



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

## TESIS

ASPECTOS REPRODUCTIVOS DE LA MOJARRA  
PRIETA *Amphilophus trimaculatum*  
(GÜNTHER, 1867) (PERCIFORMES: CICHLIDAE)  
EN EL SISTEMA LAGUNAR ESTUARINO  
CHANTUTO-PANZACOLA, CHIAPAS.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA Y  
MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

ZAYIN ITAI ANTONIO GALICIA

Tonalá, Chiapas

Enero 2018



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

## TESIS

### ASPECTOS REPRODUCTIVOS DE LA MOJARRA PRIETA *Amphilophus trimaculatum* (GÜNTHER, 1867) (PERCIFORMES: CICHLIDAE) EN EL SISTEMA LAGUNAR ESTUARINO CHANTUTO-PANZACOLA, CHIAPAS.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

### LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA Y MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

**ZAYIN ITAI ANTONIO GALICIA**

Directora

M. en C. SELENE LUCERO AGUILAR GORDILLO  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

Asesores

M. en C. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ ESPINOSA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

M. en C. EMILIO ISMAEL ROMERO BERNY  
CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS

Tonalá, Chiapas

Enero 2018



## Agradecimientos

**A Dios y a mi Virgencita de Guadalupe, por qué jamás me han abandonado, por su paciencia, por escuchar mis oraciones, amarme como lo han hecho hasta el día de hoy.**

### **A mis padres:**

A mi papá por llamarme para sentarme a ver documentales de animales, enseñarme sobre ellos y su mundo, en pocas palabras: me enseñó a amar a la naturaleza, a ser generosa y lo más importante; por enseñarme que siempre hay posibilidades.

A mi mamá por tener dedicación y constancia, por ayudarme a dar lo mejor de mí en la escuela, a regañarme cuando lo merecía, a darme los coscorrónes para corregir mi pésima ortografía, ella me heredó su caligrafía, sus logros me han motivado, su esfuerzo no tengo como pagarlo, más que con mi más sincero agradecimiento.

### **A mis hermanas:**

Madian gracias por estar ahí cuando se necesita de tu presencia y coraje.

Zaymad, mi Zorra, tu siempre a mi lado, abrazándome cada noche que tengo pesadillas o miedo.

A mi sobrino, quien ha sido mi motivación y amo con todo mi corazón.

### **A mis amigos:**

**Cynthia Cabrera** porque siempre ha estado ahí, cuando más la necesito, me ha escuchado, me mostró que las amistades sinceras son las que duran toda la vida y te brindan más que un hombro.

A **Yisell, Juliana, Raúl, Andrés, Héctor Iván, Fernando, Karen, Aimé**, su apoyo y enseñanzas jamás las olvidare y les agradezco por estar en mi vida.

**Luis Lenin**, no me queda más que agradecerte por ayudarme en las prácticas, por siempre confiar en mí y decirme que era la mejor, agradezco tu esfuerzo, por permitirme aprender junto a ti, esas horas en el laboratorio las valoro, por seguirme, por ser tan incondicional.

## **A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas**

Por permitirme ser una profesionista y darme las herramientas para ser una persona eficiente, con la capacidad de ser la mejor, a su vez la oportunidad de conocer nuevos lugares y personas, que me han convertido en lo que soy hoy.

### **A mis maestros:**

Mtra. Selene, mi maestra favorita, gracias por enseñarme, por alentarme, a dar lo mejor de mí, vio en mí, lo que no creía que poseía: talento. Le agradezco por hacer que ame aún más a la biología, por despertar en mí, las ganas de conocer más de lo tenía a mi alrededor.

Mtro. Miguel, por ayudarme y enseñarme a lo largo de mi carrera profesional, su amabilidad y paciencia, no tiene igual.

Dr. Alejandro Granados, por enseñarme tanto sobre el mar, por darme la oportunidad de aprender de él, por enseñarme a esforzarme y luchar por lo quiero. Sobre todo su valiosa amistad.

Mtra. Angélica, gracias por ser enseñarme tanto sobre macroalgas, corales y demás, por tanta paciencia y ser una inspiración y amiga para mí.

Biol. William Rodríguez por enseñarme tanto, porque lo aprendido de él, me hizo una mejor alumna, por ser mi amigo y maestro.

**A todos ellos mis más sinceras gracias y que Dios me los bendiga cada día.**

## **Dedicatoria**

Benjamín Orozco Martínez, este trabajo te lo dedico a ti, como muestra de agradecimiento, por tu apoyo incondicional.

Desde que te conocí, me enseñaste a ser mejor persona, cambiaste mi manera de ver al mundo, siempre tan pendiente de mí.

Te veía caminando hacia a mí, esperándome en esa malla, acompañándome cada mañana para irme a dejar a la escuela, viendo la manera de terminar mis tareas, haciendo esos circuitos, aprendí tanto de ti. Por enseñarme a nadar, por caminar en la noche en medio de árboles, a reconocer cada ruido, a no temer y ser valerosa, a no rajarme como me lo repites una y otra vez, a confiar en ti, a sensibilizarme y amar cada pequeña cosa en esta tierra, desde un yupo hasta la cosa más horripilante. Gracias por darme valor cuando no lo tenía, por acompañarme cuando estaba sola, por cubrirme de la lluvia y el frío, por estar siempre a mi lado, esperarme y seguirme en donde sea, por defenderme, por estar en mis peores días, en mis enfermedades.

Este logro también es tuyo, es para ti.

Dios y mi virgencita te bendiga cada día, porque eres de las personas que ya no hay, gracias mi güero.

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | I         |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | III       |
| RESUMEN.....  | IV        |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 Reproducción en teleósteos.....                                       | 3         |
| 2.2 Morfología de las gónadas en teleósteos.....                          | 5         |
| 2.2. 1 Ovario.....  | 5         |
| 2.2.2 Testículos.....   | 7         |
| 2.3 Gametogénesis.....  | 8         |
| 2.3.1 Ovogénesis.....   | 9         |
| 2.3.2 Espermatogénesis.....   | 10        |
| 2.4 Influencia de factores internos y externos sobre la reproducción..... | 11        |
| 2.4.1 Factores internos: sistema neuroendocrino y endocrino.....          | 11        |
| 2.4.2 Factores ambientales.....   | 11        |
| 2.4.2.1 Temperatura.....  | 11        |
| 2.4.2.2 Fotoperiodo.....  | 12        |
| 2.4.2.3 Alimentación.....   | 12        |
| 2.5 Parámetros reproductivos.....   | 13        |
| 2.5.1 Clasificación macroscópica y microscópica.....                      | 13        |
| 2.5.2 índices reproductivos: directo e indirectos.....                    | 14        |
| 2.5.2.1 Índice Gonadosomático (IGS).....                                  | 14        |
| 2.5.2.2 Índice Hepatosomático (IHS).....                                  | 14        |
| 2.5.2.3 Factor de condición (FC).....                                     | 15        |
| 2.5.3 Talla de primera madurez.....                                       | 15        |
| 2.5.4 Fecundidad.....   | 15        |
| 2.6 <i>Amphilophus trimaculatum</i> (Günther, 1867).....                  | 16        |
| <b>III. ANTECEDENTES.....</b>   | <b>18</b> |
| <b>IV. OBJETIVOS.....</b>   | <b>19</b> |
| 4.1    Objetivo general.....  | 19        |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| 4.2          | Objetivos específicos.....                            | 19        |
| <b>V.</b>    | <b>ZONA DE ESTUDIO.....</b>                           | <b>20</b> |
| 5.1          | Localización geográfica.....                          | 20        |
| 5.2          | Climatología.....                                     | 20        |
| 5.6          | Biodiversidad.....                                    | 21        |
| <b>VI.</b>   | <b>MÉTODOS.....</b>                                   | <b>22</b> |
| 6.1          | Trabajo de campo.....                                 | 22        |
| 6.1.1        | Recolecta de muestras.....                            | 22        |
| 6.2          | Trabajo de laboratorio.....                           | 22        |
| 6.2.1        | Biometría.....  | 22        |
| 6.2.2        | Proporción sexual.....                                | 24        |
| 6.2.3        | Escala de maduración empírica de Nikolsky (1963)..... | 24        |
| 6.2.4        | Índice Gonadosomático (IGS).....                      | 26        |
| 6.2.5        | Índice hepatosomático (IHS).....                      | 26        |
| 6.2.6        | Factor de condición (FC).....                         | 27        |
| <b>VII.</b>  | <b>RESULTADOS.....</b>                                | <b>28</b> |
| 7.1          | Biometría.....  | 28        |
| 7.2          | Frecuencia de talla.....                              | 29        |
| 7.2.1        | Frecuencia de tallas por sexos.....                   | 30        |
| 7.3          | Proporción sexual.....                                | 31        |
| 7.3.1        | Proporción sexual por temporadas.....                 | 32        |
| 7.4          | Estadios de madurez sexual.....                       | 33        |
| 7.5          | Época reproductiva.....                               | 36        |
| 7.5.1        | Índice gonadosomático (IGS).....                      | 36        |
| 7.5.2        | Índice hepatosomático (IHS).....                      | 37        |
| 7.5.3        | Factor de condición (FC).....                         | 39        |
| <b>VIII.</b> | <b>DISCUSIÓN.....</b>                                 | <b>40</b> |
| <b>IX.</b>   | <b>CONCLUSIONES.....</b>                              | <b>45</b> |
| <b>X.</b>    | <b>PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES.....</b>              | <b>46</b> |
| <b>XI.</b>   | <b>REFERENCIAS DOCUMENTALES.....</b>                  | <b>47</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Anatomía y localización de la gónada dentro de la cavidad abdominal en una hembra. ....   | 5  |
| Figura 2. Desarrollo ovárico del tipo a) sincrónico (Salmon, <i>Oncorhynchus kisulch</i> ), b) sincrónico por grupos (Pez espada, <i>Xiphias gladius</i> ) y c) asincrónico (Jurel, <i>Trachurus murphyi</i> ).....   | 7  |
| Figura 3. a) Testículos y gonopodios de <i>Jenynsia maculata</i> . Los testículos son órganos emparejados, cada testículo (T) emerge un espermiducto (SD) que transporta esperma al gonopodium (G). Barra de escala = 4 mm; b) Testículo del tipo tubular, <i>Lophiosilurus alexandri</i> Steindachner; c) Testículo del tipo lobular, <i>Jenynsia maculata</i> (Barros <i>et al.</i> , 2007; Martínez <i>et al.</i> , 2014)..... | 8  |
| Figura 4. Ejemplar de <i>Amphilophus trimaculatum</i> (Günther, 1867).....  | 17 |
| Figura 5. Ubicación del Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.....  | 20 |
| Figura 6. Sitios de colecta mensual de ejemplares de <i>Amphilophus trimaculatum</i> en el sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, durante el periodo enero-noviembre del 2015.....   | 23 |
| Figura 7. Biometría de <i>Amphilophus trimaculatum</i> durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....  | 28 |
| Figura 8. Frecuencia de tallas de <i>Amphilophus trimaculatum</i> durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....   | 29 |
| Figura 9. Frecuencia de tallas por sexos de <i>Amphilophus trimaculatum</i> , durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....   | 30 |
| Figura 10. Distribución de la proporción sexual de <i>Amphilophus trimaculatum</i> , durante la época de seca y lluvias, en el periodo enero-noviembre del 2015, sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas.....   | 32 |
| Figura 11. Representación porcentual para hembras de <i>Amphilophus trimaculatum</i> en los diferentes estadios de madurez.....   | 33 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 12. Estadios de madurez sexual en hembras de <i>Amphilophus trimaculatum</i> durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....                                   | 34 |
| Figura 13. Representación porcentual para machos de <i>Amphilophus trimaculatum</i> en los diferentes estadios de madurez.....  | 35 |
| Figura 14. Estadios de madurez sexual en machos de <i>Amphilophus trimaculatum</i> del periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....   | 35 |
| Figura 15. Variación mensual del índice gonadosomático en hembras (●) y machos (▲) de <i>Amphilophus trimaculatum</i> durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas..... | 36 |
| Figura 16. Variación mensual del índice hepatosomático en hembras (●) y machos (▲) de <i>Amphilophus trimaculatum</i> durante el periodo enero-noviembre del 2015 en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....  | 38 |
| Figura 17. Variación mensual del IGS, IHS y FC en hembras de <i>Amphilophus trimaculatum</i> , durante el periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....                        | 38 |
| Figura 18. Variación mensual del IGS, IHS y FC en machos de <i>Amphilophus trimaculatum</i> , durante el periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....                         | 39 |
| Figura 19. Factor de condición en hembras (●) y machos (▲) de de <i>Amphilophus trimaculatum</i> en el periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.....                           | 40 |

## ÍNDICE DE TABLA

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Estrategias reproductivas en peces teleósteos. Tomado y modificado de Saborido & Junquera (2003).....  | 4  |
| Tabla 2.- Fases de desarrollo de la ovogénesis en teleósteos propuesta por Bromage y Cumaranatunga (1988).....  | 9  |
| Tabla 3.- Fases de desarrollo de la espermatogénesis en teleósteos propuestas por Grier (1981) y Billard (1986).....  | 10 |
| Tabla 4. Escala de madurez sexual de Nikolsky (1963) modificada para <i>Amphilophus trimaculatum</i> .....  | 24 |
| Tabla 5. Datos biométricos de <i>Amphilophus trimaculatum</i> .....   | 29 |
| Tabla 6. Proporción de sexos de <i>Amphilophus trimaculatum</i> durante el periodo enero-noviembre del 2015. Se indica la diferencia significativa de la proporción 1:1 con base en $\chi^2$ . *P<0.05..... | 31 |

## RESUMEN

En la presente investigación se estudiaron los aspectos reproductivos de la mojarra prieta *Amphilophus trimaculatum*. La zona de estudio fue el sistema lagunar estuarino Chantuto- Panzacola, Chiapas, México, donde se realizaron colectas durante el periodo enero-noviembre del 2015, obteniendo un total de 494 organismos, 178 hembras (36.03%), 258 machos (52.22%) y 58 juveniles (indiferenciados) (11.74%). Se registró una proporción sexual de 1.4 machos por cada hembra ( $X^2= 14.68$ ,  $P<0.001$ ) y una distribución de frecuencia de tallas poblacional multimodal pero inclinada hacia las tallas 160-180mm  $L_P$ . De acuerdo a la estructura de tallas la mínima fue de 30-50 mm  $L_P$  y la máxima 220-240 mm  $L_P$ .

En base a la escala de madurez sexual de Nikolsky (1968) y el desarrollo gonadal de *A. trimaculatum*, se observó en hembras las siguientes frecuencias, 68 en el estadio I (inmaduro), 29 en el estadio II (madurando), 42 en el estadio III (maduro), 37 en el estadio IV (reproducción) y 2 en el estadio V (gastado). En machos se obtuvieron 104 en el estadio I, 47 en el estadio II, 49 en el estadio III, 49 en el estadio IV y 9 en el estadio V. Se observó desarrollo de ovocitos sincrónicos.

Respecto a la época reproductiva, los valores del índice gonadosomático (IGS) en hembras y machos mostraron diferencias estadísticamente significativas a lo largo del año ( $ANOVA_{\text{Hembras}}$ ,  $F= 12.5918$ ,  $P<0.05$ ;  $ANOVA_{\text{Machos}}$ ,  $F= 23.2258$ ,  $P<0.05$ ). Los valores de IGS y los estadios de madurez gonádica permitieron establecer una época reproductiva para *A. trimaculatum* durante los meses de mayo, junio, julio y agosto, que a su vez coinciden con la época de lluvia. Así como un único periodo de desove al año.

Se determinaron el índice hepatosomático (IHS) y factor de condición (FC) cómo índices indirectos de la época reproductiva y madurez gonádica. Encontrando para las hembras variaciones significativas del IHS ( $ANOVA$ ,  $F_{11,154}= 51.837$ ,  $P<0.05$ ) y FC ( $ANOVA$ ,  $F= 48.91$ ,  $P<0.05$ ) durante la época reproductiva y además una correlación negativa de ambos índices con respecto al IGS (a mayor IGS menor IHS y FC), sugiriendo un desgaste energético en hembras que presentan estadios de madurez avanzados, lo que a su vez

podría estar relacionado con el incremento en el tamaño de los ovocitos. En machos no se observó cambios en los valores del IHS (ANOVA,  $F= 0.23$ ,  $P>0.05$ ) y tampoco una correlación con el IGS. Sin embargo el FC en machos registró diferencias significativas a lo largo del año (ANOVA,  $F= 41.277$ ,  $P<0.05$ ) y una correlación positiva con el IGS durante la época reproductiva.

**Palabras clave:** época reproductiva, fecundidad, madurez sexual, índices corporales, talla de primera madurez.

# I. INTRODUCCIÓN

La familia Cichlidae es la más diversa en las aguas dulces de todo el mundo y una de las principales familias de vertebrados acuáticos con al menos 1300 especies y con estimaciones que se aproximan a 1900 especies (Kullander, 1998), lo que la convierte en una de las familias más abundantes en la región Neotropical (Nelson, 1984). En América del Norte y en el Istmo de América Central existen aproximadamente 111 especies válidas y en América del Sur 291 especies válidas (Kullander, 1998). En la ictiofauna de México ésta familia es la más importante, representada por los géneros *Amphilophus*, *Cichlasoma* y *Petenia* (Álvarez, 1950; Miller, 1966; Álvarez del Villar, 1970).

