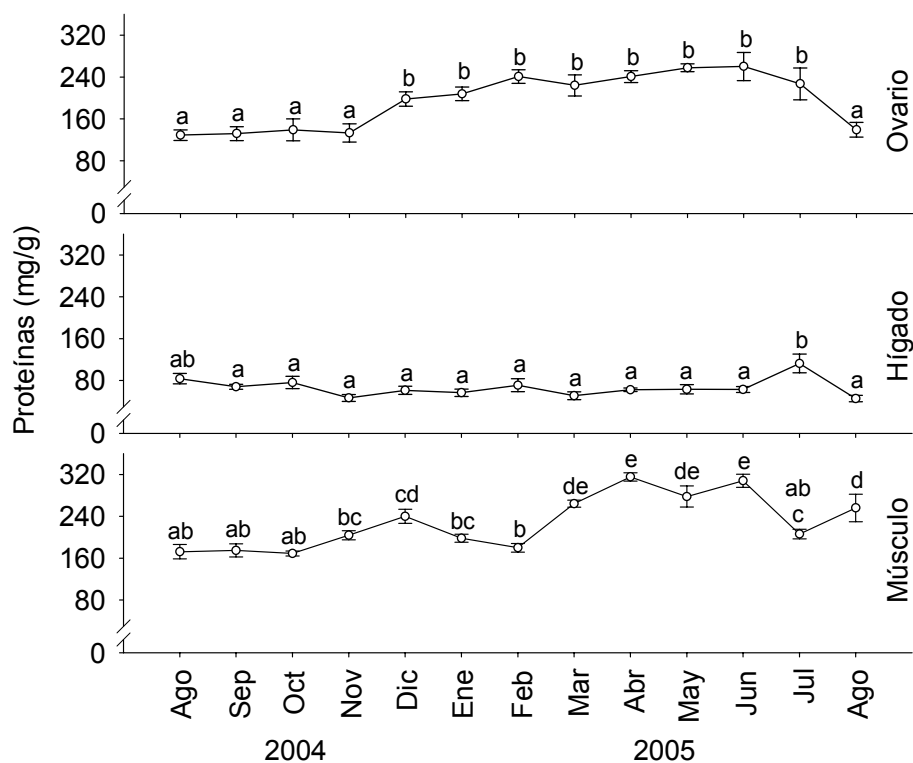
Las proteínas fueron el principal componente del ovario y el músculo. En función de las fases de desarrollo ovárico, las concentraciones de proteínas variaron significativamente en el ovario ( $F_{4,105} = 13.93$ ,  $p < 0.001$ ) y el músculo ( $F_{4,105} = 7.59$ ,  $p < 0.001$ ), pero no en el hígado ( $F_{4,105} = 1.44$ ,  $p = 0.23$ ) (Fig. 22).



**Figura 22.** Variación por fases de desarrollo de la concentración de proteínas del ovario, el hígado y el músculo de *Spherooides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

En el ovario, las concentraciones de proteínas se incrementan desde la fase de desarrollo inicial hasta la madurez para disminuir en la fase de postdesove. En el músculo, los cambios en la concentración de proteínas por fases de desarrollo tienen la misma tendencia que en el ovario. Las más altas concentraciones de proteínas en el músculo se observaron en el desarrollo inicial y la madurez, y las más bajas en el reposo y el postdesove.

La variación temporal de la concentración de proteínas fue significativa en el ovario ( $F_{12,97} = 9.45$ ,  $p < 0.001$ ), el hígado ( $F_{12,97} = 3.34$ ,  $p < 0.001$ ) y el músculo ( $F_{12,97} = 14.98$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 23).



**Figura 23.** Variación temporal de la concentración de proteínas del ovario, el hígado y el músculo de *Spherooides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

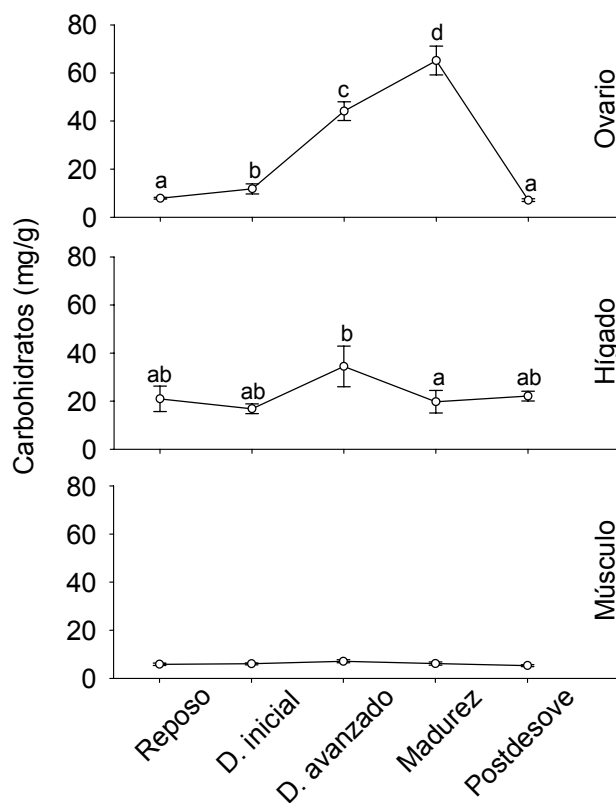
En el ovario, las concentraciones de proteínas significativamente más altas se observaron desde diciembre de 2004 hasta julio de 2005 (Fig. 23), coincidiendo con



el desarrollo inicial, desarrollo avanzado y la madurez. Las más bajas se observaron de agosto a noviembre de 2004 y en agosto de 2005. En el hígado, las concentraciones de proteínas se mantuvieron bajas durante todo el periodo excepto en julio, donde el valor medio fue significativamente más alto. En el músculo, la variación en los valores fue mayor, presentando un periodo de incremento de marzo a junio de 2005, seguido de un descenso significativo en julio.

### 7.2.3.2 Carbohidratos

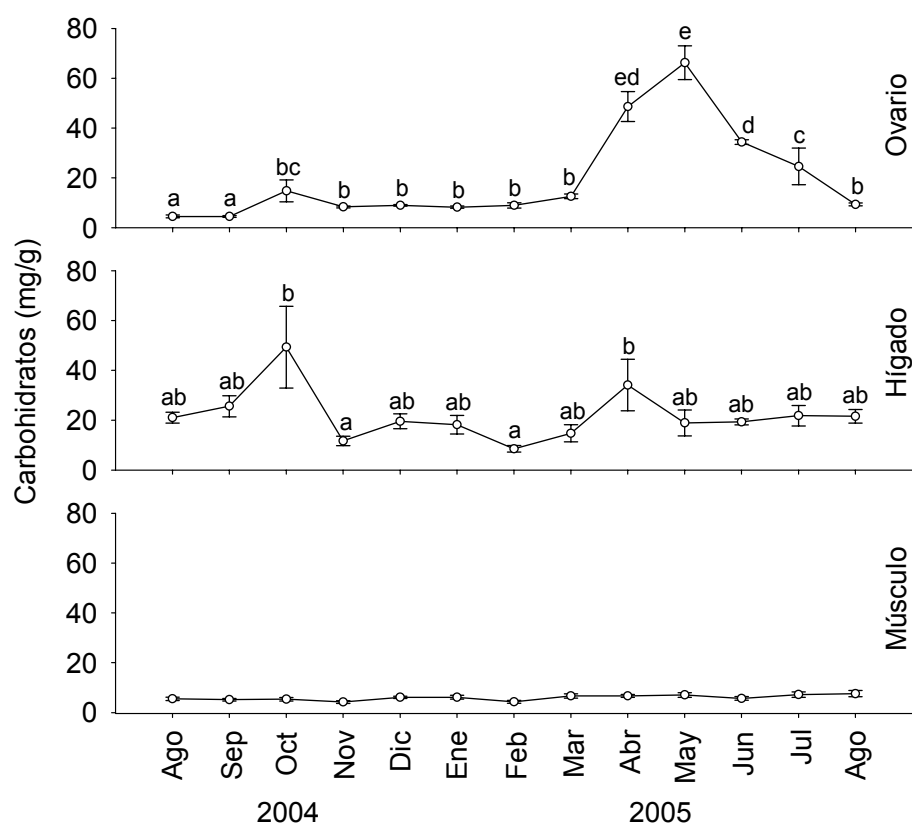
Las fluctuaciones de carbohidratos en el ovario ( $F_{4,105} = 107.72$ ,  $p < 0.001$ ) y en el hígado ( $F_{4,105} = 2.61$ ,  $p = 0.04$ ) fueron significativas en función de las fases de desarrollo ovárico, a diferencia del músculo que no varió significativamente ( $F_{4,105} = 1.52$ ,  $p = 0.20$ ) (Fig. 24).



**Figura 24.** Variación por fases de desarrollo ovárico de la concentración de carbohidratos del ovario, el hígado y el músculo de *Spherooides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

En el ovario, el incremento de carbohidratos fue significativo desde el desarrollo inicial hasta un máximo en la fase de madurez, seguida de un descenso significativo en el postdesove (Fig. 24). Mientras que en el hígado la concentración de carbohidratos más alta se observó en el desarrollo avanzado y ocurrió un descenso significativo en la madurez.

Temporalmente, la concentración de carbohidratos también varió significativamente en el ovario ( $F_{12,97} = 31.10$ ,  $p < 0.001$ ) y el hígado ( $F_{12,97} = 3.65$ ,  $p < 0.001$ ), pero no en el músculo ( $F_{12,97} = 1.02$ ,  $p = 0.44$ ) (Fig. 25).



