



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**“BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *Halichoeres bivittatus* (BLOCH,
1791) (PERCIFORMES: LABRIDAE) EN EL ARRECIFE ISLA DE
ENMEDIO, SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO, MÉXICO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

BIOLOGO

PRESENTA

JANET RODRIGUEZ GONZALEZ



**DIRECTOR DE TESIS
Dr. Luis Fernando Del Moral Flores**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



A mis padres, Agustina y Mario por ser el pilar fundamental en todo lo que soy y por su apoyo incondicional mantenido a través del tiempo.

A mi hermano y toda mi familia por el apoyo que siempre me brindaron, día a día en el transcurso de mi carrera universitaria.

A Bruno Olivares, por estar presente todo este tiempo, por su amor, apoyo, comprensión y ayuda.

A todos los que de alguna manera contribuyeron y ayudaron para la realización de este trabajo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a todos ustedes



A mi director de tesis Luis Fernando Del Moral por su constante apoyo en la realización, planeación y revisión de este trabajo, así como su paciencia y su inestimable ayuda durante todo este tiempo.

A mis sinodales José Antonio Martínez, Atahualpa Eduardo De Sucre, Carmen Álvarez y José Luis Tello por su tiempo, sugerencias y comentarios hacia este trabajo.

A la maestra Carmen Álvarez por su tiempo, conocimientos transmitidos y orientación técnica brindada, así como las facilidades de uso de su equipo de laboratorio.

A la maestra Maribel Badillo por su tiempo, sugerencias y todo el apoyo brindado durante mi estancia en el Parque Científico Tecnológico de Yucatán.

A mis amigos que siempre han estado en los momentos malos y buenos, de los que sólo recibí apoyo y conocimientos a lo largo de mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros de laboratorio, que de alguna u otra forma me enseñaron otras formas de trabajo, me apoyaron en la recolección de material y me compartieron un poco de su conocimiento.

A todos los profesores que me transmitieron sus conocimientos a lo largo de toda la carrera.



ÍNDICE

	Págs.
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
3. Objetivos	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos particulares	6
4. Material y método	7
4.1. Área de estudio	7
4.2. Recolecta del material biológico	8
4.3. Método de laboratorio	8
4.3.1. Morfometría	8
4.3.2. Técnica histológica	9
4.3.3. Estructura poblacional	9
4.3.3.1. Proporción sexual	9
4.3.3.2. Relación talla-peso	10
4.3.3.3. Talla de primera madurez	10
4.3.4. Índices reproductivos	11
4.3.4.1. Factor de condición	11
4.3.4.2. Índice gonadosomático	11
4.3.4.3. Índice hepatosomático	11
4.3.5. Escala de madurez	12
4.3.5.1. Macroscópica	12
4.3.5.2. Microscópica	14
5. Resultados	16
5.1. Proporción sexual	16
5.2. Estructura por tallas	18
5.3. Relación talla-peso	18
5.4. Talla de primera madurez	19
5.5. Factor de condición	20
5.6. Índice gonadosomático	21
5.7. Índice hepatosomático	21
5.8. Descripción macroscópica de las gónadas	23
5.8.1. Escala de madurez	24
5.9. Descripción microscópica de las gónadas	25
5.9.1. Ovario	25
5.9.1.1. Descripción de los ovocitos	26
5.9.1.2. Fases de madurez	29
5.9.2. Testículo	35
5.9.2.1. Descripción de las células espermáticas	36
5.9.2.2. Fases de madurez	38
6. Discusión	42
7. Conclusiones	51
8. Referencias	52
9. Anexo	60



Resumen

La familia Labridae está representada en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) por 17 especies, es un componente importante siendo un grupo dominante de carnívoros de la ictiofauna en los arrecifes de coral. La especie *Halichoeres bivittatus* se considera hermafrodita secuencial, ya que cambia de sexo, por un proceso llamado protoginia. Por lo tanto, en el presente trabajo se analizan sus aspectos biológico-reproductivos; mediante la estructura poblacional, la época reproductiva por medio del índice hepatosomático, gonadosomático y factor de condición y la descripción de las gónadas a nivel micro y macroscópico. Se realizaron 7 muestreos de marzo 2017 a abril 2018 en el arrecife Isla de Enmedio. Los ejemplares se capturaron con redes de mano y fueron fijados con formol (4%), en el laboratorio se tomaron los datos morfoanatómicos para cada organismo (e.g., sexo, longitud total, longitud patrón, peso completo y eviscerado). Se hizo extracción de las gónadas para su proceso histológico y tinción con hematoxilina-eosina. En total se colectaron 374 organismos, de estos se sexaron 273, los cuales presentaron una proporción de sexual total de 1M:1.4H, con variaciones mensuales. El intervalo general de tallas osciló entre 25.5 y 137.0 mm; en hembras las tallas fueron de 25.6-95.7 mm y en machos 43.9-137.0 mm. La relación talla-peso indica que se presenta un crecimiento de tipo isométrico ($b=3$). La talla de primera madurez sexual (L_{50}) para hembras es de 56.3 mm y para machos de 62.1 mm. Las observaciones microscópicas y macroscópicas de las gónadas en conjunto con los índices reproductivos indican un periodo de reproducción en los meses marzo-abril; las observaciones histológicas en hembras, muestran que se presenta un crecimiento de tipo sincrónico por grupos, caracterizado por la presencia de ovocitos en dos o tres estadios de desarrollo, además se encontraron tres fases de madurez gonadal (inmaduro, desarrollo y regresión), en machos se presenta un arreglo testicular de tipo lobular irrestricto y tres fases de madurez gonadal (desarrollo, desovador capaz y regeneración).



1. Introducción

Los arrecifes de coral son los sistemas más complejos y diversos del medio marino; en los que coexisten miles de especies que representan prácticamente a todos los grupos de organismos marinos existentes, representantes de 43 fila (Reaka-Kudla, 1997). En México, por su posición geográfica, los arrecifes de coral pueden regionalizarse en tres zonas: (i) la costa del Pacífico; (ii) la costa del Golfo de México; y (iii) la costa caribeña (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993).

En cuanto a la diversidad ictiofaunística en los arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) se tiene un total de 387 especies pertenecientes a 206 géneros, 92 familias, 23 órdenes y 2 clases. El orden Perciformes tiene el mayor número de especies con 252 (65.5%) (Del Moral-Flores *et al.*, 2013). Este orden es el mejor representado en los sistemas arrecifales coralinos, grupo al que pertenece la familia Labridae. Esta familia se distribuye en aguas tropicales de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. Cuenta con una amplia gama de adaptaciones para explotar diferentes nichos en los sistemas arrecifales (Pérez y Parra, 2002).

La mayoría de los lábridos tienen tres patrones de coloración: juvenil, fase inicial y fase terminal, mostrando así un dimorfismo sexual por coloración. Los juveniles tienen, ya sea patrones de camuflaje crípticos, o exhiben colores brillantes. Con frecuencia presentan una o más manchas semejando ojos falsos (ocelos) en la aleta dorsal. Las fases iniciales en las hembras son generalmente de tonalidades opacas, de color café o verde, o si tienen un patrón de coloración, éste es menos atractivo que el patrón de la fase terminal de colores brillantes presentes en los machos, los cuales suelen ser tonalidades de verde, azul, rosa y naranja (Discoverlife, 2018).

En algunas especies no sólo cambia el patrón de coloración, si no, también la forma del cuerpo. Para la mayoría de estas el cambio está asociado a la protoginia (Westneat, 2002).



La familia Labridae es un componente conspicuo e importante de la ictiofauna en los arrecifes de coral, representando un grupo dominante de carnívoros bentónicos (Thresher, 1991). Está representada, a nivel mundial, por 556 especies (Fricke *et al.*, 2019). Mientras que en el PNSAV sólo se encuentran 17 especies, de las cuales *Halichoeres bivittatus* (Bloch, 1791) es una de las especie más abundantes y dominantes (Del Moral-Flores *et al.*, 2013).

La especie *Halichoeres bivittatus* (Bloch, 1791), conocida comúnmente como doncella rayada, se distribuye en el Atlántico occidental desde Carolina del Norte hasta la parte sur de Brasil (Robins y Ray, 1986), comúnmente en zonas someras, entre profundidades de 1-15 m (Lieske y Myers, 1994). Se alimenta de otros peces (Böhlke y Chaplin, 1993) y gasterópodos (Cervigón, 1993).

Esta especie tiene cuerpo elongado y ligeramente comprimido; boca terminal generalmente con labios prominentes. Los dientes pueden ser caninos o cónicos, la mayoría presenta un par de dientes caninos fuertes en el frente de la boca. Se caracterizan por presentar sólo tres y medio arcos branquiales. Las aletas pélvicas son de posición torácica. La aleta dorsal es continua; tiene nueve espinas y 11 radios. La aleta anal consta de tres espinas y nueve radios. La aleta caudal es moderadamente convexa. La línea lateral es continua con una curva debajo de la parte posterior de la aleta dorsal y presentan escamas cicloideas, y una máxima longitud de 350 mm (Hoese y Moore, 1977; Allsop y West, 2003).

De manera general, los lábridos tienen dos estrategias reproductivas, el gonocorismo y el hermafroditismo protogínico. La protoginia (transformación de una hembra funcional a un macho funcional) es la estrategia más común. Sin embargo, existen ejemplos de gonocorismo (presentan un sólo sexo), principalmente en el hemisferio norte (Dipper y Pullin 1979; Warner y Lejeune 1985; Costello 1991).

En las especies protogínicas, la capacidad física de los individuos se maximiza al reproducirse primero como una hembra de fase inicial, luego al cambiar de sexo para reproducirse como un macho de fase terminal, cuando esta es lo suficientemente grande como para competir con otros machos en la época de desove (Sakai *et al.* 2001). Este cambio está controlado socialmente, donde los



machos territoriales restringen la producción de otros machos por el predominio agresivo (Shapiro, 1987).

Estudios realizados sobre la biología reproductiva de diferentes especies de lábridos indican que el índice gonadosomático (IGS) y el factor de condición (K) es determinante para establecer los meses de actividad reproductiva, correlacionados con los valores más altos, lo cual muestra un mayor porcentaje de peces maduros, así como los mayores diámetros de ovocitos (Lucano-Ramírez *et al.*, 2004; Ramos-Santiago *et al.*, 2010; Amezcua y Muro-Torres, 2012).

La relación en la proporción de sexos, que existe entre hembras y machos, es variada en cada especie. Por la influencia de diversos factores como los ambientales o reproductivos. Puede haber una variación en la cantidad de hembras o machos según el mes de muestreo; sin embargo, la relación total en la mayoría de los casos es cercana a 1H:1M, siendo a favor de las hembras (Arellano-Martínez *et al.*, 2001; Lucano-Ramírez *et al.*, 2004; Ramos-Santiago *et al.*, 2006; Ramos-Santiago *et al.*, 2010).

La histología de las gónadas muestra las diferentes fases de desarrollo propio de cada especie, donde se puede establecer si el desarrollo es sincrónico o asincrónico (Santamaría-Miranda *et al.*, 2003). En el caso de presentar ovocitos en el mismo estadio de crecimiento se le considera como desarrollo sincrónico, pero si este sólo presenta de dos a tres grupos de ovocitos se dice que es de tipo sincrónico por grupos y cuando existen ovocitos en diferentes estadios de crecimiento es un desarrollo de tipo asincrónico (Gaspar, 1995).

Los estudios reproductivos, en peces, se han efectuado preferentemente en las especies de interés comercial y que son extraídas abundantemente, por lo que no se cuenta con gran información de las especies no comerciales. Como se denota, la reproducción ocupa un lugar importante, ya que el conocimiento de ésta nos permite realizar inferencias sobre los hábitos de dichos organismos y poder así hacer un adecuado aprovechamiento de los recursos marinos.



2. Antecedentes

Polycansky, (1982) y Francis, (1992), sugieren que dentro de la familia Labridae hay especies gonocoristas y protogínicas. La protoginia es considerada la estrategia reproductiva dominante en los lábridos (Policansky, 1982; Warner, 1984), esta ocurre en la mayoría de los géneros de esta familia incluyendo a *Halichoeres* (Gillarders, 1995; Leem *et al.*, 1998; Nemtsov, 1985; Warner y Robertson, 1978).

Ghiselin (1969), sugiere que este cambio de sexo aprovecha el tamaño de la especie, para adquirir una ventaja y maximizar su potencial reproductivo. Mientras que estudios realizados (Warner, 1988; Ross, 1990; Muñoz y Warner, 2003), han documentado que hay varios factores sociales (e.g., muerte del macho dominante, proporción sexual, formación de harems) que influyen en el cambio de sexo, lo que resalta la variabilidad de estrategias reproductivas en lábridos y su capacidad para responder a diferentes situaciones ecológico-evolutivas. Además, se ha observado que de manera general los machos de peces protogínicas son más grandes que las hembras (Warner 1975; Kuwamura y Nakashima, 1998).

Raposeiro y Azevedo, (2009), indican que la temporada reproductiva de los lábridos está representada principalmente por las estaciones primavera-verano, lo que concuerda con Ouannes-Ghorbel *et al.* (2002) quienes demostraron que la época reproductiva para *Symphodus tinca* es de abril a junio, sin embargo, existen otras épocas como en *Pictilabrus laticlavius* que se da en octubre-diciembre (Morton *et al.*, 2008). En estas épocas ocurre un almacenamiento previo de las reservas en el hígado para la maduración de los gametos.

Gallardo-Cabello *et al.* (2010), demostraron que los valores más altos del índice gonadosomático (IGS) tienen una relación inversamente proporcional con el índice hepatosomático (IHS). Esto debido a la demanda de energía por parte del pez para procesos reproductivos, lo que indicaría un aporte de energía continuo del hígado hacia las gónadas para la producción de gametos (González y Oyarzún, 2002).



En esta familia se tiene evidencia de una variación mensual en la proporción sexual que siempre esta inclinada hacia las hembras (Adreani y Allen, 2008), y una talla de primera madurez, donde los intervalos menores pertenecen a las hembras y los mayores a los machos (Raposeiro y Azevedo, 2009).

(Ross y Howard, (1974), mencionan que los machos de la familia Labridae reciben dos nombres, machos primarios que son los que nacen siendo machos y machos secundarios que son los derivados de la transformación de las hembras.

Pérez y Parra (2002), hicieron un estudio de la biología reproductiva de *Halichoeres bivittatus*, en el sur del Caribe, el cual mostró una proporción sexual mensual dominada por hembras, encontrando que en los periodos de reproducción el IGS aumenta mientras que el IHS disminuye. El tamaño promedio encontrado para hembras fue de 75 mm y 80 mm para machos, una talla de primera madurez de 72 mm de LT e indican varias épocas reproductivas durante un año.

Warner y Robertson (1978) en concordancia con Clavijo y Donalson (1994) mencionan que *H. bivittatus* muestra un comportamiento reproductivo territorial, ya que se observó que los machos en fase terminal defendían los territorios temporales que ocupaban para la reproducción, la cual alcanzó su punto máximo en mayo y junio.



3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar los aspectos de la biología reproductiva de *Halichoeres bivittatus*.

3.2 Objetivos particulares

Describir la estructura poblacional: determinando la proporción, frecuencia de tallas y la relación talla-peso.

Determinar la talla de primera madurez.

Establecer la época reproductiva: mediante los índices gonadosomático, hepatosomático y el factor de condición.

Describir el desarrollo gonadal de *Halichoeres bivittatus* a nivel macroscópico y microscópico.

4. Material y método

4.1 Área de estudio

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) se encuentra frente a las costas de los municipios, Boca del Río y Alvarado, en el estado de Veracruz; el PNSAV representa el sistema arrecifal de mayor tamaño de la región centro-sur del Golfo de México (Tunnell, 1992; Spalding *et al.*, 2001). Está integrado por 28 formaciones arrecifales, cayos e islas, situados en la porción interna de la plataforma continental en el Golfo de México (Fig. 1).

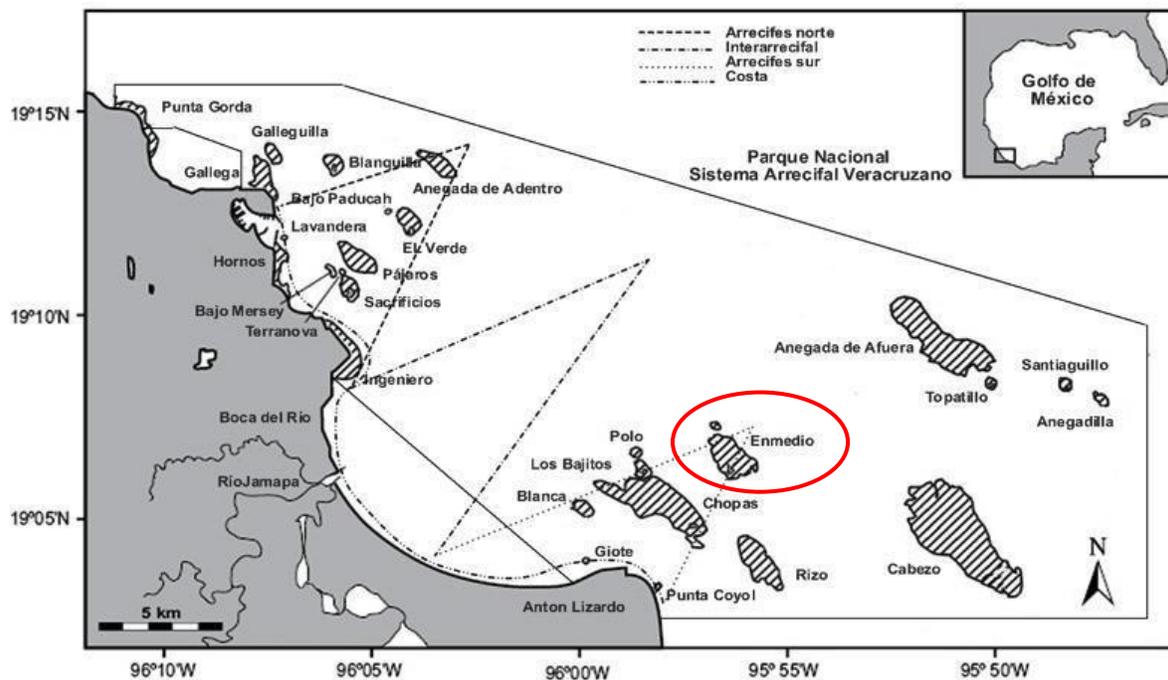


Figura 1. Mapa del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), propuesto por Ortiz-Lozano *et al.*, (2013), señalando el arrecife Isla de Enmedio.

De todos los arrecifes e islas del PNSAV, los únicos en los que se permite la afluencia turística y el desarrollo de actividades recreativas son el arrecife Pájaros, conocido comúnmente como “Cancuncito” e Isla de Enmedio; un arrecife de plataforma que está a 7 km al E de la población de Antón Lizardo, Veracruz, México, se ubica a los 19° 16' 00" N y 95° 56' 19" W. Alrededor de esta isla se realizaron siete recolectas, durante el período de marzo de 2017 a abril de 2018 (Fig. 2).



Figura 2.- Fotografías de Isla de Enmedio perteneciente al PNSAV.

4.2 Recolecta del material biológico

Los ejemplares fueron capturados mediante redes de mano cebadas y se fotografiaron *in situ*. Posteriormente se fijaron con formol al 4% para mantener las condiciones de fijación a las cuales deben estar las gónadas para su procesamiento histológico. Todas las muestras fueron rotuladas y etiquetadas con los datos de colecta (fecha, hora, coordenadas) y se trasladaron al Laboratorio de Zoología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FES- I) para su procesamiento.