El género *Amphilophus* a su vez se encuentra representada en México por las especies *A. macracanthus*, *A. nourissati*, *A. tobertsoni* y *A. trimaculatum* (Miller & Norris, 2005). Y una de estas especies sobresale por su importancia comercial en la acuicultura y acuariofilia, *A. trimaculatum*.

*Amphilophus trimaculatum* (Günther, 1867) es un cíclido que presenta una distribución sobre la vertiente del Pacífico que va desde las costas de Guerrero en México hasta el río Lempa en El Salvador, donde habita sistemas dulceacuícolas y costeros. A lo largo de su distribución es usada como una fuente secundaria de alimento frente a las especies marinas (Martínez, 1999; Miller *et al.*, 2005) y como un recurso de importancia económica local. En base al sitio de distribución, *A. trimaculatum* es nombrada por los lugareños como mojarra prieta, charra o tahuina (Violante-González, 1995).

En Chiapas, *A. trimaculatum* puede encontrarse en ríos y sistemas lagunares, como en el Sistema lagunar-estuarino Chantuto-Panzacola ubicado dentro de la Reserva de la Biosfera la Encrucijada (REBIEN), donde es una especie relevante por su abundancia, potencial biológico, pesquero y buen sabor de su carne (Rodiles-Hernández, 2005; Gómez-González, 2012).

La mojarra prieta es una especie poco estudiada, por lo que muchos aspectos sobre su biología, ciclo de vida e importancia ecológica aún no son determinados. El conocimiento de los aspectos biológico *A. trimaculatum*, que

incluyen características de su ciclo reproductivo como la proporción sexual, estrategia reproductiva, tipo de desarrollo gonadal y la época de desove, será información crucial para entender parte de la historia de vida de la mojarra prieta. Así como para establecer periodos idóneas de captura y de veda, información útil para los programas de conservación de las especies y su aprovechamiento sostenible.

Por lo que los objetivos de esta investigación son: Determinar la proporción sexual de la población de *A. trimaculatum*, describir los estadios de madurez sexual en base a la escala de Nikolsky (1963) y estimar la época reproductiva mediante el desarrollo gonádico.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Reproducción en teleósteos

La reproducción se entiende como un proceso biológico por medio del cual se permite la creación de nuevos organismos y donde cada especie desarrolla la estrategia reproductiva que le permitirá dejar progenie, estableciendo su propia historia evolutiva (Saborido & Junquera, 2003).

Aunque la gran mayoría de los peces presenta una reproducción típica para cada especie, es posible encontrar estrategias reproductivas alternativas dentro de una población (madurez sexual a diferentes tallas, diferentes comportamientos reproductivos, cambios en la fecundidad y periodo de reproducción). Sumado a esto, los teleósteos o peces óseos presentan una gran diversidad de formas, comportamientos y hábitos, lo que ha originado que exista una gama muy amplia de estrategias reproductivas (Johannes, 1978; Wootton, 1990; Urbinati-Crisuolo, 2005; Kjesbu & Witthames, 2007).

Diversos autores han tratado de agrupar a estos peces en base a sus características morfológicas y comportamentales durante la reproducción. Balon (1981) por ejemplo propuso una clasificación donde agrupa a estos peces en base al tipo de desove, demersales/pelágicos, cuidado parental y en los transportadores (aquellos que transportan su puesta) y lo correlaciona con la supervivencia y crecimiento de la progenie. Saborido & Junquera (2003) organizan siete estrategias reproductivas basándose en cómo se reproducen, cuántas veces al año, si presentan cuidado parental, tipo y lugar de desove (**Tabla 1**).

Independientemente de la diversidad de estrategias reproductiva que los teleósteos presentan, el ciclo reproductivo de los peces incluye un ordenado desarrollo de estadios gonadales con características morfológicas específicas para cada especie (Urbinati-Crisuolo, 2005).

**Tabla 1.** Estrategias reproductivas en peces teleósteos. Tomado y modificado de Saborido & Junquera (2003).

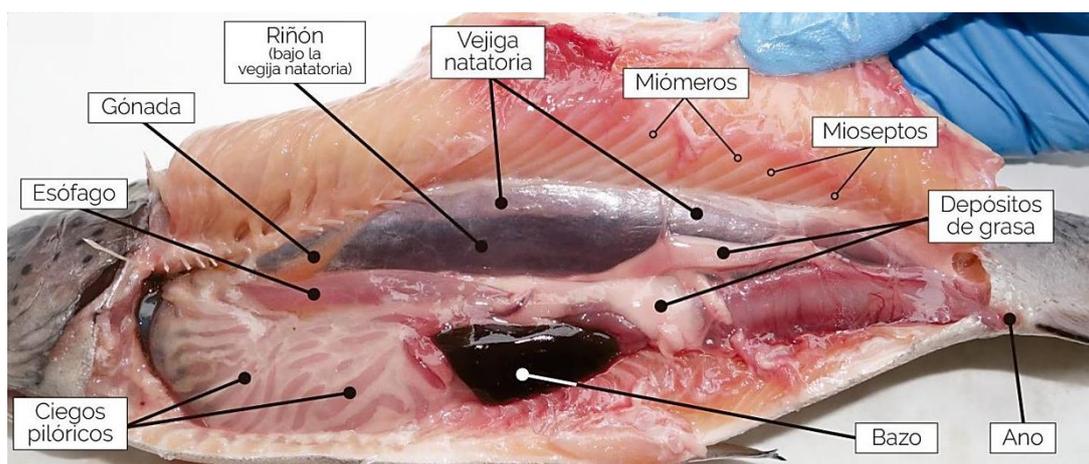
|   |   |
|---|---|
| 1. Veces que se reproducen              | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Semélparo.- Se reproduce una vez en la vida.</li> <li>b. Iteróparo.- Se reproduce más de una vez.</li> </ul>  |
| 2. Respecto al género                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Gonocorísta.- sexos separados.</li> <li>b. Hermafrodita.-presencia de dos sexos en un solo individuo <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Simultaneo</li> <li>ii. Protándrico</li> <li>iii. Protogínico</li> </ul> </li> <li>c. Partenogénesis.- desarrollo de un óvulo sin fertilización. <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Ginogénesis.- el espermatozoide cumple la función de iniciar el desarrollo en el óvulo pero no participa en la herencia para el nuevo individuo.</li> <li>ii. Hibridogénesis.-un óvulo es fertilizado por un espermatozoide de una especie afín.</li> </ul> </li> </ul> |
| 3. Modo de fertilización                | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Externa</li> <li>b. Interna</li> <li>c. Bucal</li> </ul>  |
| 4. Cópula                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Promiscuidad</li> <li>b. Poligamia <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Poligínia</li> <li>ii. Poliandria</li> </ul> </li> <li>c. Monogamia</li> </ul>   |
| 5. Características sexuales secundarias | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Monomorfismo</li> <li>b. Dimorfismo sexual <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Dimorfismo permanente</li> <li>ii. Dimorfismo temporal</li> </ul> </li> <li>c. Polimorfismo.- Más de una forma distinguible en uno o en los dos sexos.</li> </ul>  |
| 6. Lugar de freza                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. No definido</li> <li>b. Definido</li> </ul>   |
| 7. Cuidado parental                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Sin cuidado. Oviparidad sin cuidado posterior a la freza</li> <li>b. Cuidado del macho</li> <li>c. Cuidado de la hembra <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Oviparidad con cuidado posterior a la freza</li> <li>ii. Viviparismo <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Facultativo</li> <li>2) Obligado <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Lecitotrófico. Antiguo ovoviviparismo.</li> <li>b) Matrotroífico. Antiguo viviparismo.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> <li>d. Cuidado biparental</li> </ul>  |

## 2.2 Morfología de las gónadas en teleósteos

El aparato reproductor de los peces, a diferencia del resto de vertebrados, es extremadamente variable, reflejo del amplio rango de modalidades reproductivas que presentan, incluyendo el viviparismo (Saborido & Junquera (2003). Sin embargo las gónadas en los teleósteos se originan de un solo primordio germinal que evoluciona a partir del epitelio peritoneal correspondiente al córtex en los vertebrados y no existe evidencia de que el mesonefros contribuya en su formación. Esta particular organización podría influir en la diversidad de patrones sexuales de los teleósteos, principalmente entre los perciformes que prácticamente presentan todos los tipos de patrones sexuales conocidos. Las gónadas son un órgano par y alargado, y puede clasificarse en gónadas de hembras (ovarios) y gónadas de machos (testículos) (Carrillo & Rodríguez, 2001; Urbinati-Criscuolo, 2005).

### 2.2. 1 Ovario

En teleósteos el ovario se presenta como dos sacos alargados, situados a cada lado del cuerpo en la cavidad abdominal, en posición ventrolateral a la vejiga natatoria unidos a la pared celómica por el mesorquio (Castello-Orvay, 1993) (**Figura 1**).



**Figura 1.** Anatomía y localización de la gónada dentro de la cavidad abdominal en una hembra.

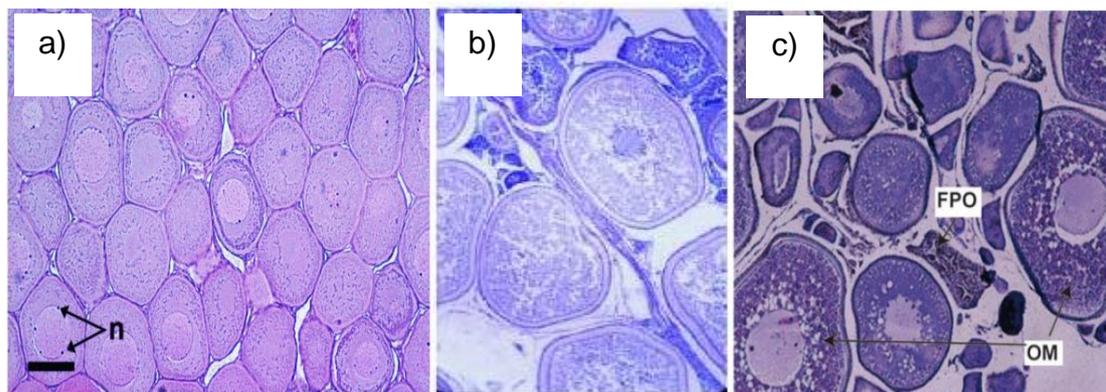
La estructura del ovario en los teleósteos depende del desarrollo de los oocitos, variando desde un simple saco con un oviducto comunicado al poro urogenital (condición cistoaria) a un órgano complejo formado por diversos folículos, comunicados con la cavidad corporal mediante conductos (condición gimnoaria o condriictina) (Urbinati-Criscuolo, 2005). El color del ovario es rosa amarillento. Existen especies en las que la ovulación se lleva a cabo en la cavidad ovárica y después los huevos son expulsados (desovados) al exterior a través de un oviducto (ej. *Caehama negra*, *Colossoma macropomum*); otras especies (ej. Trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*) ovulan los huevos hacia la cavidad abdominal a través de ductos y no poseen oviducto (Carrillo & Rodríguez, 2001).

El grado de complejidad estructural del ovario, ha dado lugar a que entre los peces se reconozcan tres tipos de desarrollo ovárico (Castello-Orvay, 1993) (**Figura 2**):

→ Sincrónico. A este grupo pertenecen las especies que presentan oocitos en el mismo estado de desarrollo. Esto ocurre en peces que desovan una sola vez en su vida (ej. el salmón, *Oncorhynchus kisulch*, *O. nerka*, *O. gorbuscha*).

→ Sincrónico por grupos. Peces con intervalos de puesta relativamente cortos, cuyos ovarios contiene de dos a tres grupos o lotes de oocitos en diferente estado de desarrollo. Cada lote alcanzará la maduración individualmente y de manera sincrónica, así cuando existan lotes maduros serán desovados, a estos peces se les conoce como desovadores parciales (ej. la lisa, *Mugil curema*; pez espada, *Xiphias gladius*; pez vela, *Istiophorus platypterus*).

→ Asincrónico. El crecimiento ovocitario se realiza a partir de pequeños cohortes de oocitos pero de manera asincrónica, lo que significa que existirán oocitos en todos los estados de desarrollo y no se encuentra organizados en lotes. En estos peces la época de desove suele ser larga con ovoposición múltiple por lo que no existe época de desove definida (ej. Sierra, *Scomberomorus sierra*; pargo alazán, *Lutjanus argentiventris*; la tilapia y el lenguado).



**Figura 2.** Desarrollo ovárico del tipo a) sincrónico (Salmon, *Oncorhynchus kisulch*), b) sincrónico por grupos (Pez espada, *Xiphias gladius*) y c) asincrónico (Jurel, *Trachurus murphy*).

### 2.2.2 Testículos

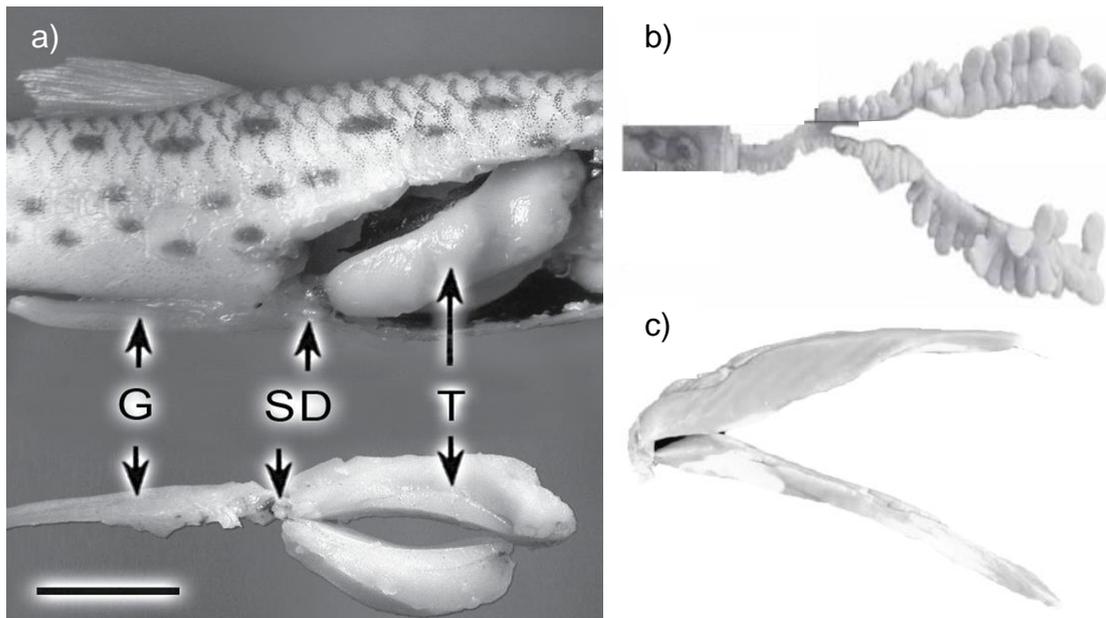
Generalmente los teleósteos presentan testículos pares de forma alargada y de superficie lisa. Se localizan en posición ventral a la columna vertebral y a la vejiga natatoria, prolongándose en dirección caudal por el canal deferente. De la superficie medio dorsal posterior de cada testículo se origina un espermiducto que desemboca en la papila urogenital (**Figura 3**). El color del testículo es blanco cremoso. Los testículos pueden presentar dependiendo de la especie múltiples formas que van desde los sacos elongados de muchos Caracidos a los tractos reproductivos digitiformes típicos de los bagres, en los que inclusive pueden llegar a presentar vesículas seminales y gonopodios (Loir *et al.*, 1989; Martínez *et al.*, 2014).

La morfología estructural de los testículos de los teleósteos varía de acuerdo con la especie, pero las dos más comunes según Grier & Uribe (2009) son:

→Estructura tubular: Para teleósteos basales, como los salmónidos y los siluros, tienen los testículos tubulares anastomosados.

→Estructura lobular: Teleósteos derivados, los testículos lobulares tienen 2 patrones de organización basados en la distribución y disposición de las espermatogonias. En la mayoría de los teleósteos se encuentra el tipo de

testículo espermatogonial no restringido, donde las espermatogonias están dispuestas a lo largo de los lóbulos. El tipo de testículo espermatogonial restringido, donde las espermatogonias están restringidas a los extremos distales de los lóbulos que se extienden desde los conductos testiculares y terminan ciegamente debajo de la periferia del testículo, es típico de los atherinomorfos.



**Figura 3.** a) Testículos y gonopodios de *Jenynsia maculata*. Los testículos son órganos emparejados, cada testículo (T) emerge un espermiducto (SD) que transporta espermia al gonopodium (G). Barra de escala = 4 mm; b) Testículo del tipo tubular, *Lophiosilurus alexandri* Steindachner; c) Testículo del tipo lobular, *Jenynsia maculata* (Barros *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2014).

### 2.3 Gametogénesis

Es el proceso mediante el cual las células germinales primordiales se diferencian en gametos, los masculinos durante la espermatogénesis (formación de espermatozoides) y los femeninos durante la ovogénesis (formación de óvulos), teniendo suceso dentro de las gónadas. En la mayoría de los peces, los sexos están separados (gonocoristas), pero incluso en los hermafroditas se puede considerar independientemente la espermatogénesis y la ovogénesis.