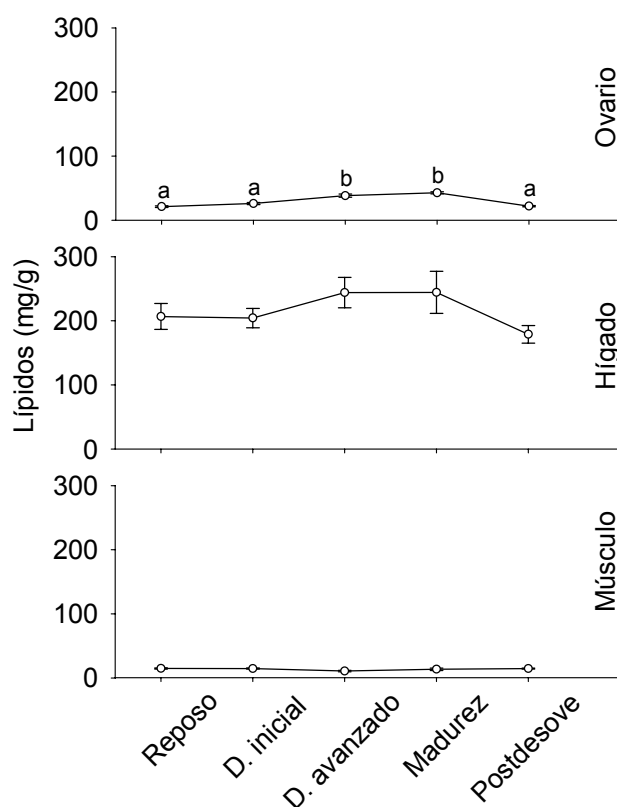
**Figura 25.** Variación temporal de la concentración de carbohidratos del ovario, el hígado y el músculo de *Spherooides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

En el ovario, los carbohidratos se incrementaron significativamente en los meses de abril y mayo de 2005 (Fig. 25), meses donde se presentó la madurez. En

octubre de 2004 se incremento ligeramente la concentración de carbohidratos por la presencia del desarrollo avanzado. Mientras que en el hígado las concentraciones fueron muy variables, sin ninguna tendencia en función de los meses. Los valores más altos se observaron en octubre de 2004 y abril de 2005, y los más bajos en noviembre de 2004 y febrero de 2005.

### 7.2.3.3 Lípidos

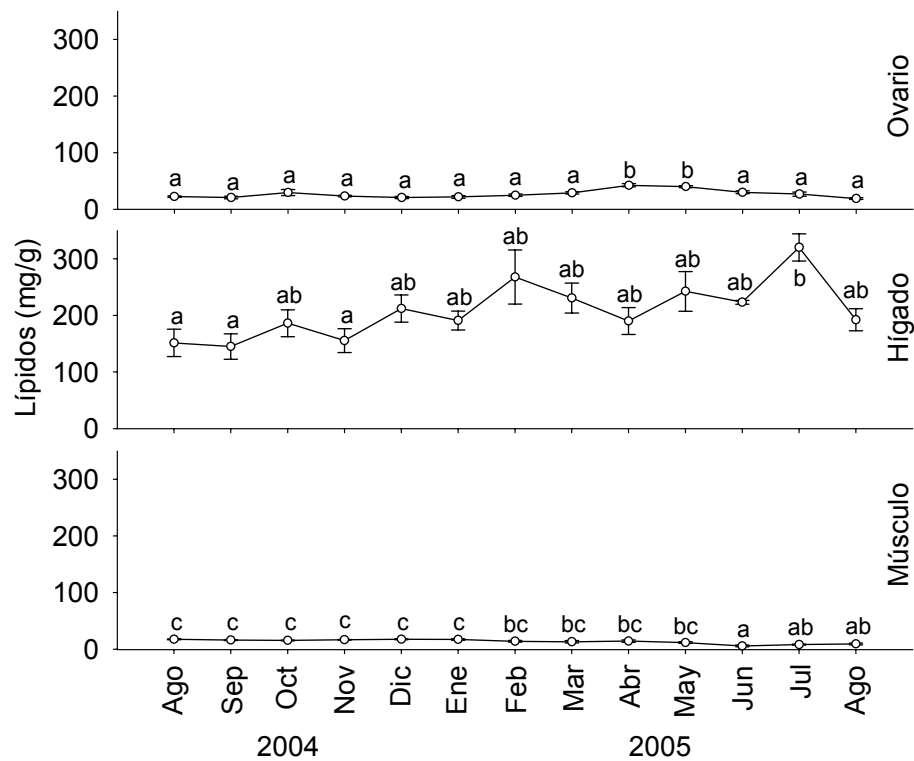
Los lípidos son el principal componente del hígado. En el ovario las concentraciones de lípidos significativamente más altas ( $F_{4,105} = 19.71, p < 0.001$ ) se observaron durante el desarrollo avanzado y la madurez, y las más bajas en el reposo, desarrollo inicial y el postdesove (Fig. 26).



**Figura 26.** Variación por fases de desarrollo ovárico de la concentración de lípidos del ovario, el hígado y el músculo de *Sphoeroides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

No hubo cambios significativos en las concentraciones de lípidos en función de las fases de desarrollo ovárico en el hígado ( $F_{4,105} = 1.79$ ,  $p = 0.14$ ) ni en el músculo ( $F_{4,105} = 2.04$ ,  $p = 0.09$ ) (Fig. 26).

No obstante, las variaciones de las concentraciones de lípidos en el ovario ( $F_{12,97} = 7.64$ ,  $p < 0.001$ ), el hígado ( $F_{12,97} = 3.16$ ,  $p = 0.001$ ) y el músculo ( $F_{12,97} = 5.92$ ,  $p < 0.001$ ) si fueron significativas en función de los meses (Fig. 27).



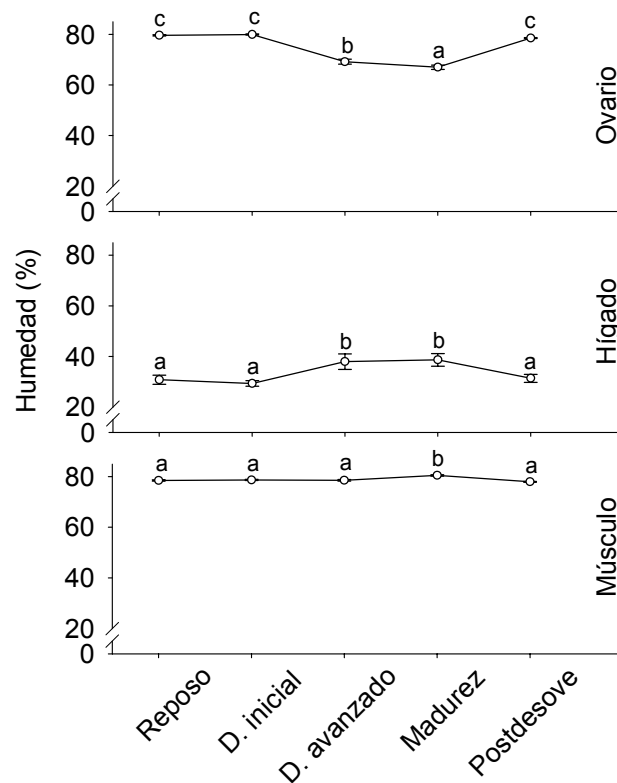
**Figura 27.** Variación temporal de la concentración de lípidos del ovario, el hígado y el músculo de *Spherooides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

En los ovarios los valores significativamente más altos se observaron en abril y mayo de 2005, que coinciden con la presencia de la madurez gonádica (Fig. 27). El resto de los meses, las concentraciones de lípidos permanecen significativamente bajas. En el hígado, las concentraciones de lípidos fueron muy variables, no obstante solamente en julio de 2005 la concentración fue significativamente más alta. En cuanto al músculo, su valor más bajo se observó en junio de 2005 después de la

madurez y sus valores más altos en el periodo de febrero a mayo de 2005, coincidiendo con la primavera y las frecuencias de madurez más altas.

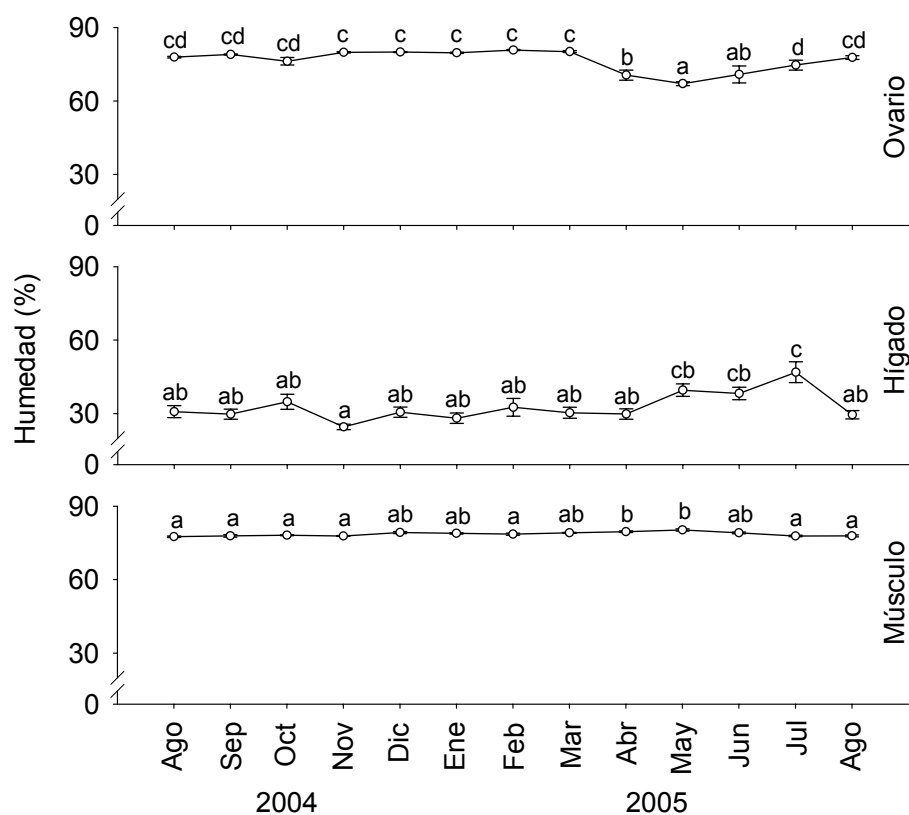
#### 7.2.3.4 Humedad relativa de los tejidos

El ovario y el músculo fueron los tejidos con mayor cantidad de agua. Los valores medios de humedad (%) en el ovario ( $F_{4,105} = 168.31$ ,  $p < 0.001$ ), el hígado ( $F_{4,105} = 3.86$ ,  $p = 0.01$ ) y el músculo ( $F_{4,105} = 9.85$ ,  $p < 0.001$ ) tuvieron cambios significativos en función de las fases de desarrollo ovárico (Fig. 28). Los cambios significativos ocurrieron durante el desarrollo avanzado y la madurez, donde la humedad (%) en el ovario descendió, mientras que en el hígado se incrementó, y en el músculo únicamente durante la madurez se presentó este incremento significativo.



