



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“Integración de la historia de vida de dos especies de poecílicos en estado de vulnerabilidad en el lago de Catemaco, Veracruz”**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO MAESTRO  
EN CIENCIAS EN ACUACULTURA**

**PRESENTA**

**BIÓL. MARCOS HERNÁNDEZ LÓPEZ**

**DIRECTORA DE TESIS**

**DRA. MARÍA ISABEL JIMÉNEZ GARCÍA**



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Boca del Río, Veracruz, **30/septiembre/2019**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

C. MARCOS HERNÁNDEZ LÓPEZ  
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ACUACULTURA  
PRESENTE

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

"INTEGRACIÓN DE LA HISTORIA DE VIDA DE DOS ESPECIES DE POECILÍLIDOS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD EN EL LAGO DE CATEMACO, VERACRUZ"

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede AUTORIZACIÓN para que proceda a su impresión.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica  
Por nuestros mares responderemos*

**M.C. ANA LETICIA PLATAS PINOS**  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIS DE POSGRADO  
E INVESTIGACION

c.c.p. Coordinación de la Maestría  
c.c.p. Expediente



SEP SES  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INS TECNOLÓGICO DE  
BOCA DEL RÍO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACION





**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

Número Registro ACI-16-180110

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 15:00 horas del día 30 del mes de agosto de 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Acuicultura del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

**"INTEGRACIÓN DE LA HISTORIA DE VIDA DE DOS ESPECIES DE POECILILIDOS EN ESTADO DE VULNERABILIDAD EN EL LAGO DE CATEMACO, VERACRUZ"**

Que presenta el (la) alumno(a):

C. MARCOS HERNÁNDEZ LÓPEZ

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Acuicultura

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACION, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

DRA. MARÍA ISABEL JIMÉNEZ GARCÍA  
Director de Tesis

DR. LUIS ALFREDO CLEMENTE ORTEGA  
Asesor

DR. CARLOS IVÁN PÉREZ ROSTRO  
Asesor

M.C. LEONARDO ISMAEL NAVARRO  
ANCULO  
Asesor Externo





## ACUERDO PARA USO DE OBRA (TESIS DE GRADO)

### A QUIEN CORRESPONDA

### PRESENTE

Por medio del presente escrito, Marcos Hernández López (en lo sucesivo el AUTOR) hace constar que es titular intelectual de la obra denominada: "Integración de la historia de vida de dos especies de poecílidos en estado de vulnerabilidad del lago de Catemaco, Veracruz, México", (en lo sucesivo la OBRA) en virtud de lo cual autoriza al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (en lo sucesivo TECN/ITBOCA) para que efectúe resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital o impresa para asegurar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, aplicación y uso de resultados así como digitalización de la misma con fines académicos y sin fines de lucro como parte del Repositorio Institucional del TECN/ITBOCA.

De igual manera, es deseo del AUTOR establecer que esta autorización es voluntaria y gratuita, y que de acuerdo a lo señalado en la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de Propiedad Industrial el TECN/ITBOCA cuenta con mi autorización para la utilización de la información antes señalada, estableciendo que se utilizará única y exclusivamente para los fines antes señalados. El AUTOR autoriza al TECN/ITBOCA a utilizar la obra en los términos y condiciones aquí expresados, sin que ello implique se le conceda licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionada respecto a la "propiedad intelectual" de la misma OBRA; incluyendo todo tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes. Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir la OBRA, se deberá reconocer y dar créditos de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el propio autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada de esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales del AUTOR.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general de cualquier parte de la OBRA son responsabilidad de AUTOR, por lo que se deslinda al (TECN/ITBOCA) por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros. Finalmente, el AUTOR manifiesta que estará depositando la versión final de su documento de Tesis, OBRA, y cuenta con los derechos morales y patrimoniales correspondientes para otorgar la presente autorización de uso.

En la ciudad de Boca del Río, del estado de Veracruz a los 30 días del mes de septiembre de 2019.