4.3 Método de laboratorio

4.3.1 Morfometría

En el laboratorio se obtuvieron las medidas morfométricas y ponderales de todos los organismos: longitud total (mm), longitud patrón (mm) y peso húmedo (g) (Fig. 3). Se procedió a eviscerar a los organismos mediante una disección en la zona abdominal, registrando el sexo (con base en la diferenciación macroscópica de la gónada) y la fase de madurez sexual, basándose en los criterios establecidos por Brown-Peterson *et al.* (2011). Por último, se tomó el peso en gramos de la gónada, hígado y eviscerado. Se les colocó una etiqueta con el número correspondiente del registro.



4.3.2 Técnica Histológica

Las gónadas, fueron colocadas en tubos eppendorf (2.5 ml) y posteriormente se procesaron histológicamente mediante la técnica de rutina (Ver anexo 1). Una vez incluidas las muestras en parafina, se realizaron los cortes histológicos de 5 μm de espesor y se tiñeron mediante la tinción hematoxilina-eosina (Muñetón-Gómez *et al.*, 2000; Verdín *et al.*, 2013). Posteriormente se analizaron las muestras con ayuda de un microscopio óptico (4x, 10x, 20x, 40x y 100x).

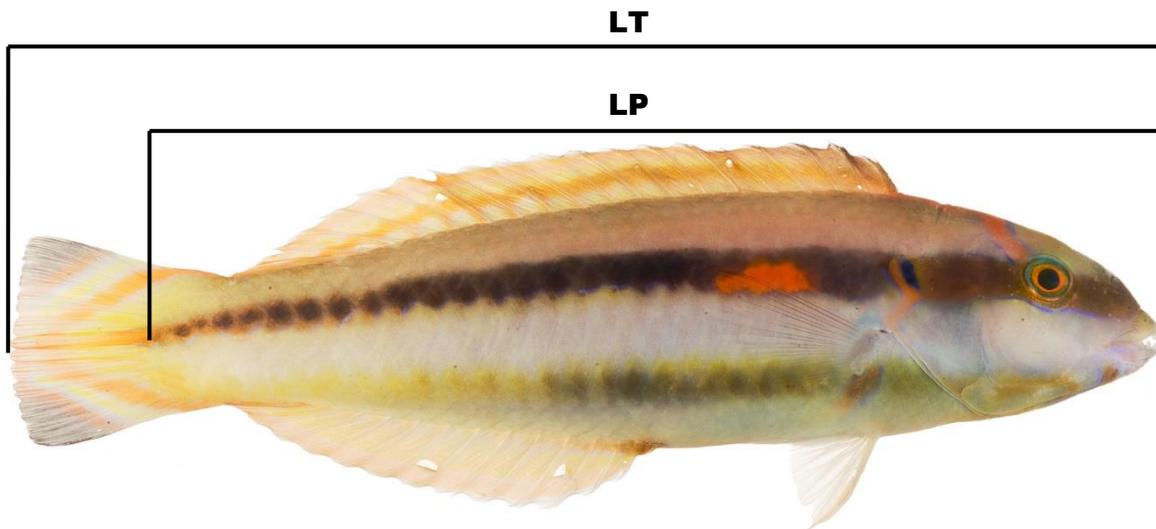


Figura 3.- Medidas morfométricas tomadas en *H bivittatus*. Longitud total (LT), Longitud patrón (LP).

4.3.3 Estructura poblacional

Para la evaluación de la estructura biológica fueron usadas las siguientes fórmulas.

4.3.3.1 Proporción sexual

Se calculó la proporción de sexos dividiendo el número total de hembra entre el número total de machos obtenidos en el periodo de muestreo (Zar, 2010). Se utilizó el estadístico de prueba de ji cuadrada (χ^2) para probar estadísticamente las diferencias en proporción de sexos teórica de 1:1 de acuerdo con

$$\chi_c^2 \frac{(|f_1 - f_2| - 0.5)^2}{n}$$



Donde:

f_1 = Proporción observada de hembras

f_2 = Proporción observada de machos

n= número de ejemplares totales

4.3.3.2 Relación talla-peso

La relación talla (cm) peso (g) es expresada matemáticamente como una relación potencial del peso contra la longitud, según la ecuación:

$$P = aLT^b$$

Donde:

P = peso (g)

LT= la longitud (cm)

a = ordenada al origen o factor de condición

b = pendiente o coeficiente de alometría.

4.3.3.3 Talla de primera madurez

Se analizó la talla de primera madurez sexual (L 50) que corresponde a la proporción donde el 50% de los organismos se encuentran sexualmente maduros. Para establecerla se agruparon a los individuos maduros por clases de tallas, posteriormente los datos se ajustaron a la siguiente función logística (Ouannes-Ghorbel *et al.*, 2002).

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(b+aLT)}}$$

Donde:

P= proporción de organismos maduros

a y b= constantes

LT= longitud total



4.3.4 Índices reproductivos

Estos indican las variaciones de manera cuantitativa a lo largo del ciclo reproductivo de *H. bivittatus*. Para la estimación de la época reproductiva a lo largo del muestreo se utilizaron los siguientes índices:

4.3.4.1 Factor de condición

El factor de condición se estimó para encontrar el estado en que se encuentra el organismo por cambios ocasionados por la dieta o la época reproductiva (Ricker, 1975).

$$K = \frac{P}{LP^b}$$

Donde:

P= peso (g),

LP= Longitud patrón (mm),

b= coeficiente de alometría obtenido de la relación talla-peso.

4.3.4.2 Índice gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) es usado frecuentemente como un indicador de madurez gonadal (Rodríguez, 1992).

$$IGS = \frac{P_g}{P_t} \times 100$$

Donde:

P_g = peso de las gónadas

P = peso del organismo

4.3.4.3 Índice hepatosomático

Es utilizado para determinar la posible relación entre las reservas energéticas de los organismos y sus requerimientos en las distintas fases del ciclo de reproducción (Garza *et al.*, 1988).



$$IHS = \frac{P_h}{P_t} \times 100$$

Donde:

P_h = peso del hígado

P_t = peso total

4.3.5 Escala de madurez gonadal

4.3.5.1 Macroscópica

Para establecer la escala de madurez gonadal, se siguió lo propuesto por Brown-Peterson *et al.* (2011). Ellos establecen cinco fases de madurez gonadal: I) inmadura II) en desarrollo, III) desovador capaz o espermiación capaz, IV) regresión y V) regeneración (Tabla 1 y 2).

Tabla 1.- Escala de madurez gonadal microscópica y macroscópica para hembras de peces teleósteos. (CP= ovocitos en crecimiento primario; AC= alvéolos corticales; Vgt1= ovocitos vitelogénicos primarios; Vgt2= ovocitos vitelogénicos secundarios; Vgt3= ovocitos vitelogénicos terciarios; FPO= folículo postovulatorio; GVM= migración de la vesícula germinal; OM= maduración del ovocito).

Fase de madurez	Características macroscópicas y microscópicas
Inmadura	Ovarios pequeños y claros, los vasos sanguíneos no son distinguibles. Sólo presenta ovogonias y CP. No hay atresia o haces musculares. La pared del ovario es delgada y hay poco espacio entre los ovocitos.
Desarrollo	Vasos sanguíneos se vuelven más visibles. Hay presencia de CP, AC, Vgt1 y Vgt2. No hay FPO ni Vgt3. Puede existir atresia. <i>Subfase de desarrollo temprano:</i> CP y AC presentes.
Desovador capaz	Vasos sanguíneos prominentes. Ovocitos visibles macroscópicamente. Vgt3 y FPO presentes en desovadores parciales. Puede haber atresia de ovocitos vitelogénicos o hidratados. Hay presencia de estados tempranos de OM. <i>Subfase desovador activo:</i> ovocitos en GVM, hidratación u ovulación.
Regresión	Ovarios flácidos, vasos sanguíneos aun prominentes. Hay presencia de atresia y FPO. Puede haber presencia de algunos ovocitos en AC, Vgt1 y Vgt2.
Regeneración	Ovarios pequeños, los vasos sanguíneos se encuentran reducidos, pero están presentes. Sólo hay presencia de ovogonias y ovocitos en CP. Pared ovárica gruesa, vasos sanguíneos alargados. Atresia avanzada, puede haber presencia degenerativa de FPO.



Tabla 2. Escala de madurez gonadal microscópica y macroscópica para machos de peces teleósteos. (EG= Epitelio germinal; Sc1= Espermatocono primario; Sc2= Espermatocono secundario; Sg1= Espermatogonia primaria; Sg2= Espermatogonia secundaria; St= Espermátida; Sz=Espermatozoide).

Fase de madurez	Características macroscópicas y microscópicas
Inmadura	Testículos pequeños, claros y delgados. Sólo hay Sg1, sin luz en los lóbulos.
Desarrollo	Testículos pequeños, pero fácilmente identificables. Cistos evidentes a lo largo de los lóbulos. Sg2, Sc1, Sc2, St y Sz pueden estar presentes en los cistos. Sz no se presentan en la luz de los lóbulos o en los conductos espermáticos. <i>Subfase de desarrollo temprano: Solamente Sg1, Sg2 y Sc1.</i>
Espermiación capaz	Testículos grandes y firmes. Sz en la luz de los lóbulos y/o conductos espermáticos. Todos los tipos celulares de la espermatogénesis (Sg2, Sc, St, Sz) pueden estar presentes. Cistos a lo largo del testículo, espermatogénesis activa. El EG puede ser continuo o discontinuo. <i>Subfase de espermiación activa (microscópica)</i> Subfase histológica basada en la estructura de EG. <i>EG temprano:</i> EG continúa en todos los lóbulos a lo largo del testículo. <i>EG medio:</i> EG continuo en cistos en la periferia de los testículos, EG discontinuo en lóbulos cercanos a ductos. <i>EG tardío:</i> EG discontinuo en todos los lóbulos a lo largo de los testículos.
Regresión	Testículos pequeños y flácidos, no se libera semen con presión. Hay presencia de residuos de Sz en el lumen de los lóbulos y conductos espermáticos. Los cistos están ampliamente dispersos en la periferia, contienen Sc2, St y Sz. Poca o ninguna espermatogénesis activa. Proliferación de espermatogonias y regeneración de EG en la periferia de los testículos.
Regeneración	Testículos pequeños y delgados. No hay presencia de espermatoconos. No hay lumen en los lóbulos. Proliferación de las espermatogonias a lo largo de los testículos. EG continúa a lo largo. Puede haber residuos de Sz en lóbulos y conductos espermáticos.



4.3.5.2 Microscópica

Se procesaron las gónadas con la técnica histológica de rutina y con base a las características descritas por Brown-Peterson *et al.* (2011), se hizo una revisión de cada laminilla para determinar los estadios de desarrollo de los ovocitos y los tipos celulares de la espermatogénesis (Tabla 3 y 4).

Mediante un microscopio óptico y el uso del programa Motic Images Plus 2.0 (Motic, 2004) se midieron los diámetros de las células espermáticas y ovocitos, en sus diferentes estadios de desarrollo.

Tabla 3. Características de los ovocitos en cada estadio de desarrollo (CP= crecimiento primario; AC= alvéolos corticales; Vgt1= ovocito vitelogénico primario; Vgt2= ovocito vitelogénico secundario; Vgt3= ovocito vitelogénico terciario).

Estadio	Descripción
Crecimiento primario (CP)	Ovocitos previtelogénicos pequeños, citoplasma homogéneo, basófilo, con un gran nucléolo central y un radio nucleoplasmático.
Alvéolos corticales (AC)	Inicio de la vitelogénesis, debido a sus gotas lipídicas, alvéolos corticales y pequeños gránulos de vitelo. Los nucléolos se distribuyen en la periferia del núcleo.
Ovocito vitelogénico primario (Vgt1)	Los ovocitos desarrollan la zona radiata y las capas de células foliculares, se encuentran en plena vitelogénesis exógena. Es evidente la acumulación de vitelo y lípidos en el citoplasma, se da la distribución de alvéolos corticales en la periferia.
Ovocito vitelogénico secundario (Vgt2)	Los glóbulos de vitelo empiezan a fusionarse para formar plaquetas de vitelo. En el espacio perivitelino se observan abundantes glóbulos de vitelo que aún no se integran a las plaquetas de vitelo. El núcleo continúa en el centro. El estado Vgt2 comprende ovocitos en vitelogénesis con gránulos, glóbulos y plaquetas de vitelo que cubra un 50% del ovocito.
Ovocito vitelogénico terciario (Vgt3)	Los ovocitos están repletos de vitelo fusionado en una placa homogénea, el núcleo migra a la periferia citoplasmática. En el espacio perivitelino se observan pocos o ningún glóbulo de vitelo. Algunos ovocitos se pueden encontrar en hidratación u ovulados.



Tabla 4.- Características de los espermatoцитos en cada estadio de desarrollo (Sg= espermatogonia; Sc1= espermatoцитo primario; Sc2= espermatoцитo secundario; St= Espermátida; Sz=espermatozoides).

Estadio	Descripción
Espermatogonia (Sg)	Células grandes basófilas, que se diferencian de las células germinales primordiales, ya que presentan un núcleo grande y proliferan mediante divisiones mitóticas.
Espermatoцитo primario (Sc1)	Durante el inicio de la primera división meiótica, los espermatoцитos primarios se diferencian de las espermatogonias, por poseer un núcleo grande y altamente basófilo.
Espermatoцитo Secundario (Sc2)	Células redondas de menor tamaño que los espermatoцитos primarios. Estas células resultan de la primera división meiótica, se distinguen por presentar un núcleo más pequeño que los espermatoцитos primarios.
Espermátidas (St)	Células resultantes de la segunda división meiótica. Son células pequeñas con mayor afinidad a la hematoxilina. Tienen núcleo pequeño, el cual contiene la mitad del material genético del organismo.
Espermatozoides (Sz)	Son células que se caracterizan por ser redondas y pequeñas, afines a la hematoxilina que adquieren un tono azul oscuro o negro. Presentan flagelo largo y basófilo.



5. Resultados

5.1 Proporción sexual

Se recolectaron un total de 374 organismos en diferentes etapas de crecimiento, de estos se determinó el sexo de 273. El resto de los individuos no pudo incluirse en la categoría (macho, hembra) debido al escaso desarrollo gonadal y se consideraron como indeterminados. De los organismos sexados 112 fueron machos (41%) y 161 hembras (59%). En total, la proporción de sexos fue de 1M:1.4H y se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) de la proporción teórica de 1:1 (Fig. 4).

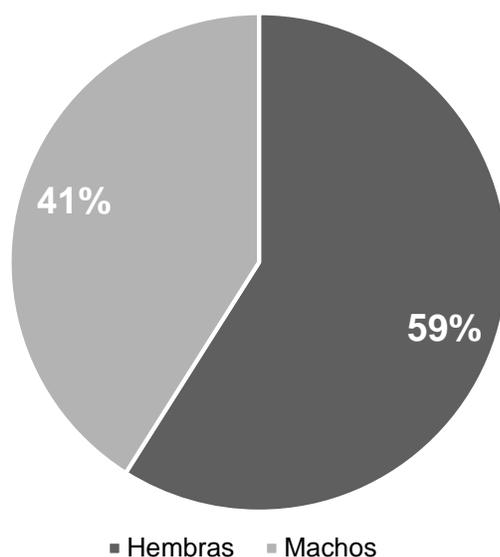


Figura 4.- Proporción sexual de hembras y machos de la doncella rayada, *H. bivittatus*, que habita en Isla de Enmedio.

De los siete meses en los que se obtuvieron datos, sólo dos, diciembre y febrero mostraron una proporción sexual, con diferencias significativas; en los meses restantes no existen diferencias a la proporción teórica (1:1), el mes de marzo fue el único donde existe mayor cantidad de machos, sin embargo, no existen diferencias significativas (Tabla 5).



Tabla 5.- Número de organismos colectados de *H. bivittatus*, hembras, machos e inmaduros por mes de estudio.

Mes	Hembras	Machos	Indeterminados	Proporción	X ²	P
Marzo	19	22	0	1M: 0.86H	0.219	>0.05
Abril (I)	16	14	0	1M: 1.14H	0.133	>0.05
Julio	6	3	10	1M: 2H	1	>0.05
Noviembre	7	6	7	1M:1.16H	0.076	>0.05
Diciembre	59	39	84	1M:1.51H	4.081	<0.05
Febrero	23	9	0	1M: 2.55H	6.12	<0.05
Abril (II)	31	19	0	1M: 1.63H	2.88	>0.05

Durante el periodo de estudio se observaron cambios mensuales en la proporción de sexos de *H. bivittatus*, mostrándose un mayor número de organismos recolectados para el mes de diciembre (182), de los cuales sólo 98 fueron sexados, los demás se consideraron indeterminados (84). En los meses de julio y noviembre se recolectó un número bajo de organismos, siendo casi la mitad de estos indeterminados, en los meses restantes sólo se presentaron machos y hembras (Fig. 5).

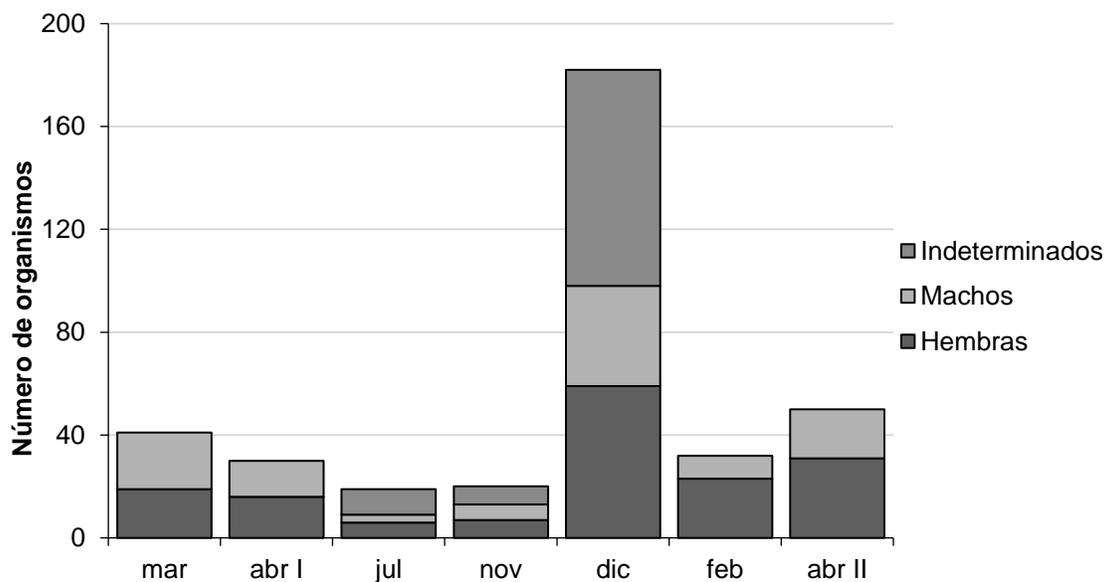


Figura 5.- Distribución sexual por mes de la doncella rayada, *H. bivittatus*, proveniente de Isla de Enmedio, PNSAV.



5.2 Estructura por tallas

La distribución de frecuencia de tallas estuvo sesgada hacia el intervalo de 60-69 mm, con un total de 82 hembras, 23 machos y 29 indeterminados. Por otro lado, en el intervalo de 20-39 mm se tienen sólo dos organismos, seguido de un incremento en el número de individuos en los intervalos que van de 40-59 mm, llegando al pico más alto en 60-69 mm, mismo que empieza a disminuir notablemente a medida que aumenta la longitud.