### 2.3.1 Ovogénesis

Ocurre en hembras y la ovogénesis es un proceso de diferenciación de las ovogonias a óvulo. La ovogénesis se entiende como un proceso cíclico, que incluye seis etapas (**Tabla 2**) (Bromage y Cumaranatunga, 1988).

**Tabla 2.-** Fases de desarrollo de la ovogénesis en teleósteos propuesta por Bromage y Cumaranatunga (1988).

| Fase                                     | Descripción  |
|--|--|
| 1.-Transformación de oogonias en oocitos | Es la transformación de las ovogonias en ovocitos primarios y se realiza durante la primera división meiótica. En la diplotene de la profase de esta primera división meiótica se detiene la meiosis iniciándose el crecimiento citoplasmático del ovocito y la formación del folículo ovárico.  |
| 2.-Crecimiento primario del ovocito      | Se caracteriza por un periodo de abundante síntesis de ARN. Aparecen los denominados cuerpos de Balbiani, formados por diferentes orgánulos citoplasmáticos (mitocondrias, retículo endoplasmático, aparato de Golgi). Durante esta etapa de crecimiento primario se desarrolla la envuelta vitelina que rodea al ovocito. Hacia el final se forma el verdadero folículo ovárico (ovocito y capas de células foliculares). |
| 3.-Estado cortico-alveolar               | Aparecen unas estructuras citoplasmáticas denominadas alveolos corticales y pueden observarse gotas lipídicas de color anaranjado, característico de los pigmentos carotenoides asociados al componente lipídico de las vitelogeninas.   |
| 4.- Vitelogénesis                        | Es el proceso estimulado por estradiol que incluye la síntesis hepática del precursor de las proteínas del vitelo, su secreción y transporte en sangre y, la incorporación del mismo al ovocito. Y es el responsable del aumento de tamaño del ovocito hasta en un 95%. La captación de vitelogenina por el ovocito se realiza por endocitosis mediada por receptor.   |
| 5.- Maduración                           | En esta etapa se produce la transformación del ovocito en un huevo preparado para ser fecundado.   |
| 6.-Ovulación                             | La ovulación hace referencia a la liberación del huevo de su cubierta folicular y expulsión del mismo a la cavidad peritoneal o al lumen del ovario.   |

### 2.3.2 Espermatogénesis

Este proceso se presenta en machos, en el seno del testículo o gónada. La espermatogénesis corresponde a la transformación de espermatidas en espermatozoides (formación del flagelo, eliminación de citoplasma y condensación de la cromatina). Diversos autores consideran que la espermatogénesis en teleósteos se desarrolla en 5 fases, en base a las características morfológicas de los tipos celulares encontrados en este proceso (**Tabla 3**) (Grier, 1981; Billard, 1986).

**Tabla 3.-** Fases de desarrollo de la espermatogénesis en teleósteos propuestas por Grier (1981) y Billard (1986).

| Fase                        | Descripción  |
|-----------------------------|--|
| 1.-Espermatogonias          | Son células germinales esféricas o ligeramente irregulares con núcleos basófilos redondos y abundante citoplasma. Mantiene la densidad celular mediante divisiones mitóticas o inician la meiosis y se rodean de células de Sertoli, constituyendo los quistes tempranos, transformándose en espermatoцитos primarios. |
| 2.-Espermatoцитo primario   | Se encuentran en la primera fase de la meiosis, son células germinales esféricas de mayor diámetro. Al término de la primera división de la meiosis, se dividen y forman espermatoцитos secundarios.   |
| 3.-Espermatoцитo secundario | Son células esféricas y escasas, con núcleos. Entran a la segunda fase de la meiosis y al término de la segunda división, forman espermatidas.   |
| 4.-Espermatidas             | Son esféricas, con núcleos esféricos y densamente basófilos. Son células haploides. Con ellas comienza la espermiogénesis mediante transformaciones morfológicas que forman a los espermatozoides, desarrollando la pieza intermedia y el flagelo.   |
| 5.-Espermatozoides          | Son células constituidas por la cabeza, con núcleo haploide densamente empaquetado, la parte intermedia contiene mitocondrias y el flagelo es largo.   |

## **2.4 Influencia de factores internos y externos sobre la reproducción**

### **2.4.1 Factores internos: sistema neuroendocrino y endocrino**

La reproducción es un evento condicionado a diversos factores, enmarcado por las condiciones fisiológicas, endocrinas y ambientales del pez (Levavi-Sivan, 2011). Por lo que la regulación de los procesos de ovogénesis y espermatogénesis se logra mediante los sistemas neuroendocrinos y endocrinos del pez (Kah y Dufour, 2011; Yaron 2011). El sistema neuroendocrino se encarga de las hormonas que son liberadas por acción de las neuronas del sistema nervioso, mientras que las endocrinas se refieren a los tejidos y sus productos hormonales que no forman parte del sistema nervioso (Adkins-Regan, 2005). Ambos sistemas ejercen control fisiológico sobre los procesos reproductivos del pez, de tal manera que el momento y la intensidad de la reproducción sean adaptativos dadas las condiciones que el pez está experimentando.

### **2.4.2 Factores ambientales**

Los principales factores ambientales que influyen principalmente en la actividad reproductiva son la temperatura y fotoperiodo, ejerciendo cierta presión de selección para que la actividad reproductiva se lleve a cabo en un periodo determinado de tiempo (Wootton, 2014). Estos factores suelen presentar gran variación de acuerdo con las especies. La disponibilidad de alimento juega un papel esencial ya que ésta condiciona de forma directa y en gran parte la supervivencia de las especies (Carrillo & Rodríguez, 2001).

#### **2.4.2.1 Temperatura**

Tanto el fotoperiodo como la temperatura dependen de la entrada de energía del sol. Pero a diferencia del fotoperiodo, la temperatura puede actuar tanto como una señal de tiempo y como un factor de modulación. Esto debido a que los teleosteos son ectotérmicos, por lo que su temperatura corporal es cercana a la temperatura ambiental externa (Wootton, 2014). Esto permite que la temperatura tenga efectos directos sobre las tasas metabólicas y, en consecuencia, puede modular la velocidad a la que pueden ocurrir todos los

procesos fisiológicos, incluidos los relacionados con la reproducción (Wang *et al.*, 2010).

#### **2.4.2.2 Fotoperiodo**

Se entiende como el tiempo de exposición de luz, en el transcurso del día. El fotoperíodo intervine de forma muy importante en la gametogénesis. La acción del fotoperíodo se ejerce por medio de los órganos fotorreceptores (ojo-hipófisis y a través del sistema nervioso, el eje hipotálamo-hipofisario). Paralelamente a este efecto del fotoperíodo, el reconocimiento visual de un determinado sustrato (área de desove) es capaz de desencadenar la ovulación (Borg, 2010).

#### **2.4.2.3 Alimentación**

Un factor ambiental modificador crucial para las especies de teleósteos es la disponibilidad de comida adecuada en los momentos apropiados durante el ciclo reproductivo. La reproducción requiere un alto gasto de recursos debido a los desembolsos en huevo, producción de esperma y las actividades de comportamiento asociadas con la reproducción (Wootton, 2014). En los teleósteos femeninos, la fecundidad está altamente correlacionada con el tamaño corporal, por lo que los niveles altos de comida conducen indirectamente a través de su efecto sobre el crecimiento a las altas fecundidades. Cualquier efecto de la disponibilidad de alimentos que esté mediado a través del eje CPG (Cerebro-pituitaria-gónada) depende de los detalles de la biología reproductiva de la especie (Houston *et al.*, 2006).

Una característica de algunas especies de teleósteos es que hay un cese o reducción de la alimentación en el período previo a la temporada de desove o durante la misma. Una consecuencia de esta reducción en la ingesta de alimentos es que los gastos en las etapas posteriores de la gametogénesis y las actividades conductuales asociadas con la reproducción deben cumplirse a partir de las reservas acumuladas cuando los peces se alimentaron activamente. En otras especies de teleósteos, la alimentación continúa activa a lo largo del ciclo reproductivo y los gastos de reproducción se pueden cumplir con esta actividad de alimentación (Houston *et al.*, 2006).

## 2.5 Parámetros reproductivos

### 2.5.1 Clasificación macroscópica y microscópica

Las gónadas de los peces sufren cambios en el color, tamaño y forma conforme se desarrollan, maduran y posterior al desove (Nagahama, 1983; Bone *et al.*, 1995). Por lo que para entender estos cambios son necesarias las escalas empíricas de maduración gonádica las cuales se establecen en base a los cambios en las características morfológicas de las gónadas (macroscópicas) o a través de cortes histológicos de los productos sexuales (microscópicas), que reflejan el crecimiento y grado de madurez de las gónadas en la cavidad celómica. Sin embargo, es evidente que estas escalas pueden sufrir ciertas variaciones con respecto a la especie e incluso a nivel de poblaciones (Rodríguez- Gutiérrez, 1992). En el caso de teleósteos, Nikolsky (1963) desarrolló una escala de madurez que ha sido ampliamente usado en cíclidos y otras especies, que consta de 6 estadios de madurez gonádica: inmaduros (juvenil), descanso, maduración, maduros, en reproducción y desovados (**Tabla 4**).

El método macroscópico es el más sencillo, barato y rápido de emplear para determinar el estadio de madurez sexual de un pez, pero puede llegar a ser subjetivo, y afectar en la precisión, esto debido a que la maduración es un proceso continuo, por lo que su división en estados discretos de desarrollo y de transición son difíciles de establecer (Saborido & Junquera, 2003). Esto impide que los resultados del método macroscópicos sean usados como los únicos datos indicadores de madurez gonádica, sin embargo pueden ir acompañados de análisis microscópicas o índices de madurez gonádica (ej. índice gonadosomático) que den soporte a la investigación (Rodríguez- Gutiérrez, 1992; Bone *et al.*, 1995).

El método microscópico se basa en el análisis de cortes histológicos de gónadas, y produce información precisa del estado de desarrollo de los ovocitos, aunque la interpretación es a menudo confusa debido a las diferencias terminológicas entre los autores (Saborido & Junquera, 2003). Dada la naturaleza progresiva del desarrollo de los ovocitos, se tiene que determinar un criterio para hacer una clasificación en los estadios de madurez, generando

cierta subjetividad al momento de establecerlos (Rodríguez- Gutiérrez, 1992). Es por ello que el análisis microscópico también debe respaldarse con la determinación de los índices de madurez gonádica (Bone *et al.*, 1995).

## **2.5.2 índices reproductivos: directo e indirectos**

### **2.5.2.1 Índice Gonadosomático (IGS)**

Es un índice indirecto, también llamado coeficiente de madurez. Se determina a través de la expresión porcentual que se obtiene del peso de la gónada sobre el peso del pez eviscerado (De Vlaming *et al.* 1982). En la mayoría de especies con puesta estacional este índice cambia muy notoriamente en las sucesivas etapas del desarrollo gonadal. En cambio en peces sin estacionalidad en la puesta este índice apenas varía a nivel poblacional (Saborido & Junquera, 2003). Los índices gonadales pueden ser una herramienta útil para la identificación del periodo reproductivo y momento de la puesta (Bone *et al.*, 1995).

### **2.5.2.2 Índice Hepatosomático (IHS)**

Es un índice indirecto que permite cuantificar los cambios cíclicos en el peso del hígado, asociados a la acumulación de lípidos y a la síntesis de vitelogenina, precursora del vitelo almacenado en los ovocitos durante la vitelogénesis (Heidinger & Crawford, 1977). Se obtiene de la relación del peso del hígado entre el peso del pez eviscerado, expresado en porcentaje (Bohemen *et al.*, 1981). Se utiliza con frecuencia como indicador del nivel de reservas del organismo y presenta una tendencia contraria a la de IGS, pero no en todas las especies, por eso sirve como índice indirecto del estado de madurez sexual (Kime, 1998; Saborido & Junquera, 2003).

### **2.5.2.3 Factor de condición (FC)**

El factor de condición es un índice indirecto que nos permite establecer el estado fisiológico de un pez, y entre mayor sea el FC representa bienestar o robustez en el organismos (Da Costa & Gerson, 2003). En algunas especies

puede existir o no una relación del FC con el IGS. Se determina de la relación del peso total entre la longitud total del pez.

### **2.5.3 Talla de primera madurez**

La talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) se define como la longitud en la que el 50% de los organismos de la población se encuentran sexualmente maduros (Sparre & Venema, 1997). La  $L_{50}$  puede variar ya sea espacial o temporalmente (Duponchelle & Panfili, 1998), entre especies debido principalmente a su historia biológica y el nicho evolutivo que ocupen (estrategia reproductiva) y dentro de una misma especie puede deberse a diversos factores como cambios en el medio ambiente (una mayor temperatura), disponibilidad de alimento e incremento en la tasa de mortalidad (Ramos, 1995; Duponchelle & Panfili, 1998).

### **2.5.4 Fecundidad**

La fecundidad es la capacidad reproductiva de un organismo. Está basada en la tasa de producción de huevos en especies ovíparas y el número de embriones en los úteros de especies vivíparas (Franco, 1992). Se emplea para calcular el potencial reproductor de una población y la supervivencia desde el huevo hasta el reclutamiento, haciendo falta en ambos casos juzgar la población adulta mínima necesaria para mantener el reclutamiento. Existen distintos tipos de fecundidad, tales como fecundidad en la vida, potencial, real, y parcial (Cabrera y Mora, 1992):

- La fecundidad en la vida. Es el número de huevos que una hembra logra poner a lo largo de todas las estaciones reproductivas de su vida.
- La fecundidad potencial. Es el número de huevos que en una estación determinada están preparados para desarrollarse y ser liberados.
- La fecundidad real. Es el número real de huevos que son liberados en una estación reproductiva ya que una parte de los que constituyen la fecundidad potencial (a veces muchos) no llegan a ser puestos y se

quedan en el ovario para ser después reabsorbidos, por tanto, la fecundidad real es igual o inferior a la potencial.

- Fecundidad parcial: Existen especies que liberan los huevos en tandas o “batches”, por lo que la fecundidad parcial es el número de huevos producidos en cada tanda. Así la suma de las fecundidades parciales es la fecundidad real.

## **2.6 *Amphilophus trimaculatum* (Günther, 1867)**

La mojarra prieta o *A. trimaculatum* es un pez dulce acuícola secundario, bentopelágico, que habita en ambientes con amplio rango de temperatura (21° a 35°C) (**Figura 4**). Con un rango de distribución sobre la vertiente del Pacífico, que va desde la Laguna de Coyuca en el estado de Guerrero, México hasta el río Lempa, en El Salvador (Miller *et al.*, 2009). La mojarra prieta puede ser encontrada en las partes bajas de los ríos y lagunas costeras, específicamente en cuerpos de agua donde existe abundante materia orgánica y/o arena (Kullander, 2003; Miller *et al.*, 2005).

Estos peces son organismos de alimentación tipo omnívora con tendencia a carnívora, ya que se alimenta de peces pequeños, algunas especies de crustáceos e insectos (Violante-González, 1995; Kullander, 2003; Miller *et al.*, 2005). Presenta el cuerpo relativamente profundo, suavemente comprimido, la cabeza es alargada. La descripción dicotómica de *A. trimaculatum* incluye una fórmula dorsal de XVI-XVIII espinas, generalmente XVII; fórmula anal VII espinas; y con una mancha oscura grande en la nuca sobre el origen de la línea lateral, otra en la mitad del cuerpo cerca de la extremidad de la aleta pectoral y un punto redondo en la mitad superior del pedúnculo caudal, en base a este patrón de manchas es que se le asignó su epíteto específico (**Figura 4**). Puede presentar o no barras verticales y una serie de manchas laterales (Miller *et al.*, 2005). En base a Kullander (2003), puede alcanzar 365 mm de longitud estándar en machos y 250 mm de longitud total en hembras. Su coloración varía de negra a verdusca amarillenta, presentan 3 manchas oscuras muy características en cada uno de los costados, una sobre el origen de la línea

lateral, la otra a la mitad del costado y la ultima en la base de la aleta caudal.  
Sus ojos presentan una coloración naranja.



**Figura 4.** Ejemplar de *Amphilophus trimaculatum* (Günther, 1867).

### III. ANTECEDENTES

De acuerdo a Miller *et al.* (2005), en México se distribuyen 12 géneros de la familia Cichlidae (dos son introducidos: *Oreochromis* y *Tilapia*), con 53 especies, de las cuales ocho se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo a la revisión de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Chiapas es uno de los estados con mayor riqueza de peces y cuenta con tres especies del género *Amphilophus*: *A. nourissati* (Allgayer, 1989), *A. trimaculatum* (Günther, 1867) y *A. macracantus* (Günther, 1867) (Miller, 1966; Nelson, 2004; Rodiles-Hernández, 2005).

Yáñez-Arancibia (1978), realizó un estudio de la ictiofauna de las lagunas costeras del estado de Guerrero, México, en el cual señala la tendencia alimenticia del cíclido *A. trimaculatum*, catalogándola como un consumidor primario de tipo omnívoro.

Violante-González (1995), analizó algunos aspectos de la biología de *A. trimaculatum* incluyendo estudios sobre su dieta, crecimiento y reproducción, en la Laguna de Tres Palos, Guerrero. Describió que se alimenta de peces, vegetales y larvas de insectos acuáticos y que su principal parásito es un nematodo (*Contracecum sp.*). Reportó que estos organismos presentan un crecimiento de tipo alométrico, donde las hembras maduran a una longitud total de 140 mm y los machos a los 149.2 mm. La época de desove se estableció entre junio y septiembre, meses que abarcan la época de lluvias. Determinó que el desove ocurre sobre sustrato. Respecto a la estrategia reproductiva, determinó que es una especie monógama con cuidado parental.