Atentamente, Marcos Hernández López



**RESUMEN**

*Xiphophorus kallmani* (“espada de Catemaco”) y *Poecilia catemacensis* (“guatopote azul”) son especies amenazadas, en estado de vulnerabilidad y endémicas del lago de Catemaco, Veracruz, México. A la fecha, no existen publicaciones sobre su biología reproductiva, por tanto, en esta tesis, se determinó la edad, longitud y peso al que hembras y machos alcanzan la madurez sexual, fertilidad y fecundidad, e índice de condición bajo condiciones de laboratorio. El estudio fue descriptivo unifactorial (especie de pez) con dos niveles (dos especies). Se seleccionaron 10 lotes de reproductores de cada especie de poecílido a razón de 3:1 (hembras y machos), a partir de peces de un año de edad nacidos en cautiverio. Los peces se mantuvieron en un sistema de recirculación con 32 contenedores de 20 L. Se obtuvieron ocho camadas para *X. kallmani* y 14 de *P. catemacensis*. Las crías se alimentaron tres veces al día, realizándose biometrías cada dos semanas hasta alcanzar su maduración sexual. Las variables evaluadas fueron, edad promedio de maduración sexual, longitud y peso promedios al alcanzar la madurez sexual y la fecundidad y fertilidad de las hembras. *Xiphophorus kallmani* presentó los valores significativamente más altos para la mayoría de las variables ( $p < 0.05$ ), excepto para el índice de condición. Se encontró una correlación negativa entre el índice de condición con la fecundidad ( $p < 0.001$ ) y fertilidad ( $p < 0.001$ ) para *P. catemacensis*, mientras que para *X. kallmani* existió una correlación negativa entre el índice de condición y fecundidad ( $p = 0.0486$ ). La edad promedio de maduración sexual entre ambas especies de machos difirió significativamente ( $p < 0.03$ ), resultando de  $22.04 \pm 3.72$  semanas en *X. kallmani* y  $19.00 \pm 4.08$  semanas para *P. catemacensis*; de igual forma, las hembras de *X. kallmani* maduraron a mayor edad en *X. kallmani* ( $24.80 \pm 2.44$  semanas) que en *P. catemacensis* ( $21.52 \pm 2.12$  semanas) ( $p < 0.001$ ). La longitud y peso promedios al alcanzar la madurez sexual difirieron significativamente, siendo en hembras de *X. kallmani* de  $50.80 \pm 7.12$  mm y en *P. catemacensis* de  $46.46 \pm 5.16$  mm ( $p < 0.001$ ); el peso promedio para hembras de *X. kallmani* fue de  $4.79 \pm 0.58$  g y de  $3.83 \pm 0.65$  g en *P. catemacensis* ( $p < 0.001$ ); de  $4.41 \pm 0.56$  g en machos de *X. kallmani*, mientras que en *P. catemacensis*  $3.37 \pm 0.75$  g. La fecundidad y fertilidad de las hembras en *X. kallmani* fue de  $57.59 \pm 7.21$  ovas y  $5.26 \pm 2.88$  embriones, respectivamente, mientras que en *P. catemacensis* se obtuvieron promedios significativamente menores para la fecundidad de  $44.60 \pm 15.87$  ovas ( $p < 0.001$ ) y una fertilidad de  $3.73 \pm 3.26$  embriones ( $p = 0.001$ ). Los datos obtenidos en esta investigación integran por vez primera información concerniente a las historias de vida de *X. kallmani* y *P. catemacensis*, lo cual es un requisito indispensable para continuar con estudios de conservación de ambas especies de poecílicos.