La estructura de tallas general se presenta en el intervalo de 26 a 137 mm. Se observa que existe mayor proporción de hembras en las tallas comprendidas entre los 40 y 69 mm, siendo la talla mínima de 26 mm y máxima de 96 mm, en machos estas aumentaron encontrándose una talla mínima de 44 mm y máxima de 137 (Fig. 6).

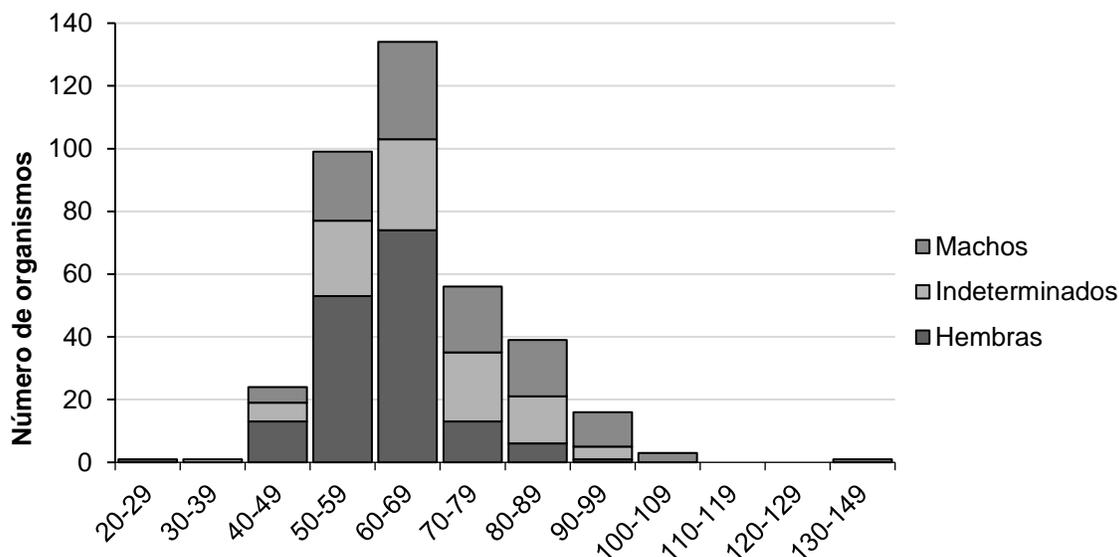


Figura 6.- Distribución de la frecuencia de tallas de la doncella rayada *H. bivittatus* en Isla de Enmedio, PNSAV.

5.3 Relación talla-peso

Se analizó la relación existente entre peso y talla, la cual permite medir variaciones en un pez, indicando las condiciones alimentarias y el desarrollo gonadal. El modelo potencial del total de los organismos recolectados fue de $y=0.0107x^{3.0319}$ ($r^2=0.925$) (Fig. 7a), mientras que la relación longitud-peso en las



hembras presentó un valor de $y=0.0121x^{2.9704}$ ($r^2=0.876$) (Fig. 7b) y en machos de $y=0.0091x^{3.1203}$ ($r^2=0.959$) (Fig. 7c), en los cuales no se encontraron diferencias significativas entre ambos ($P<0.05$). Estas ecuaciones muestran que la especie presenta un tipo de crecimiento isométrico, ya que los valores de b (3.03, 2.97 y 3.10) son muy cercanos a 3; por lo tanto, el crecimiento en talla y peso es proporcional a lo largo de su ciclo de vida.

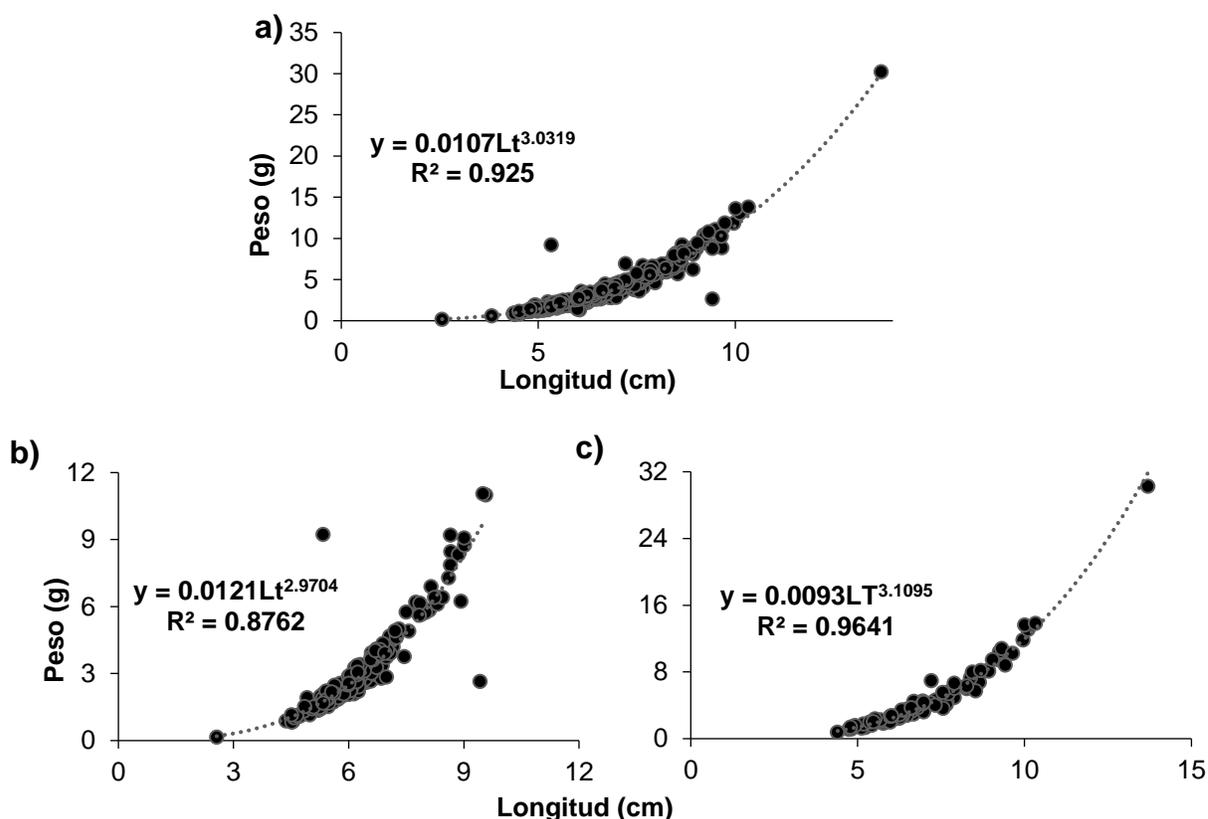


Figura 7.- Relación talla-peso de *H. bivittatus* obtenida durante el periodo de muestreo: a) total, b) hembras y c) machos.

5.4 Talla de primera madurez

Como no todos los organismos maduran al mismo tiempo, la talla de primera madurez, en una población, se refiere a la longitud en la que el 50% de los organismos alcanzan la madurez sexual, de tal manera que en cada intervalo de talla existen tanto organismos maduros como inmaduros en diferentes proporciones. Esta se estimó en 56.3 mm para hembras y en 62.1 mm para machos (Fig. 8).

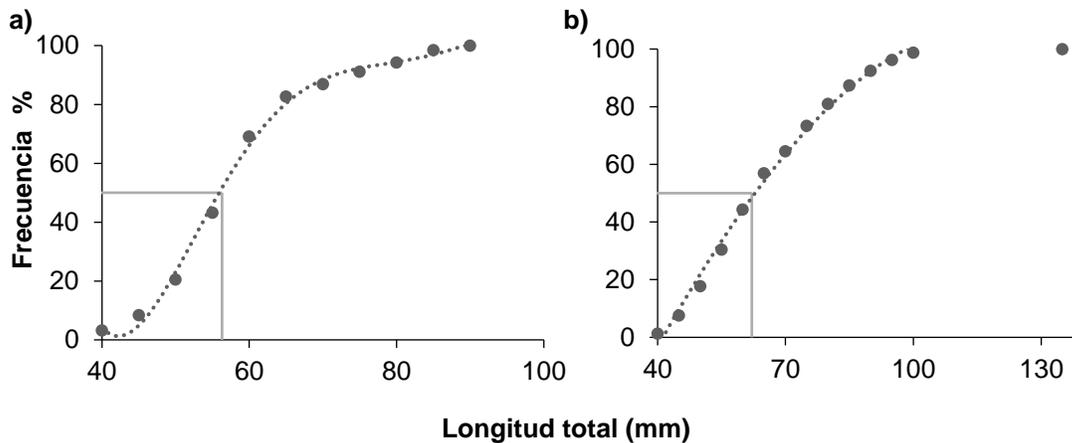


Figura 8.- Talla de primera madurez a) hembras, b) machos de *H. bivittatus* capturados en Isla de Enmedio.

5.5 Factor de condición

El factor de condición indica la condición del pez, actuando sobre él factores como la temperatura, cantidad y calidad de alimento, así como su estado reproductivo. Los valores mensuales de K obtenidos fueron mayores para hembras en marzo (0.0183) y diciembre (0.0228), para machos fue en noviembre (0.0179) y abril II (0.0149) (Fig. 9).

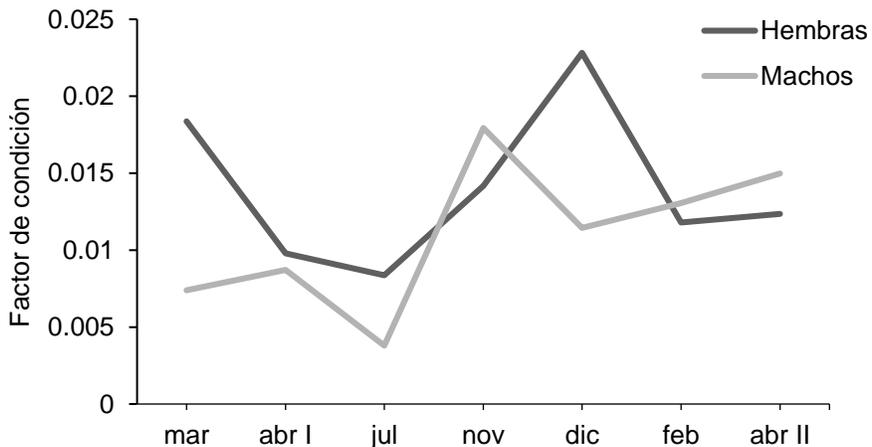


Figura 9.- Variación mensual del factor de condición total de *H. bivittatus* de Isla de Enmedio, PNSAV.



5.6 Índice gonadosomático

La media mensual del índice gonadosomático, muestra dos valores altos en los meses de abril y febrero relacionados con el crecimiento gonádico, en estos se observaron macroscópicamente gónadas maduras. Por otra parte, hay un importante decremento de noviembre a diciembre, esto debido a que se ya se había llevado a cabo el desove (Fig. 10).

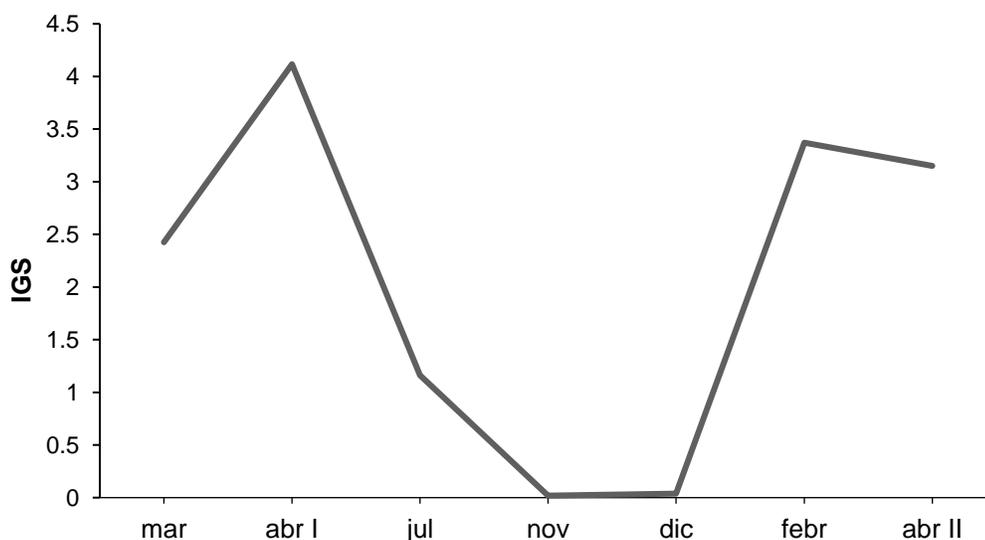


Figura 10.- índice gonadosomático de manera general de *H. bivittatus* de Isla de Enmedio.

5.7 Índice hepatosomático

La media mensual del índice hepatosomático muestra un incremento hacia los meses de abril I y II (1.825, 1.835 respectivamente), mientras que el decremento se encuentra en el mes anterior y es debido al aporte energético del hígado hacia las gónadas, que se va dando desde la época pre-reproductiva (Fig. 11).

En cuanto a la relación del ciclo reproductor con las reservas energéticas utilizadas por los organismos, en el índice hepatosomático no se observó una diferencia marcada a lo largo de los meses de muestreo, en ninguno de los dos sexos. Sin embargo, en general los valores obtenidos para las hembras son mayores que para los machos (Fig. 11).

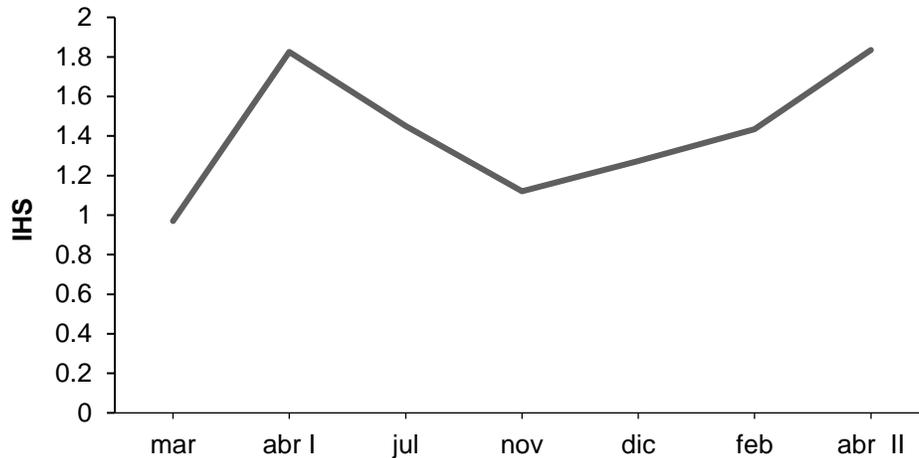


Figura 11.- Índice hepatosomático total de *H. bivittatus*, capturado en Isla de Enmedio, PNSAV.

En las hembras se observó un incremento importante del IGS en los meses de abril I y febrero, mientras que en julio este valor empieza a decrecer considerablemente, llegando a su valor mínimo en los meses de noviembre y diciembre. Dado por el poco desarrollo gonadal que se encontró en dichos meses, por otro lado, el IHS tiende a mantenerse estable después de presentar un valor máximo en abril I (Fig. 12a).

Por otra parte, el comportamiento del IGS, en los machos, muestra sus mayores valores en los meses de abril I y febrero, los cuales decrecen de julio a diciembre en concordancia con las hembras; en cuanto al IHS tiene una variación mínima a lo largo de los meses de muestreo, siendo proporcional al IGS (Fig. 12b).

En ambos casos se presentaron los valores más altos del IGS, en los meses de abril I y febrero, con 4.8 y 3.4 respectivamente para hembras; 3.3 y 3.05 para machos y el mínimo valor en noviembre con 0.02 (hembras) y 0.01 (machos). De manera general se presenta un comportamiento similar en los valores mensuales del IGS y IHS (Fig. 12). En los meses de abril I y febrero se presentaron los valores más altos del IGS, tanto para los machos (3.3 y 3.05 respectivamente) como para hembras (4.8 y 3.4).

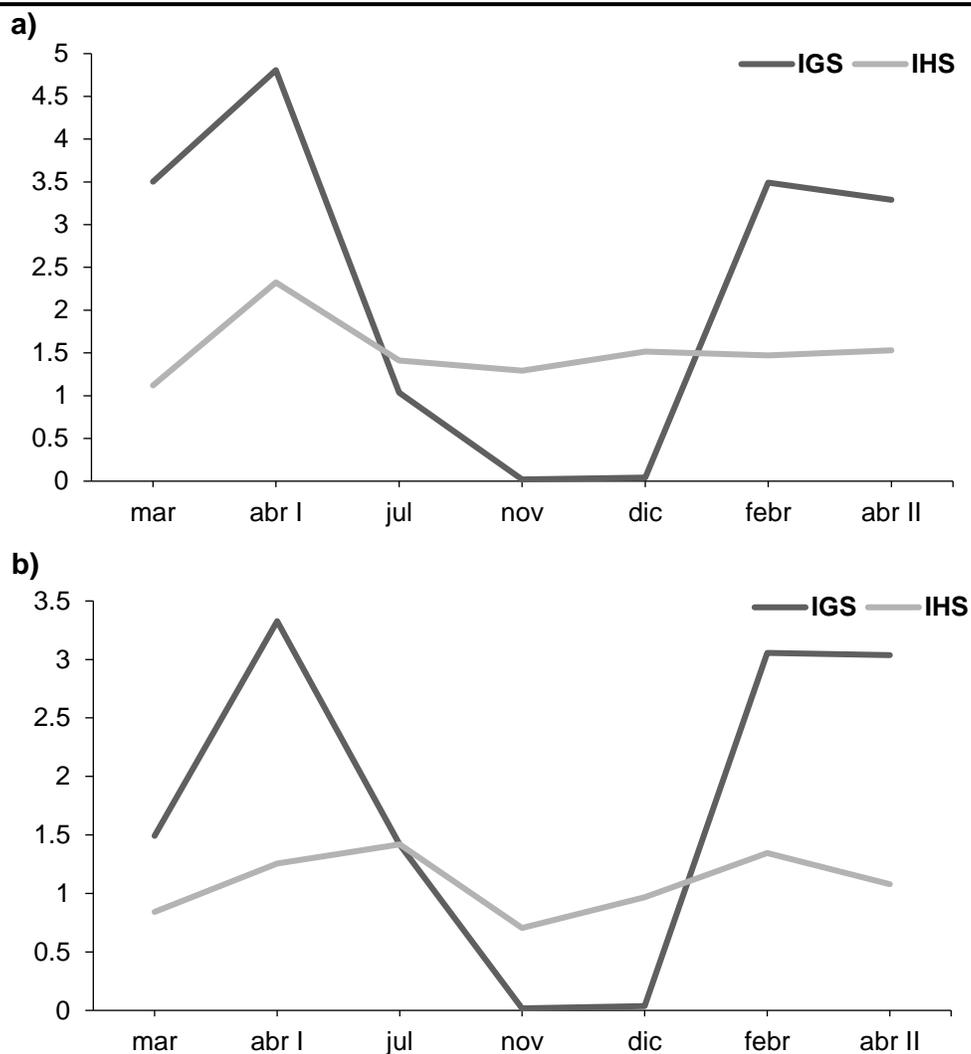


Figura 12.- Variación mensual del índice hepatosomático y gonadosomático de *H. bivittatus*, capturado en Isla de Enmedio, PNSAV; a) hembras, b) machos.