Ortiz Cruz (2011), realizó un estudio con poblaciones de *A. trimaculatum* en la subcuenca del río Atoyac, Oaxaca. Determinó aspectos del crecimiento, madurez gonadal y época reproductiva. Estableció que *A. trimaculatum* puede llegar a alcanzar una longitud estándar máxima de 245 mm, con un crecimiento alométrico positivo. Reportó cinco estadios de madurez gonádica y estableció el periodo de reproducción en el mes de enero, que coincide con la época de estiaje. Además determinó la talla de primera madurez sexual, donde las hembras maduraron a una talla inferior a la de los machos.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar aspectos reproductivos de *Amphilophus trimaculatum* (Günther, 1867) en el Sistema Lagunar Estuarino Chantuto- Panzacola, Chiapas.

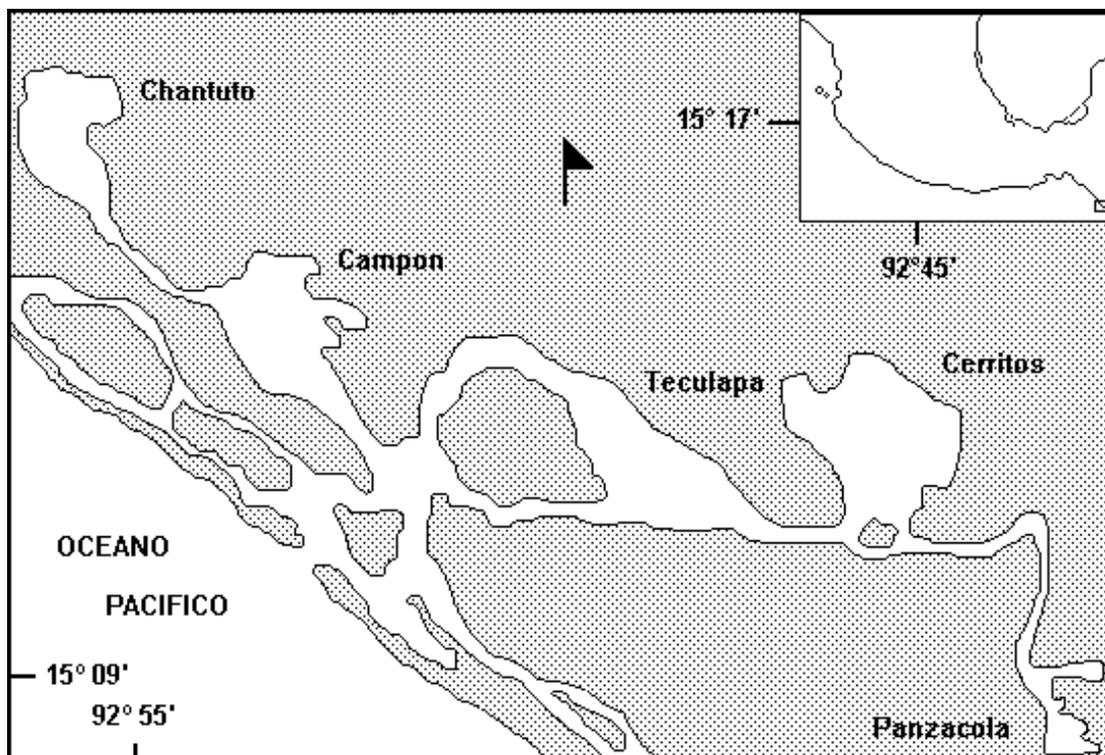
### **4.2 Objetivos específicos**

- I. Determinar la proporción sexual de la población de *A. trimaculatum*.
- II. Describir los estadios de madurez gonadal mediante observaciones macroscópicas y la tabla de madurez sexual de Nikolsky (1963).
- III. Estimar el la época reproductiva de *A. trimaculatum* a través del índice gonadosomático.

## V. ZONA DE ESTUDIO

### 5.1 Localización geográfica

El Sistema Lagunar-Estuarino Chantuto-Panzacola se localiza en el Pacífico mexicano, en la costa sur de Chiapas, entre los 92°45' N y los 15°17' W (**Figura 5**). El sistema tiene una extensión de 31.6 Km<sup>2</sup> y está conformado por cinco lagunas principales: Chantuto, Campon, Teculapa, Cerritos y Panzacola. Se conecta con el mar a través de la Boca San Juan y recibe la descarga de varios ríos de pequeño caudal denominados: San Nicolás, Cacaluta, Cuilapa, Doña María y Cintalapa (Díaz-Ruiz *et al.*, 2004).



**Figura 5.** Ubicación del Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas, México.

### 5.2 Clima

De acuerdo con la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua en el estado de Chiapas, la precipitación pluvial en el área de estudio presenta un ciclo anual bien definido, presentando variaciones desde 0 hasta

110 mm, con un promedio de 9.76 mm diarios. Los valores máximos de precipitación determinan dos periodos bien definidos; el periodo de lluvias que comprende los meses de mayo a octubre y el periodo de estiaje que comprende los meses de noviembre a abril. La temperatura ambiente presenta una variación de 27 a 36 °C, siendo el mes de enero el periodo donde se registraron los valores mínimos de temperatura y el mes de abril el periodo más cálido (García-Nagaya & Castañeda-López, 1992 & Díaz-Ruiz *et al.*, 2004).

### **5.3 Biodiversidad**

Las especies dominantes de peces en la comunidad son: *Gobionellus microdon*, *Gobiomorus maculatus*, *Amphilophus macracanthum*, *Lile gracilis*, *A. trimaculatum*, *Centropomus robalito*, *Achirus mazatlanus*, *Cathorops fuerthi* y *Caranx hippos*, las cuales representan el 71% de la abundancia numérica, el 76.4% de la captura total en peso y presentan las frecuencias más altas del sistema. Este sistema presenta la comunidad más extensa de manglares del estado de Chiapas. Además, está catalogada como la más importante de la Costa del Pacífico Americano, debido a su extensión, estructura y productividad (Contreras-Espinosa, 1994; García Nagaya & Castañeda-López 1994 & Díaz-Ruiz *et al.*, 2004; Gómez-González, 2012).

## **VI. METODOS**

### **6.1 Trabajo de campo**

Los ejemplares de *A. trimaculatum* fueron capturados en el sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola (**Figura 6**), se establecieron cinco sitios de muestreo, donde se realizaron colectas mensuales durante el periodo enero-noviembre del 2015, permitiendo abarcar el periodo de lluvias y secas.

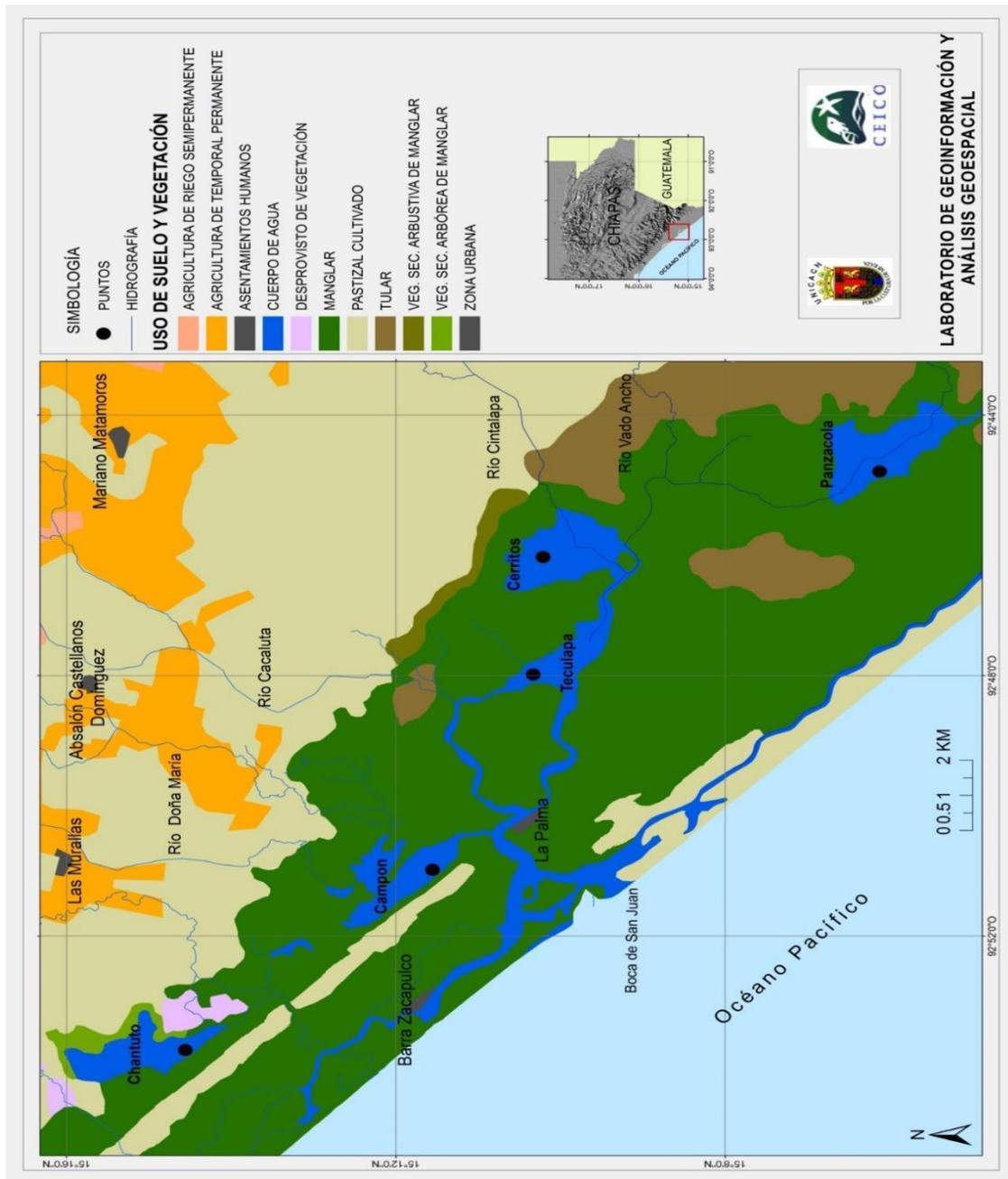
#### **6.1.1 Recolecta de muestras**

Para la recolección de especímenes de *A. trimaculatum*, se utilizó como arte de pesca artesanal la atarraya (5m de diámetro con una luz de malla de ½ pulgada) común en zonas costeras. Los organismos capturados fueron fijados inmediatamente en formol al 4%, registrando y etiquetando el área de captura y el número de ejemplar, posteriormente fueron transportados para su análisis al laboratorio de docencia C, del Centro de Investigaciones Costeras (CEICO), de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH).

### **6.2 Trabajo de laboratorio**

#### **6.2.1 Biometría**

Los organismos fueron conservados en etanol al 70% e identificados taxonómicamente en base a sus claves dicotómicas y características merísticas siguiendo la guía de Kullander (2003) y Miller *et al.* (2005). Posteriormente con la ayuda de un íctiometro se registró longitud patrón o estándar ( $L_P \pm 0.1$  cm, medida de la punta de la mandíbula a la base de la aleta caudal) y longitud total ( $L_T \pm 0.1$  cm, medida de la punta de la mandíbula al extremo posterior de la aleta caudal). El peso total ( $P_T$ ) de cada individuo se registró con una balanza digital (OHAUS) de precisión 0.01 gr. Posteriormente se realizó la disección de los peces, y se registró el peso del organismo eviscerado ( $P_E \pm 0.1$  gr), peso de la gónada ( $P_G \pm 0.1$  gr) y el peso del hígado ( $P_H \pm 0.1$  gr).



**Figura 6.** Sitios de colecta mensual de ejemplares de *Amphilophus trimaculatum* en el sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, durante el periodo enero-noviembre del 2015.

### 6.2.2 Proporción sexual

Se observaron las papilas urogenitales y la coloración de las gónadas de cada organismo para determinar el sexo; los machos presentan una papila genital con un solo poro (urogenital) y las hembras con dos poros (oviducto y uretra). Las gónadas los machos presentan testículos lobulares blanquecinos que están integrados por lóbulos separados por tejido conjuntivo; las hembras presentan ovarios amarillo-rosáceos, alargados y unidos a la pared dorsal del celoma por el mesovario.

La proporción de sexos mensual se calculó considerando distintas clases de talla. Se utilizó el estadístico de prueba ji cuadrada ( $X^2$ ) (Zar, 2010) para probar estadísticamente las diferencias en proporción de sexos teórica 1:1, bajo la siguiente ecuación:

$$x_c^2 = \frac{(|f_1 \cdot f_2 - 1|)^2}{n}$$

Donde:

$f_1$ = Proporción observada de hembras

$f_2$ = Proporción observada de machos

$n$ = Numero de la muestra

El cálculo del número de clases de talla ( $K$ ) se realizó con base en el método propuesto por Dixon & Kronmal (1965), en el que  $K=10 \text{ Log } (n)$ , al contar con una  $n>50$  organismos.

### 6.2.3 Escala de maduración empírica de Nikolsky (1963)

El grado de madurez gonadal se estableció siguiendo la escala de Madurez sexual de Nikolsky (1963) (**Tabla 4**). Para determinar el estadio de desarrollo de las gónadas, registraron y analizaron las características morfológicas externas de las gónadas (tamaño, coloración, forma, peso). También se

realizaron cortes del tejido gonadal y se observaron empleando el Microscopio ergonómico Binocular c/Óptica Plana con Cámara Digital Incorporada BA310 Digital. Se observaron los tejidos gonádicos de cada ejemplar a 4X/0.10, 10X/0.25 y 40X/0.65. Las fotografías se obtuvieron con el software TS View.

**Tabla 4.** Escala de madurez sexual de Nikolsky (1963) modificada para *Amphilophus trimaculatum*.

|             |  |
|-------------|--|
| Estadio I   | <p><b>Individuos vírgenes o Inmaduros.</b> Comúnmente su coloración es pálida, en machos es largada y delgada, en el caso de las hembras es delgada. No se observan ovocitos a simple vista. Los gametos aún no han empezado su desarrollo; las gónadas están a lo largo de la cavidad celómica, pero tienen tamaño pequeño. Los óvulos no se distinguen a simple vista.</p> |
| Estadio II  | <p><b>Madurando.</b> Los óvulos son visibles a simple vista. Los testículos cambian de transparentes a color palo de rosa. Las gónadas incrementan su peso rápidamente.</p>  |
| Estadio III | <p><b>Maduro.</b> Los gametos están maduros. Las gónadas han alcanzado su peso máximo, pero los gametos no son expulsados aún a una suave presión del abdomen, pero se pueden observar a simple vista pequeños ovocitos asincrónicos.</p>  |
| Estadio IV  | <p><b>Reproducción.</b> Los gametos salen a ligera presión y el peso de la gónada decrece rápidamente, por el inicio del proceso de desove. Los ovocitos se pueden ver a simple vista, presenta color amarillento</p>  |
| Estadio V   | <p><b>Gastado.</b> Los gametos ya fueron expulsados. La gónada parece un saco vacío; las gónadas en ambos sexos son largas. Generalmente permanecen pocos óvulos en las hembras (de acuerdo al tipo de desarrollo del ovario) o poco esperma en los machos.</p>  |

#### 6.2.4 Índice Gonadosomático (IGS)

Este índice se basa en una relación directa entre el peso de la gónada respecto al peso total del organismo, la cual explica el estadio de desarrollo gonádico y maduración de cada organismo. La ecuación se describe a continuación Rossenblum *et al.*, (1978):

$$\text{IGS} = (P_G/P_T) * 100$$

Donde:

IGS= Índice gonadosomático

P<sub>G</sub>= Peso de la gónada

P<sub>T</sub>= Peso del ejemplar

#### 6.2.5 Índice hepatosomático (IHS)

Es la relación que existe entre el peso del hígado y el peso del ejemplar. Esta relación es específica para hembras, ya que el hígado segrega vitelogenina durante la vitelogénesis exógena que va a ser captada por el óvulo en desarrollo; El valor de IHS se compara con los del IGS y con ello se determina si la hembra está en etapa reproductiva. La fórmula es la siguiente (Rodríguez-Gutiérrez, 1992):

$$\text{IHS} = (P_H/P_T) * 100$$

Donde:

IHS= Índice Hepatosomático

P<sub>H</sub>= Peso del hígado

P<sub>T</sub>= Peso del ejemplar

### 6.2.6 Factor de condición (FC)

Para determinar la posible relación de las reservas energéticas empleadas en el proceso reproductor, se determinó el factor de condición (FC) o índice de Fulton (IF), el cual explica fundamentalmente el grado de bienestar que tienen los especímenes en relación con el cambio de corpulencia, relacionada directamente con su crecimiento y madurez sexual. El FC se obtuvo bajo la siguiente ecuación (Rodríguez-Gutiérrez, 1992):

$$FC = (P_E / L_P^3) * 100$$

Donde:

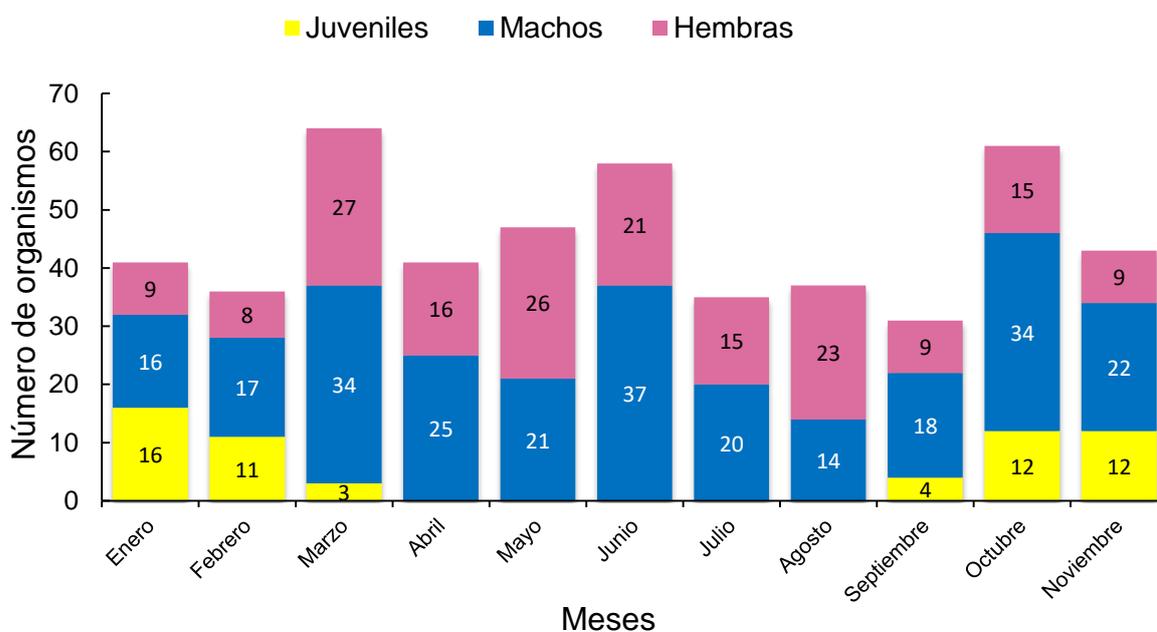
$P_E$ : es el peso del organismo eviscerado

$L_P^3$ : es la longitud total (cm) del organismo elevado al cubo

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Biometrías

De los muestreos realizados durante el periodo enero-noviembre 2015 en el sistema Lagunar-estuarino Chantuto-Panzaola, se obtuvieron un total de 494 organismos, 178 hembras (36%), 258 machos (52%) y 58 indiferenciados (12%) (**Figura 7**). El mayor número de individuos se obtuvo en el mes de marzo con 64 ejemplares (13%) y un menor número en el mes de septiembre con 31 ejemplares (6%). En cuanto a sus características biométricas se obtuvieron organismos representativos en un amplio intervalo de talla y peso (**Tabla 5**).



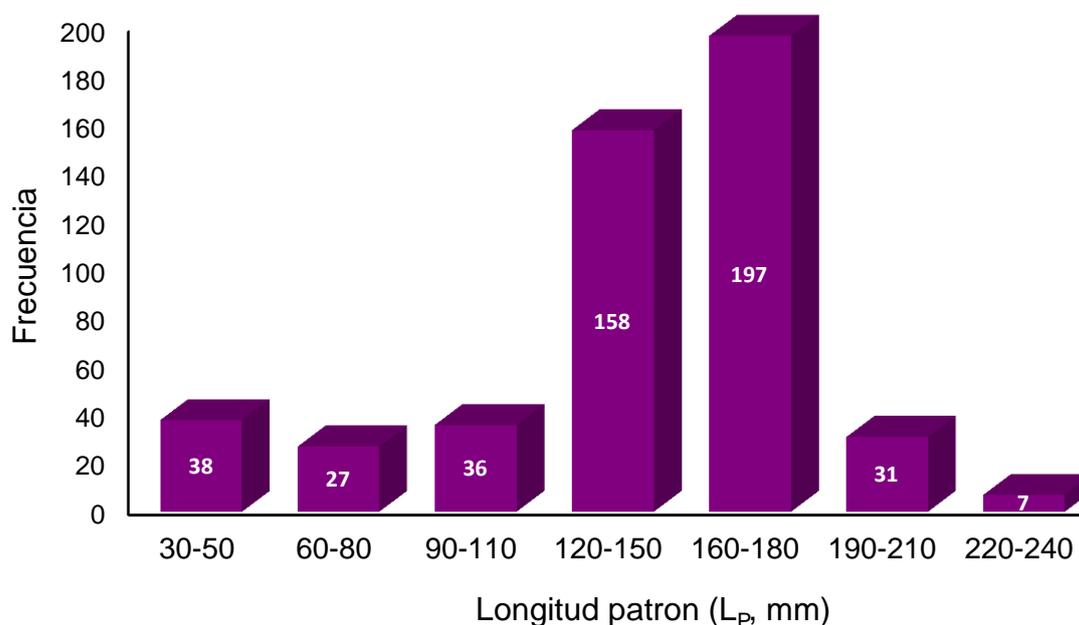
**Figura 7.** Biometría de *Amphilophus trimaculatum* durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

**Tabla 5.** Datos biométricos de *Amphilophus trimaculatum*.

| Característica                | Valor mínimo | Valor máximo |
|-------------------------------|--------------|--------------|
| Longitud total ( $L_T$ , mm)  | 42.6         | 246.2        |
| Longitud patrón ( $L_P$ , mm) | 38.3         | 235.1        |
| Peso total ( $P_T$ , gr)      | 2.47         | 598.91       |
| Peso eviscerado ( $P_E$ , gr) | 1.95         | 461.27       |

## 7.2 Frecuencia de talla

La distribución de frecuencia de tallas fue multimodal pero inclinada hacia las tallas de 160-180 mm  $L_P$ . De acuerdo a la estructura de tallas de *A. trimaculatum* en el periodo enero-noviembre la talla mínima fue de 38.3 mm dentro del rango 30-50 mm  $L_P$  y la máxima de 235.1 mm dentro del rango 220-240 mm  $L_P$  (**Figura 8**).

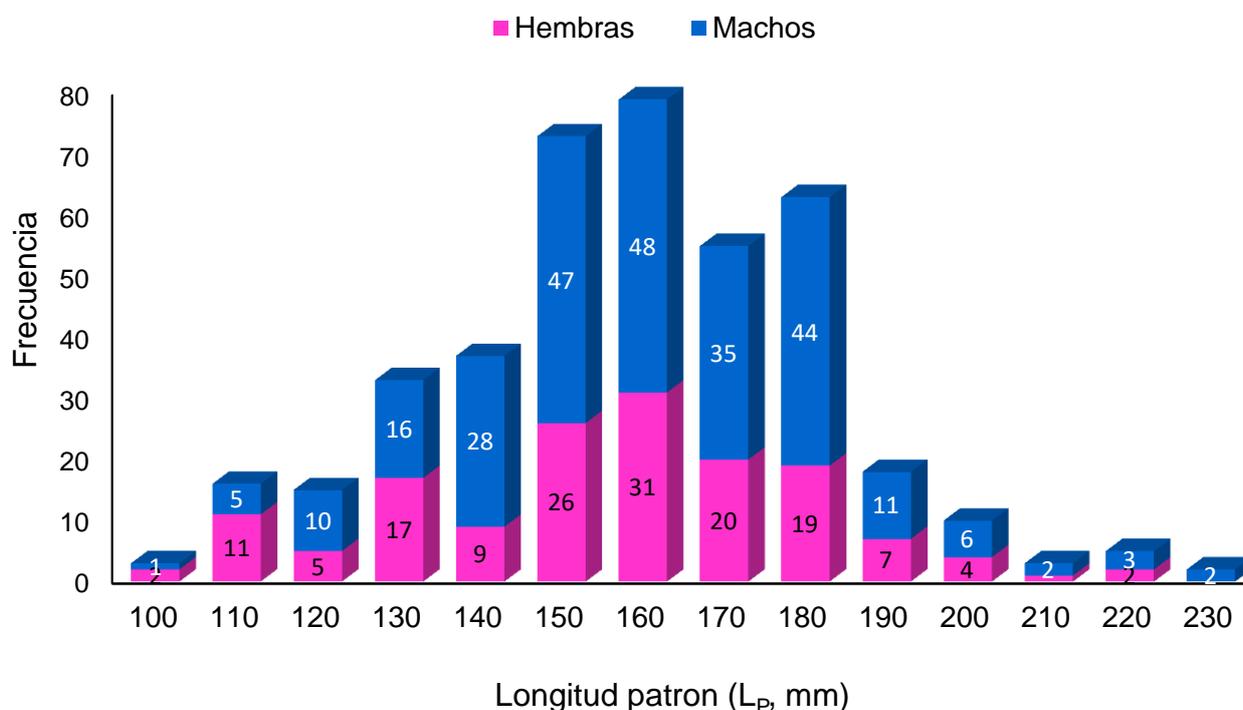


**Figura 8.** Frecuencia de tallas de *Amphilophus trimaculatum* durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

### 7.2.1 Frecuencia de tallas por sexos

En la frecuencia de tallas por sexos, se obtuvieron rangos que oscilaron entre 100 a 230 mm  $L_P$ . Las tallas que se registraron con más frecuencia en ambos sexos fueron de 150 a 180 mm  $L_P$ .

La talla mínima y máxima registrada para hembras fue de 97 y 221 mm  $L_P$  con una talla modal de 160 mm  $L_P$  y para machos de 109 y 238 mm  $L_P$  con una talla modal de 162 mm  $L_P$  respectivamente. El 70.4% de las capturas está representado por organismos mayores a 150 mm  $L_P$ . Dentro del rango de talla de 230 mm  $L_P$  sólo se registraron machos (**Figura 9**).



**Figura 9.** Frecuencia de tallas por sexos de *Amphilophus trimaculatum*, durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

### 7.3 Proporción sexual

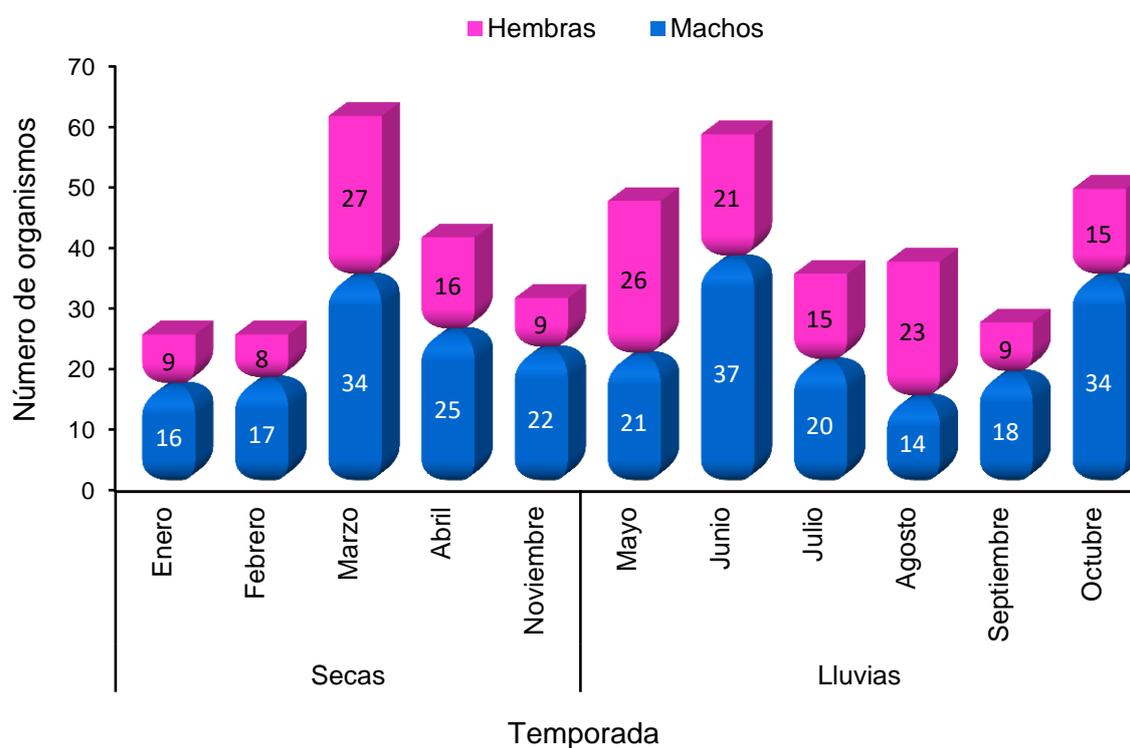
En este estudio se registraron 258 machos y 178 hembras durante enero-noviembre del 2015. La proporción mensual encontrada durante el ciclo de estudio muestra que predominan los machos de forma significativa en los meses de octubre (34M: 15H,  $\chi^2= 7.37$ ,  $P=0.013$ ) y noviembre (22M: 9H,  $\chi^2= 5.45$ ,  $P<0.039$ ) (**Tabla 6**). La proporción total durante el ciclo anual fue de 1.4 M:1H.

**Tabla 6.** Proporción de sexos de *Amphilophus trimaculatum* durante el periodo enero-noviembre del 2015. Se indica la diferencia significativa de la proporción 1:1 con base en  $\chi^2$ . \* $P<0.05$ .

| Año  | Mes de muestreo | Número de organismos colectados | Proporción |            |            |             |       |
|------|-----------------|---------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------|
|      |                 |                                 | Machos     | Hembras    | M:H        | $\chi^2$    | P     |
| 2015 | Enero           | 41                              | 16         | 9          | 1.78       | 1.96        | 0.32  |
|      | Febrero         | 36                              | 17         | 8          | 2.13       | 3.24        | 0.4   |
|      | Marzo           | 64                              | 34         | 27         | 1.26       | 0.80        | 0.74  |
|      | Abril           | 41                              | 25         | 16         | 1.56       | 1.97        | 0.32  |
|      | Mayo            | 47                              | 21         | 26         | 0.81       | 0.53        | 0.93  |
|      | Junio           | 58                              | 37         | 21         | 1.76       | 4.41        | 0.07  |
|      | Julio           | 35                              | 20         | 15         | 1.33       | 0.71        | 0.80  |
|      | Agosto          | 37                              | 14         | 23         | 0.61       | 2.18        | 0.28  |
|      | Septiembre      | 31                              | 18         | 9          | 2.00       | 1           | 0.17  |
|      | Octubre         | 61                              | 34         | 15         | 2.27       | 7.36        | 0.01* |
|      | Noviembre       | 43                              | 22         | 9          | 2.44       | 5.45        | 0.04* |
|      | <b>Total</b>    |                                 | <b>494</b> | <b>258</b> | <b>178</b> | <b>1.45</b> |       |

### 7.3.1 Proporción sexual por temporadas

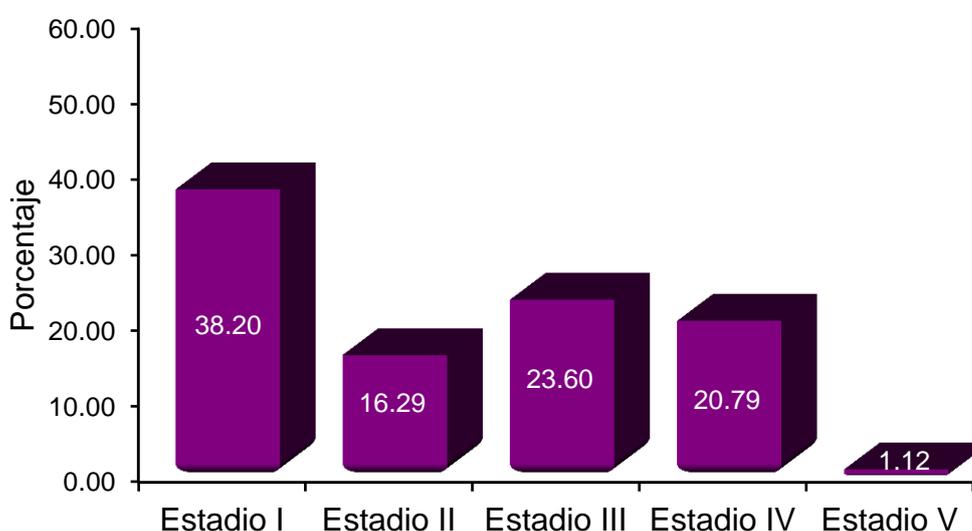
La proporción sexual en época de secas mostró la presencia de un mayor número de machos (114, 62.30%) respecto a las hembras (69, 37.70%) (Figura 10), con una proporción de 1.7M:1H ( $\chi^2= 11.07$ ,  $P<0.001$ ). En época de lluvia se registraron 144 machos (56.92%) y 109 hembras (43.08%), con una proporción de 1.3M:1H ( $\chi^2= 4.84$ ,  $P=0.055$ ) (Figura 10).



**Figura 10.** Distribución de la proporción sexual de *Amphilophus trimaculatum*, durante la época de seca y lluvias, en el periodo enero-noviembre del 2015, sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas.