Palabras clave: (*Poeciliidae*, Biología reproductiva, Especies vulnerables)



**ABSTRACT**

*Xiphophorus kallmani* and *Poecilia catemacensis* are endangered species, in state of vulnerability and endemic of Catemaco Lake in Veracruz, Mexico. However, there are no data on their reproductive biology. Therefore, the age, length, weight, condition factor, fertility and fecundity at which females and males reach sexual maturity; under semi-controlled laboratory conditions, was determined. Ten breeder lots was obtained were selected at a ratio of 1:3 (male and females), placed in a recirculation system which consisted of 32 containers (20 L per container), obtaining eight litters for *Xiphophorus kallmani* and 14 litters of *Poecilia catemacensis*. The fries were fed three times a day, performing biometrics every two weeks until they reached sexual maturation. The variables evaluated were, average age of sexual maturation, average length and weight when reaching sexual maturity and female fertility and fertility. The average age of sexual maturation between both species of males differed significantly ( $p < 0.03$ ), resulting in  $22.04 \pm 3.72$  weeks in *X. kallmani* and  $19.00 \pm 4.08$  weeks for *P. catemacensis*; on the other hand, the females of *X. kallmani* matured at a higher age than *X. kallmani* ( $24.80 \pm 2.44$  weeks) than in *P. catemacensis* ( $21.52 \pm 2.12$  weeks) ( $p < 0.001$ ). The average length and weight when reaching sexual maturity, in both species of fish differed significantly ( $p < 0.001$  and  $p < 0.001$ , respectively), in females of *X. kallmani* at  $50.80 \pm 7.12$  mm and in *P. catemacensis* at  $46.46 \pm 5.16$  mm, while the average weight for *X. kallmani* was  $4.79 \pm 0.58$  g in females and  $4.41 \pm 0.56$  g in males, while in *P. catemacensis* a weight of  $3.37 \pm 0.75$  g was obtained in males and  $3.83 \pm 0.65$  g in females, fecundity and fertility of females in *Xiphophorus kallmani* was  $57.59 \pm 7.21$  eggs and  $5.26 \pm 2.88$  embryos respectively. While in *Poecilia catemacensis* a fecundity of  $44.60 \pm 15.87$  eggs and a fertility of  $3.73 \pm 3.26$  embryos was obtained. Comparisons were made between both species, finding significant differences between both species ( $p = <.001$  fertility and  $p = 0.001$  fertility), whilst for the body condition factor no significant

differences were found between both species, however a negative correlation was found between the factor condition with fecundity ( $p < 0.001$ ) and fertility ( $p < 0.001$ ) for *Poecilia catemacensis*, while for *X. kallmani* only a negative correlation was found between the factor condition and fertility ( $p = 0.0486$ ). The data obtained during this research integrate for the first time information concerning the life histories of *X. kallmani* and *P. catemacensis*, which is a basic and indispensable requirement to continue with studies who pretend approach conservation aspects of both species of poecilids fish in the Lake from Catemaco, Veracruz.

**Key words** (*Poeciliidae*, Reproductive biology, vulnerable species)

## DEDICATORIA

Primeramente **a Dios** quien ha forjado mi camino y me ha guiado por el sendero del bien, el que en todo momento ha estado conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos de nuevo.

**A mi madre**, gracias por su apoyo, la orientación que me ha dado, por iluminar mi camino y por darme la pauta para poder realizar mis estudios. Agradezco los consejos que en el momento exacto ha sabido darme para no dejarme caer, y enfrentar los momentos difíciles, por ayudarme a tomar las decisiones que me han servido para balancear mi vida y sobre todo gracias por el amor tan grande que me brinda.

**A mis abuelos** por su apoyo incondicional en todo momento.



## AGRADECIMIENTOS

Al **Tecnológico Nacional de México**, en particular al **Instituto Tecnológico de Boca del Río**, por las facilidades para realizar mis estudios de Posgrado.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca otorgada, con número de registro 626811.

A la **Dra. Ma. Isabel Jiménez García** por aceptarme como su tesista sin antes conocerme, por guiarme durante la realización de la tesis, así como por resolver mis dudas, brindarme tiempo de calidad siempre que lo necesité y por su gran apoyo, tanto académico como personal.

Al **M.C. Leonardo Ismael Navarro Ángulo** por haberme asesorado ampliamente en el diseño y construcción de los sistemas de recirculación, así como por su apoyo durante el desarrollo del experimento, la revisión de la tesis y el manejo de la información recabada en durante la investigación.