5.8 Descripción macroscópica de las gónadas

Los ovarios de *H. bivittatus* están posicionados de tal manera que la parte distal y más ancha de la gónada colinda con el gonoducto, mientras que la parte más angosta está cerca de la boca del estómago y el hígado. Están formados por dos lóbulos irregulares, unidos por medio de una membrana, estos adquieren diversas formas, tamaños y coloraciones conforme se desarrollan.

Los testículos también cambian de apariencia conforme avanzan en su desarrollo. Están formados por dos lóbulos en forma de sacos alargados



asimétricos, más largos y delgados que los lóbulos de los ovarios. Se fusionan entre sí por medio de una membrana translúcida en la parte anterior del pez.

5.8.1 Escala de madurez

Para establecer la fase de madurez sexual, se observaron macroscópicamente las gónadas de *H. bivittatus*, basado en criterios cualitativos (forma, tamaño y color). Durante el muestreo se encontraron tres fases en hembras (inmaduro, desarrollo y regeneración) y tres en machos (desarrollo, espermiación capaz y regeneración). El mayor porcentaje de ejemplares indeterminados corresponde al mes de julio, donde el tamaño de las gónadas no permitió su identificación. Entre marzo y abril se encontró la mayor proporción de hembras y machos en estado maduro, dicha fase se caracteriza por tener una gónada grande que ocupa 2/3 de la cavidad abdominal. En cuanto a las hembras, la gónada va cambiando de un color beige hasta llegar a ser amarillentas, correspondientes al estadio de madurez; en contra parte, en los testículos no hay un cambio de coloración notable, esta se mantiene de color blanco.

Con base en las características observables se construyó una escala morfocromática de la madurez gonadal, modificada de Brown-Peterson *et al.* (2011) (Tabla 5 y 6).

Tabla 5. Estadios de madurez en hembras de *Halichoeres bivittatus*.

Fase de madurez	Descripción	Gónada
Inmaduro	Gónadas pequeñas (ocupan menos de la tercera parte de la cavidad).	
Desarrollo	Gónadas de mayor tamaño ocupan la mitad de la cavidad abdominal y amarillentas, ovocitos visibles.	
Regeneración	Gónadas amarillentas y ocupando las dos terceras partes de la cavidad abdominal, ovocitos vitelogénicos.	



Tabla 6. Estadios de madurez presentes en los machos de *H. bivittatus*.

Fase de madurez	Descripción	Imagen
Inmaduro	Testículos de tamaño pequeño y muy delgados	
Desarrollo	Los testículos cambian de un color lechoso a uno blanco	
Espermiación capaz	Los testículos alcanzan su máximo tamaño y pesos.	

5.9 Descripción microscópica de las gónadas

5.9.1 Ovario

Los ovarios están cubiertos por una túnica albugínea y en su interior se encuentran las lamelas ovígeras perpendiculares al lumen ovárico, en las cuales están embebidos los ovocitos. En los cortes de ovario de *H. bivittatus*, se observó la presencia de dos a tres estadios de desarrollo ovocitario, por lo que, esta especie presenta un desarrollo de tipo sincrónico por grupos.

Durante las diferentes fases de madurez de los ovarios, se presentan ovocitos en distintos estadios de desarrollo. De igual manera, otras estructuras asociadas a ellos, como los vasos sanguíneos, y la presencia de folículos atrésicos, tal y como lo menciona Grier y Uribe, (2009). Así mismo el análisis histológico del ovario también permitió identificar en qué fase del ciclo reproductor se encontraba el organismo.

En el ovario ocurren dos procesos, conocidos como previtelogénesis y vitelogénesis, la primera es el periodo de formación del ovocito a partir de las ovogonias, se caracteriza por presentar ovocitos en crecimiento primario, con sus respectivas fases: cromatina nucleolar, perinucleolar temprano y perinucleolar tardío (Fig. 13A).



En la vitelogénesis, se diferencian cuatro estadios (alvéolos corticales, vitelogénicos primarios, vitelogénicos secundarios y vitelogénicos terciarios), el inicio de esta fase se distingue por la aparición de alvéolos corticales y la formación de la zona radiata. Se da la acumulación de las sustancias nutritivas indispensables para el desarrollo de los embriones y las larvas. En ellos se observan numerosos glóbulos de vitelo, los cuales aparecen como pequeñas gotas distribuidas en el citoplasma. En este punto los ovocitos han incrementado considerablemente su tamaño, debido a la acumulación de los glóbulos de vitelo. (Fig. 13B).

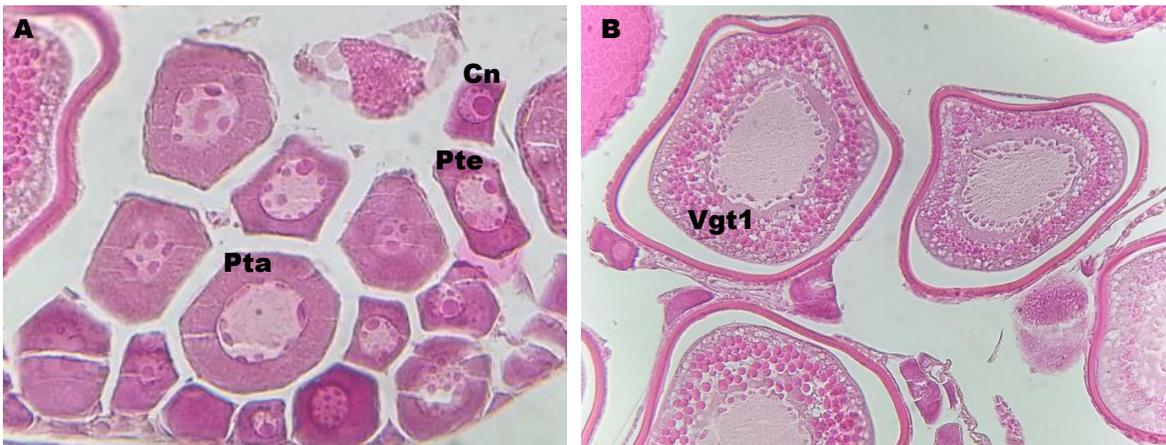


Figura 13.- Corte transversal de ovario, A) ovocitos en crecimiento primario (CP), se distinguen ovocitos en cromatina nucleolar (Cn) perinucleolar temprano (Pte) y perinucleolar tardío (Pta), B) ovocitos vitelogénicos primarios (Vgt1); núcleo (n); nucléolo (nl); glóbulos de vitelo (g); alvéolos corticales (ac); zona radiata (r); células foliculares (f).

5.9.1.1 Descripción de los estadios de desarrollo de los ovocitos

Los diferentes estadios de desarrollo de los ovocitos se dan conforme avanza el estado reproductivo de *H. bivittatus* y estos se diferencian por la cantidad de nucléolos, presencia/ausencia de alvéolos corticales, zona radiata, células foliculares y glóbulos de vitelo, migración del núcleo, además del tamaño, el cual va aumentando conforme se va desarrollando.

Ovogonias (5-12 μm): Constituyen el inicio del desarrollo de los ovocitos, se distribuyen a lo largo del cordón germinal. Su forma es esférica; de un núcleo redondo acidófilo y nucléolos basófilos (Fig. 14).



Crecimiento primario (18-56 μm): ovocitos basófilos, pequeños y con poco citoplasma envueltos en una capa delgada de células prefoliculares. Núcleo esférico y grande ubicado en el centro con un nucléolo de gran tamaño y varios más pequeños ubicados en la periferia del núcleo, en comparación con otros estadios de desarrollo (Fig. 14).

Alvéolos corticales (71-187 μm): son ligeramente basófilos se observan en los ovocitos, numerosas vesículas llamadas alvéolos corticales, en forma de esferas y forman varias filas en la periferia del citoplasma. Puede también distinguirse el inicio de la formación de la zona radiata, la cual es delgada, estriada y acidófila, el tamaño del ovocito es significativamente más grande. Los nucléolos se distribuyen en la periferia del núcleo (Fig. 14).

Ovocito vitelogénico primario (229-444 μm): son acidófilos en este estadio hay presencia de vesículas lipídicas alrededor del núcleo las cuales están huecas y son de forma esférica, también hay pequeños glóbulos llenos de vitelo (al principio de tamaño pequeño) intercalados con las vesículas lipídicas. La pared folicular se ha estratificado y puede distinguirse claramente la zona radiata y las células foliculares, se da la distribución de alvéolos corticales en la periferia (Fig. 14).

Ovocito vitelogénico secundario (360-402 μm): en este estadio el ovocito es acidófilo, ha alcanzado su máximo tamaño, los glóbulos de vitelo también son más grandes y se encuentran dispersos en todo el citoplasma, manteniendo su integridad hasta el siguiente estadio. Las vesículas lipídicas han empezado a fusionarse formando esferas más grandes, las cuales comienzan a empujar al núcleo hacia la periferia del ovocito (polo animal) (Fig. 14).

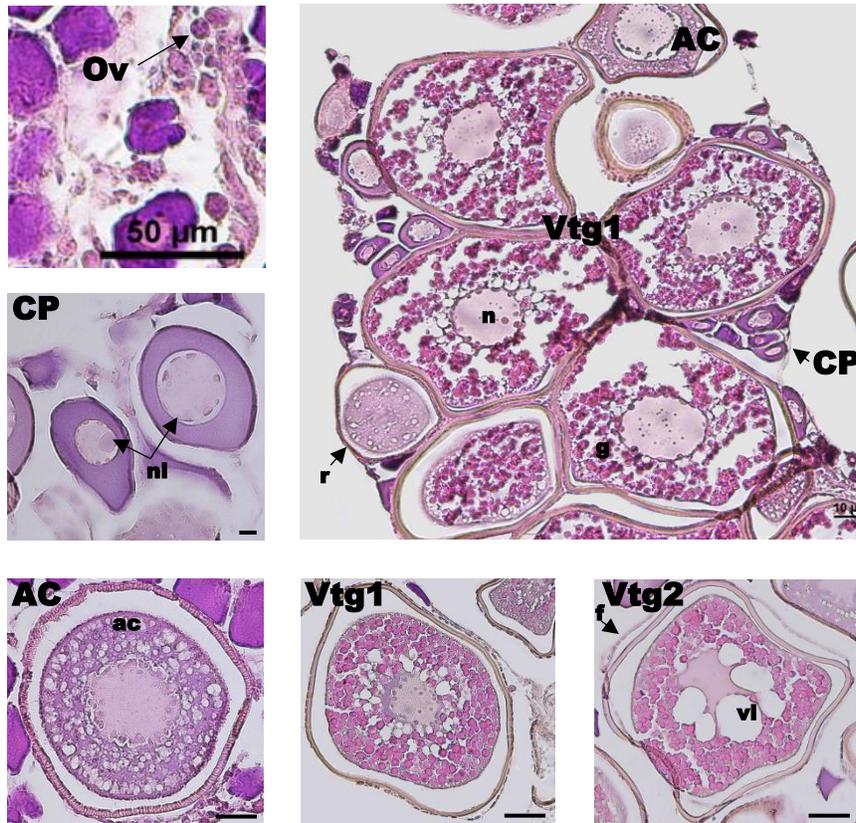


Figura 14.- Secciones histológicas de ovocitos de *H. bivittatus* en diferentes estadios de desarrollo: ovogonia (Ov), barra 50 μ m; ovocitos crecimiento primario (CP), barra 10 μ m; alvéolos corticales (AC), barra 50 μ m; ovocito vitelogénico primario (Vtg1), barra 50 μ m; ovocito vitelogénico secundario (Vtg2), barra 50 μ m; núcleo (n); nucléolo (nl); glóbulos de vitelo (g); vesículas lipídicas (vl); alvéolos corticales (ac); zona radiata (r); células foliculares (f).



Se observó la organización histológica en corte longitudinal de ovario de *H. bivittatus* (Fig.15).

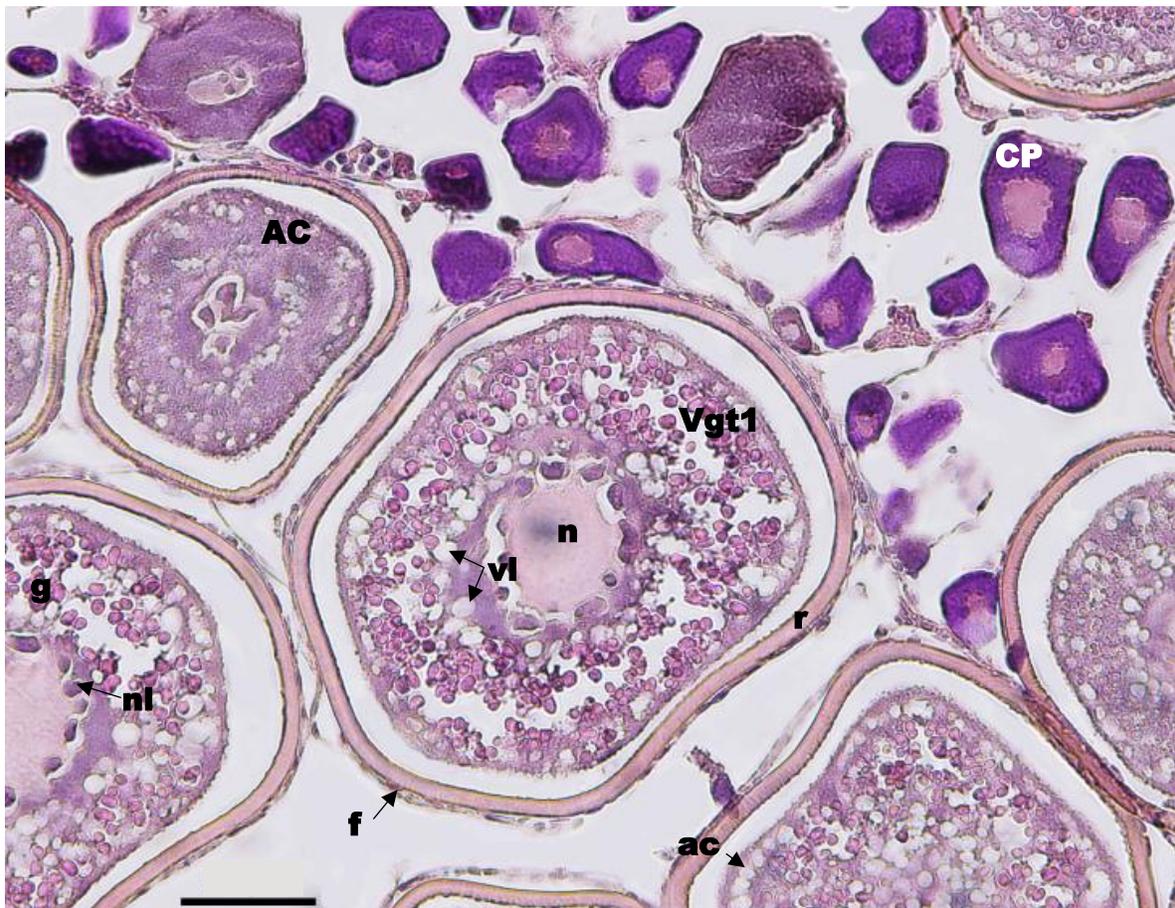


Figura 15.- Sección longitudinal de ovario de *H. bivittatus* donde se muestra un desarrollo ovárico de tipo sincrónico por grupos, por la presencia de ovocitos en tres estadios de desarrollo: crecimiento primario (CP); alvéolos corticales (AC) y ovocitos vitelogénicos primarios (Vgt1); núcleo (n); nucléolo (nl); glóbulos de vitelo (g); vesículas lipídicas (vl); alvéolos corticales (ac); zona radiata (r); células foliculares (f); barra 50µm.

5.9.1.2 Fases de madurez

Mediante las características macroscópicas observadas en las gónadas, de *H. bivittatus* se seleccionaron las que presentaban diferencias, para establecer su fase de maduración a nivel microscópico.

De los cortes histológicos obtenidos, se encontraron tres fases de maduración (Inmaduro, desarrollo y regeneración) de las cinco, descritas por Brown-Peterson *et al.* (2011). Las fases encontradas se describen a continuación.



Ovario inmaduro: sólo se presentan ovocitos en crecimiento primario, los cuales son precedidos por las ovogonias, en este estadio son pequeños, en comparación a los ovocitos presentes en la vitelogénesis, por el simple hecho de que aún no necesitan del vitelo para nutrirse, ya que la misma célula produce lo necesario para su desarrollo, se aprecia una capa delgada, rodeando a todo el ovario, llamada túnica albugínea, la cual sirve como protección; las lamelas ovíferas son evidentes, dentro de ellas se encuentran empaquetados los ovocitos (Fig. 16).

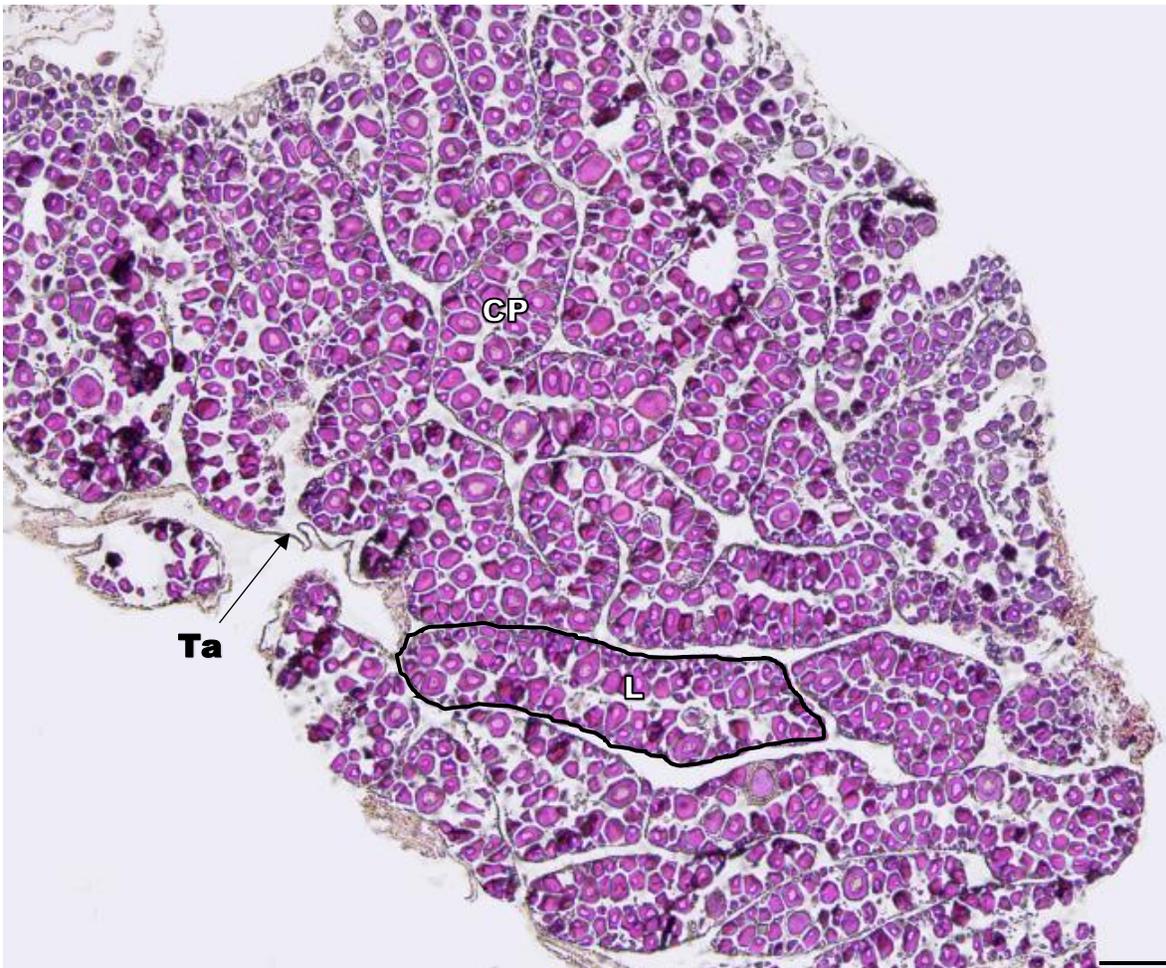


Figura 16.- Corte longitudinal de ovario de *H. bivittatus* en el que sólo se observan ovocitos en crecimiento primario (CP); túnica albugínea (Ta); lamelas (L); barra 20 μ m.