**Figura 28.** Variación por fases de desarrollo del porcentaje de humedad del ovario, el hígado y el músculo de *Sphaeroides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

Los valores medios de la humedad del ovario ( $F_{12,97} = 18.60$ ,  $p < 0.001$ ), el hígado ( $F_{12,97} = 4.53$ ,  $p < 0.001$ ) y el músculo ( $F_{12,97} = 5.31$ ,  $p < 0.001$ ) cambiaron significativamente a través del tiempo (Fig. 29). En el ovario, la humedad no varió durante el periodo de agosto de 2004 a marzo de 2005, en abril las humedad inicia un descenso significativo, alcanzando su valor más bajo en mayo. Finalmente se incrementa paulatinamente de junio a agosto de 2005. En el hígado, los valores de humedad más altos se observaron de mayo a julio de 2005, durante el resto de los meses no variaron significativamente. En el músculo, los valores más altos se observaron durante abril y mayo, y en el resto de los meses la humedad no fluctuó significativamente.



**Figura 29.** Variación temporal del porcentaje de humedad del ovario, el hígado y el músculo de *Sphaeroides annulatus*. En cada gráfica, letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

### 7.2.3.5 Correlación entre los nutrientes

El análisis multivariado de correlación canónica (AMCC) indica que si hay un efecto dependiente de las concentraciones de proteínas, lípidos y carbohidratos entre los tejidos (Tabla 7).

**Tabla 7.** Correlación canónica y su significación estadística.

Eigenvalor	Correlación canónica	Lambda de Wilks	$\chi^2$	Grados de libertad	<i>p</i>
0.16	0.41	0.80	22.78	10	0.01

De acuerdo con los coeficientes canónicos (Tabla 8), hay una correlación inversa entre las concentraciones de lípidos en el ovario con las encontradas en el hígado y el músculo, al igual que las concentraciones de proteínas. Mientras que las concentraciones de carbohidratos se correlacionaron inversamente solo entre el ovario y el músculo.

**Tabla 8.** Coeficientes canónicos correspondientes a los componentes bioquímicos de cada tejido analizado de *Spherooides annulatus*.

Variables	Coeficientes canónicos		
	Ovarios	Hígado	Músculo
Carbohidratos	-0.85	-0.47	0.37
Lípidos	-0.29	0.71	0.42
Proteínas	1.00	-0.06	-0.52

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 REPRODUCCIÓN

*Sphoeroides annulatus* tiene como en la mayoría de los teleósteos, ovarios del tipo cistovárico, en los que el lumen es continuo con el oviducto (Jameson, 1988; Helfman *et al.*, 1997) y testículos del tipo lobular con compartimientos germinales que terminan en la periferia de los testículos al igual que en *Centropomus undecimalis* (Centropomidae) y comúnmente en los Perciformes (Grier & Taylor, 1998).

La ovogénesis es un proceso continuo y complejo, no obstante las fases de crecimiento de los ovocitos de *S. annulatus* se identificaron tomando como base las cuatro principales fases de crecimiento de los ovocitos reconocidas entre los teleósteos: crecimiento primario, alveolo cortical, vitelogénesis y maduración (Wallace & Selman, 1981; Tyler & Sumpter, 1996). Las estructuras como atresias y folículos postovulatorios se consideraron como estructuras derivadas del proceso de ovogénesis al igual que en *S. testudineus* (Rocha *et al.*, 2002) y *S. greeleyi* (Schultz *et al.*, 2002). En *S. testudineus* se caracterizaron cuatro fases de crecimiento de los ovocitos (Rocha *et al.*, 2002) y en *S. greeleyi* seis fases de crecimiento (Schultz *et al.*, 2002), las diferencias con el presente estudio son debidas al tipo de clasificación, ya que el patrón de crecimiento de los ovocitos y las caracterizaciones son similares.

Las gónadas de los teleósteos muestran diferencias tanto interespecíficas, según la estrategia reproductiva, como intraespecíficas, según el momento del ciclo reproductivo (Nagahama, 1983). Para *S. annulatus* el desarrollo ovárico fue dividido en seis fases: reposo, desarrollo inicial, desarrollo avanzado, madurez, desove y postdesove. Díaz-Guevara *et al.* (2005) hicieron una clasificación similar, con la diferencia de que agruparon el desarrollo en una sola fase, determinando solo cinco fases. En *S. testudineus* y *S. greeleyi* el desarrollo ovárico es similar al de *S. annulatus*, sin embargo Rocha *et al.* (2002) y Shultz *et al.* (2002) caracterizaron el desarrollo en una sola fase (madurando) y dividieron el desove en dos fases (semi-desovado y desovado), basados en la presencia simultánea de folículos postovulatorios y ovocitos en alveolo cortical y vitelogénesis. Estas características también se observaron en ovarios de *S. annulatus*, pero se clasificaron en la fase de desove. La presencia de folículos postovulatorios y ovocitos en alveolo cortical y



vitelogenesis se consideraron como evidencia histológica de que *S. annulatus* puede remadurar al menos una, y posiblemente, más veces durante la época de reproducción; además confirman que *S. annulatus* es un desovador parcial o un desovador parcelado como ocurre en *S. testudineus* y *S. greeleyi* (Rocha *et al.*, 2002; Shultz *et al.*, 2002). Este tipo de desoves son característicos de especies de peces tropicales y subtropicales, como una adaptación a las fluctuaciones en la disponibilidad de alimento para las larvas (Nikolsky, 1963).

En general, el tipo de maduración de los ovarios se ha clasificado en sincrónico y asincrónico (Scott, 1987); y dentro de esta última categoría se ha situado a *S. annulatus* con base en la evidencia histológica. Cabe mencionar que la clasificación de Scott (1987) contempla los extremos de una variedad de patrones que se presentan en los teleosteos (Tyler & Sumpter, 1996). El patrón que se observa en los ovarios asincrónicos es la presencia de ovocitos en varias fases de desarrollo (más de dos cohortes de ovocitos) que serán subsecuentemente ovulados en grupos a lo largo de la época de reproducción (Scott, 1987) y es característico de especies con puestas múltiples y una época de reproducción dilatada (Muñoz-Cueto *et al.*, 1997).

En los peces con maduración sincrónica de los ovarios, el IGS de las hembras generalmente alcanza valores en el intervalo de 18-25%, pero puede alcanzar o exceder 40% (i. e. *Anguila japonica*, Anguillidae y *Spirinchus thaleichthys*, Osmeridae). Por otro lado, en los peces con maduración ovárica asincrónica el IGS alcanza un intervalo de 8-10% con algunas excepciones (arriba de 14%; *Solea senegalensis*) (Tyler & Sumpter, 1996). En el caso de *S. annulatus*, a pesar de presentar maduración asincrónica, el IGS de los ovarios alcanzó valores de hasta 25.71%. Esta inconsistencia podría explicarse por el hecho de que esta especie posee un hígado desproporcionadamente grande con respecto a la mayoría de los teleosteos (Ghosh *et al.*, 2005) con valores del IHS de hasta 11.63%. Por lo tanto, la cantidad de reservas energéticas (principalmente lípidos) también es grande, lo que podría estar contribuyendo a desarrollar un ovario de gran tamaño.

En el caso de los machos se caracterizaron cuatro fases de desarrollo testicular en *S. annulatus*: reposo, desarrollo, eyaculación y eyaculada. Esta clasificación es igual a la de Díaz-Guevara *et al.* (2005). Se observó en los testículos de *S. annulatus*

que el progreso del desarrollo de la espermatogénesis ocurre desde la parte distal de los testículos y se desarrolla hacia el canal de eyaculación donde se acumulan los espermatozoides. Es decir, la producción de espermatozoides es continua, a pesar de una eyaculación continúa durante la época de reproducción. Este patrón de maduración es poco entendido pero ya ha sido descrito para *Centropomus undecimalis* (Centropomidae) (Grier & Taylor, 1998). En este trabajo todos los testículos con indicios de eyaculación se agruparon en la fase de eyaculación, independientemente del grado de desarrollo, ya que en el sentido práctico ya se están reproduciendo y uno de los objetivos es establecer la época reproductiva.

El inicio de la ovogénesis en las hembras y de la espermatogénesis en los machos marca el límite de la transformación de juveniles a adultos (organismos maduros) en los teleósteos. Pero no todos los individuos de una población inician el proceso de gametogénesis a la misma edad o talla. Así, a cada edad o talla existe una proporción de individuos en maduración y otra de inmaduros. Por lo cual, a escala poblacional la edad o talla de primera madurez se define como la edad o la talla a la que el 50% de los individuos están sexualmente maduros (Saborido, 2004). Se ha determinado en el presente trabajo que la talla de primera madurez de *S. annulatus* se encuentra en el intervalo de 27-29 cm de longitud total, lo cual coincide con el intervalo (28-30 cm) reportado por Díaz-Guevara *et al.* (2005). En contraste, la talla de primera madurez en *S. testudineus* y *S. greeleyi* es 10.8 cm (Rocha *et al.*, 2002) y 7.02 cm (Shultz *et al.*, 2002) de longitud total respectivamente, mucho menor a la de *S. annulatus* pese a que son especies del mismo género (*Sphoeroides*). Es común que haya una variación interespecífica en el inicio de la madurez sexual, por un lado existen especies que se reproducen en pocas semanas (principalmente tropicales) y por otro lado, las que tardan más de 15 años (*Sebastes*), esto depende de la historia biológica y del nicho evolutivo que ocupe cada especie, es decir, de la estrategia reproductiva (Saborido, 2004).