Al **Dr. Carlos Iván Pérez Rostro** por recomendarme con quien realizar mi tesis, así como por los comentarios y sugerencias durante la revisión oportuna de la misma.

Al **Dr. Luis Alfredo Clemente Ortega** por ser miembro del comité de mi tesis.

A la **M.C. Magdiel Alejandra Ramírez Barragán** por compartir su conocimiento sobre el manejo de los organismos y el funcionamiento de los sistemas del laboratorio, por resolver todas mis dudas siempre que lo necesitaba y por brindarme su amistad.

Al **IAZ. Irán Luna Vivaldo** por ayudarme durante la realización de ésta tesis, por brindarme su amistad y por sus consejos para ser mejor persona.

A **mis tíos** por su apoyo durante éste proceso y por haberme incluido en su familia.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
ÍNDICE.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. ANTECEDENTES.....	6
3.1 Aspectos biológicos de la familia <i>Poeciliidae</i> .....	6
3.2. Distribución de familia Poeciliidae.....	7
3.3. Principales amenazas para los peces poecílidos.....	7
3.4. Factores que amenazan a los poecílidos de Catemaco.....	9
3.5 Historias de vida y aspectos reproductivos de la familia <i>Poeciliidae</i> .....	11
4. JUSTIFICACIÓN.....	17
5. HIPÓTESIS.....	19
6. OBJETIVOS.....	20
6.1. General.....	20
6.2. Específicos.....	20
7. ÁREA DE ESTUDIO.....	21
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
8.1. Implementación de los sistemas de recirculación acuícola.....	22
8.2. Alimentación.....	24
8.3. Cultivo de Artemia.....	25
8.4. Cultivo de Microalga ( <i>Nannochloropsis oculata</i> ).....	27
8.5. Cultivo de anguililla del vinagre ( <i>Turbatrix aceti</i> ).....	28
8.6. Selección de reproductores.....	29
8.7 reproducción de <i>Poecilia catemacensis</i> y <i>Xiphophorus kallmani</i> .....	30

8.8	Parámetros de mantenimiento del agua.....	31
8.9.	Madurez sexual en <i>Xiphophorus kallmani</i> y <i>Poecilia catemacónis</i> .....	32
8.9.1	Longitud total y edad de madurez sexual en machos.....	32
8.9.2	Longitud total, edad de madurez sexual y fecundidad de la primera reproducción en hembras.....	33
8.8.10	Determinación de la fertilidad de primera reproducción.....	36
8.8.11.	Evaluación del crecimiento de las crías .....	36
8.9	Índice de condición.....	36
8.10	Análisis estadístico.....	37
9.	RESULTADOS.....	38
9.1.	Conformación de los lotes de reproductores .....	38
9.2	Reproducción de las dos especies de peces.....	39
9.2.1	<i>Xiphophorus kallmani</i> .....	39
9.2.2.	<i>Poecilia catemacónis</i> .....	39
9.3.	Maduración sexual .....	40
9.3.1	<i>Xiphophorus kallmani</i> .....	40
9.3.1.1	Longitud .....	40
9.3.1.2	Peso .....	41
9.4	<i>Poecilia catemacónis</i> .....	42
9.4.1	Longitud.....	42
9.4.2	Peso .....	44
9.5	Maduración sexual en <i>Poecilia catemacónis</i> y <i>Xiphophorus kallmani</i> .....	46
9.5.1	Madurez sexual en machos .....	46
9.5.2	Madurez sexual en hembras.....	49
9.6	Evaluación del crecimiento entre especies ( <i>Poecilia catemacónis</i> y <i>Xiphophorus kallmani</i> ).....	51
9.6.1	Edad de maduración sexual .....	52
9.6.2	Longitud total y peso .....	52
9.6.3	Índice de condición.....	52
9.6.4	<i>Poecilia catemacónis</i> – asociaciones entre la fecundidad y fertilidad con variables biométricas.....	52
9.6.5	<i>Xiphophorus kallmani</i> -asociaciones entre la fecundidad y fertilidad con variables biométricas.....	54
10	DISCUSIÓN.....	56