Ovario en desarrollo: las gónadas en esta fase se distinguen por presentar ovocitos en crecimiento primario y en estadios iniciales de la vitelogénesis a lo largo de la gónada; sin embargo, aún no se encuentran ovocitos vitelogénicos terciarios que son los que ya están casi listos para el desove. En la figura 17 se presentan ovocitos en crecimiento primario y en alvéolos corticales siendo estos los que indican que la gónada ya entró en la fase de desarrollo, aunque como se observa, hay mayor cantidad de ovocitos en crecimiento primario en la gónada.

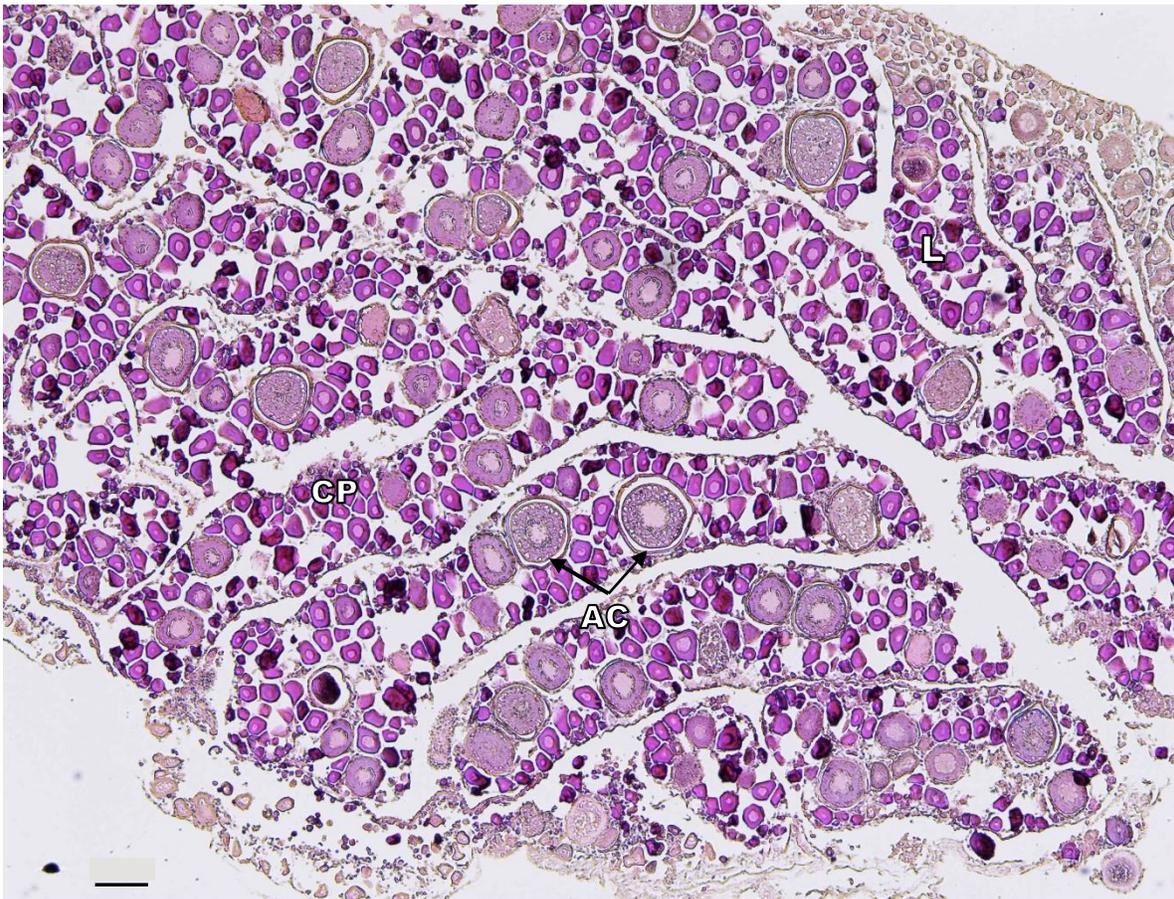


Figura 17.- Corte longitudinal de ovario al inicio de la fase de madurez de desarrollo, donde se aprecian gran cantidad de ovocitos en crecimiento primario (CP) y varios ovocitos en alvéolos corticales (AC), distribuidos a lo largo del ovario, lamelas (L), barra 10 μ m.

Ovario en regresión: Los ovarios en esta fase tienen en su interior menos actividad celular; a lo largo del ovario se encuentran ovocitos en atresia, los cuales se distinguen porque dentro del folículo se encuentra una masa no uniforme (granulosa) y de color café claro, puede haber folículos postovulatorios y algunos ovocitos en crecimiento primario y en vitelogénesis primaria (Fig. 18).

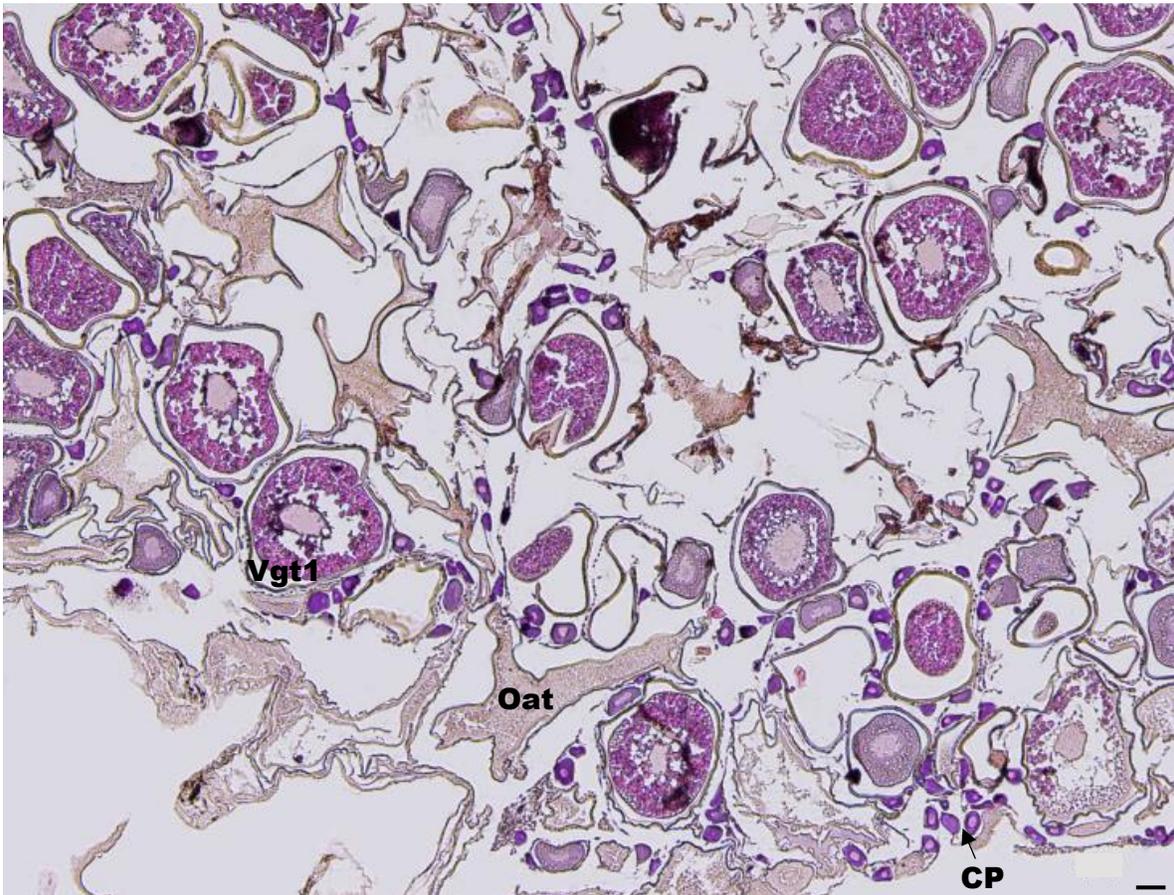


Figura 18.- Corte longitudinal de ovario en regresión, ovocitos en crecimiento primario (CP); ovocitos vitelogénicos primarios (Vgt1); ovocitos atrésicos (Oat); barra 50µm.



La atresia es un proceso mediante el cual los ovocitos son reabsorbidos por el ovario; sirviendo como nutrientes para el mismo, este proceso se presenta principalmente en ovocitos no viables o en ovocitos no ovulados, pero pueden ser afectados los que se encuentran en desarrollo. En la figura 19 se observa un ovocito que está iniciando el proceso de atresia, en el cual todavía se aprecian algunos glóbulos de vitelo, así como el núcleo que está empezando a degradarse, en el resto del ovocito sólo contiene una masa amorfa. También hay presencia de ovocitos en atresia avanzada a los cuales se les puede observar aún la zona radiata y las células foliculares.

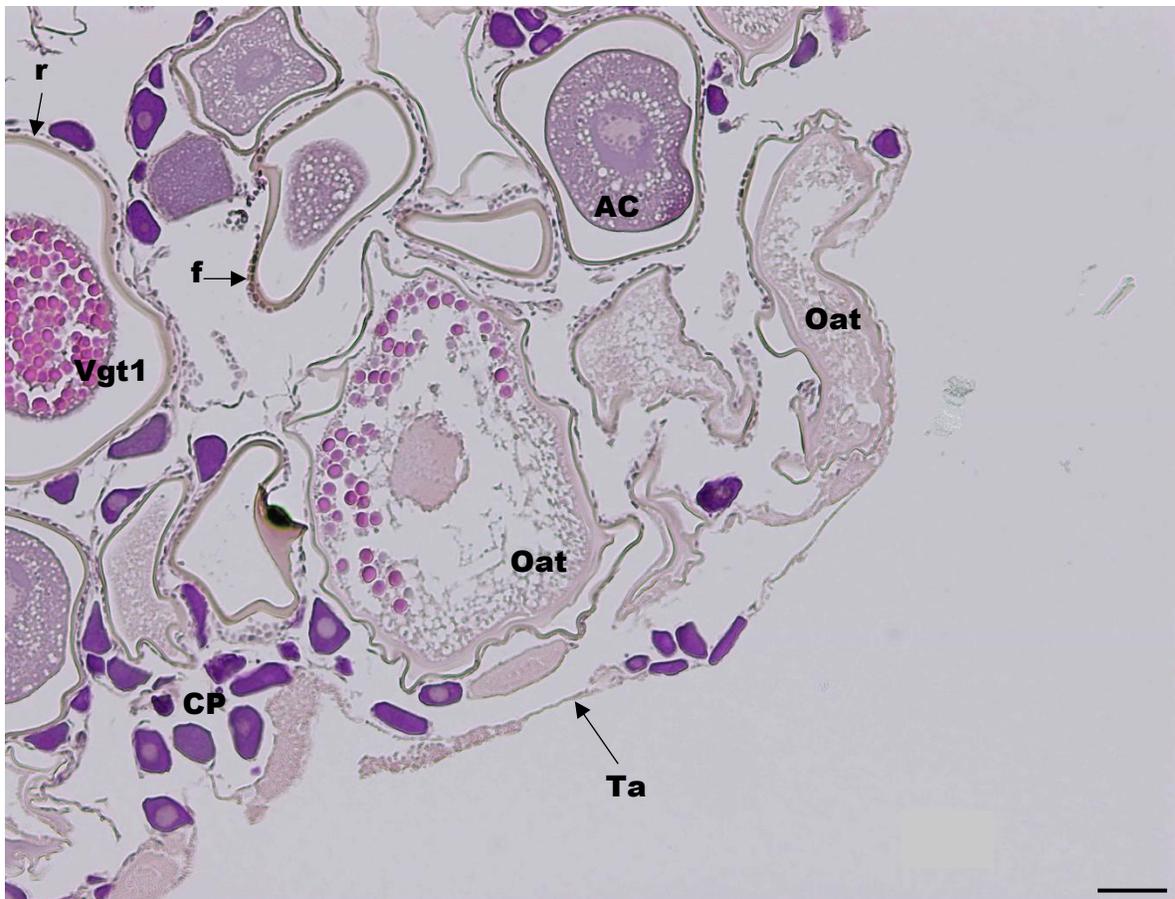


Figura 19.- Ovocitos atrésicos (Oat) en hembras de *H. bivittatus*, se observa el contraste entre los ovocitos en crecimiento primario (CP); alvéolos corticales (AC) y vitelogénesis primaria (Vtg1); túnica albugínea (Ta); zona radiata (r); Células foliculares (f), barra 50µm.



Gónada en transición: las gónadas en transición se caracterizan por la presencia de tejido espermatogénico y ovárico, así como la atresia de los gametos del género inicial, dependiendo del tipo de hermafroditismo que presenta la especie, ya sea protándrico o protógino. Al ser *H. bivittatus* una especie protogínica, la atresia se presenta en el tejido ovárico en donde los ovocitos se van reabsorbiendo para dar paso al tejido espermático. En la figura 20A se observa que la mayor parte de la gónada corresponde a tejido espermático, sólo hay una pequeña parte de tejido ovárico con ovocitos en crecimiento primario y atrésicos (Fig. 20B).

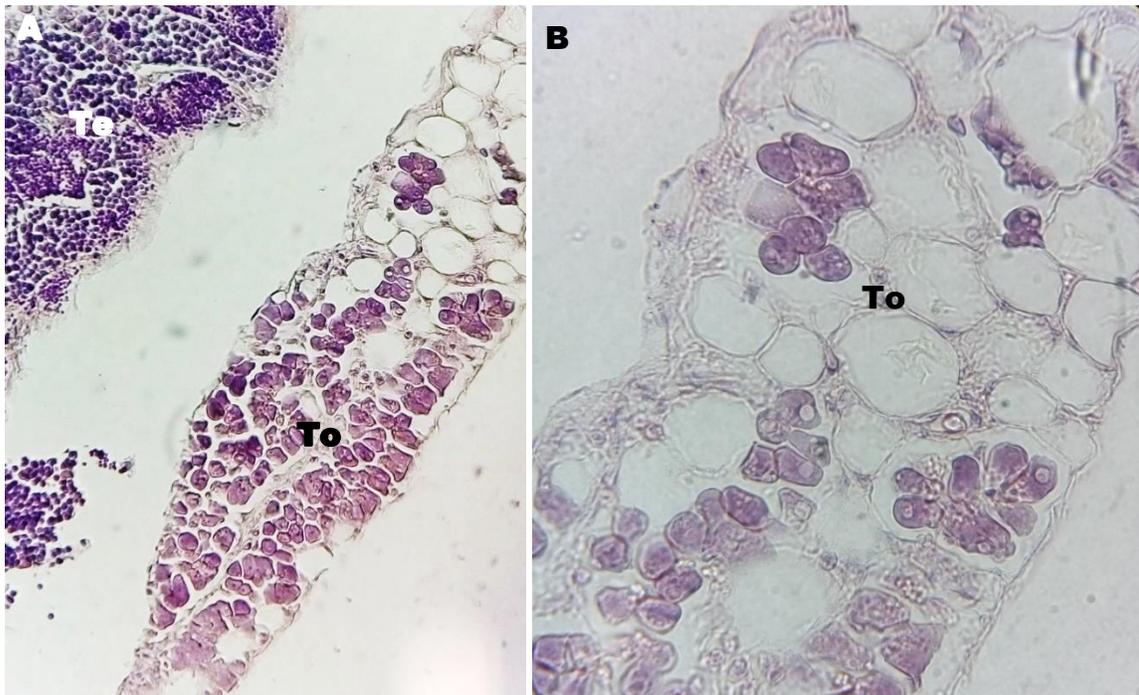


Figura 20.- Detalle del corte longitudinal de testículo de *H. bivittatus* en transición, A) se observa el tejido espermático (Te) y ovárico (To), B) acercamiento del tejido ovárico (To).



5.9.2 Testículo

Los testículos están constituidos por dos compartimientos, uno germinal y otro intersticial separados por una membrana basal. El compartimiento germinal está formado por células germinales y células de Sertoli; mientras que el compartimiento intersticial está compuesto por tejido conectivo que contiene células de Leydig, fibroblastos, fibras colágenas, mastocitos y macrófagos, células sanguíneas, vasos sanguíneos y fibras amielínicas. (Grier, 1993; Schulz *et al.*, 2010).

El arreglo del epitelio germinal que presenta el testículo de *H. bivittatus* es de tipo lobular, que se caracteriza por presentar proyecciones que se disponen radialmente a lo largo del testículo, terminando en la periferia de la gónada (Fig. 21A). Este arreglo se divide en dos tipos (restringido e irrestringido), basado en la distribución de los cistos a lo largo de los lóbulos; en *H. bivittatus* se encuentra el tipo irrestringido, dado porque los cistos que contienen cada uno de los estadios de desarrollo de la espermatogénesis, no tienen un acomodo específico dentro del lóbulo; encontrándose a cualquier altura de este. Los cistos de este tipo de arreglo testicular no migran durante su desarrollo y en el momento de la espermiación el contenido de este queda en contacto con la luz del lóbulo, liberándose los espermatozoides hacia los conductos espermáticos para llegar al conducto eferente (Fig. 21B).

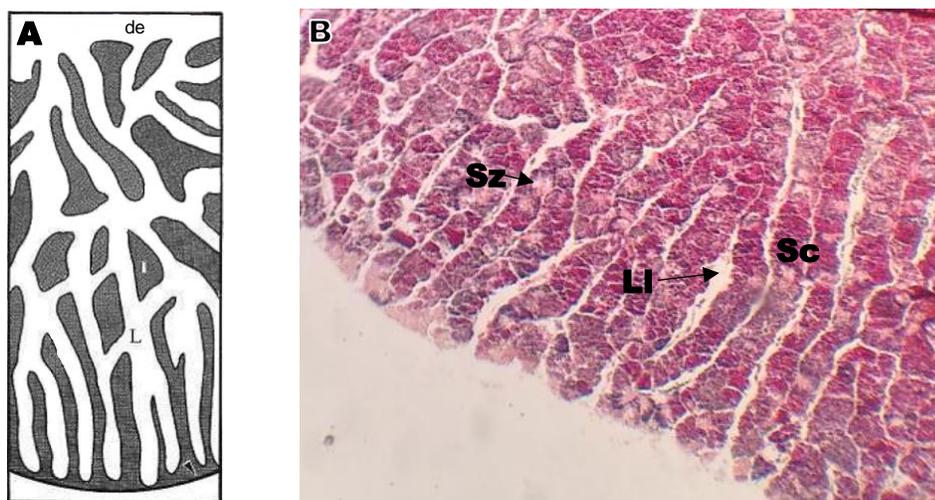


Figura 21.- A) Esquema del testículo lobular irrestringido, conducto eferente (de); lóbulos (L); tejido intersticial (I), modificado de Grier (1993), B) corte longitudinal de testículo presente en machos de *H. bivittatus*, espermatocitos (Sc); espermatozoides (Sz); luz del lóbulo (LI).