Adicionalmente se observó que no hubo una sincronización en la población de *S. annulatus* en cuanto al grado de desarrollo de las gónadas, ya que se presentaron simultáneamente diversas fases de desarrollo. Característica también observada en *S. testudineus* y *S. greeleyi* (Rocha *et al.*, 2002; Schultz *et al.*, 2002). Esto puede ser

debido a la presencia de organismos que aún no han alcanzado su talla o edad de primera madurez, a la capacidad diferencial por grupos de edad para iniciar la gametogénesis y/o al estatus nutricional de los organismos al inicio de la época de reproducción.

Fue posible, en un ciclo anual, identificar dos épocas reproductivas, apoyado por los incrementos significativos del índice gonadosomático, el diámetro promedio de los ovocitos y las más altas frecuencias del desarrollo avanzado y la madurez. La primera de mayor magnitud fue de abril a agosto de 2004; la segunda ocurrió de octubre a noviembre de 2004. Para el 2005, la principal época reproductiva se recorrió un mes (marzo a julio), probablemente a consecuencia de factores ambientales como la disponibilidad de alimento.

Por otra parte, el proceso reproductivo de los peces esta estrechamente sincronizado con las fluctuaciones de diversos factores ambientales (i.e. temperatura, fotoperiodo, mareas, salinidad, etc.) (Munro *et al.*, 1990; Muñoz-Cueto *et al.*, 1997; Ramos *et al.*, 2002,) que se pueden percibir en el medio acuático y que son de naturaleza cíclica (Muñoz-Cueto *et al.*, 1997; Jalabert, 2005). La sincronización de proceso reproductivo es posible a través de la influencia de los factores ambientales sobre el sistema nervioso (receptores sensoriales) y el endócrino (eje hipotálamo-hipófisis-gónada) (Tyler & Sumpter, 1996; Muñoz-Cueto *et al.*, 1997; Ramos *et al.*, 2002). El fotoperiodo y la temperatura son los principales factores ambientales con los cuales se sincroniza el evento reproductivo de los teleósteos (Scott, 1979; Munro *et al.*, 1990; Muñoz-Cueto *et al.*, 1997; Sumpter, 1997; Ramos *et al.*, 2002; Jalabert, 2005), siempre y cuando todas las variables fisiológicas estén en niveles óptimos (Peterson & Harmon, 2005).

Anualmente se observó en *S. annulatus* que la época de reproducción en la costa de Mazatlán ocurrió con una clara estacionalidad relacionada con la fluctuación del fotoperiodo y la temperatura del agua, lo cual se apoya en la correlación positiva entre el fotoperiodo y el IGS y por la correlación negativa entre el fotoperiodo y el K. En la costa de Mazatlán, la maduración ovárica de *S. annulatus* inició anualmente con el incremento del fotoperiodo y se mantuvo en un intervalo óptimo de 12.7 a 13.25 horas luz. Si se considera a la reabsorción (ocurrida en agosto del 2004) como

un indicador de estrés ambiental se podría establecer como límite máximo para la reproducción a un fotoperiodo de 13.4 horas luz. En este sentido, la melatonina podría tener una participación importante en la regulación de la ovogénesis en *S. annulatus*, ya que se sabe que el estímulo del fotoperiodo puede regular la producción de melatonina en el órgano pineal y en la retina (Muñoz-Cueto *et al.*, 1997; Falcón *et al.*, 2005), y ésta puede estimular la producción de gonadotropinas directamente en la hipófisis, y/o directa o indirectamente sobre células neurosecretoras localizadas en centros neuroendócrinos del área preóptica y el hipotálamo; esto no es concluyente ya que hay una variación interespecífica en la localización de los receptores, así como la participación de la melatonina en el ciclo reproductivo (Muñoz-Cueto *et al.*, 1997). En este contexto, se ha observado que en *Salmon salar* el incremento en la duración de régimen de luz reduce la incidencia de organismos en maduración (Peterson & Harmon, 2005). Esto mismo podría estar sucediendo con *S. annulatus* hacia el final de la época de reproducción cuando el fotoperiodo se incrementa por encima de su intervalo óptimo. Cabe destacar que la presencia de la reabsorción indica que *S. annulatus* es altamente sensible a los cambios ambientales. En este escenario, el fotoperiodo es un factor disparador y limitante de la gametogénesis en *S. annulatus*.

Adicionalmente la acumulación de vitelo en el ovoplasma inicia con el incremento de la temperatura (a partir de 22°C), y termina en temperaturas por arriba de los 30°C. Esta relación es apoyada por la correlación negativa entre la temperatura y el IHS. La temperatura parece ser un factor disparador y limitante de la vitelogénesis, cuyo estímulo puede estar relacionado con la producción de 17 $\beta$ -estradiol en las células de la granulosa, el cual es transportado por la circulación sanguínea al hígado, donde estimula la síntesis y secreción de vitelogenina; ésta es transportada al ovocito donde es transformada en vitelo (Nagahama, 1994; Muñoz-Cueto *et al.*, 1997). Sin embargo, el transporte e incorporación de la vitelogenina al ovocito no parece estar regulada en forma directa por el 17 $\beta$ -estradiol, sino por otras hormonas como la hormona gonadotrópica I (análoga a la hormona folículo estimulante de los tetrápodos), la insulina, las hormonas tiroideas y la hormona del crecimiento (Tyler, 1991), por lo que la temperatura también podría estar relacionada

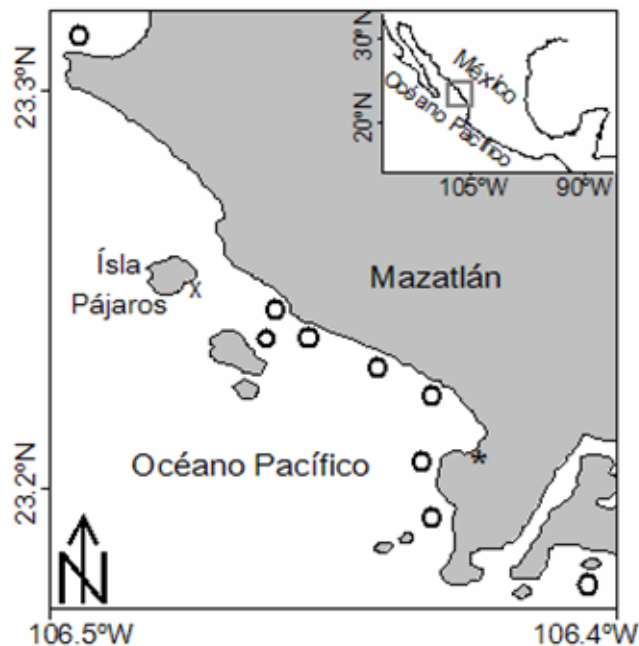
con la producción de dichas hormonas. El incremento de la temperatura también tiene efectos directos sobre la velocidad de las reacciones metabólicas (la velocidad se duplica cuando hay un incremento de 10°C) (Curtís *et al.*, 2000) y sobre la permeabilidad de las membranas celulares (se incrementa la fluidez) (Hernández *et al.*, 2002), aspectos que también benefician a la vitelogénesis exógena.

No obstante que la frecuencia de organismos en desove fue baja, estos desoves coincidieron con los incrementos en el nivel medio de la marea que se fueron dando a lo largo de la época de reproducción. Se sabe que los ciclos de marea tienen un efecto sobre el comportamiento de algunos teleósteos, de tal forma que los organismos liberan los gametos durante un tiempo particular con respecto a estos ciclos, aunque poco se sabe de las implicaciones de esta sincronización (Yamahira, 2004). La mayoría de los teleósteos con este tipo de sincronización presentan desoves demersales (Thresher, 1984), tal es el caso de *S. annulatus* (Komar *et al.*, 2004). El desove durante marea alta, como parece estar ocurriendo en *S. annulatus*, hipotéticamente minimiza la depredación de los huevos (Thresher, 1984).

Un breve periodo de actividad reproductiva durante el otoño se presentó en *S. annulatus* (octubre-noviembre). Esto mismo se ha reportado para una variedad de especies de teleósteos (i.e. arenque) (Hempel, 1979). En este caso, el breve periodo coincidió con el descenso de la oscilación anual de la temperatura y el fotoperiodo, y los valores de estas variables ambientales volvieron al intervalo registrado durante primavera-verano (cuando ocurrió la mayor actividad reproductiva), indicando que posiblemente esto fue lo que estimuló la maduración de *S. annulatus* durante el otoño. También se plantea que los desovadores de primavera y otoño son distintos grupos de reproductores, aunque se sugiere que algunos organismos podrían cambiar de un patrón estacional de desove a otro, particularmente en los límites de su distribución (Hempel, 1979).

El proceso de interacción con los pescadores a lo largo de 20 meses, es útil sobre todo siendo ellos quienes extraen el recurso, algunos incluso hasta por más de 40 años. La pesca se realiza entre las 4:00 AM y 8:00 AM en caladeros que ya se tienen definidos (donde se han encontrado congregaciones de *S. annulatus* durante

años), ahí se sabe que las mayores abundancias se encuentran durante los meses que abarcan las épocas de reproducción que se han establecido (Fig. 30). El caladero localizado frente a la isla Pájaros es una zona muy somera donde se alcanza a observar el fondo rocoso y está protegida por la isla del intenso oleaje que entra a la bahía de Mazatlán. En este caladero se han observado agrupaciones de *S. annulatus* con gónadas en madurez y eyaculación, además de abundantes burbujas en la superficie del agua (efecto que se observa en cultivos cuando se lleva a cabo un desove). De ahí, resulta evidente que dicha agrupación ocurre con fines reproductivos y que el caladero frente a isla Pájaros es una zona de desove.