10.1 Selección y conformación de los lotes reproductores .....	56
10.2 Reproducción de <i>Xiphophorus kallmani</i> y <i>Poecilia catemacónis</i> para la obtención de crías. ....	57
10.3 Maduración sexual .....	59
10.3.1 Edad y longitud total al alcanzar la madurez sexual en machos de <i>Xiphophorus kallmani</i> y <i>Poecilia catemacónis</i> . ....	59
10.3.2 Edad y longitud total al alcanzar la madurez sexual en hembras de <i>Xiphophorus kallmani</i> y <i>Poecilia catemacónis</i> . ....	62
10.3.3 Fecundidad y fertilidad de <i>Poecilia catemacónis</i> y <i>Xiphophorus kallmani</i> . ....	64
10.4 Crecimiento de <i>Poecilia catemacónis</i> y <i>Xiphophorus kallmani</i> .....	68
10.5 Índice de condición en <i>Xiphophorus kallmani</i> y <i>Poecilia catemacónis</i> .....	70
11 CONCLUSIONES .....	74
12 LITERATURA CITADA.....	75
12.1 Literatura gris .....	85

**ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla 8.2.1.** Horario de alimentación de *Poecilia catemacónis*.....24

**Tabla 8. 1.2.** Horario de alimentación de *Xiphophorus kallmani*.....25

**Tabla 8. 8.** Rangos de variación de los parámetros de calidad del agua en los sistemas de recirculación durante el estudio.....31

**Tabla 8.9.** Estadios de desarrollo en poecílicos de acuerdo a la clasificación de Haynes (1995).....34

**Tabla 9.6.4.** Asociaciones significativas entre variables biométricas y reproductivas de las crías obtenidas de *Poecilia catemacónis*. N= 133.....53

**Tabla 9.6.5.** Asociaciones significativas entre variables biométricas y reproductivas de las crías obtenidas de *Xiphophorus kallmani*. N= 73.....54

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**Figura 7. 1.** Ubicación del Laboratorio de Peces, Parasitología y Sanidad Acuícola del Instituto Tecnológico de Boca del Río.....21

**Figura 8. 1.** Filtro utilizado en los sistemas de recirculación acuícolas.....23

**Figura 8. 3.** Cultivo de *Artemia franciscana*.....26

**Figura 8. 4.** Cultivo de alga *Nannochloropsis oculata*.....27

**Figura 8. 5.** Cultivos de *Turbatrix aceti*.....28

**Figura 8. 6.** Punto grávido en hembra de *Xiphophorus kallmani*.....29

**Figura 8. 7.** Sistema de recirculación acuícola para el mantenimiento de crías...30

**Figura 8.9.1.** Gonopodio completamente formado de *Xiphophorus kallmani*.....32

**Figura 8.9.2.1.** Óvulos maduros en estadio IV de *Xiphophorus kallmani* .....33

**Figura 8. 2.2.1** Óvulos y ovocitos de *Xiphophorus kallmani*.....34

**Figura 9. 1.** Lote reproductor de *Xiphophorus kallmani*.....38

**Figura 9. 2.1.** Camada de *Xiphophorus kallmani*.....39

**Figura 9.2.2.** Camada de *Poecilia catemacónis*.....40

**Figura 9.3.1.1.** Comportamiento de la longitud total de ocho camadas de *Xiphophorus kallmani* hasta alcanzar su madurez sexual.....41

**Figura 9.3.1.2.** Comportamiento del peso de ocho camadas de *Xiphophorus kallmani* hasta alcanzar la madurez sexual.....42

**Figura 9.4.1.1.** Comportamiento de la longitud total de siete camadas de *Poecilia catemacónis* hasta alcanzar la madurez sexual.....43

**Figura 9.4.1.2.** Comportamiento de la longitud total de siete camadas de *Poecilia catemacónis* hasta alcanzar la madurez sexual.....44

**Figura 9.4.2.** Comportamiento del peso de siete camadas de *Poecilia catemacónis* hasta alcanzar la madurez sexual.....45