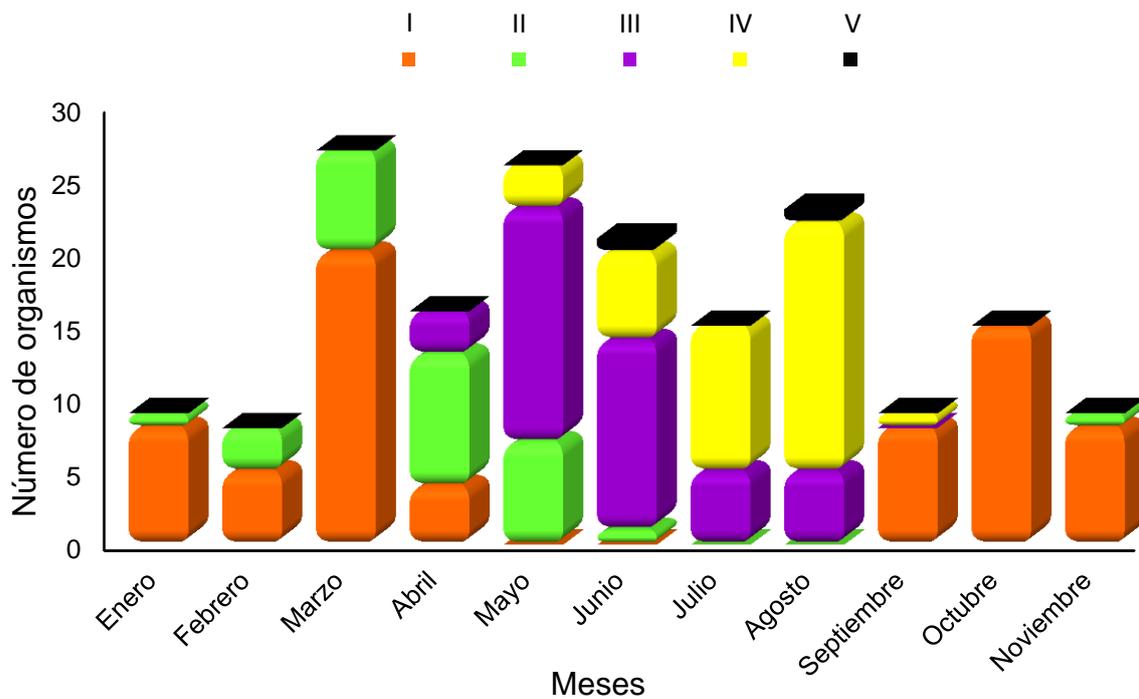
#### 7.4 Estadios de madurez sexual

De acuerdo a la escala de madurez sexual de Nikolsky (1968) modificada para *A. trimaculatum*, se obtuvieron 178 hembras, de las cuales 68 (38.20%) se encontraron en el estadio I, 29 (16.29%) en el estadio II, 42 (23.60%) en el estadio III, 37 (20.79%) en el estadio IV y 2 (1.12%) en el estadio V. Registrando durante el ciclo un mayor número de hembras inmaduras/madurando (54.50%), seguido de hembras maduras/reproducción (44.38%) y hembras desgastado (1.12%) (**Figura 11**).



**Figura 11.** Representación porcentual para hembras de *Amphilophus trimaculatum* en los diferentes estadios de madurez.

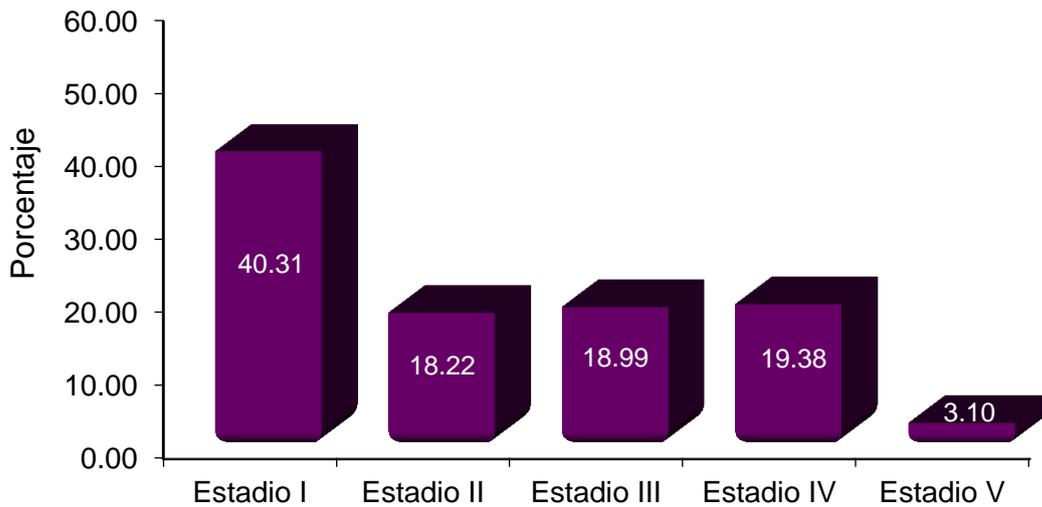
Para hembras, los estadios de madurez fluctuaron respecto al tiempo. Hembras maduras (estadio III) fueron observadas durante los meses abril-agosto, sin embargo en los meses mayo y junio fue donde se registró el mayor número de hembras en estadio III. Hembras en estadio de reproducción (IV) se observan principalmente de mayo a agosto (**Figura 12**).



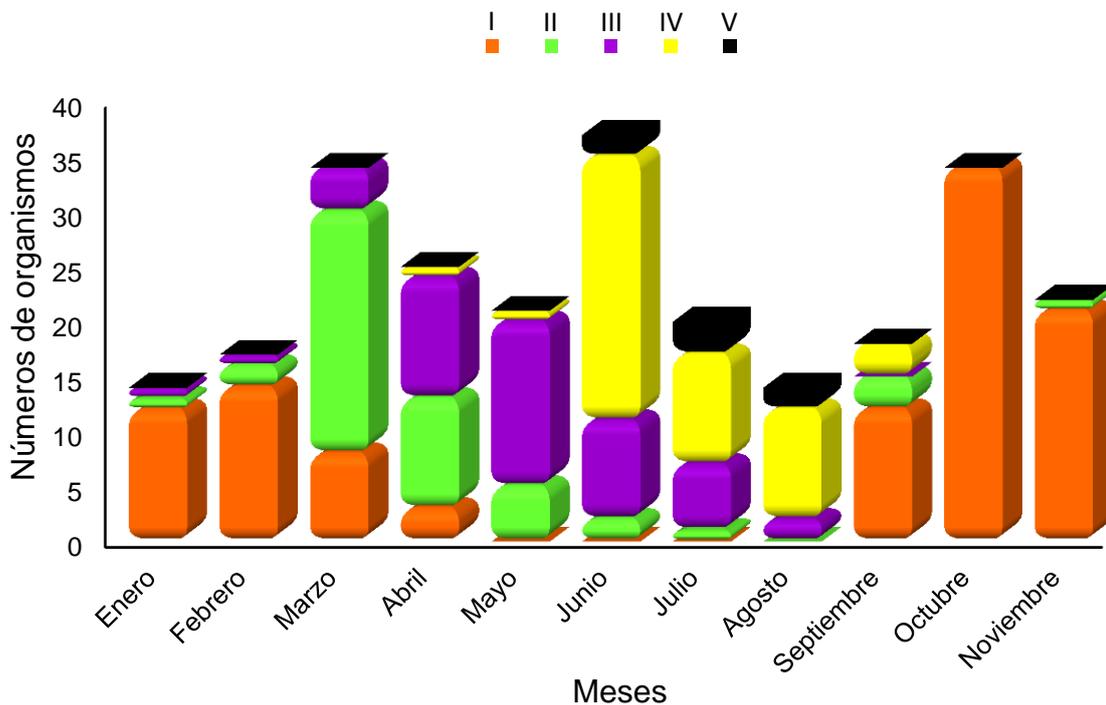
**Figura 12.** Estadios de madurez sexual en hembras de *Amphilophus trimaculatum* durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

En el caso de los machos se obtuvieron 258 organismos, de los cuales 104 (40.31%) se encuentran en el estadio I, 47 (18.22%) en el estadio II, 49 (18.99%) en el estadio III, 49 (18.99%) en el estadio IV y 9 (3.49%) en el estadio V. Registrando durante el ciclo un mayor número de machos inmaduros-madurando (58.53%), seguido de machos maduros/reproducción (22.48%) y machos desgastados (3.49%) (**Figura 13**).

Al igual que las hembras, los machos presentan distintos estadios de madurez a través del ciclo anual. Machos maduros (estadio III) fueron observados durante un largo periodo de enero a septiembre agosto, sin embargo en los meses abril-julio fue donde se registró el mayor número de machos en estadio III. Machos en estadio de reproducción (IV) se observan principalmente de junio a agosto (**Figura 14**).



**Figura 13.** Representación porcentual para machos de *Amphilophus trimaculatum* en los diferentes estadios de madurez.



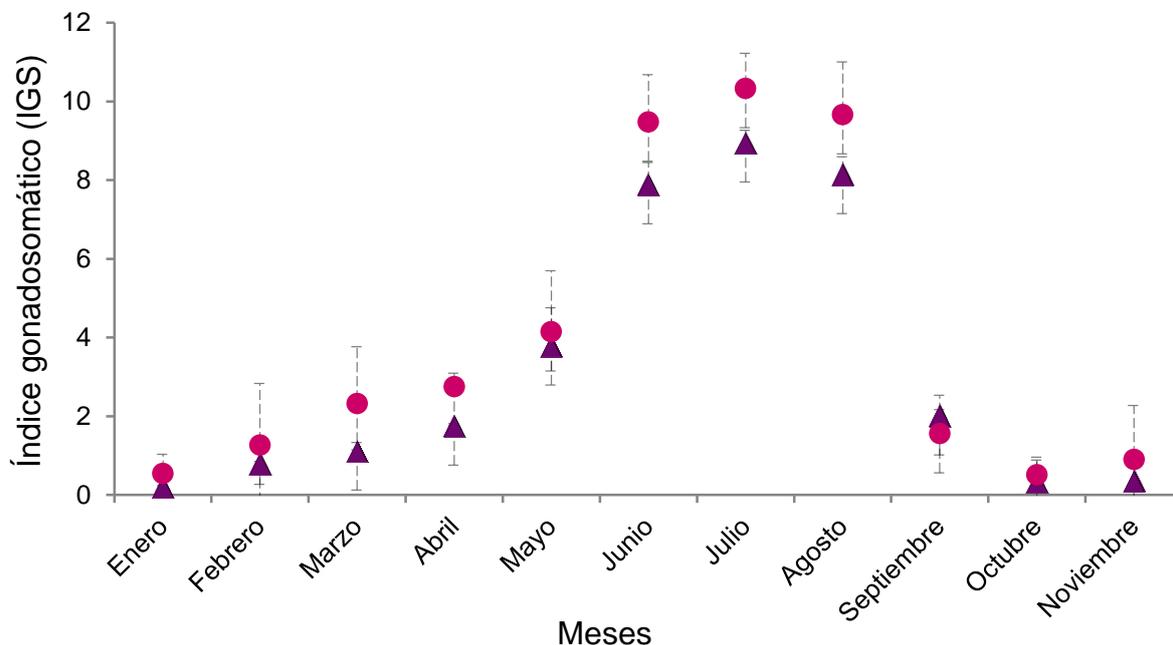
**Figura 14.** Estadios de madurez sexual en machos de *Amphilophus trimaculatum* del periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

## 7.5 Época reproductiva

### 7.5.1 Índice gonadosomático (IGS)

El análisis de la variación mensual en hembras mostró que las gónadas aumentan de peso de forma gradual y significativamente a partir del mes de mayo, alcanzado un pico máximo en el mes de julio (IGS=10.33) y una caída drástica en septiembre, hasta alcanzar su valor más bajo en octubre (IGS=0.52) (**Figura 15**). El IGS presentó diferencias significativas a lo largo del año (ANOVA,  $F= 12.5918$ ,  $P<0.05$ ).

En machos observamos un patrón similar al de las hembras, las gónadas incrementaron su peso de forma gradual respecto a los meses, alcanzando su pico más alto en el mes de julio (IGS=8.95) y una caída drástica en el mes de septiembre, alcanzado un valor mínimo en enero (IGS=0.21) (**Figura 15**), con diferencias significativas durante el ciclo anual (ANOVA,  $F= 23.2258$ ,  $P<0.05$ ).



**Figura 15.** Variación mensual del índice gonadosomático en hembras (●) y machos (▲) de *Amphilophus trimaculatum* durante el periodo enero-noviembre del 2015, en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

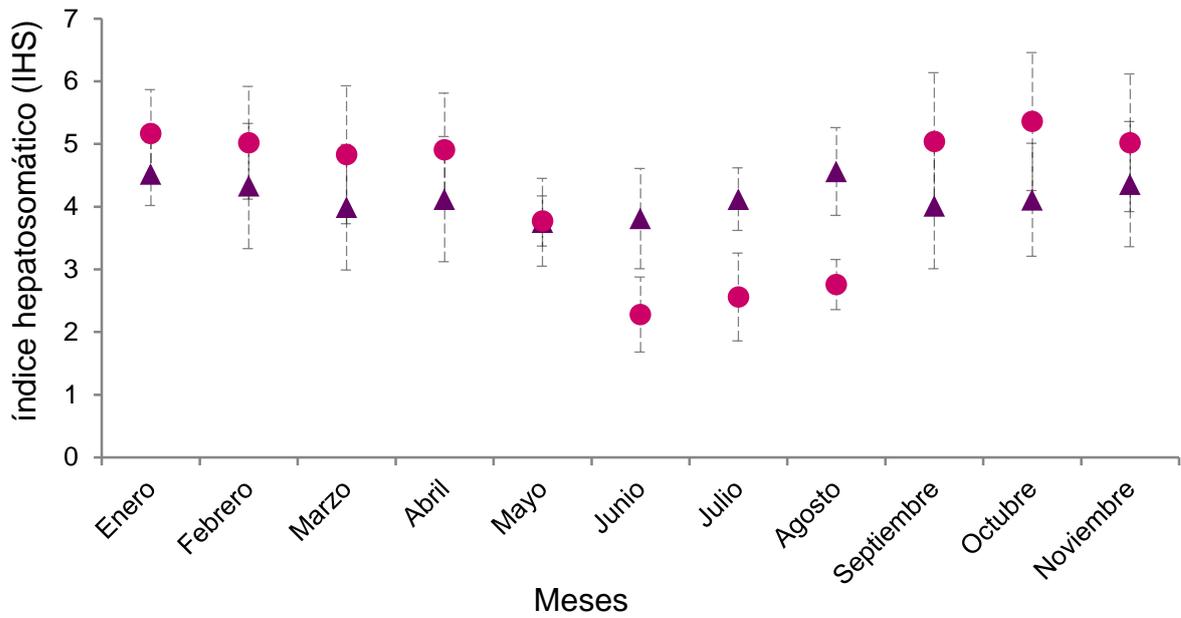
En ambos sexos se observó un incremento del IGS a partir del mes de mayo, con picos máximos durante los meses junio, julio y agosto, con una disminución drástica a partir del mes de septiembre (**Figura 15**). La época reproductiva de *A. trimaculatum* en ambos sexos, registró un solo y amplio pico reproductivo de tres meses, desde el mes de junio a agosto. Además se evidenció que conforme la gónada madura en ambos sexos incrementó el valor de IGS.

### 7.5.2 Índice hepatosomático (IHS)

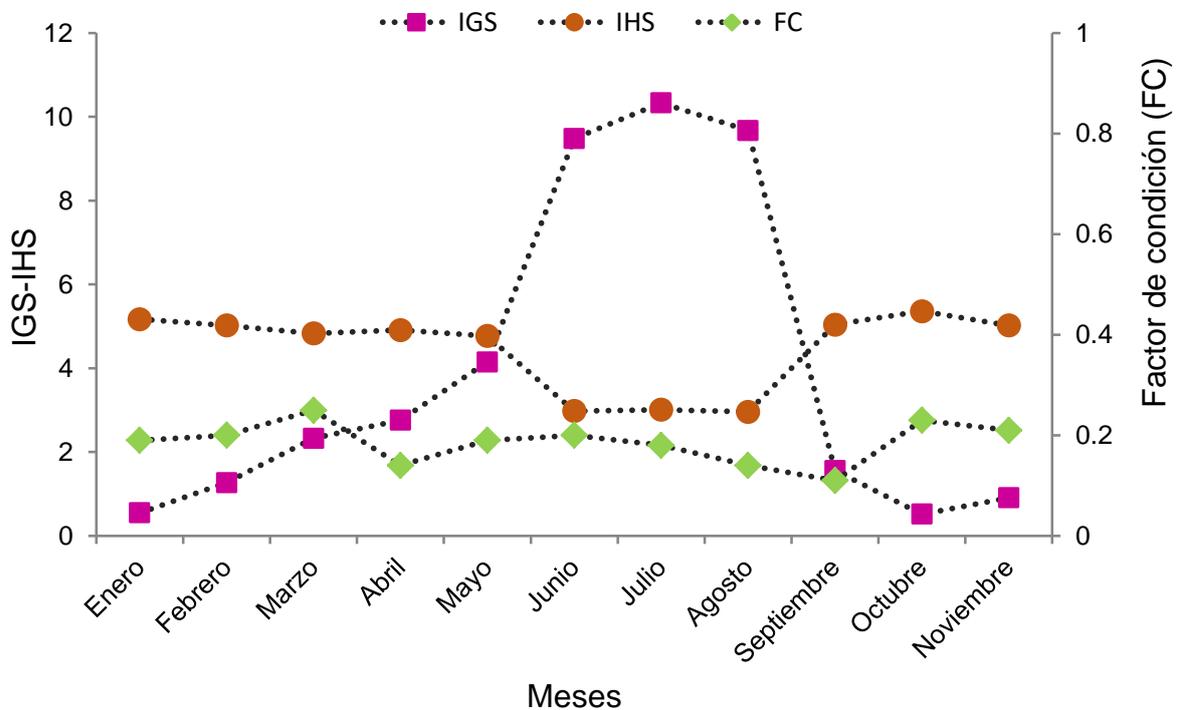
Respecto al índice hepatosomático se observó variación mensual en hembras (ANOVA,  $F= 51.837$ ,  $P<0.05$ ). Se registró un decremento del IHS durante 4 meses que perduró de mayo a agosto, reportando su valor más bajo en el mes de junio (IHS=2.28). El valor de IHS incrementa y permanece constante en los meses posteriores al desove, alcanzado un valor máximo en el mes de octubre (IHS= 5.36) (**Figura 16**).