5.9.2.1 Descripción de los estadios de las células espermáticas

Espermatogonias (7.6-9.2 μm): son las células más grandes dentro de la espermatogénesis, el citoplasma es acidófilo y el núcleo basófilo, se localizan en grupos muy pequeños y son los más escasos en todo el desarrollo espermático (Fig. 22).

Espermatocitos primarios (4.0-4.7 μm): estos son más pequeños que las espermatogonias, redondas con un núcleo basófilo, suelen ser los más comunes de encontrar dentro de la gónada (Fig. 22).

Espermatocitos secundarios (2.4-3.8 μm): se diferencian de los primarios por el tamaño, el cual es un poco más pequeño; siguen siendo redondos y el núcleo es basófilo y tienen poco citoplasma (Fig. 22).

Espermátides (1.6-2.9 μm): su tamaño disminuye significativamente, pero conforme avanza el desarrollo de la gónada estos van aumentando significativamente en número respecto a las otras formas celulares, son basófilas debido a que su cromatina se encuentra muy condensada, debido a esto el núcleo es más pequeño (Fig. 22).

Espermatozoides (1.1-1.8 μm): células muy pequeñas y basófilas, conformados por una cabeza con forma redonda y un flagelo acidófilo, muy delgado y largo (Fig. 22).

Células de Sertoli: son las únicas células somáticas que se dan dentro del compartimiento germinal, son pequeñas aplanadas y alargadas con un citoplasma transparente y un núcleo acidófilo (Fig. 22).

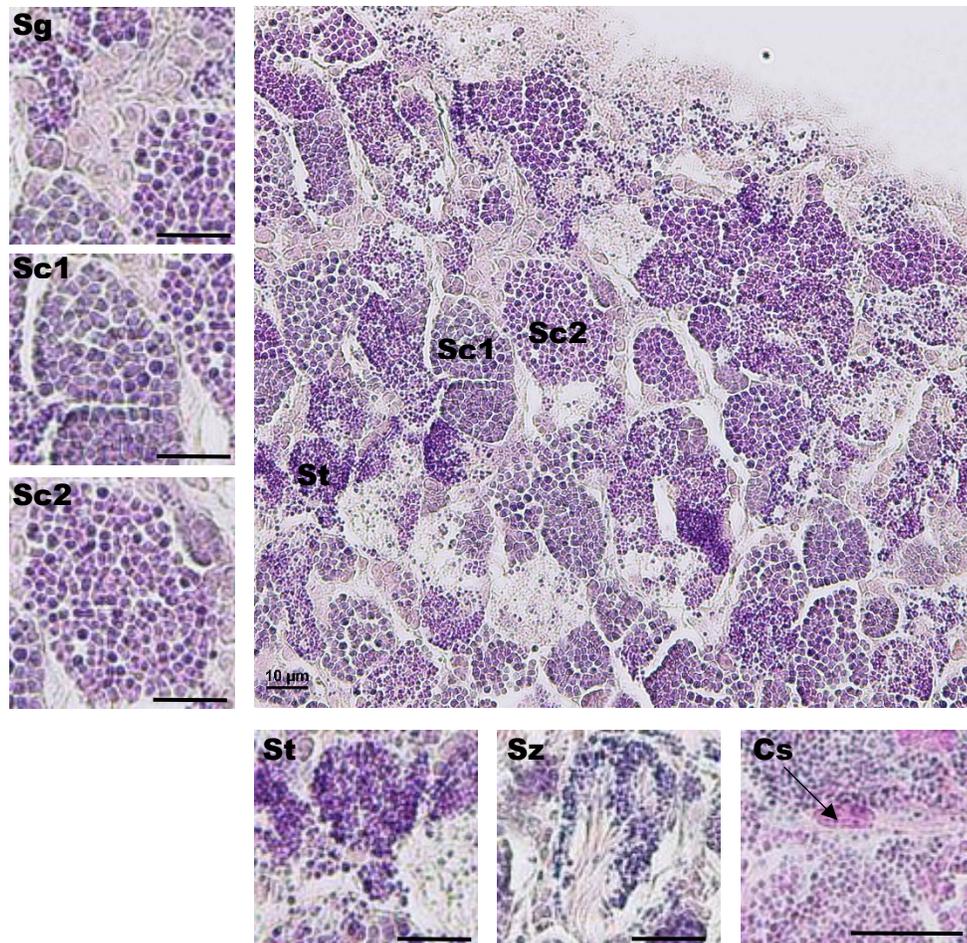


Figura 22.- Corte longitudinal de un testículo de *H. bivittatus* donde se aprecian cistos con los diferentes tipos celulares de la espermatogénesis. Barra 30µm, cisto con espermatogonias (Sg); espermatocitos primarios (Sc); espermatocitos secundarios (Sc2); espermátides (St); espermatozoides (Sz); células de Sertoli (Cs).



5.9.2.2 Fases de madurez

Mediante los cortes histológicos obtenidos de los testículos de *H. bivittatus*, se encontraron tres fases de maduración (desarrollo, espermiación capaz y regeneración) de las cinco, descritas por Brown-Peterson *et al.* (2011). Las fases encontradas se describen a continuación.

Testículo en desarrollo: los cistos donde se realiza el proceso de maduración de las células espermática, están rodeados por tejido conjuntivo, el cual es delgado (Fig. 23) y dentro de ellos se encuentran todos los estadios de desarrollo (espermatogonias, espermatoцитos 1° y 2°, espermátides y espermatozoides) (Fig. 24), a pesar de que hay presencia de poca cantidad de espermatozoides no hay presencia de la luz del lóbulo. Los espermatoцитos primarios se encuentran en mayor proporción.

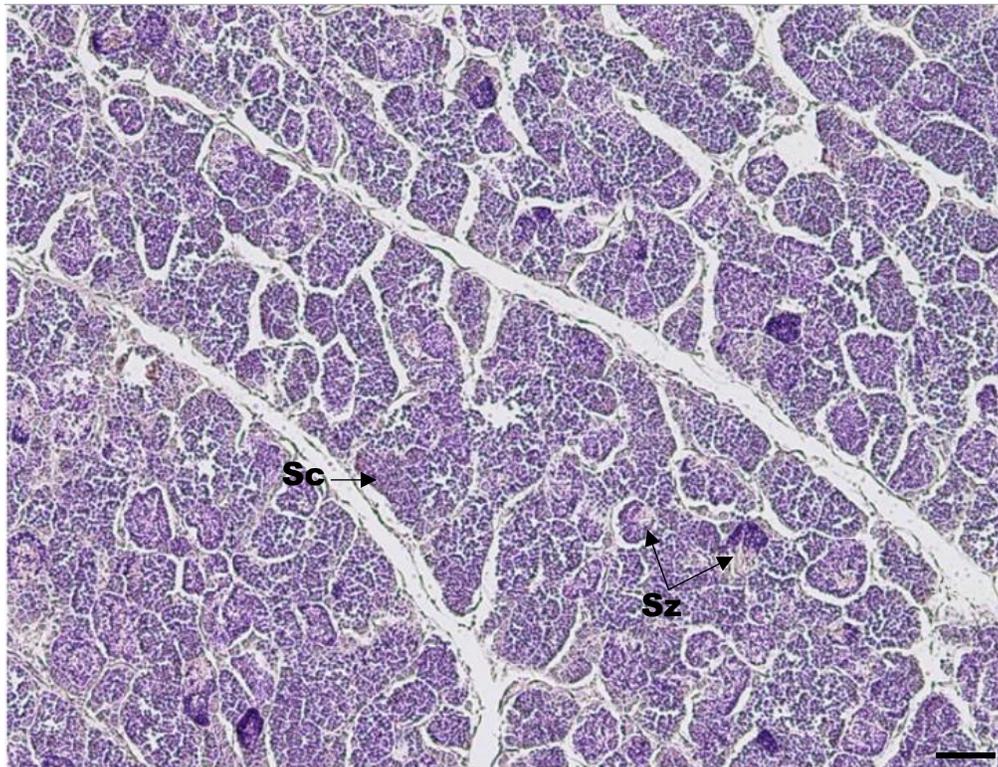


Figura 23.- Corte longitudinal de testículo de *H. bivittatus* en desarrollo, se aprecia la poca cantidad de espermatozoides (Sz); espermatoцитos (Sc); barra 50 μ m.

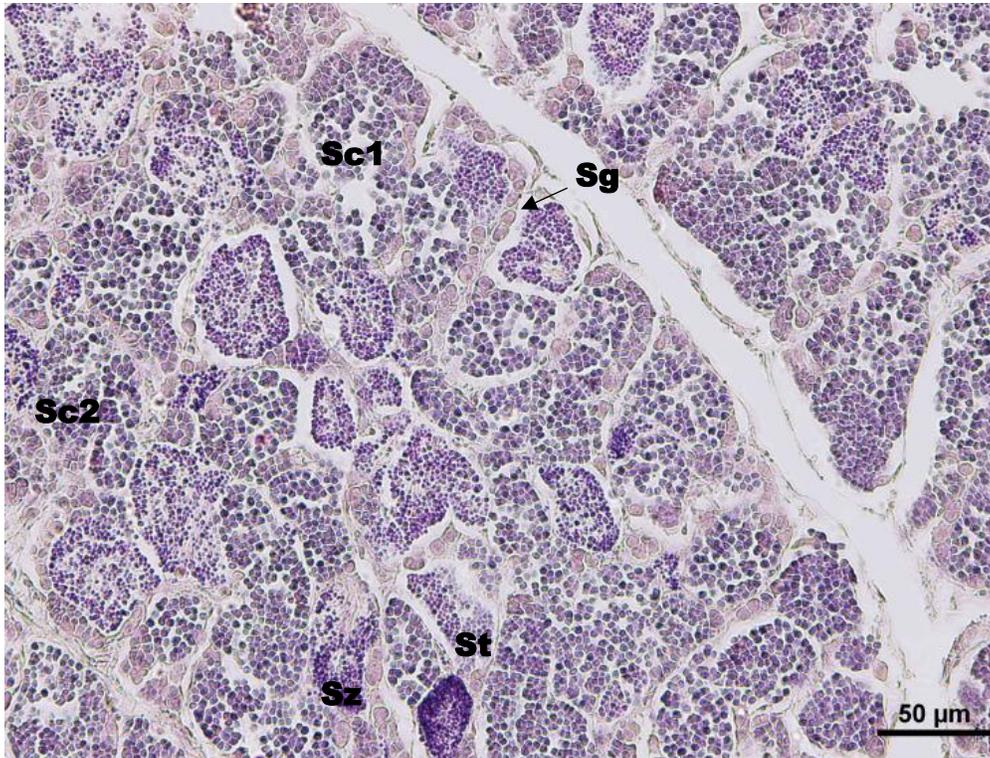


Figura 24.- Detalle de un corte longitudinal de testículo de *H. bivittatus* en la fase de madurez de desarrollo en el que se observan los diferentes tipos celulares de la espermatogénesis; espermatogonias (Sg); espermatocitos (Sc); espermátides (St); espermatozoides (Sz); barra 50μm.

Testículo en espermiación capaz: se identifica por la presencia de espermatozoides en el lumen de los lóbulos. Este estadio de desarrollo tiene diferentes subfases, las cuales se determinan por la conformación del epitelio germinal (EG); así mismo mientras se acerca el desove la cantidad de espermatozoides va aumentando a lo largo de los lóbulos y dentro del conducto eferente. En la espermiación inicial se aprecian cistos definidos conteniendo cada una de las células de la espermatogénesis, siendo pocos los cistos con espermatozoides; el conducto eferente también tiene una baja cantidad de espermatozoides y tiene un EG continuo a lo largo de la gónada (Fig. 25A). En la espermiación intermedia los cistos se van llenando de espermatozoides y el contenido se vierte a los conductos espermáticos, dando como resultado un EG discontinuo cerca del conducto eferente; pero continuo en la periferia del lóbulo (Fig. 25B). Por último, en la espermiación avanzada los cistos ya no tienen la misma conformación que en un principio y el EG es discontinuo en todo el testículo,



teniendo prevalencia de lóbulos anastomosados y tanto en el lóbulo como en el conducto eferente tienen en su mayoría espermatozoides, los cuales están prácticamente listos para la eyaculación (Fig. 25C).

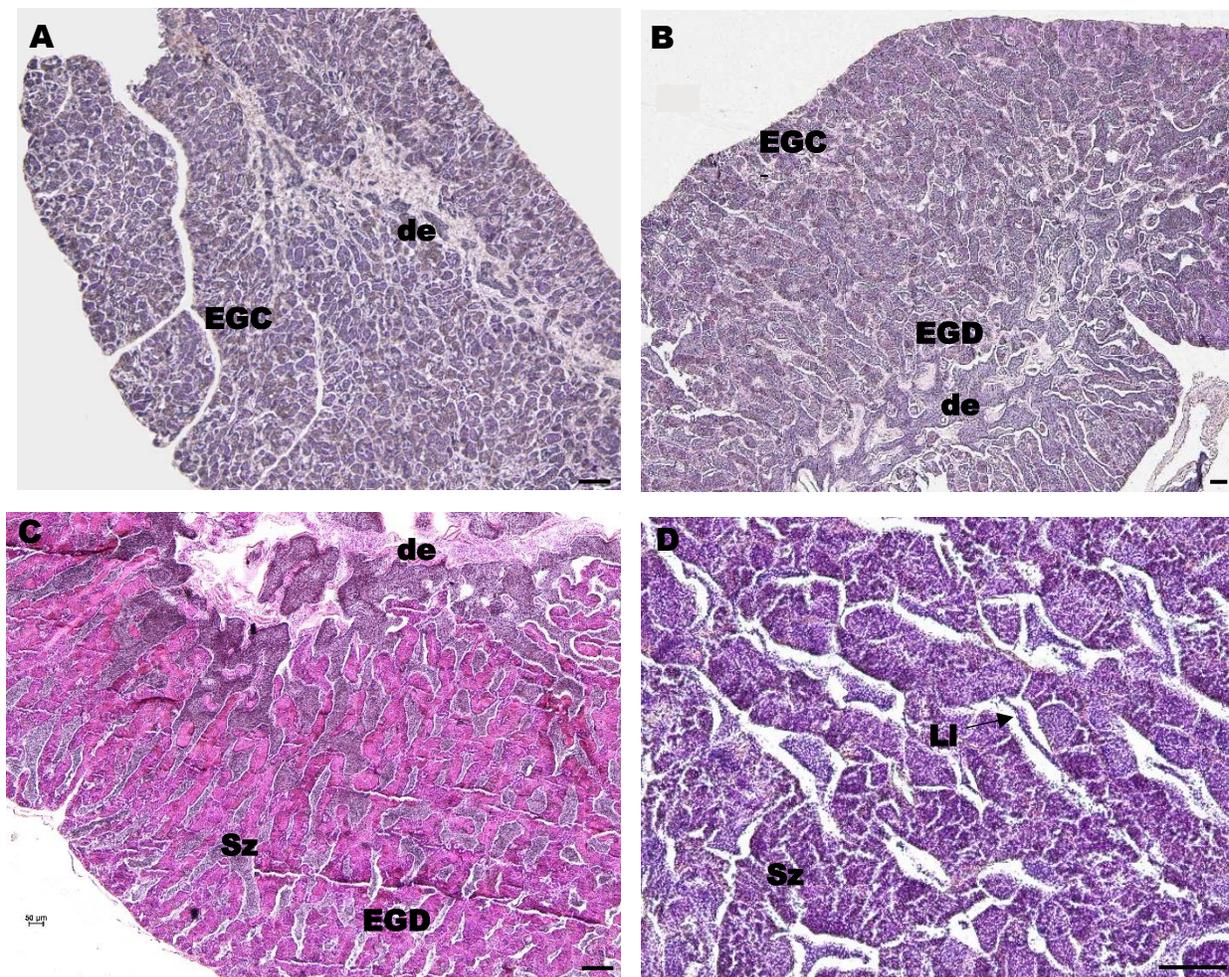


Figura 25.- Corte Longitudinal de testículo de *H. bivittatus* en espermiación capaz. Las subfases se basan en el epitelio germinal continuo (EGC) y epitelio germinal discontinuo (EGD), A) subfase temprana; barra 10µm, B) subfase media; barra 50µm, C) subfase tardía; barra 50µm y D) luz de los lóbulos con espermatozoides; barra 50µm conducto eferente (de); luz del lóbulo (LI); espermatozoides (Sz).



Testículo en regeneración: en él se pueden observar cuerpos lúteos, los cuales son los remanentes de las células espermáticas del desove anterior, que están siendo reabsorbidas, un indicador de que el organismo ya se reprodujo y se está preparando para hacerlo nuevamente (Fig. 26-27).

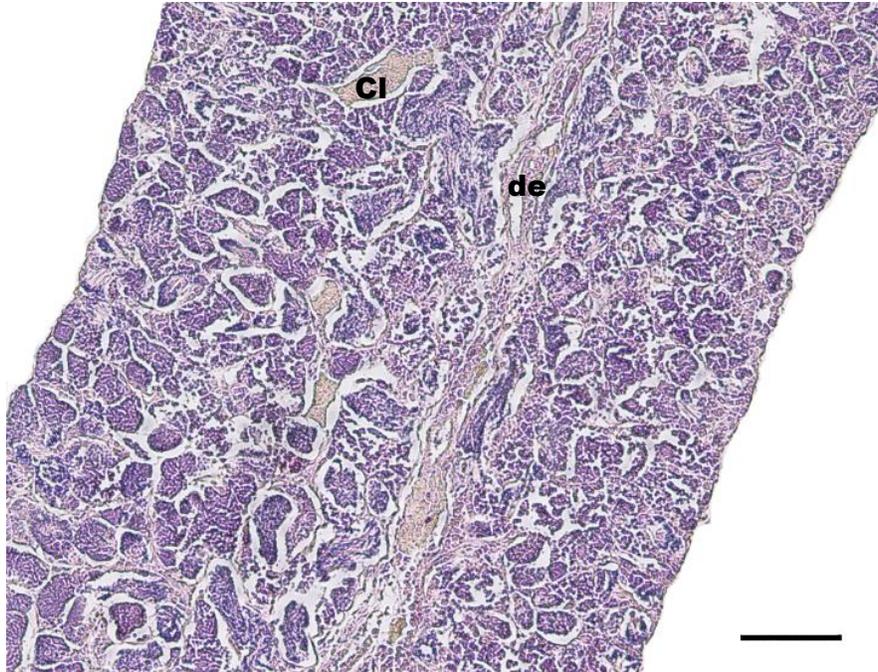


Figura 26.- Corte longitudinal de testículo de *H. bivittatus* en regeneración; conducto eferente (de); cuerpos lúteos (Cl), barra 50µm.