**Figura 30.** Ubicación de los caladeros (O) utilizados para la captura de *Sphaeroides annulatus* por los pescadores del campo pesquero Playa Norte (\*). Zona de desove de *S. annulatus* (x).

El comportamiento reproductivo en los teleósteos está ampliamente diversificado, desde un desove colectivo pelágico sin cuidado parental hasta un sofisticado comportamiento sexual con incubación interna de los huevos (Jalabert, 2005). El cómo y dónde se lleve a cabo el desove dependerá del estilo reproductivo de cada especie. *S. annulatus* presenta el modo de apareamiento más común que es

la fertilización externa (Helfman *et al.*, 1997; Jalabert, 2005). El estímulo para que ocurra la ovulación y el desove en las hembras de *S. annulatus* puede ser una combinación de un escenario óptimo en temperatura, fotoperiodo, nivel medio de la marea y la presencia de los machos (Yamahira, 2004) a través del estímulo de la hormona gonadotropina II (análoga a la hormona luteinizante en tetrápodos) (Muñoz-Cueto *et al.*, 1997). Se ha observado que la tetraodotoxina actúa como una feromona femenina en los tetraodontidos y que los ovocitos liberados poseen una alta concentración de ésta en la zona radiata (Matsumura, 1995), por lo que podría estar induciendo la liberación de los espermatozoides.

De acuerdo con la clasificación de los estilos reproductivos de Balon (1990), *S. annulatus* es un pez no guardián, que presenta desoves en sustrato abierto debido a que tiene huevos demersales adhesivos (Komar *et al.*, 2004), solo que aún no se sabe sobre que tipo de sustrato desova (Komar *et al.*, 2004). Sin embargo, es posible que sea litofílico, ya que en la zona de desove frente a la isla Pájaros tiene fondo predominantemente rocoso. Un estilo reproductivo similar es el de los salmónidos, que depositan sus grandes huevos demersales en un hueco en la grava que la hembra hace a través de movimientos de la aleta caudal (Jalabert, 2005).

En cuanto a la sexualidad, se ha encontrado a *S. annulatus* como una especie gonocórica. En las especies gonocóricas, la determinación sexual se da a temprana edad, permaneciendo como machos y/o hembras durante toda su ontogénea, estos constituyen un número significativo del total de la población (Helfman *et al.*, 1997) y pueden ocurrir individuos hermafroditas no funcionales (no hay reversión sexual) en baja frecuencia (Sadovy & Shapiro, 1987). Esta condición ha sido observada por Díaz-Guevara *et al.* (2005) en el 0.02% de su muestra total extraída de la Ensenada de La Paz, B. C. S. Esta incidencia puede ser ocasional (Sadovy & Shapiro, 1987) o también puede ser una respuesta de la exposición de la especie a las descargas de aguas negras residuales que se vierten en la ensenada de La Paz, las cuales podrían ser de naturaleza estrogénica, tal como se confirmó en Reino Unido al observar algunos hermafroditas en *Rutilus rutilus* (Cyprinidae) (Sumpter, 1997). En este contexto, es necesario un análisis minucioso acerca del hermafroditismo en esta

especie, aspecto que no se ha reportado aún para otros miembros de la familia Tetraodontidae.

## 8.2 ALMACENAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES

El proceso reproductivo demanda un alto costo energético (Luquet & Watanabe, 1986; Huber & Bengtson, 1999; Izquierdo *et al.*, 2000; Lyons & Dunne, 2003) y en la mayoría de los casos, las hembras tienen un mayor desgaste energético que los machos (Wootton, 1998) debido a la acumulación de vitelo durante la ovogénesis (Jalabert, 2005). Es por eso que algunos peces presentan ciclos de almacenamiento de energía (Encina & Granado-Lorencio, 1997) en el músculo y el hígado; energía que estará disponible para el desarrollo de las gónadas (Jobling, 1995; Hoque *et al.*, 1998; Lyons & Dunne, 2003). La mayoría de esta energía se almacena en forma de glucógeno (Busacker *et al.*, 1990), proteínas y lípidos (Santos *et al.*, 1996; Blanchard *et al.*, 2005). Estos compuestos son transportados a los ovarios durante la vitelogénesis exógena donde son transformados en vitelo, el cual será utilizado durante la embriogénesis (Patiño & Sullivan, 2002; Jalabert, 2005). Cabe mencionar que una cantidad inadecuada de reservas energéticas puede implicar la reducción del potencial reproductivo mediante la disminución de la fecundidad y/o calidad de huevos y larvas (Lloret & Planes, 2003).

Los incrementos significativos de las proteínas, lípidos y carbohidratos en el ovario conforme avanza el desarrollo ovárico, reflejan la estrecha relación de estos nutrientes con la actividad reproductiva. Esto se vio reflejado en el incremento y el descenso significativo, del IGS y del porcentaje de humedad en los tejidos, respectivamente. El descenso en el porcentaje de humedad en el ovario durante la acumulación de vitelo se debe al cambio en las proporciones de los componentes y no a la pérdida de agua (Hempel, 1979).

Los cambios en la composición bioquímica del hígado y el músculo de *S. annulatus*, sugieren ser un efecto del estado reproductivo y de cambios bióticos y/abióticos en el hábitat. Efectos similares se han observado en *Leuciscus pyrenaicus* (Encina & Granado-Lorencio, 1996), y en *Perca fluviatilis* (Blanchard *et al.*, 2005). En el hígado de *S. annulatus* las proteínas no son almacenadas sino que forman parte



del tejido estructural de este órgano, debido a que no hubo una variación importante en las concentraciones.

En el músculo, las proteínas no mostraron una tendencia clara en función de las fases de desarrollo y fueron temporalmente muy variables. Los valores más altos de proteínas en el músculo coincidieron con el desarrollo avanzado y la madurez, lo que indica que no hay movilización de estas hacia los ovarios. Sin embargo, el AMCC indica que si hay una correlación inversa entre la concentración de carbohidratos del ovario y del músculo, indicando una posible transferencia. Esto sugiere que la utilización de proteínas durante la maduración ovárica podría estar enmascarada por la variación temporal, en donde es evidente que las proteínas estuvieron siendo utilizadas para otros procesos fisiológicos, como consecuencia de las interacciones entre las características del ambiente biótico y abiótico (Lloret & Planes, 2003). Esto es apoyado por la variación temporal del K en las hembras, cuyas fluctuaciones se repiten de manera similar en los machos. Es posible que las proteínas sean una importante reserva energética en el músculo de *S. annulatus*, así como en la mayoría de los peces (Van-Dijk *et al.*, 2005).

Los lípidos son el principal componente del hígado de *S. annulatus*. Las concentraciones de este nutriente en el hígado fueron mayores que en el ovario y el músculo. Evidenciando que el hígado es un importante sitio de almacenamiento de lípidos en *S. annulatus*, al igual que en *Gadus morhua* (Jobling, 1988). Los lípidos en el hígado variaron durante todo el periodo de estudio, y no en relación con el estado reproductivo, esto último es apoyado por la falta de correlación entre el IGS y el IHS. No obstante, el AMCC indica una posible transferencia de lípidos del hígado hacia los ovarios por la correlación inversa entre las concentraciones de este componente entre los tejidos. La variación temporal parece estar enmascarando la utilización de lípidos durante la maduración ovárica. Ya que el hígado además de almacenar reservas energéticas es el principal sitio de biosíntesis de lípidos; principalmente, los triglicéridos y la vitelogenina (Mommensen, 1998). Ésta última es precursora del vitelo proteínico en los ovocitos, y es transportada desde el hígado hacia los ovocitos vía sanguínea (Henderson & Tocher, 1987).

Se sabe que los lípidos son almacenados durante periodos de alto consumo de alimento y que son movilizados cuando hay escasez (Van-Dijk *et al.*, 2005; Arrington *et al.*, 2006), fungen como reservas energéticas que serán utilizadas en la regulación de la densidad del cuerpo, en el metabolismo celular, en el comportamiento (natación y/o migración) y en la reproducción (Lloret & Planes, 2003). Las reservas de lípidos en el hígado pueden ser tan dinámicas, que el IHS puede reflejar efectos de corto plazo en el consumo de alimento y las demandas energéticas por el metabolismo (Bulow *et al.*, 1978). En *Salmo salar* el IHS tarda solo de 2-4 días para reflejar el cambio en la condición nutricional (Arndt, 2000).

Sin embargo, en el músculo la variación de los lípidos parece no ser tan importante y sólo desciende ligeramente después de la madurez. Sin embargo, el AMCC indica una posible transferencia hacia los ovarios, debido a la correlación inversa entre los lípidos del ovario y el músculo. En el músculo, la variación del contenido de lípidos está generalmente relacionada con una acumulación estacional en forma de triglicéridos (Arrington *et al.*, 2006), la cual no se observa en *S. annulatus*, por lo que el descenso observado así como la correlación inversa (AMCC) pudo ser debido a una demanda energética extra. En la base de las aletas suelen acumularse lípidos (Henderson & Tocher, 1987; Mommsen, 1998) y éstos suelen utilizarse durante periodos de no alimentación (Arrington *et al.*, 2005). En el presente trabajo, la muestra del músculo fue tomada de una zona muy cercana a la base de las aletas pectorales, así que cualquier utilización de lípidos que pareciera indicar una transferencia hacia los ovarios más bien podría estar relacionado con otras demandas distintas al proceso reproductivo, como la natación.