En machos, no se observaron fluctuaciones significativas del IHS a lo largo del año (ANOVA,  $F= 0.23$ ,  $P>0.05$ ), sin embargo se registró un valor máximo de IHS en el mes de agosto de 4.56 y un mínimo en el mes de mayo con 3.75 (**Figura 16**).

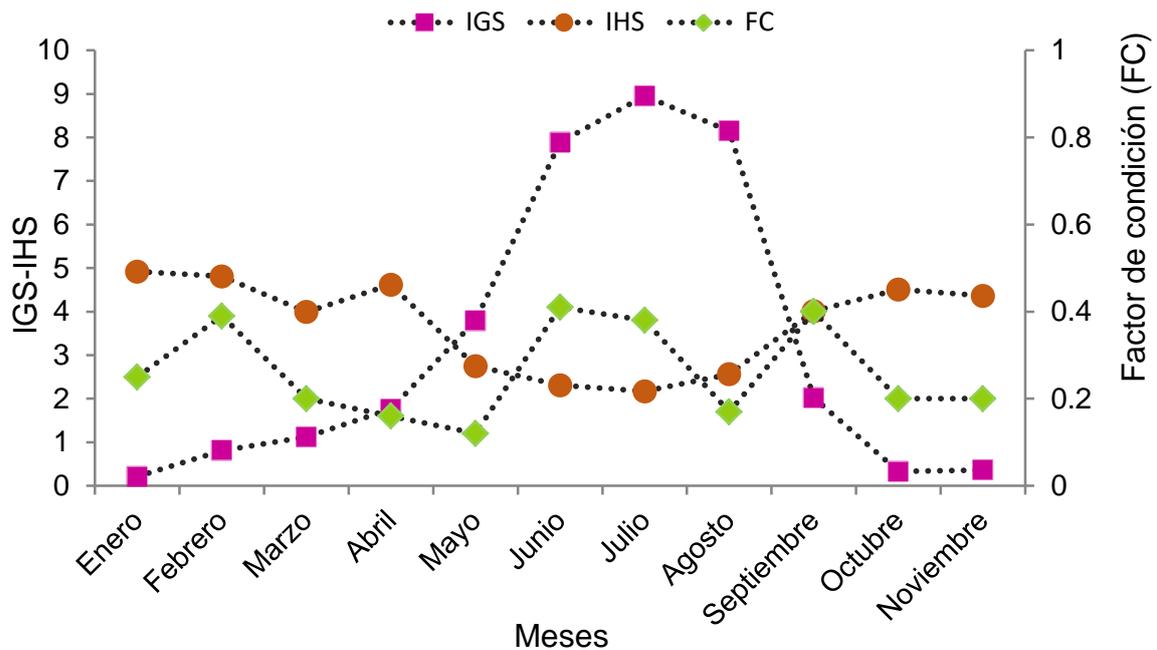
El comportamiento del IHS en hembras fue inverso a lo observado con el IGS. Durante la época reproductiva de junio a agosto se observó un incremento de los valores de IGS pero un decremento en los valores de IHS. Esta correlación inversa sugiere que las hembras utilizan la energía almacenada en el hígado para facilitar el proceso de desarrollo ovárico (**Figura 17**). En machos no se observó ninguna relación entre el IHS e IGS, ya que durante los valores altos del IGS, el IHS no registró incrementos o disminución, ya que se mantuvo constante durante todo el año (**Figura 18**).



**Figura 16.** Variación mensual del índice hepatosomático en hembras (●) y machos (▲) de *Amphilophus trimaculatum* durante el periodo enero-noviembre del 2015 en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas



**Figura 17.** Variación mensual del IGS, IHS y FC en hembras de *Amphilophus trimaculatum*, durante el periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.



**Figura 18.** Variación mensual del IGS, IHS y FC en machos de *Amphilophus trimaculatum*, durante el periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

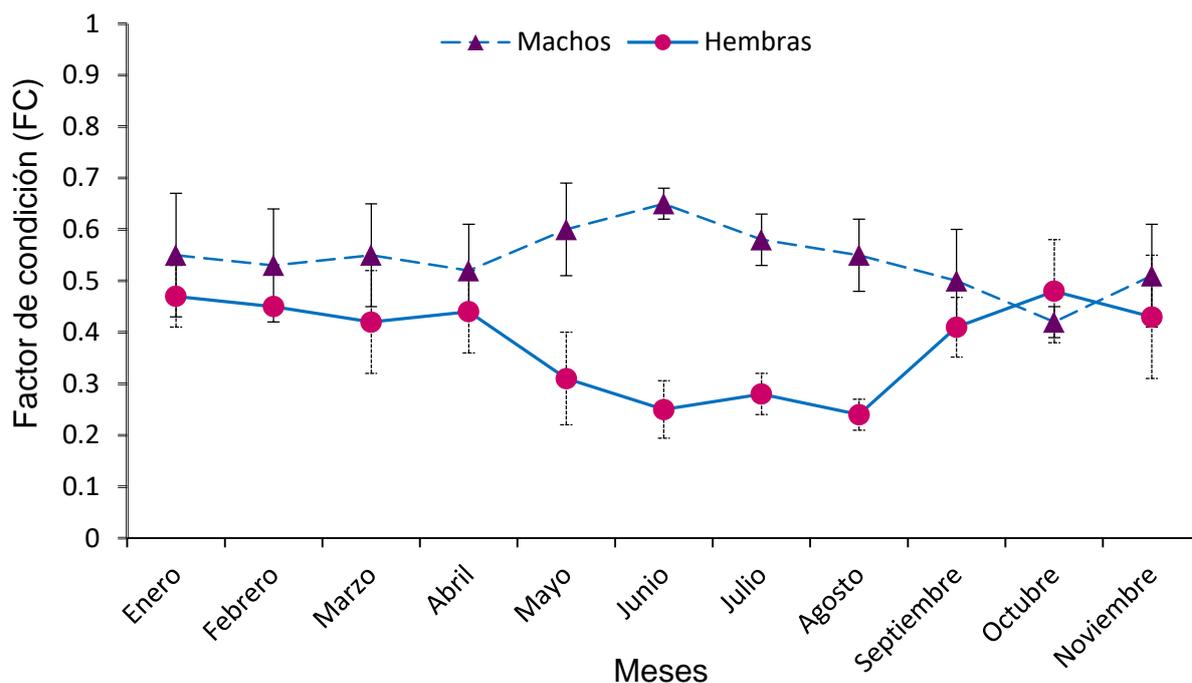
### 7.5.3 Factor de condición (FC)

En base al factor de condición, que mide el estado fisiológico o grado de bienestar de un organismo, se observó que los valores obtenidos para *A. trimaculatum* presentaron gran variación durante el periodo de estudio, donde la tendencia entre hembras y machos difirió.

En el caso de las hembras de *A. trimaculatum* el FC registró variación mensual significativa (ANOVA,  $F= 51.837$ ,  $P<0.05$ ). Se registró un decremento del FC a partir del mes de mayo, alcanzando su valor más bajo en el mes de agosto (FC= 0.24). El FC se recuperó posterior a la puesta alcanzando su nivel más alto en el mes de octubre (FC= 0.48) (**Figura 19**).

Respecto a los machos, el FC también registró variación mensual significativa (ANOVA,  $F= 41.277$ ,  $P<0.05$ ). Con un comportamiento inverso al de las hembras, los valores más altos del FC se obtuvieron durante el periodo

reproductivo, durante los meses de mayo a julio, reportando su valor máximo en el mes de junio (FC= 0.65). Posterior a la puesta el FC disminuye, registrando su valor más bajo en el mes de octubre (FC= 0.42) (**Figura 19**). Durante la mayor parte del año los machos registraron valores de FC superiores a los obtenidos en hembras, excepto en el mes de octubre.



**Figura 19.** Factor de condición en hembras (●) y machos (▲) de *Amphilophus trimaculatum* en el periodo enero-noviembre del 2015; en el Sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas.

En hembras, el comportamiento del FC fue similar a lo observado con el IHS. A mayor valor de IGS menor valor alcanzado por el FC. Durante la época reproductiva de junio a agosto se registró un incremento de los valores de IGS pero un decremento en los valores de FC. Esta correlación inversa sugiere que las hembras emplean la mayor parte de sus reservas energéticas en el periodo reproductivo y su posible agotamiento proteico durante este periodo (**Figura 17**). En machos no se observó ninguna relación entre el IHS e IGS, ya que durante los valores altos del IGS, el IHS no registró incrementos o disminuciones, se mantuvo constante durante todo el año (**Figura 18**).

## VIII. DISCUSIÓN

La biología reproductiva de *Amphilophus trimaculatum* (mojarra prieta), ha sido estudiada en este trabajo de tesis y por los resultados obtenidos podemos decir que presenta similitudes a lo que se conoce para *Amatitlania nigrofasciata* que es una especie de la familia Cichlidae.

Se encontró que la población estudiada de *A. trimaculatum* del sistema Chantuto-Panzacola registró el mayor número de organismos en las tallas 160-180 mm  $L_P$  y el menor número de organismos con tallas de 220-240 mm  $L_P$ , donde las tallas más grandes fueron alcanzadas por los machos. Resultados similares fueron reportados para poblaciones del río Atoyac-Oaxaca (Ortiz, 2011), donde los machos presentan un mayor crecimiento (388 mm  $L_T$ ) respecto a las hembras (299 mm  $L_T$ ). Lo que concuerda con los registros de Kullander (2003), reportando longitudes más grandes para machos, con una longitud máxima de 365 mm  $L_P$  y para hembras 250 mm  $L_P$ . Característica común en los cíclidos neotropicales, donde los machos alcanzan tallas más grandes respecto a las hembras como es el caso de *A. citrinellus*, *Apistogramma borellii*, *A. cacatuoides*, *Oreochromis aureus*, *Paratheraps zonatus*, *Parachromis motaguensis* (Ramos-Cruz, 1995; Römer *et al.*, 1996).

La determinación de la proporción sexual es útil porque sirve de base para interpretar la composición de los stocks explotados y las variaciones en su abundancia. En la mayoría de los peces, la proporción sexual tiende a ser equilibrada, es decir, de 1 a 1 entre hembras y machos, aunque puede variar de año en año dentro de una misma población e inclusive puede experimentar cambios con el período reproductivo y con los grupos de tallas (Franco, 1992). De acuerdo a los resultados obtenidos, la proporción de sexos para la población muestreada fue 1.4M:1H, coincidiendo con el análisis de Violante-González (1995), con una población de *A. trimaculatum* en la Laguna de Tres Palos, Guerrero, donde registró una mayor presencia de machos con una proporción sexual de 1.43M:1H. Resultados similares han sido reportados en otros cíclidos: *Mayaheros urophthalmus* y *Oreochromis aureus* (Poot-López *et al.*, 2009; Gómez-Ponce *et al.*, 2014). Respecto a la variación temporal, se registró para este estudio una mayor predominancia de machos en época de

secas (1.7M:1H;  $\chi^2= 11.07$ ,  $P<0.001$ ) respecto a la época de lluvia (1.3M:1H;  $\chi^2= 4.84$ ,  $P=0.055$ ). En este sentido, Ortiz (2011), reportó que en las poblaciones de *A. trimaculatum* que habitan la Subcuenca Río Atoyac-Paso de La Reina de la cuenca Río Atoyac, Oaxaca, los machos en época de secas eran más abundantes que las hembras (7M: 3H).

Existen diferentes escalas de maduración para cíclidos, Violante-González (1995), utilizó la escala de maduración de la FAO (1965), citada por Cabrera & Mora (1992), donde señalan cuatro estadios de maduración, siendo el III el correspondiente con ejemplares maduros en época reproductiva que es similar al V de Nikolsky (1963), dicho autor encontró únicamente ejemplares dentro del estadio III ya que sus ejemplares correspondían con tallas comerciales. En otras investigaciones los estadios de maduración sexual se establecieron por sexos separados como lo hizo Lino-Pimentel (2002), para *Pygocentrus nattereri*, donde utilizó para hembras la escala de Legendre & Ecoutin (1989), con seis estadios y para los machos la de Loubens *et al.*, (1984), con tres estadios, con la finalidad de establecer la madurez sexual de dicha especie. Para cíclidos la escala de madurez que presenta más características en común a estas especies es la propuesta por Nikolsky (1963). Por lo que, en base a los estadios de desarrollo gonadal y basándose en la escala de madurez de Nikolsky (1963), se establecieron cinco estadios de madurez gonádica para *A. trimaculatum*, que fueron: Inmaduro, madurando, maduros, en reproducción y gastado. Además, con base a las observaciones de los patrones reproductivos presentes en los teleósteos, Scott (1987), propone dos tipos de maduración de los ovarios: sincrónicos y asincrónicos, pudiendo establecer para *A. trimaculatum* en base a las observaciones macroscópicas un desarrollo de los ovocitos sincrónicos.

El índice gonadosomático y hepatosomático nos ayudan a comprender el ciclo reproductivo de los peces, ya que nos expresa la dinámica en la utilización de la energía endógena de los órganos, tales como el hígado y la gónada. La variación en el peso del hígado refleja procesos de almacenamiento y transferencia de proteínas y lípidos asociados al esfuerzo reproductivo (Heidinger & Crawford, 1977; Gonçalves da Silva *et al.*, 2005). El crecimiento gonadal se ve reflejado en el aumento del IGS presentando una correlación con

el periodo reproductivo y una disminución después del desove (Love, 1970; Verba *et al.*, 2011). En este estudio para determinar la época reproductiva de *A. trimaculatum* se empleó la escala de madurez gonadal, el IGS e IHS, calculados mensualmente durante un año. Los resultados de IGS e IHS mostraron una correlación inversa en el caso de las hembras (a mayor IGS menor IHS), donde la reducción del IHS puede ser explicada por la movilización de reservas lipídicas y especialmente de la vitelogenina. En el caso de los machos el IHS no presentó variaciones respecto al incremento o disminución de valores del IGS. Para el caso de los machos, el hecho de que el IHS tienda a mantenerse estable puede deberse a que los machos utilizan menos energía para la reproducción que las hembras, ya que el proceso de la ovogénesis implica mayores demandas de nutrientes, esto debido al tamaño de los gametos y presencia de vitelo (Acevedo *et al.*, 2007).

En base al IGS tanto hembras como machos alcanzaron un pico máximo durante el año, que fue de junio a agosto. Dichos hallazgos corroboran que la temporada de reproducción y desove abarca de junio a septiembre, tal como lo describe Violante-González (1995), en su estudio para *A. trimaculatum* en la laguna de Tres palos, Gro. Contrario a Ortiz (2011), quien no pudo determinar la temporada de reproducción para *A. trimaculatum* debido a la falta de continuidad mensual de sus colectas, sólo pudo establecer que en temporada de secas se presentan organismos en fase III (maduros). Estos resultados son similares a lo reportado para otros cíclidos que presenta un solo pico reproductivo durante el año como *Amatitlania nigrofasciata* (Sefc *et al.*, 2008). Aunque también existen cíclidos que pueden presentar hasta dos picos reproductivos como: *Mayaheros urophthalmus*, *Gymnogeophagus labiatus*, *Mesonauta insignis* y *Cichla monoculus* (Chellappa *et al.*, 2003; Gonçalves da Silva *et al.*, 2005; Poot-López *et al.*, 2009; Verba *et al.*, 2011).