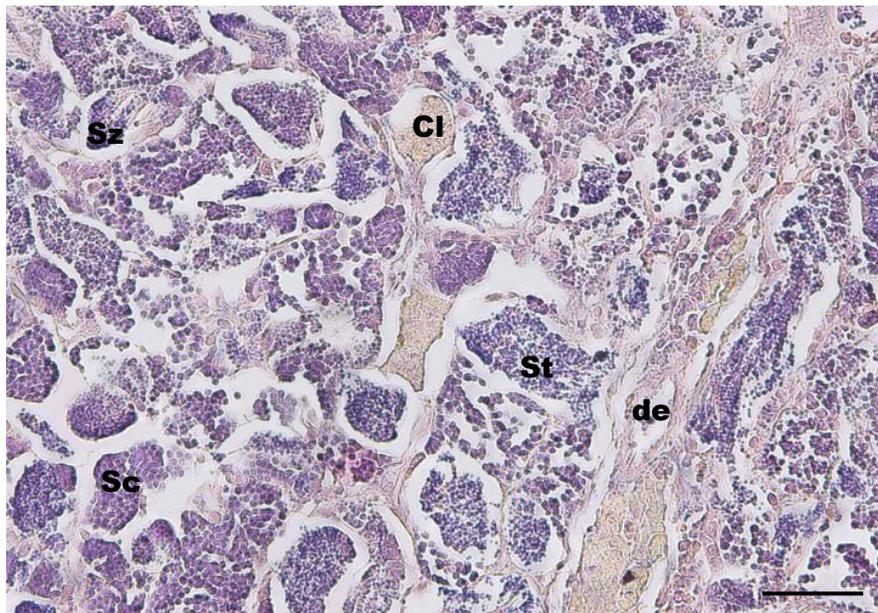


Figura 27.- Aumento del corte longitudinal de testículo en regeneración en el que se observan las diferentes células de la espermatogénesis; espermátocitos (Sc); espermátides (St); espermatozoides (Sz); conducto eferente (de); cuerpos lúteos (Cl); barra 50µm.



6. Discusión

Los teleósteos exhiben una gran variedad de patrones de sexualidad; el más común en la familia Labridae es el hermafroditismo protogínico, que es la transformación de una hembra funcional en un macho funcional (Nemtsov, 1985; Francis, 1992). Esta reversión de sexo es una estrategia reproductiva típica para la familia, al reproducirse primero como una hembra en fase inicial (IP) y luego cuando es lo suficientemente grande cambia de sexo a macho en fase terminal (TP), para poder competir con otros machos por oportunidades de desove (Sakai y Kohda, 2001). Sin embargo, los machos (TP) pueden ser el resultado de un cambio de sexo, o simplemente un cambio de coloración de los machos (IP) (Warner y Robertson, 1978).

Proporción de sexos

En los peces tropicales la proporción sexual es aproximadamente 1:1. Sin embargo, esta suele cambiar tanto intra como interespecíficamente. En el primer caso se ha visto que la proporción sexual puede variar entre las poblaciones, de manera latitudinal o entre épocas (Nikolsky, 1963).

La proporción de sexos 1M:2.14H para *H. bivittatus* concuerda con los resultados señalados para la misma especie, en donde la proporción sexual se aleja de la relación estadística teórica (1:1) con dominancia de hembras. Pérez y Parra (2002) encontraron una proporción de 1.9H :1M en las poblaciones de Venezuela. Este patrón fue observado en el Caribe por Warner y Robertson (1978), quienes observaron que esta proporción se inclina ligeramente hacia las hembras con 1:1.2.

En el análisis de la proporción mensual de sexos de *H. bivittatus* se encontró que el número de hembras es mayor al de los machos en 6 de los 7 meses de estudio, incluyendo los meses en los que se presentó el pico de desove (marzo-abril). Mientras que en uno de los meses se presentó mayor cantidad de machos. Estos datos son similares a los de otros peces hermafroditas protogínicos con proporciones de macho a hembra de 1:4 en *Notolabrus celidotus* (Jones, 1980) y



1:7 en *Achoerodus viridis* (Gillanders, 1995). En contraste, las relaciones de sexos en lábridos gonocóristas (es decir, de sexo fijo) son más similares con 1:1.6 para *Notolabrus fucicola* (Denny y Schiel 2002).

La evidencia de proporciones sexuales sesgadas de adultos en favor de las hembras proporciona evidencia adicional de cambio de sexo (Sadovy y Shapiro 1987; Shapiro 1987).

El comportamiento reproductivo y el sistema de apareamiento de *H. semicinctus* fue registrado en cuatro sitios en los que se obtuvieron densidades diferentes con agregaciones de 8-12 individuos de menos de 200 mm (machos fase inicial), mientras que en tallas mayores a la ya mencionada los machos en fase terminal mantenían territorios de hasta 5 m². En otras especies de lábridos, durante el desove que ocurre sobre la columna de agua, existe de manera general la presencia de un macho y alrededor de 3-15 hembras, tanto en fase inicial como en fase terminal (Adreani y Allen, 2008). Esto es cercano con lo reportado por Pertersen (1991), al registrar más de 10 hembras por cada macho durante el desove. Esto puede sesgar significativamente la proporción sexual, cuando se toman organismos de un sólo grupo donde solo existe un macho y varias hembras. Al igual que otras especies de peces con fecundación externa y huevos pelágicos, la tasa de fertilización de *H. bivittatus* puede variar dependiendo de las condiciones ambientales, bajando significativamente cuando las condiciones marinas no son óptimas, esta variación es un factor selectivo en la población (Warner, 1975).

Estructura por tallas

Los machos de *H. bivittatus* dominan las clases de mayor talla, mientras que las hembras predominaron en las clases de menores, siendo el intervalo de 26 a 96 mm para hembras y para machos fue de 43 a 107 mm. La talla más representativa con el mayor número de organismos fue en 60 mm, mientras que la mayor talla presentada en *H. bivittatus* está por debajo de la longitud registrada (350 mm) por Allsop y West (2003) para la misma especie.



En las distribuciones de tamaño y frecuencia de talla los peces pertenecientes a la familia Labridae varían dependiendo de la especie, sin embargo, entre ellas muestran una correlación en cuanto al tamaño, en donde los machos tienen las tallas más grandes y las hembras se encuentran en su mayoría en las tallas pequeñas (Gillanders, 1995).

Si se realiza un muestreo en áreas poco profundas o muy profundas, pero no a profundidades intermedias, puede generar distribuciones de frecuencia de tamaño diferentes (Badcock y Merrett, 1976). Lo mismo se produciría si las hembras y machos pequeños ocuparan un hábitat diferente al de los organismos grandes (Williams, 1978).

Relación talla-peso

Las especies tienen distribuciones de frecuencia en tamaño y peso, estos suelen ser menores en hembras que en machos, ya que, en los lábridos, los machos siempre son más grandes (Warner, 1975; Moyer y Nakazono, 1978; Shapiro, 1981). Sin embargo, en algunos casos el intervalo de tamaño en las hembras se solapa con el de los machos, lo cual originalmente sugirió que el cambio de sexo es un proceso de desarrollo, en el cual las hembras cambian de sexo al alcanzar cierto tamaño o edad (Bullough, 1947). Esta característica de estructura de la población ha sido utilizada como un criterio de diagnóstico.

La migración diferencial o segregación espacial por sexo se ha comprobado en la estructura poblacional de muchas especies de peces, estando los grandes a mayores profundidades, en comparación con los peces pequeños (Caveriviere *et al.*, 1981). Esto queda representado cuando la captura de peces se da por diversas técnicas de pesca, dependiendo del fin que se les dará a las especies capturadas y las cuales sesgan de manera importante las distribuciones de frecuencia de tamaño y por ende de peso (Olsen *et al.*, 1978; Stevenson y Stuart-Sharkey, 1980).



Talla de primera madurez

La talla de primera madurez muestra los cambios que se tienen en el transcurso de la maduración sexual, con respecto al tamaño. En el caso de *H. bivittatus* la talla de primera madurez, en la que el 50% de las hembras se encuentran maduras es a los 56.3 mm, mientras que para los machos es de 62.1 mm.

Los resultados indican que las hembras de *H. bivittatus* maduran en una talla menor en comparación con los machos. Esto puede deberse al carácter protogínico de la especie (Cervigón, 1993; Claro, 1994). Las tallas de madurez de *H. bivittatus* resultaron menores a las encontradas por Cervigón (1993), quien observó hembras maduras de *H. bivittatus* con 100 mm de LT; pero mayores en comparación con los resultados encontrados en las hembras maduras de otras especies de lábridos como *Halichoeres maculipinna* con 46 mm y *Thalassoma bifasciatum* con 47 mm de LT.

El tamaño de la primera madurez se estima en 96 mm para las hembras y 121 mm para los machos de *Achoerodus viridis*. Los machos de fase terminal tenían 150 mm de LT (Raposeiro y Azevedo, 2009) y para *Symphodus tinca* según Ouannes-Ghorbel *et al.*, (2002), la talla de primera madurez para machos está en 131 mm mientras que para las hembras se encuentra en 134 mm. Los peces alcanzaron la madurez sexual a 184 mm de longitud total en *Ophthalmolepis lineolata*, 177 mm en *Notolabrus gymnogenis* y <95 mm TL en *Pictilabrus laticlavus* (Morton *et al.*, 2008).

Factor de condición

La relación talla-peso y K son parámetros fundamentales para la comprensión del ciclo de vida de una población de peces. Sus aplicaciones permiten estimar el crecimiento de los individuos y analizar el efecto de los factores ambientales en su desarrollo (Camara *et al.*, 2011).



Utilizado para comparar la condición de un pez o población de peces, se basa en que los peces de mayor peso, a una determinada longitud presentan una mejor condición (Froese, 2006). Para *H. bivittatus*, el valor que se obtuvo fue mayor en los meses correspondientes a abril y diciembre 2017, el primero coincide con las escalas de madurez y el IGS obtenido para hembras y machos. Sin embargo, el índice de condición depende de factores como disponibilidad de alimento, estacionalidad y época reproductiva.

Índice gonadosomático

La maduración sexual representa una transición importante en la vida de los peces, ya que los recursos que antes se requerían únicamente para el crecimiento y la supervivencia, también deben usarse para la reproducción (Wootton 1998). Mientras que

la actividad reproductiva de los peces coincide con los períodos del año más favorables para la supervivencia de las larvas, esto es cuando hay una disponibilidad de recursos alimenticios apropiados para el crecimiento de estas (Lagler *et al.*, 1984).

Los valores más altos del IGS fueron en abril I seguido por febrero del siguiente año en ambos sexos de *H. bivittatus*, así como un valor mínimo en noviembre. Además, las hembras maduras de *H. bivittatus* se presentaron en cinco de siete meses de recolecta, en concordancia con el índice gonadosomático. Ouannes-Gorbel *et al.*, (2002) determinaron que el periodo para *Symphodus tinca* con en IGS más alto se encuentra entre abril-junio, siendo el primero con mayor actividad reproductiva. Un valor promedio elevado para el mes de abril, seguido el mes de agosto y un valor mínimo en noviembre es lo que encontraron (Pérez y Parra, 2002). Siendo primavera-verano la temporada reproductiva para *Symphodus mediterraneus* (Raposeiro y Azevedo, 2009).

Sin embargo, para especies pertenecientes a Australia se encontró que para *Ophthalmolepsis lineolatus* el IGS aumentó en diciembre y enero alcanzando su punto máximo en marzo; para *Notolabrus gymnogenis* el IGS fue bajo en los meses



de diciembre-marzo y aumentando de abril a julio. Por último, *Pictalabrus laticlavatus* presentó el nivel más alto de IGS de octubre a diciembre (Morton *et al.*, 2008).

En *H. bivittatus* el peso promedio que se presentó en las gónadas, tanto de hembras como machos, aumentó significativamente conforme avanza su ciclo reproductivo. La caída en el peso de estas sugirió que se había producido el desove.

El peso promedio en gónadas para los peces en Cabo Solander, Australia, varió de 0.974 + 0.249 g en febrero a 2.661 + 1.321 g en junio (Gillanders, 1995). Esto concuerda con los datos obtenidos para *H. bivittatus*, ya que en la época de menor actividad sexual se tuvo un peso de 0.001 g para noviembre-diciembre mientras que para los meses de febrero, marzo y abril el peso promedio de la gónada es de 0.08 g.

Índice hepatosomático

El IHS mostró la misma tendencia o comportamiento con el IGS a lo largo de los meses, esto se debe probablemente a que esta especie no tiene que utilizar sus reservas energéticas (Acevedo *et al.*, 2007). Puede deberse a la productividad de la primavera que debería brindar a los adultos más oportunidades de alimentarse, aumentando la energía disponible para el desarrollo de las gónadas sin el aporte necesario del hígado.

Estudios realizados al agua presente en la zona costera, indican la relación de la dinámica del sistema de las corrientes con su variabilidad estacional. Los registros de una baja temperatura (11°C) y alta salinidad (33.7), derivada del afloramiento de aguas subsuperficiales, está asociada con un incremento de las concentraciones de nutrientes en la columna de agua (Carrasco y Silva, 2004). Lo cual puede ser un factor importante para que la especie *H. bivittatus* obtenga los nutrientes del medio marino y no del hígado.

Sin embargo, la relación hepatosomática de otras especies como es el caso de *Symphodus tinca* disminuyó a medida que aumentaba el IGS, mostrando una proporción inversa ya que esta especie almacena las reservas necesarias para su maduración en el hígado (Ouannes-Ghorbel *et al.*, 2002)



Gónadas

El aspecto de los ovarios cambia a medida que avanza el desarrollo de los ovocitos, por lo que es posible apreciar los cambios en el tamaño y textura de los ovarios, mismos que mantiene una relación entre las características macroscópicas y microscópicas.

En *H. bivittatus* se encontraron gónadas maduras en los meses de marzo, abril I y abril II, coincidiendo con las fases de madurez a nivel microscópico, y encontrando gónadas inmaduras, desarrollo y regeneración en todos los meses de recolecta. Raposeiro y Azevedo (2009), mencionan que las gónadas *S. mediterraneus* fueron histológicamente maduras en un solo periodo de recolecta.

En el presente trabajo se determinaron en *H. bivittatus*, con base en lo propuesto por Brown-Peterson et al., (2011), tres estadios de madurez, tanto para machos (desarrollo, espermiación capaz y regeneración) como en hembras (inmadura, desarrollo y regeneración). Se ha registrado que cada especie tiene una variación en el grado de desarrollo de sus gametos. Sin embargo, existen marcadores histológicos y fisiológicos que especifican el patrón y reconocimiento de cada fase de madurez (Grier y Uribe, 2009).

Machos

Halichoeres bivittatus presenta un testículo lobular pareado no restringido, lo cual quiere decir que las espermatogonias están distribuidas a lo largo del lóbulo y no sólo se encuentran en la periferia de la gónada como es el caso del testículo lobular restringido (Grier et al., 1980).

Los cortes histológicos de los machos independientemente del mes de recolecta mostraron evidencia de espermiación, siendo pocos los machos con gónadas inmaduras o en desarrollo en los cuales el número de espermatozoides es bajo. Hourigan et al., (1991) encontraron que hubo espermatogénesis activa y espermiación, independientemente de la fase (inicial o terminal), o el mes de recolecta.



El desarrollo celular germinativo ocurre dentro de cistos delimitados por células de Sertoli. El rompimiento del cisto sólo ocurre cuando las espermatidas ya se han dividido, dando origen a los espermatozoides que son finalmente liberados en la luz del túbulo espermático hasta llegar al conducto deferente (Warner, 1975).

El epitelio germinal testicular consiste de células somáticas de Sertoli y de células germinales. El componente sertoliano cumple con los criterios para definirlo como un epitelio (Grier y Lo Nostro, 2000), ya que persiste como una monocapa después de la liberación del espermatozoides a la luz lobular, mientras que los componentes germinales se vuelven aislados, constituyendo el “epitelio germinal discontinuo” (Grier y Taylor, 1998). Grier y Taylor (1998) y Grier (2002) propusieron cinco clases reproductivas con base en la continuidad o discontinuidad del epitelio germinal.

La inversión sexual en *L. bergylta* y *L. ossifagus* se produce por atrofia de los ovocitos y la sustitución por cistos, seguida del desarrollo gradual con las células espermáticas en toda la gónada. Esto mismo se evidenció en *H. bivittatus*, en donde la parte de la gónada que aún presentaba tejido ovárico ya se estaba degenerando, sólo había escasa presencia de ovocitos en crecimiento primario. Los testículos primarios y secundarios se pueden distinguir histológicamente, como en el caso de *L. ossifagus* quien presentó testículos primarios (Dipper y Pullin, 1979).

Hembras

El ovario de *H. bivittatus* es un órgano pareado en forma de saco que se encuentra cubiertos por una túnica albugínea. Los dos ovarios se ubican en la cavidad abdominal y están revestidos por el peritoneo. En cuanto al análisis histológico se presentaron ovocitos pertenecientes a la previtelogénesis y vitelogénesis. Así mismo los organismos capturados se encontraron en estadio inmaduro, desarrollo y regeneración.

En los teleósteos existen diferentes patrones de desarrollo ovárico. Wallace y Selman (1981) reportan ovarios con desarrollo sincrónico, sincrónicos en grupos y asincrónico; mientras que Grier y Uribe (2009), establecen la existencia de ovarios sincrónicos en grupos y asincrónicos. Como se observa *H. bivittatus*, presenta



ovocitos de dos a tres estadios de desarrollo, dependiendo de la fase de madurez de la gónada, por lo tanto, presenta un ovario con desarrollo sincrónico por grupos, lo que quiere decir que realizan múltiples desoves parciales a lo largo del año y esto es una manera de asegurar la viabilidad de su descendencia (Saborido y Junquera, 2004). Las especies que presentan este tipo de desarrollo tienden a mostrar fecundidades bajas (Saborido y Junquera, 2004; Núñez y Duponchelle, 2009; Brown-Peterson *et al.*, 2011; Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011).

Con base a Brown-Peterson *et al.*, (2011) se observó que el crecimiento de los ovocitos se da en 5 estadios: crecimiento primario, alvéolos corticales, vitelogénico primario, vitelogénico secundario y vitelogénico terciario, el desarrollo de los ovocitos en *H. bivittatus* concuerda con estos estadios, sin embargo, no fue posible observar ovocitos vitelogénicos terciarios.

El tamaño de los ovocitos encontrados en las diferentes especies y estadios de crecimiento cumple un proceso cíclico en el ovario durante toda su vida; éste, inicia con ovogonias que por divisiones mitóticas y meióticas pueden aumentar hasta 100 veces su tamaño al final del ciclo (Harvey y Carolsfeld 1993). El crecimiento del ovocito se da gracias a la acumulación de vitelo en el citoplasma que es definida como "material nutritivo" y que se convierte en un recurso nutricional y de aporte de energía para el embrión luego de la fertilización (Grier y Uribe, 2009).

La atresia fue observada en los cortes histológicos de *H. bivittatus*, aunque sólo se presentó en las gónadas que estaban en la fase de desovador capaz, sin embargo, este proceso también puede ocurrir en los ovocitos en estadios de desarrollo temprano, considerándose como un proceso de limpieza de la gónada. Wallace y Selman, (1981) mencionan que la atresia es poco común en hembras saludables.



7. Conclusiones

Se presentó una proporción sexual total con predominio de hembras sobre machos de 2.4:1 respectivamente, sólo en el mes de marzo se presentó mayor proporción de machos.

Los valores obtenidos de 2.97 (hembras) y 3.10 (machos) en la relación talla-peso indican un crecimiento de tipo isométrico para ambos sexos.