Los carbohidratos no variaron en el músculo, además que fue donde se presentaron en menor concentración. En el hígado, la concentración de carbohidratos descendió ligeramente con la madurez, y temporalmente casi no variaron. El hecho de que los errores estándar estuvieran amplios, indica que los datos originales están dispersos. Esto podría ser debido a que los carbohidratos (glucógeno) que se almacenan en el hígado son fácilmente metabolizables por lo cual las concentraciones pueden variar rápidamente.

Desafortunadamente, el dinamismo de las reservas del hígado y el músculo enmascaran la relevancia de la participación de estas en la vitelogénesis. Este mismo dinamismo de las reservas, explica que Díaz-Guevara *et al.* (2005) hayan encontrado una relación inversa y significativa entre el IGS y el IHS. Esto puede ser debido a que la Ensenada de La Paz (Díaz-Guevara *et al.*, 2005) con respecto a la costa de Mazatlán (presente trabajo), es un cuerpo de agua más productivo por su condición de laguna costera y posiblemente sus organismos se encontraban con una mayor disponibilidad de alimento, por lo cual las reservas de hígado no fueron tan demandadas y dinámicas.

En conclusión, el ciclo de almacenamiento y utilización de reservas energéticas y su relación con el proceso reproductivo de *S. annulatus* no es muy clara. Sin embargo, parece ser que la estrategia para la acumulación de vitelo en los ovarios es aprovechar las reservas almacenadas en el hígado, principalmente lípidos y posiblemente proteínas del músculo pero sin descartar que también pudieran estar aprovechando energía del alimento recién ingerido.

## 9. CONCLUSIONES

Se confirma que *S. annulatus* es una especie gonocórica.

De acuerdo con la clasificación retomada de Jameson (1988) y Helfman *et al.* (1997) de los tipos gónadas de los teleósteos, *S. annulatus* tiene ovarios del tipo cistovárico y testículos del tipo lobular.

La maduración de los ovarios de *S. annulatus* es asincrónica y el desove es parcial con posibilidades de volver a madurar durante la época de reproducción.

Los testículos de *S. annulatus* presentan gametogénesis continua durante la época de reproducción.

La principal época de reproducción de *S. annulatus* ocurre durante primavera-verano y esta regulada por el incremento anual del fotoperiodo y la temperatura, los cuales funcionan como factores reguladores de la ovogénesis y la vitelogénesis, respectivamente. El incremento del nivel medio de la marea podría ser un factor disparador del desove.

*S. annulatus* tiene un breve periodo de actividad reproductiva durante el otoño relacionado con el descenso anual de la temperatura y el fotoperiodo.

El índice gonadosomático es un buen indicador de la actividad reproductiva.

El índice hepatosomático y el factor de condición son buenos indicadores del estado nutricional de *S. annulatus*.

En orden de importancia, los componentes bioquímicos del ovario y el músculo de *S. annulatus* son proteínas, lípidos y carbohidratos. Por otra parte, los componentes bioquímicos del hígado son lípidos, proteínas y carbohidratos.

El hígado de *S. annulatus* es un órgano de almacenamiento de reservas energéticas, principalmente lípidos y en menor proporción de carbohidratos. Las proteínas que se midieron en el hígado son parte de su tejido estructural.

La estrategia de *S. annulatus* para la acumulación de vitelo en los ovarios es aprovechar las reservas almacenadas en el hígado, principalmente lípidos y posiblemente proteínas del músculo. Sin embargo, la relación del proceso reproductivo con el ciclo de almacenamiento y utilización de las reservas energéticas no es clara, es por ello que no se descarta que también pudieran estar aprovechando energía del alimento recién ingerido.

La talla de primera madurez poblacional de *S. annulatus* se encuentra en el intervalo de 27-29 cm de longitud total en ambos sexos.

De acuerdo con la clasificación de los estilos reproductivos en peces de Balon (1990), *S. annulatus* pertenece a la sección etológica de los no guardianes y al grupo ecológico de los desovadores en sustrato abierto.

El caladero ubicado frente a la isla Pájaros es una zona de desove, donde *S. annulatus* encuentra un área protegida del oleaje para liberar y asegurar la permanencia de sus huevos demersales.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Abdo de la Parra, M.I. & N. Duncan. 2002. Avances en el cultivo experimental del botete diana (*Sphoeroides annulatus*). *Panorama Acuícola Magazine*, 7(2):42-43.
- Álvarez-Cadena, J., N.R. Cortés-Altamirano & G.A. Mussot-Pérez. 1987. Composición y abundancia de las larvas de peces en el sistema lagunar Huizache-Caimanero, Parte II Tapo Botadero. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 15:143-57.
- Álvarez-Rubio, M., F. Amezcua-Linares & A. Yañez-Arancibia. 1984. Ecología y estructura de las comunidades de peces en el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, Nayarit, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13:185-242.
- Amezcua-Linares, F. 1996. *Peces demersales de la plataforma continental del Pacífico central de México*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. 155 p.
- Angulo-Urquidez, R.C. & T. Zamora-Sánchez, 2000. Bioensayo para determinar la aceptación de diferentes tipos de alimento durante el crecimiento del botete diana *Sphoeroides annulatus* Jenyns, 1843. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 41 p.
- Arellano-Martínez, M. 1997. Biología reproductiva del ángel rey *Holocanthus passer* Valenciennes, 1846 y del ángel de cortés *Pomacanthus zonipectus* (Gill, 1863) (Teleostei: Pomacanthidae), en la costa sur-occidental del Golfo de California, México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 88 p.
- Arias-Rodríguez, L., L.E. Rodríguez-Ibarra & G. Del Valle-Pignataro. 2004. Efecto de la radiación UV en la inactivación genética del esperma de botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842). *Cienc. Mar.*, 30(3):391-402.
- Arizmendi-Rodríguez, D.I., L.A. Abitia-Cárdenas, F. Galván-Magaña & I. Trejo-Escamilla. 2006. Food habits of sailfish *Istiophorus platypterus* off Mazatlán, Sinaloa, Mexico. *B. Mar. Sci.*, 79(3):777-791.

- Arndt, S.K.A. 2000. Influence of sexual maturity on feeding, growth and energy stores of wild Atlantic salmon parr. *J. Fish Biol.*, 57:589-596.
- Arrington, D.A., B.K. Davidson, K.O. Winemiller & C.A. Layman. 2006. Influence of life history and seasonal hydrology on lipid storage in three neotropical fish species. *J. Fish Biol.*, 68:1347-1361.
- Balinsky, B.I. 1978. *Introducción a la embriología*. Ed. Omega, Barcelona. 644 p.
- Balon E.K. 1990. Epigenesis of an epigeneticist: the development of some alternative concepts on the early ontogeny and evolution of fishes. *Guelph Ichthyol. Rev.*, 1:1-48.
- Barnes, H. & J. Blackstock. 1973. Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of the sulphophosphovanillin method for "total" lipids. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 12:103-118.
- Bermúdez-Almada, B.R. & G. García-Laguna. 1985. Hábitos alimenticios en los peces de las zonas rocosas de la bahía de La Paz, B.C.S. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 259 p.
- Blanchard, G., X. Druart & P. Kestemont. 2005. Lipid content and fatty acid composition of target tissues in wild *Perca fluviatilis* females in relation to hepatic status and gonad maturation. *J. Fish Biol.*, 66:73-85.
- Blanco-Albarrán, L. 2004. Efecto de diferentes fuentes de proteína en dietas para juveniles de botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842). Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México. 59 p.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Bioch.*, 72:248-253.
- Brillantes, S., W. Samosorn, S. Faknoi & Y. Oshima. 2003. Toxicity of puffers landed and marketed in Thailand. *Fisheries Sci.*, 69: 1224-1230.
- Bueno-Navarro, J.M.G. 2004. Evaluación experimental del agua dulce para el control del monogéneo *Neobenedenia sp* ectoparásito del botete diana (*Sphoeroides*

- annulatus*, Jenyns, 1842). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 59 p.
- Bulow, F.J., C.B.J. Coburn & C.S. Cobb. 1978. Comparisons of two bluegill populations by means of the RNA-DNA ratio and liver-somatic index. *T. Am. Fish Soc.*, 107:799-803.
- Busacker, G.P., I.R. Adelman & E.M. Goolish. 1990. *Growth*, 363-387. En: Shreck C.B. & P.B. Moyle (Eds.) *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Maryland. 684 p.
- Castellanos-Rodríguez, S., J.L. García-Rendón, J.L. Guevara-Osuna & F.C. Franco-Aramburo. 1982. Aportación al conocimiento de la especie *Sphoeroides annulatus* (Jenyns). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 62 p.
- Castro-Aguirre, J.L., H. Espinoza-Pérez & J.J. Schmitter-Soto. 1999. *Ictiofauna estuarina, lagunar y vicaria de México*. Testigo Limusa, México. 666 p.
- Ceballos-Vázquez, B.P. 1993. Biología reproductiva del "Conejo" *Caulolafilus affinis*, Gil, 1865 (Pistes: Branchiostegidae), en el canal Cerralvo, B.C.S., México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 72 p.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2004. Volumen de la producción pesquera en peso vivo, del botete por entidad federativa 1999-2003. Dirección de evaluación y programas estratégicos. Sistema de Indicadores de la Producción Pesquera, Sistema de Registro Integral de la Actividad Pesquera, México.
- Contreras-Arce, R. 2001. Monogeneas del botete diana silvestre (*Sphoeroides annulatus* Jenyns, 1853) y evaluación "in vitro" del empleo de hierbabuena y formalina para su control. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. México, 45 p.
- Coronado-Molina, C. & F. Amezcua-Linares. 1988. Distribución y abundancia de los peces demersales de la costa de Guerrero en el Pacífico de México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 15:67-93.