El factor de condición está relacionado con el desarrollo fisiológico de los peces, sobre qué tan grandes y pesados pueden crecer, y se asocia a cambios en el ambiente, a la disponibilidad de alimentos, a la temperatura y a la época de reproducción. Varios autores han señalado que los cambios en el FC pueden reflejar variaciones en el estado nutricional o en las reservas de energía de los peces (Lambert & Dutil, 1997; Grant *et al.*, 1998; Grant & Brown,

1999). En este estudio para *A. trimaculatum* encontramos una correlación del IGS respecto al FC. En hembras a mayor IGS menor FC, esto podría deberse al incremento de las gónadas en la cavidad abdominal, lo que reduce el espacio del resto de los órganos incluyendo el estómago y por lo tanto no pueda alimentarse durante los estados más avanzado de maduración gonadal, además de que parte de sus nutrientes basales están siendo metabolizados hacia los ovocitos (Grant & Brown, 1999). Para machos, a mayor IGS mayor FC, posiblemente relacionado al desarrollo de características sexuales secundarias (Tamaño, coloración, agresividad, etc.) necesarias para mejorar la aptitud reproductiva. Este patrón ha sido observado en otros cíclidos, como es el caso de *Crenicichla menezesi* (Araújo *et al.*, 2012) y *Cichla monoculus* (Chellappa *et al.*, 2003)

## IX. CONCLUSIONES

- ✓ La proporción sexual para *A. trimaculatum* registra mayor número de machos respecto a las hembras (1.4M:1H). Se considera una distribución espacial con fines de reproducción.
- ✓ Se establecieron cinco estadios de madurez gonádica para *A. trimaculatum*, Inmaduros (I), madurando (II), maduros (III), en reproducción (IV) y gastados (V).
- ✓ *Amphilophus trimaculatum* presenta maduración de ovocitos sincrónicos, que culmina con un desove total.
- ✓ El periodo reproductivo de *A. trimaculatum* se ubica de junio a agosto, durante la época de lluvia. Presenta un solo periodo de desove durante un ciclo anual.
- ✓ Los índices morfofisiológicos (IGS, IHS y FC) están directamente vinculados con la época reproductiva de *A. trimaculatum*.

## X. PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

Para un mejor entendimiento del comportamiento reproductivo de la mojarra prieta son necesarios más estudios que complementen los resultados obtenidos en este trabajo. Por tal motivo a continuación se sugieren algunos temas que podrían ser abordados en trabajos futuros:

- ❖ Realizar estudios reproductivos en otras zonas costeras y ríos, con el fin de comparar épocas reproductivas y cómo podrían estar siendo influenciadas o no por factores abióticos.
- ❖ Estudiar la influencia de la disponibilidad de alimento y del fotoperiodo en la madurez sexual durante el ciclo reproductivo.
- ❖ Establecer si existe la transferencia de nutrientes por parte de los tejidos somáticos hacia la gónada.
- ❖ Realizar estudios de fecundidad y talla de primera madurez sexual, que nos permitan entender con más detalle cómo se reproducen estas especies y que elementos intervienen.
- ❖ Determinar las etapas y el periodo de duración del desarrollo embrionario, ya que se conoce muy poca información para este género, lo que permitiría mejorar el entendimiento del ciclo reproductivo.
- ❖ Además se requiere evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre el ciclo reproductivo de esta especie, para conocer qué factores abióticos se encuentra directamente relacionados con la activación o inhibición de la gametogénesis.

Conocer más sobre esta especie, nos permitirá no sólo generar información, sino también encontrar alternativas para el buen manejo y preservación de estos organismos.

## XI. REFERENCIAS DOCUMENTALES

- Acevedo, J., W. Angulo, M. Ramírez & L.A. Zapata. 2007. Reproducción del pez *Brotula clarkae* (Pisces: *Ophidiidae*) en el Pacífico colombiano. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 55 (3-4): 957-967.
- Castello-Orvay, F. 1993. Acuicultura marina fundamentos biológicos y tecnología. Editorial Universidad de Barcelona. 739 p.
- Allgayer, R. 1989. Revision et redescription du genre *Theraps* Günther, 1862. Description de deux especes nouvelles du Mexique (Pisces, Perciformes, Cichlidae). *Revue Française des Cichlidophiles.* 90: 4-30.
- Álvarez del Villar, J. 1970. Peces Mexicanos (Claves. Sria. De Ind. Y Com. Inst. Nal. De Inv. Biológico-pesqueras). Serie Investigaciones Pesqueras. 1: 140- 149.
- Álvarez, J. 1950. Claves para la determinación de las especies en los peces de aguas continentales mexicanas. Secretaria de Marina, Dirección General de Pesca e Industrias Conexas. México, D.F. 143 p.
- Barros, Marcelo D. M., Guimarães-Cruz, Rodrigo J., Veloso-Júnior, Vanderlei C., & Santos, José E. dos. 2007. Reproductive apparatus and gametogenesis of *Lophiosilurus alexandri* Steindachner (Pisces, Teleostei, Siluriformes). *Revista Brasileira de Zoologia.* 24: 213-221.
- Billard, R. 1986. Spermatogénesis and spermatology of some teleost fish species. *Reprod. Nirri. Develop.* 26: 817-920.
- Bohemen, Ch. G. van; J. G. D. Lambert & J. Peute (1981). Annual changes in plasma and liver in relation to vitellogenesis in the female rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *General and comparative Endocrinology* Vol. 44: 94 – 107.
- Bone, Q. N. B. Marshall; J. H. S. Blaxter 1995. *Biology of fishes.* Chapman & Hall Eds, London. 332 p.
- Borg, B. 2010. Photoperiodism in fishes. In: *Photoperiodism* (Nelson, R.J., Demlinger, D.L. & Somers, D.E., eds). 371-398 p.
- Botello, V. A. 1978. Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequías y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la laguna de Términos, Campeche, México. En *Centro Ciencias del Mar y Limnología.* UNAM. 5: 159-177.
- Bromage, N.R. & Cumaranatunga, P.R.T. 1988. Egg production in rainbow trout. En "*Recent Advances in Aquaculture*" pp. 65-138. (Muir, J.F. & Roberts R.J., eds.) Croom Helm, London & Sydney
- Cabrera, J., & Mora, M. 1992. Fecundidad de *C. dovii* Pisces: Cichlidae en el embalse Arenal, Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 40: 345-346.
- Carrillo, M, Rodríguez J. Bases fisiológicas de la reproducción de peces tropicales. 2001. En: Daza P, Carrillo M, editores. *Fundamentos de acuicultura continental.* 2 ed. Bogotá. 189-217 p.
- Chellappa, S., Câmara, M. & Chellappa, N. 2003. Ecology of *Cichla monoculus* (Osteichthyes: Cichlidae) from a reservoir in the semi-arid region of Brazil. *Hydrobiologia.* 504: 267-273.
- Colombo, L., Colombo P., Arcarese G., 1978. Gonadal steroidogenesis and gametogenesis in teleost Fish. A study on the sea bass *Dicentrarchus labrax*, *L. Boll. Zool.* 45: 89-101.

- Contreras-Espinosa, F., O. Castañeda-López & A. García-Nagaya. 1994. La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 21:55-66.
- Cruz-Gómez, A. Rodríguez-Valera, A. C. & Vázquez-López, H. 2010. Madurez sexual y reproducción de *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1994) en un embalse del poblado de San Martín, Querétaro, México. *BIOCYT*. 3: 94-106.
- Da Costa, M.R. & F. Gerson A. 2003. Lengthweight relationship and condition factor of *Micropogonias furnieri* (Desmarest) (Perciformes, Sciaenidae) in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 20: 685-690.
- De Vlaming, V., G. Grossman & F. Chapman 1982. On the use of the gonosomatic index. *Comparative biochemistry and physiology*. 73: 31-39.
- Díaz-Ruíz S., E. Cano-Quiroga, A. Aguirre-León & R. Ortega-Bernal. 2004. Diversidad, abundancia y conjuntos ictiofaunísticos del sistema lagunar-estuarino Chantuto- Panzacola, Chiapas, México. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 1: 187-199.
- Dixon, W.J. & Kronmal R. A. (1965). The choice of origin and scale for graphs. *Journal of the association for computing Machinery*. 12: 259-261.
- Duponchelle, F. & J. Panfili. 1998. Variations in age and size at maturity of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, populations from man-made lakes of Côte d'Ivoire. *Environmental Biology of Fishes*. 52: 453-465.
- Flores-Verdugo F J, Agraz-Hernández C. & Benítez Pardo D. 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. En: Sánchez O, Herzig M, Peters E, Márquez-Huitzil R & Zambrano L (eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología, México. 147-166 p.
- Franco L. 1992. Maduración sexual y fecundidad del carite (*Scomberomorus maculatus*) de las costas del estado Falcón, Venezuela. *Zootecnia Trop.* 10: 157-169.
- García, N., A. & O. Castañeda L., 1992. Estudios básicos ecológicos en dos lagunas costeras del estado de Chiapas, México. *Res. IX Congreso Nacional de Oceanografía*. 110 p.
- García-Nagaya, A. & O. Castañeda-López. 1994. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en dos sistemas costeros del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Marinas*. 15: 171-188.
- Gómez-Ponce, M., Padilla-González, M., López-Hernández, M., Núñez-Nogueira, G & Fernández-Bringas, L. 2014. Maturity size and fecundity of hybrid tilapia *Oreochromis aureus* X *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) from the reservoir Fernando Hiriart Balderrama "Zimapan", Hidalgo, Mexico. *Research Journal of the Costa Rican Distance Education University*. 6: 169-179.
- Gonçalves, T. K., Azevedo, M. A., Malabarba, L. R. & Fialho, C. B. (2005). Reproductive biology and development of sexually dimorphic structures in *Aphyocharax anisitsi* (Ostariophysi: Characidae). *Neotropical Ichthyology*. 3: 433-438.
- Grier HJ, Uribe MC. 2009. The testis and spermatogenesis in teleosts. In: *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony*

- Fishes). Science Publisher, Enfield, NH, USA; (Ed Jamieson BGM.) 119-42 (Volume 8A of Series: Reproductive Biology and Phylogeny, 2009)
- Grier, H. J 1981. Cellular organization of the testis and spermatogenesis: in fishes Am. Zool. 21: 345-357.
- Heidinger, R.C. & S.D Crawford. 1977. Effect of temperature and feeding ratio on the liver–somatic index of the largemouth bass, *Micropterus salmoides*. J. Fish. Res. Bd. Can. 34: 633-638.
- Hernández, C. J. 2012. Ecología de la reproducción del bolín yucateco *Floridichthys polyommus* (Hubbs, 1936), en el Sistema lagunar La Carbonera, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Campus Puerto Ángel, Oaxaca, México.
- Houston, A.I., Stephens, P.A., Boyd, I.L., Harding, K.C. & McNamara, J.M. (2006). Capital or income breeding? A theoretical model of female reproductive strategies? Behavioural Ecology. 18: 241-250.
- Johannes, R. E. 1978. Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. Environment Biology Fishes. 3: 65-84.
- Kime, D. E. 1998. Disruption of liver function. In: Endocrine disruption in fish. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London. 201-246 p.
- Kjesbu, O. S., & Witthames, P. R. 2007. Evolutionary pressure on reproductive strategies in flatfish and groundfish: Relevant concepts and methodological advancements. Journal of Sea Research. 1: 23-34.
- Kullander, S.O. 1998. A phylogeny and classification of the South American Cichlidae (Teleostei: Perciformes). In: L.R. Malabarba, R.E. Reis, R.P. Vari, Z.M.S. Lucena & C.A.S. Lucena (eds.). Phylogeny and classification of Neotropical fishes. Edipucrs, Porto Alegre. 461-498 p.
- Kullander, S.O. 2003. Family Cichlidae (Cichlids). In R.E. Reis, S.O. Kullander, & C.J. Ferraris. (Eds). Checklist of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brasil. 1: 605-654.
- Lambert, Y. & J. D. Dutil. 1997. Can simple condition indices be used to monitor and quantify seasonal changes in the energy reserves of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 104-112.
- Legendre, M. & J.M. Ecoutin, 1989. Suitability of brackish water tilapia species from the Ivory Coast for lagoon aquaculture. I. Reproduction. Aquat. Living Resour. 2: 71-79.
- Loir, M., C. Cauty, P. Planquene, P. Yves. 1989. Comparative study of the male reproductive tract in seven families of South American catfishes. Aquat. Living Resour. 2: 45-56.
- Loubens, G., J. L. Aquim & E. Robles. 1984. Primeras observaciones sobre la sexualidad y la reproducción de las principales especies de peces de la región de Trinidad -Beni- Bolivia. ORSTOM. 34 p.
- Love, R.M. 1970. The chemical biology of fishes. Academic Press, London and New York.
- Martínez, V. H., Monasterio de Gonzo, G., Uribe, M. C., & Grier, H. J. 2014. Testicular structure in three viviparous species of teleosts in the genus *Jenynsia* (Anablepidae). Spermatogenesis. 4:98-99.
- Miller, R. R, 1966. Geographical distribution of Central American freshwater fishes. Copeia. 4: 773-802.
- Miller, R.R., W.L. Minckley & S.M. Norris. 2005. Freshwater fishes of Mexico. University of Chicago, U.S.A. 490 p.

- Nagahama, Y. 1983. The functional morphology of teleosts gonads. In: Fish Physiology. Vol. XI: Reproduction. (Eds) W. S. Hoar, D. J. Randall & E. M. Donaldson. Academic Press, New York. 223-275 p.
- Nelson, J. S. 1984. Fishes of the world. Second edition. J. Wiley & Sons, New York. 523 p.
- Nelson, J.S., E.J. Crossman, H. Espinosa-Pérez, L.T. Findley, C.R. Gilbert, R.N. Lea & J.D. Williams. 2004. Common and Scientific Names of Fishes from the United States, Canada, and México. American Fisheries Society, Special Publication 29. Bethesda. 386 p.
- Nikolsky, G. V. 1963. The Ecology of Fishes. Academic Press, London. 352 p.
- Nixon, S. W. 1981. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. In: Nelson, B. J. & L. E. Cronin (Eds.). Estuaries and Nutrients. Human Press. Nueva Jersey, USA. 138 p.
- Odum, W. E. 1971. Pathways of energy flow in south Florida estuary. Sea Grant Bull 7. University of Miami. Florida, USA. 162 p.
- Ortiz, C. V. 2011. Análisis del crecimiento y madurez sexual de *Amphilophus trimaculatum* (Günther, 1867) de la subcuenca río Atoyac-Paso de la Reina De La Cuenca Río Atoyac, Oaxaca. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. 56-61 p.
- Poot-López, A., Arce-Ibarra, M., Elías-Gutiérrez, M. & Cervantes-Martínez, A. 2009. Differences in reproductive seasonality of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* from three cenotes (sinkholes). Journal of Applied Ichthyology. 25: 85-90.
- Porter, C. M & D. M. Janz. 2003. Treated municipal sewage discharge affects multiple levels on biological organization in fish. Ecotox. Env. Saf. 54: 109- 206.
- Ramos-Cruz, S, 1995. Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México, en 1993. INP-SEMARNAP. México. Ciencia pesquera No. 111. (Nueva Época).
- Regan, C. T. 1903. On a collection of fishes made by Dr. Goeldi at Rio de Janeiro. Proc. Zool. Soc. London. 2: 59–68.
- Rodiles-Hernández, R. 2005. Diversidad de peces continentales en Chiapas. In: González-Espinosa, M., N. Ramírez-Marcial & L. Ruiz- Montoya (Eds.). Diversidad Biológica de Chiapas. Plaza y Valdés, ECOSUR, COCYTECH. México. 141-160 p.
- Rodríguez-Gutiérrez, M. 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT Editor, México, D.F. 79 p.
- Römer, Uwe & W. Beisenherz. 1996. "Environmental determination of sex in *Apistogramma* (Cichlidae) and two other freshwater fishes (Teleostei)". Journal of Fish Biology. 48: 714–725.
- Rosas-Muñoz, P. & E. Soto-Galera. Sin año de edición. Estructura trófica de la ictiofauna en cuatro ríos de la Sierra Madre del Sur, Edo. De Chiapas. Tesis Maestría (en proceso). Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N., México, D.F.
- Saborido, F. & Junquera, S. 2003. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. In: Curso de doctorado. Universidad de Vigo, Vigo, España.
- Safran, P., 1992. Theoretical analysis of the weight-length relationship in fish juveniles. Mar. Biol. 112, 545-551 p.

- Sefc, K. M., Mattersdorfer, K., Sturmbauer, C. & Koblmüller, S. (2008). High frequency of multiple paternity in broods of a socially monogamous cichlid fish with biparental nest defence. *Molecular Ecology*. 17: 2531-2543.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, México. 78 p.
- Sparre, P., Venema, S.C., 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. FAO Documento Técnico de Pesca No. 306/1, Roma, FAO. 420 p.
- Tapia-García, M., C. Suárez, G. Cercenares, M. Macuitl & M. García. 1998. Composición y distribución de la ictiofauna en la laguna del Mar Muerto, Pacífico Mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 2: 277-284.
- Urbinati-Criscuolo, E. 2005. Reproducción de peces en el trópico: Bases fisiológicas de la reproducción en peces tropicales. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. 246 p.
- Verba, J., Lampert, V. & Azevedo, M. 2011. Reproductive traits of *Gymnogeophagus labiatus* (Teleostei, Cichlidae), in an upper stretch of Sinos river, Caraá, Brazil. *Serie Zoologia*. 101: 200-206.
- Violante-González, J. 1995. Contribución al conocimiento de la biología de la mojarra nativa *Cichlasoma trimaculatum* (Günther, 1868), en la Laguna de Tres Palos Gro., México y determinación del desarrollo larvario y requerimientos proteicos en condiciones de laboratorio. Tesis de maestría FACIMAR. Universidad de Colima, Colima. 63 p.
- Wang, N., Teletchea, F., Kestemont, P., Milla, S. & Fontaine, P. 2010. Photothermal control of the reproductive cycle in temperate fishes. *Reviews in Aquaculture*. 2: 209-222.
- Wotton, R. J. 1990. Ecology of Teleost fishes. Chapman and Hall, Fish and fisheries series 1. 404 p
- Yáñez-Arancibia, A. 1978. Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico de México. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma. México. *Pub. esp.* 21: 1-306.
- Zar, J.H., 1999. Biostatistical analysis. 4th ed. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A.