La estructura de la población presenta un intervalo de tallas que varía de 25.6 a 107.0 mm de longitud total, donde las menores tallas corresponde a hembras y las mayores a machos.

Se encontró una relación proporcional entre el índice hepatosomático y gonadosomático por lo que no hay una relación inversa entre la actividad reproductiva y la condición fisiológica de *Halichoeres bivittatus*.

Los índices nos dan una descripción del estado de madurez de *Halichoeres bivittatus* e indican los puntos de desove los cuales estuvieron dados por abril I y de febrero-abril II.

Ya que se encontraron ovocitos en 3 estadios de maduración se dice que esta especie presenta un desarrollo de tipo sincrónico por grupos, mientras que los cistos sin un ordenamiento a lo largo del testículo y la presencia de lóbulos, indica que *H. bivittatus* tienen un testículo de tipo lobular no restringido.



8. Referencias

- Acevedo, J., W. Angulo, M. Ramírez¹ & L.A. Zapata. 2007. Reproducción del pez *Brotula clarkae* (Pisces: Ophidiidae) en el Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical* (55): 957-967.
- Adreani, M.S. y L.G. Allen. 2008. Mating system and reproductive biology of a temperate Wrasse, *Halichoeres semicinctus*. *Copeia* (2): 467-475.
- Allsop, D.J y S.A. West. 2003. Constant relative age and size at sex change for sequentially hermaphroditic fish. *Journal evolutionary biology* 16: 921-929.
- Amezcuca, F. y V. Muro-Torres. 2012. Biología reproductiva del bagre cominate *Occidentarius platypogon* (Pisces: Ariidae) en el sureste del Golfo de California. *Latin American Journal Aquatic. Research* (40) 2: 428-434
- Arellano-Martínez, M., A. Rojas-Herrera, F. García-Domínguez, B. Ceballos-Vázquez y M. Villalejo-Vazquez. 2001. Ciclo reproductivo del pargo lunarejo *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en las costas de Guerrero, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36(1):1-8.
- Badcocok, J. y N. R. Merrett. 1976. Midwater fishes in the eastern North Atlantic-I. Vertical distribution and associated biology in 30 N, 23 W, with developmental notes on certain myctophids. *Progress in Oceanography* 7:3-58.
- Böhlke, J.E. y C.C.G. Chaplin. 1993. *Fishes of the Bahamas and adjacent tropical waters*. 2nd edition. University of Texas Press, Austin.
- Brown-Peterson, N., D. M. Wyanski, F. Saborido-Rey, B. J. Macewicz y S.K.Lowerre- Barbieri. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science* 3: 52-70.
- Bullough, W. S. 1947. Hermaphroditism in the lower vertebrates. *Nature* 160:9-11.
- Camara, E. M., Pellegrini E., Petry Ana C. (2011). Fator de condição: bases conceituais, aplicações e perspectivas de uso em pesquisas ecológicas com peixes. *Oecologia Australis* 15 (2): 249-274.
- Carricart-Ganivet J.P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en México. pp. 80-92. En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. CONABIO y CIQRO, México. 865 p.
- Caveriviere, A., M. Kulbicki, J. Konan y F. Gerlotto. 1981. Bilan des connaissances actuelles sur *Balistes carolinensis* dans la Golfe de Guinee. *Documents Scientifiques Cent Rech Oceanogr Abidjan* 12 (1):1-78.



-
- Cervigón, F. 1993. *Los peces marinos de Venezuela*. Vol. 2. Fundación Científica Los Roques, Caracas, Venezuela. 497 p.
- Claro, R. 1994. *Ecología de los Peces Marinos de Cuba*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO), Cuba. 525 pp.
- Clavijo, I.E. y P.L. Donaldson, 1994. Spawning behavior in the labrid, *Halichoeres bivittatus*, on artificial and natural substrates in Onslow bay, North Carolina, with notes on early life history. *Bulletin of Marine Sciences* 55(2-3): 383-387.
- Costello, M. J. 1991: Review of the biology of the wrasse (Labridae: Pisces) in northern Europe. *Progress in Underwater Science* 16: 29-51.
- Del Moral-Flores, L.F., J.L. Tello-Musi, H. Reyes-Bonilla, H. Pérez-España, J.A. Martínez-Pérez, G. Horta-Puga, L.A. Velazco-Mendoza y P.A. Álvarez del Castillo-Cárdenas. 2013. Lista sistemática y afinidades zoogeográficas de la ictiofauna del Sistema arrecifal Veracruzano. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84: 825-846.
- Denny, C. y D. Schiel. 2002. Reproductive biology and population structure of the banded wrasse, *Notolabrus fucicola* (Labridae) around Kaikoura, New Zealand, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 36(3): 555-563.
- Dipper, F.A. R.S.V. Pullin. 1979: Gonochorism and sex-inversion in British Labridae (Pisces). *Journal of Zoology*, London 187: 97-112.
- Discoverlife. (2018). *Labridae Wrasses*, Discover Life Disponible en: <http://discoverlife.ent.ncsu.edu/mp/20q?search=Labridae&l=spanish&mobile=1>. Fecha de acceso: junio 2018.
- Francis, R.C. 1992. Sexual lability in teleosts: developmental factors. *Quarterly Review of Biology* 67:1-18.
- Fricke, R., W.N. Eschmeyer y J.D. Fong. 2019. Species by family/ Subfamily. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>. Fecha de acceso: enero 2019.
- Froese B.R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22: 241-253.
- Gallardo-Cabello, M., M. Sarabia-Méndez, E. Espino-Barr y V. Anislado-Tolentino. 2010. Aspectos reproductivos de *Lutjanus peru* en Bahía Bufadero,



-
- Michoacán, México: Crecimiento, reproducción y factores de condición. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45(2): 205-2015.
- Gaspar, A. 1995. Desarrollo gonadal y sexualidad de peces teleósteos. *Saber* 7(2): 7-17.
- Ghiselin, M.T. 1969. The evolution of hermaphroditism among animals. *Quarterly Review of Biology* 44: 189-208
- Gillanders, B.M. 1995. Reproductive Biology of the Protogynous Hermaphrodite *Achoerodus viridis* (Labridae) from South-eastern Australia. *Marine and Freshwater Research* 46:999-1008.
- Grier, H.J., J. Lonton, J. Leanterland y V. De Vlaming. 1980. Structural evidence for two different testicular types in teleosts fishes. *The America Journal Anatomy* 159:331-345.
- Grier, H. J. 1993. Comparative organization of Sertoli cells including the Sertoli cell barrier. In L. D. Russell, and M. D. Griswold (eds.), *The Sertoli cell*, pp. 704–730. Cache River Press, Clear-water, Florida.
- Grier, H.J. y M. Uribe. 2009. The testis and spermatogenesis in teleosts. En: Barrie, GM (Ed). *Reproductive biology and phylogeny of fishes (Agnathas and bony fishes)*. 120-142p.
- González, P. y C. Oyarzún. 2002. Variabilidad de índices biológicos en Pinguipes chilensis valenciennes 1833 (Perciformes, Pinguipedidae): ¿Están realmente correlacionados? *Gayana*. 66(2): 249-253.
- Harvey, B., y Carolsfeld, J. 1993. *Induced Breeding in Tropical Fish Culture*, Ottawa:International Development Research Centre.
- Hoese, H.D., y R.H. Moore. 1977. *Fishes of the Gulf of Mexico: Texas, Louisiana and adjacent waters*. Texas A&M Univ. Press, College Station, 327 p.
- Jones, G.P. 1980. Growth and reproduction in the protogynous hermaphrodite *Pseudolabrus celidotus* (Pisces: Labridae) in New Zealand. *Copeia* 180:660-675.
- Kuwamura, T., K. Karino, y Y. Nakashima. 2000. Male morphological characteristics and mating success in a protogynous coral reef fish, *Halichoeres melanurus*. *Journal of Ethology*, 18(1), 17–23.
- Lagler, K., P. Bardach & R. Miller. 1984. *Ictiology*. AGT.1ª ed. México D.F. 219 p.



-
- Leem. J.B., K. Sakamoto, Y. Tsuruda y A. Nakazono. 1998. Sexual pattern of the labrid fishes collected from Kuchinoerabu-jima, Kagoshima, Japan. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 43: 409-419.
- Lieske, E. y R. Myers. 1994. *Collins Pocket Guide. Coral reef fishes. Indo-Pacific & Caribbean including the Red Sea*. Haper Collins Publishers, 400 p.
- Lowerre-Barbieri, S., K. Nancy, J. Brown-Peterson, Hilario Murua., Jonna Tomkiewicz., Wyanski. David M., F. Saborido-Rey. 2011. Emerging Issues and Methodological Advances in Fisheries Reproductive Biology. *Marine and Coastal Fisheries*. 3:32 - 51.
- Lucano-Ramírez, G., S. Ruiz-Ramírez, G. González-Sansón y B.P. Ceballos-Vázquez. 2004. Biología reproductiva del pargo alazán, *Lutjanus argentiventris* (Pisces, Lutjanidae), en el Pacífico central mexicano. *Ciencias Marinas* 40(1): 33-44.
- Morton, J.K., W. Gladstone, J.M. Hughes y J. Stewart. 2008. Comparison of the life histories of three co-occurring wrasses (Teleostei: Labridae) in coastal waters of south-eastern Australia. *Marine and Freshwater Research* 59(7):560-574.
- Motic. 2004. Motic Image Plus 2.0. Motic China group. Co., Ltd. Hong Kong, China. <http://www.motic.com>.
- Moyer, J.T. y A. Nakazono. 1978. Population structure, reproductive behavior and protogynous hermaphroditism in the angelfish *Centropyge interruptus* at Miyake-Jima, Japan. *Ibid.* 25:25-39.
- Muñetón-Gómez M.S., M. Villalejo-Fuerte, G. García-Melgar. 2000. *Manual de Técnicas Histológicas Aplicadas a Organismos Marinos*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 81 pp.
- Muñoz, R.C. y R.R. Warner. 2003. A new versión of the size-advantage hypothesis for sex change: incorporating sperm competition and size fecundity skew. *The American Naturalist* 161:749-761.
- Nemtsov, S.C. 1985. Social control of sex change in the Red sea razorfish *Xyriclztys pentadactylus* (Teleostei, Labridae). *Environmental Biology of Fishes* 14, 199-211.
- Nikolsky, G.V. 1963. *The Ecology of Fishes*. Academic Press, New York. 352 pp.
- Núñez, J. y F. Duponchelle. 2009. Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. *Fish Physiology and Biochemistry* 35:167-180.



-
- Olsen, D.A., A. E. Damman y J. A. Laplace. 1978. Mesh selectivity of West Indian fish traps. *Marine Fisheries Review*, 40:15-16.
- Ortiz-Lozano L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez y J. Martos. 2013. The Reef Corridor of Southwest Gulf of Mexico Challenge for its management and conservation. *Ocean Coastal Management* 86: 22-32.
- Ouannes-Ghorbel, A., M.N. Bradai y A. Bouain. 2002. Période de reproduction et maturité sexuelle de *Symphodus (Crenilabrus) tinca* (Labridae), Des côtes de Sfax (Tunisie). *Cybium* 26(2): 89-92.
- Pérez, E.L. y B. Parra. 2002. Aspectos reproductivos de *Halichoeres bivittatus* (Bloch, 1791) (Pisces: Labridae) en Tocuchare, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Saber* 14(1): 105-112.
- Petersen, C. 1991. Variation in fertilization rate in the tropical reef fish, *Halichoeres bivittatus* correlates and implications. *Biological Bulletin* 181: 232-237.
- Policansky, D. 1982. Sex change in plants and animals. *Annual Review of Ecological Systems* 13: 471-495.
- Ramos-Santiago, E., J.M. Ramírez-Gutiérrez, R. Mendoza-Rodríguez y M. Tapia-García. 2006. Reproducción, distribución y abundancia del pez *Pseudupeneus grandisquamis* (Perciformes: Mullidae) en el Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Tropical* 54(4): 1103-1112.
- Ramos-Santiago, E., H.A. Gil-López, A. Labastida-Che y R. Gómez-Ortega. 2010. Reproducción y madurez gonádica de la lisa *Mugil cephalus* en las costas de Oaxaca y Chiapas. *Ciencia Pesquera* 18(1): 79-89.
- Raposeiro, M. y J.M. Azevedo. 2009. Reproductive Biology of *Symphodus mediterraneus* (Teleostei, Labridae) in the Azores. *Marine Ecology* 30(1): 175-180.
- Reaka-Kudla, M.L. 1997. The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rainforests. In. Reaka-Kudla, M.L., D.E. Wilson y E.O. Wilson (Eds.). *Biodiversity II: Understanding and Protecting Our Natural Resources*, pp. 83-108.
- Ricker, W. E., 1975. Computation and interpretation of the biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada* 191: 1-382.



-
- Robins, C.R. y G.C. Ray. 1986. *A field guide to Atlantic coast fishes of North America*. Houghton Mifflin Company, Boston, U.S.A. 354 p.
- Rodríguez, G. M. 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT Editor, S. A. México, D. F.
- Ross, R.M. 1990. The evolution of sex-change mechanisms in fishes. *Environmental Biology of Fishes* 29:81-93.
- Ross, R. y C. Howard. 1974. Protogynous hermaphroditism and social systems in labrid fish. Proceedings of the second international coral reef. Symposium 1. Great barrier reef committee.
- Sadovy, Y. y Shapiro, D.Y. 1987. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism. *Copeia* 136-156.
- Sakai, Y. y M. Kohda. 2001. Spawning timing of the cleaner wrasse, *Labroides dimidiatus*, on a warm temperate rocky shore. *Ichthyological Research* 48: 23-30.
- Saborido, F.Y y S. Junquera. 2004. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. In: Curso de doctorado. Universidad de Vigo, Vigo, España.
- Santamaría-Miranda, A., J.F. Elorduy-Garay, M. Villalejo-Fuerte y A.A. Rojas-Herrera. 2003. Desarrollo gonadal y ciclo reproductivo de *Lutjanus peru* (Pisces: Lutjanidae) en Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical* 51(2): 489-502.
- Schulz, R.W., L.R. de França, J.J. Lareyre, F. LeGac, H. Chiarini-Garcia, R.H Nobrega y T. Miura. 2010. Spermatogenesis in fish. *General and comparative endocrinology*, 165(3): 390-411.
- Shapiro, D. Y. 1981. Behavioural changes of protogynous sex reversal in a coral reef fish in the laboratory. *Animal Behavior* 29:1185-1198.
- Shapiro, D. Y. 1987: Differentiation and evolution of sexchange in fishes. A coral reef fish's social environment can control its sex. *Bioscience* 37: 490-497
- Spalding, M., C. Ravilious y E.P. Green. 2001. *World atlas of coral reefs*. Prepared at the UNEP world conservation monitoring center, University of California Press, Berkeley. 424 p.
- Stevenson, D.K. y P. Stuart-Sharkey. 1980. Performance of wire fish traps on the western coast of Puerto Rico. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* . 32: 173-193.



-
- Thresher, R.E. 1991. Geographic variability in the ecology of coral reef fishes: evidence, evolution, and possible implications. In: Sale, P.F. (Ed). *The ecology of fishes on coral reefs*. Sydney, Academic Press, 401-436 p.
- Tunnel, JW. 1992. Natural versus human impacts to Southern Gulf of Mexico. Coral Reef Resources. Proc. 7th International Coral Reef Symposium, Guam Microneasia, 300-306 p.
- Verdín, S.L., L. Moreno, N.M. Rojo, A.L. García, M. Omaña, A. Meneses y O.J. Nieto. 2013. *Histología e inmunohistoquímica: Manual de métodos*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 44 p.
- Wallace, R.A. y K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *American Zoologist* 21(2):325-343.
- Warner, R.R. 1975. The reproductive biology of the protogynous hermaphrodite *Pimelometopon pulchrum* (Pisces: Labridae). *Fishery bulletin* 73(2):262-283.
- Warner, R.R. 1984. Mating behavior and hermaphroditism in coral reef fishes. *American Scientist* 72: 128-136.
- Warner, R.R. y D.R. Robertson. 1978. Sexual patterns in the labroid fishes of the western Caribbean, I: The wrasses (Labridae). *Smithsonian Contributions to Zoology*. 254:1-27.
- Warner, R. R.; Lejeune, P. 1985: Sex change limited by parental care: a test using four Mediterranean labrid fishes, genus *Symphodus*. *Marine Biology* 87: 89-99.
- Warner, R.R. 1988. Sex change in fishes: hypotheses, evidence, and objections. *Environmental Biology of Fishes* 22: 81-90.
- Westneat, M.W. 2002. Labridae. pp. 1701–1722 In K. E. Carpenter (Ed.). *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. Vol. 3. Bony fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae)*. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special Publication No. 5. FAO, Rome.
- Williams, A.H. 1978. Ecology of threespot damselfish: social organization, age structure, and population stability. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 34:197- 213.



Wootton R.J. 1998. *Ecology of Teleost Fishes*. 2nd edn. (Kluwer Academic Publishers: The Netherlands.)

Zar, J.H. 2010. *Biostatistical analysis*. 5^a ed. Prentice Hall. USA.



ANEXO

TECNICA HISTOLOGICA

Se proceso una gónada de cada organismo, Las muestras fijadas en formol amortiguado al 4% fueron procesadas de la siguiente manera:

Al término del proceso de fijación (24 horas) se llevó a cabo la deshidratación del tejido transfiriendo las muestras de forma gradual a una solución de alcohol etílico de 30% hasta 100% (I-II) con un tiempo de inmersión de 1 hora en cada una de las soluciones alcohólicas

Terminada la deshidratación se aclaró el tejido en xileno (I-II) 3 minutos en cada uno.

Posteriormente se procedió a la inclusión en parafina (I-II), permitiendo que esta penetrara hasta los más interno de las estructuras celulares del tejido se dejó por 1 día en cada una.

Después a la infiltración en parafina, se realizó la inclusión de los tejidos en parafina pura, una vez obtenidos los bloques, se realizaron cortes de 5 μm de espesor con un micrótomo, los cortes se extendieron en un contenedor con agua a 45°C y gelatina pura. Se montaron sobre un portaobjetos y se dejaron secar 24 horas se llevó a cabo su desparafinación, hidratación y la tinción de Hematoxilina-Eosina (HE) con el fin de identificar las células del tejido (Tabla 1).



Tabla 1. Tren de tinción para la técnica de Hematoxilina-Eosina

TREN DE TINCIÓN	TIEMPO DE TINCIÓN
XILOL I	5 minutos
XILOL II	5 minutos
ALCOHOL ETÍLICO ABSOLUTO	3 minutos
ALCOHOL ETÍLICO 96	3 minutos
ALCOHOL ETÍLICO 90	3 minutos
ALCOHOL ETÍLICO 80	3 minutos
ALCOHOL ETÍLICO 70	3 minutos
AGUA DESTILADA	3 minutos
HEMATOXILINA DE HARRIS	5 minutos
AGUA DESTILADA	Lavar (hasta quitar exceso de colorante)
ALCOHOL ÁCIDO AL 1%	2 segundos
AGUA DESTILADA	3 segundos
AGUA AMONIACAL	Hasta virar a azul
AGUA DESTILADA	3 segundos
EOSINA	3 minutos
ALCOHOL ETÍLICO 96%	30 segundos
ALCOHOL ETÍLICO ABSOLUTO	3 minutos
ALCOHOL ETÍLICO ABSOLUTO	5 minutos
XILOL I	5 minutos
XILOL II	5 minutos
MONTAJE CON RESINA	