- Curtís, H., N.S. Barnes, A. Schnek & G. Flores. 2000. *Biología*. 6ta ed. Editorial Médica Panamericana, España. 1496 p.
- Grier, H.J. & R.G. Taylor. 1998. Testicular maturation and regression in the common snook. *J. Fish Biol.*, 53:521-542.
- Diario Oficial de la Federación. 2004. *Segunda sección*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. 112 p.
- Díaz-Guevara, R., B.P. Ceballos-Vázquez & M. Arellano-Martínez. 2005. Biología reproductiva del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Pisces: Tetraodontidae) en la bahía de La Paz, B. C. S. México. Resúmenes del X Congreso de Investigadores del Mar de Cortés, A.C. y IV Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Mazatlán, Sinaloa, México.
- DeVlaming, V., G. Grossman & F. Champman. 1982. On the use of the gonadosomatic index. *Comp. Biochem. Physiol.*, 73A(1)31-39.
- Devlin, R.H. & Y. Nagahama. 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture*, 208:191–364.
- Duncan, N.J., G.A. Rodríguez-Montes de Oca, D. Alok & Y. Zohar. 2003. Effects of controlled delivery and acute injections of LHRHa on bullseye puffer fish (*Sphoeroides annulatus*) spawning. *Aquaculture*, 218:625-635.
- Encina, L., & C. Granado-Lorencio. 1997. Seasonal variations in the physiological status and energy content of somatic and reproductive tissues of chub. *J. Fish Biol.*, 50: 511-522.
- Fajer-Ávila, E.J., I. Abdo-de la Parra, G. Aguilar-Zarate, R. Contreras-Arce, J. Zaldívar-Ramírez & M. Betancourt-Lozano. 2003. Toxicity of formalin to bullseye puffer fish (*Sphoeroides annulatus* Jenyns, 1843) and its effectiveness to control ectoparasites. *Aquaculture*, 223:41-50.
- Falcón, J., L. Besseau, R. Vuilleumier, S. Sauzet, M. Fuentès & G. Boeuf. 2005. Regulación de melatonin production in fish photoreceptor cells. Abstracts of X Congress of the EPBRS. Frankfurt, Germany.

- Fischer, W., F. Frupp, W. Schnsider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para fines de la pesca*. Food and Agricultural Organization, Roma. (3):1629-1637.
- García-Cagide, A., R. Claro, & B.V. Koshelev. 1994. *Reproducción*, 187-262. En: Claro, R. (Ed.) *Ecología de los peces marinos de Cuba*. Centro de Investigaciones Biológicas de Quintana Roo, México. 525 p.
- García-Ortega, A., C. Hernández, M.I. Abdo de la Parra & B. González-Rodríguez. 2002. Advances in the nutrition and feeding of the bullseye puffer *Sphoeroides annulatus*. Memorias del VI Simposio Internacional de Nutrición Acuícola. Cancún, Quintana Roo, México.
- García-Ortega, A., I. Abdo & C. Hernández. 2003. Weaning of bullseye buffer (*Sphoeroides annulatus*) from the live food to microparticulate diet made with decapsulated cysts of artemia and fishmeal. *Aquacult. Int.*, 11:183-194.
- Ghosh, S., A.K. Hazra, S. Banerjee & B. Mukherjee. 2005. Ecological monitoring for ascertaining the bio-safety of liver lipids from some Indian marine puffer fishes. *Fisheries Sci.*, 71:29-37.
- González, P. & C. Oyarzún. 2002. Biological index variability in *Pinguipes chilensis* Valenciennes, 1833 (Perciformes, Pinguipedidae): Are they correlated?. *Gayana*, 66(2):249-253.
- Grier, H.J. & R.G. Taylor. 1998. Testicular maturation and regression in the common snook. *J. Fish Biol.*, 53:521-542.
- Helfman, G.S., B.B. Collette & D.E. Facey. 1997. *The diversity of fishes*. Blackwell Science, Oxford. 528 p.
- Hempel, G. 1979. *Early life history of marine fish: The egg stage*. Washington Sea Grant, Washington. 78 p.
- Henderson, R.J. & D.R. Tocher. 1987. The lipid-composition and biochemistry of fresh-water fish. *Prog. Lipid Res.*, 26:281-347.
- Hernández, A., M. Companyó, A. Morros & L. Tort. 2002. Cambios en la fluidez de la membrana en hepatocitos de dorada *Sparus auratus* L., 1758 asociados al descenso térmico. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 18(1-4):389-392.

- Hoque, M.T., F.M. Yusoff, A.T. Law & M.A. Syed. 1998. Effect of hydrogen sulphide on liver somatic index and Fulton's condition factor in *Mystus nemurus*. *J. Fish Biol.*, 52:23-30.
- Houillon, C. 1978. *Sexualidad*. 3era ed. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 202 p.
- Huber, M. & D.A. Bengtson. 1999. Interspecific differences in growth of somatic and reproductive tissues during the breeding season in *Menidia menidia* and *M. beryllina*. *J. Fish Biol.*, 55:274-287.
- Humason, G.L. 1979. *Animal Tissue Techniques*. 4th ed. W. H. Freeman and Co., San Francisco. 692 p.
- Izquierdo, M.S., H. Fernández-Palacios & A.G.J. Tacon. 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*, 197:25-42.
- Jalabert, B. 2005. Particularities of reproduction and oogenesis in teleost fish compared to mammals. *Reprod. Nutr. Dev.*, 45:261-279.
- Jameson, E.W.J. 1988. *Vertebrate reproduction*. Wiley Interscience, New York. 256 p.
- Jobling, M. 1988. A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morthua* L. with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquaculture*, 70:1-19.
- Jobling, M. 1995. *Environmental Biology of Fishes*. Chapman and Hall, New York. 455 p.
- Komar, C., J.F. Turnbull, A. Roque, E. Fajer & N.J. Duncan. 2004. Effect of water treatment and aeration on the porcentaje hatch of demersal, adhesive eggs of the bullseye puffer (*Sphoeroides annulatus*). *Aquaculture*, 229:147-58.
- Lender, T., R. Delavault & A. Le-Moigne. 1982. *Diccionario de biología*. Ediciones Grijalbo, S.A., Barcelona. 203 p.
- Lloret, J. & S. Planes. 2003. Condition, feeding and reproductive potential of white seabream *Diplodus sargus* as indicators of habitat quality and the effect of reserve protection in the northwestern Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 248:197-208.
- Lyons, D.O. & J.J. Dunne. 2003. Reproductive cost to male and female worm pipefish. *J. Fish Biol.*, 58:776-787.

- Luquet, P. & T. Watanabe. 1986. Interaction "nutrition-reproduction" in fish. *Fish Physiol. Biochem.*, 2(1-4):121-129.
- Maddock, D.M. & M.P.M. Burton. 1999. Gross and histological observations of ovarian development and related condition changes in America plaice. *J. Fish Biol.*, 53:928-944.
- Maeda-Martinez, A.N. 1981. Composición, abundancia, diversidad y alimentación de la ictiofauna, en tres lagunas costeras del Golfo de California. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 140 p.
- Mariscal-Romero, J., B. Aguilar-Palomino, G. Lucano-Ramírez, A.R. Raymundo-Huizar, L.E. Rodríguez-Ibarra, S. Ruiz-Ramírez & G. González-Sansón. 1998. Asociaciones de peces demersales de la plataforma continental de Colima y Jalisco, México (Primavera 1995). *Cienc. Mar.*, 24(1):35-54.
- Martínez-Rodríguez, I.E. 2001. Evaluación del efecto de la temperatura y salinidad sobre el desarrollo de huevos y larvas de botete diana (*Sphoeroides annulatus*: Jenyns, 1843). Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., México. 259 p.
- Matsumura, K. 1995. Tetraodotoxin as a pheromone. *Nature*, 378:563-564.
- Matsuyama, M., Y. Nagahama & S. Matsuura. 1991. Observations on ovarian follicle ultrastructure in the marine teleost, *Pagrus major*, during vitellogenesis and oocyte maturation. *Aquaculture*, 92:67-82.
- Mommsen, T.P. 1998. *Growth and metabolism*, 65-97. En: Evans, D.H. (Ed.) *The physiology of fishes*. 2nd ed. CRC Press, Florida. 519 p.
- Morrison, D.F. 1990. *Multivariate statistical methods*. 3th ed. McGraw-Hill Inc., New York. 495 p.
- Munro, A.D., A.P. Scott & T.J. Lam. 1990. *Reproductive seasonality in teleosts: Environmental influences*. CRC Press, Florida. 254 pp.
- Muñoz-Cueto, J.A., F.J. Rodríguez-Gómez, A. García, M.C. Rendón, M.L. González de Canales & C. Sarasquete. 1997. *Regulación hormonal de la reproducción en peces teleósteos*, 73-112. En: González de Canales, M.L., J.A. Muñoz-Cueto & C. Sarasquete (Eds.) *Histofisiología e Histopatología de Especies*

- Marinas de Interés en Acuicultura*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. España. 157 p.
- Nagahama, Y. 1983. *The functional morphology of teleost gonads*, 223-275. En: Hoar W.S., D.J. Randall & E.M. Donaldson (Eds.) *Fish Physiology, Vol. IX; Reproduction Parte A: Endocrine tissues and hormones*. Academic Press Inc, New York. 483 p.
- Nagahama, Y. 1994. Endocrine regulation of gametogenesis in fish. *Int. J. Dev. Biol.*, 38:217-229.
- Nelson, J.S. 1994. *Fishes of the world*. 3th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York. 600 p.
- Nikolsky, G.V. 1963. *The ecology of fishes*. Academic Press, New York. 352 p.
- Núñez-Vázquez, E.J., M. Yotsu-Yamashita, A.P. Sierra-Beltrán, T. Yasumoto & J.L. Ochoa. 2000. Toxicities and distribution of tetrodotoxin in the tissues of puffer fish found in the coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Toxicon*, 38: 729-734.
- Ocampo-Peraza, D. 1983. El botete (*Sphoeroides annulatus*), características y origen como alimento humano. *Rev. Cienc. Mar*, 5:9-11.
- Patiño, R. & C.V. Sullivan. 2002. Ovarian follicle growth, maturation, and ovulation in teleost fish. *Fish Physiol. Biochem.*, 26:57-70.
- Pelcastre-Campos, V.T. 2004. Evaluación del enriquecimiento con ácidos grasos del alimento vivo para larvas de botete diana (*Sphoeroides annulatus* Jenyns, 1842) y su efecto para lograr el destete temprano. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México. 63 pp.
- Peterson, R.H. & P.R. Harmon. 2005. Changes in condition factor and gonadosomatic index in maturing and non-maturing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Bay of Fundy sea cages, and the effectiveness of photoperiod manipulation in reducing early maturation. *Aquac. Res.*, 36:882-889.
- Prado-Avila, G.E. 2001. Efecto de la densidad en el crecimiento y sobrevivencia en juveniles de botete diana (*Sphoeroides annulatus* Jenyns, 1843). Tesis de

- licenciatura. Facultad de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, México. 49 p.
- Ramos, J., L. Rodríguez, S. Zanuy & M. Carrillo. 2002. Influencia del fotoperiodo sobre la aparición de la primera madurez sexual, comportamiento reproductivo y calidad de puestas en hembras de lubina *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 18(1-4):175-182.
- Rocha, C., L.F. Favaro & H.L. Spach. 2002. Reproductive biology of *Sphoeroides testudineus* (Linneus) (Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae) of the Gamboa Do Banguacu, bay of Paranagua, State of Parana, Brazil. *Rev. Bras. Zool.*, 19:(1)57-63.
- Rodríguez-Gutiérrez, M. 1992. *Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces*. A.G.T. Editor, S.A., México. 79 p.
- Rojas-Macillas, T.A. 2004. Distribución de *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842), y *S. lobatus* (Steindachner, 1870), con relación a factores abióticos en el sistema lagunar de Santa María La Reforma, Sinaloa. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 47 p.
- Rosales-Casián, J.A. 2004. Composición, importancia y movimiento de los peces de bahía de San Quintín, Baja California, México. *Cienc. Mar.*, 30(1A):119-127.
- Saborido, F. 2004. *Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos; Curso doutoramento do bienio*. Instituto de Investigaciones Marinas, Universidad de Vigo, España. 69 p.
- Sadovy, Y & D.Y. Shapiro. 1987. Criteria for de diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia*, 1:136-156.
- Sánchez-Cárdenas, R. 2005. Aspectos reproductivos del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Pisces: Tetraodontidae), en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 86 p.
- Santos, R.S., S.J. Hawkinis & R.D. Nash. 1996. Reproductive phenology of the Azorean rock pool blenny a fish alternative mating tactics. *J. Fish Biol.*, 48: 842-858.

- Saucedo-Barrón, C.J., H. Chávez & F. Galván-Magaña. 1988. Observación de ejemplares con defectos oculares de *Antennarius avalonis* Jordan y Starks, *Sphoeroides annulatus* (Jenyns) y *Diodon holocanthus* Linnaeus (Pisces: Antennariidae, Tetraodontidae y Diodontidae), colectados en Baja California Sur. *Cienc. Mar.*, 14(2):113-124.
- Scott, A.P. 1987. *Reproductive endocrinology of fish*, 56-223. En: Chester-Jones I., P.M. Ingleton & J.G. Phillips (Eds.) *Fundamentals of Comparative Vertebrate Endocrinology*. Plenum Press, New York. 682 p.
- Scott, D.B.C. 1979. Environmental timing and the control of reproduction in teleost fishes. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, 44:105-132.
- Schultz, Y.D., L.F. Favaro & H.L. Spach. 2002. Reproductive aspects of *Sphoeroides greeleyi* (Gilbert), Tetraodontidae, from Gamboa Do Baguacu, State of Parana, Brazil. *Rev. Bras. Zool.*, 19(1):65-76.
- Stuardo, J. & A. Martínez. 1974. Relaciones entre algunos factores ecológicos y la biología de poblaciones de *Crassostrea corteziensis* Hertlein, 1951, de San Blas, Nayarit, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 2:89-129.
- Sumpter, J.P. 1997. Environmental control of fish reproduction: a different perspective. *Fish Physiol. Biochem.*, 17:25-31.
- Thema Equipo Editorial, S. A. 2003. *Matemáticas. Enciclopedia temática ilustrada, Vol. 7*. Grijalbo, España. 96 p.
- Thomson, D.A. 1978. *Peces del golfo de California*. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, México. 68 p.
- Thomson, D.A., L.T. Findley & A.N. Kerstitch. 1979. *Reef Fishes of the Sea of Cortez: The Rocky-Shore Fishes of Gulf of California*. Wiley Interscience, New York. 302 p.
- Thresher, R. 1984. *Reproduction in Reef Fishes*. T.F.H. Publications, New Jersey. 399 p.
- Tyler, C.R. 1991. Vitellogenesis in salmonids. *Proc. Fourth Int. Symp. Reprod. Physiol. of Fish*, 295-299.

- Tyler, C.R. & J.P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleost. *Rev. Fish Biol. Fisher.*, 6:287-318.
- Van-Dijk, P.L.M., I. Hardewig & F. Hölker. 2005. Energy reserves during food deprivation and compensatory growth in juvenile roach: the importance of season and temperature. *J. Fish Biol.*, 66:167-181.
- Van-Handel, E. 1965. Estimation of glycogen in small amounts of tissue. *Analyt. Biochem.*, 11:256-265.
- Wallace, R.A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleost. *Amer. Zool.* 21:325-343.
- Weldon, P.J. 1988. Wounds on the yellow-bellied sea snake (*Pelamis platurus*) from Panama, evidence of would be predators. *Biotropica.*, 20(2):174-176.
- Wootton, R.J. 1998. *Ecology of Teleost Fishes*. Kluwer Academic Publishers, London. 386 p.
- 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 p.
- Yamahira, K. 2004. How do multiple environmental cycles in combination determine reproductive timing in marine organisms? A model and test. *Funct. Ecol.*, 18:4-15.
- Yañez-Arancibia, A. 1977. Patrones ecológicos y variación cíclica de la estructura trófica de las comunidades nectónicas en lagunas costeras del Pacífico de México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 5:287-307.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. 3th edn. Prentice Hall. New Jersey. 918 p.



## 11. ANEXO

### Productos de la tesis





El sober de mis hijos  
horó mi grandeza



# La Asociación de Investigadores del Mar de Cortés, A. C. en su

## XX ANIVERSARIO

Otorga el presente **RECONOCIMIENTO** a

**REBECA SÁNCHEZ CÁRDENAS**  
Ricardo Díaz Guevara, Bertha Patricia Ceballos Vázquez,  
Marcial Arellano Martínez, María Candelaria Valdez Pineda y Ramón Enrique Moran Angulo  
**COMPARACIÓN DEL PATRÓN REPRODUCTIVO DEL BÓTETE DIANA *SPHOEROIDES ANNULATUS* (TETRAODONTIDAE)  
EN DOS LOCALIDADES DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

XI Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés y  
V Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés, celebrado en el Centro de las Artes de la Universidad de  
Sonora, del 24 al 27 de abril de 2007, Hermosillo, Sonora.



Dr. Alf Meling López  
COMITÉ ORGANIZADOR



Dr. Pedro Ortega Romero  
RECTOR



M. en C. Isidro Osuna López  
PRESIDENTE DE LA AIMAC



El sober de mis  
hijos



# La Asociación de Investigadores del Mar de Cortés, A. C. en su

## XX ANIVERSARIO

Otorga el presente **RECONOCIMIENTO** a

**REBECA SÁNCHEZ CÁRDENAS**  
Bertha Patricia Ceballos Vázquez y Marcial Arellano Martínez  
**COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA EN HEMBRAS DE *SPHOEROIDES ANNULATUS* Y SU RELACIÓN CON LA REPRODUCCIÓN**

XI Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés y  
V Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés, celebrado en el Centro de las Artes de la Universidad de  
Sonora, del 24 al 27 de abril de 2007, Hermosillo, Sonora.



Dr. Alf Meling López  
COMITÉ ORGANIZADOR



Dr. Pedro Ortega Romero  
RECTOR



M. en C. Isidro Osuna López  
PRESIDENTE DE LA AIMAC



REVISTA DE BIOLOGÍA MARINA Y OCEANOGRAFÍA

Publicada desde 1948

Viña del Mar, 7 de mayo de 2007

**Dra.**

**Bertha Patricia Ceballos Vázquez**

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

Instituto Politécnico Nacional

México

De mi consideración:

Tengo el agrado de informar a usted, en su calidad de autor corresponsal, que hemos recibido el trabajo titulado "**Reproductive aspects of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) inhabiting the Mazatlán coast, Sinaloa, Mexico**" para que sea considerada su publicación en la Revista de Biología Marina y Oceanografía.

El trabajo será enviado al menos a dos evaluadores expertos. Si ellos no coinciden acerca de sus sugerencias de publicación, lo enviaremos a un tercer evaluador. Una vez que dispongamos de sus opiniones le haremos saber nuestra decisión acerca de su publicación en la revista.

Aprovecho la oportunidad para informar a usted que, a partir de noviembre 2006, la Revista de Biología Marina y Oceanografía ha debido resolver que, **en caso que un autor retire su trabajo** durante cualquier etapa del procesamiento para publicación, deberá cancelar la suma de US \$500.00 o su equivalente en pesos chilenos. Ello, debido a que hay costos de procesamiento desde la recepción de los trabajos hasta su distribución y que, en el caso de retirar el trabajo, constituyen pérdidas irrecuperables para la revista. Al respecto, solicito a usted, enviarnos por correo electrónico (revista.oceanografia@uv.cl), una nota donde señale explícitamente haber tomado conocimiento de esta información.

Agradeciendo a usted su preferencia por publicar en nuestra revista y quedando a su disposición, le saluda cordialmente,

Bernardita Campos Maia  
Editora



Avda. Borgoño 16.344, Viña del Mar  
Casilla 5080, Reñaca, Chile  
www.revbiolmar.cl - revista@revbiolmar.cl