**Figura 9.4.2.1.** Comportamiento del peso de siete camadas de *Poecilia catemacónis* hasta alcanzar la madurez sexual.....46

<b>Figura 9.5.1.1.</b> <i>Xiphophorus kallmani</i> . Macho de 21 semanas de edad sexualmente maduro.....	47
<b>Figura 9.5.1.2.</b> <i>Poecilia catemacónis</i> . Macho de 21 semanas de edad sexualmente maduro.....	47
<b>Figura 9.5.2.1.</b> <i>Xiphophorus kallmani</i> , hembra de 21 semanas de edad sexualmente madura.....	49
<b>Figura 9.5.2.2.</b> <i>Poecilia catemacónis</i> , hembra de 21 semanas de edad sexualmente madura.....	59
<b>Figura 9.5.2.5.</b> <i>Xiphophorus kallmani</i> , hembra al momento de su disección.....	51
<b>Figura 9. 5.2.5.1.</b> Óvulos en estadio XI de <i>Poecilia catemacónis</i> .....	51



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El lago de Catemaco cuenta con especies de peces endémicos y vulnerables, dentro de los cuales destacan el espada de Catemaco (*X. kallmani*) y el guatopote azul (*P. catemaconis*), aunque ninguno de ellos tiene importancia comercial, *P. catemaconis* se caracteriza por ser el segundo poecílido más grande en el mundo y *X. kallmani*, tiene atractivo en acuariofilia, en particular, por la elongación de la aleta caudal en los machos que asemeja la forma de una espada, y por las bandas oscuras que bordean a algunos de los ejemplares. Adicionalmente, los poecílicos, juegan un papel ecológico fundamental en las cadenas tróficas que se establecen entre la biota del lago de Catemaco, por ejemplo, son la base de la alimentación de especies de importancia ecológica y pesquera, entre las que destacan las aves pelicaniformes y peces como la falsa anguila (*Ophisternon aenigmaticum*) y las mojarra blanca (*Vieja fenestrata*), conchera (*Cichlasoma* sp.) y colorada (*Cichlasoma* sp.) así como la pepesca (*Bramocharax caballeroi*), el chipo (*Rhamdia guatemalensis*) y el juile (*Rhamdia* sp.). A pesar de lo anterior, no se cuenta con investigación suficiente respecto a su biología reproductiva; en particular, en el caso de *Xiphophorus kallmani*, la información disponible se limita a estudios *in situ* de pesquerías en el lago de Catemaco. Con respecto a *Poecilia catemaconis*, no existen investigaciones publicadas. Es por ello, que resulta importante estudiar e integrar algunos elementos de su biología reproductiva tales como fertilidad, fecundidad, índice de condición, edad de maduración sexual, longitud total y peso al que hembras y machos alcanzan la madurez sexual, elementos que son importantes para estudiar las características demográficas básicas de una población o especie, así como los patrones de los sucesos de supervivencia y reproducción típicos de una población o especie los cuales conforman su ciclo de vida, es decir, para conformar las historias de vida de los peces. Resulta importante desarrollar estudios de laboratorio que abarquen tales

elementos en *X. kallmani* y *P. catemacónis*, puesto que al ser especies cuyas poblaciones naturales se encuentran en declive, dicha información básica, es indispensable. Si bien, las historias de vida de ambas especies de poecílicos proporcionarían información elemental para su manejo y conservación, no se limitaría a ello, ya que además tienen un gran aporte en distintos ámbitos, tales como su utilización como especies centinela y bioindicadoras; además, las historias de vida también pueden ser utilizadas en taxonomía, estableciendo relaciones entre los distintos taxones e igualmente diferenciando especies, aparentemente similares. Debido a lo anterior, la información generada en esta investigación resulta relevante, ya que sienta las bases para el desarrollo de estrategias para estudios multidisciplinarios que aborden temas de conservación, en particular, a través de su cultivo en cautiverio, con miras a su posterior repoblamiento.

## 2. INTRODUCCIÓN

Norte América es considerada como la región que alberga la mayor biodiversidad de organismos de agua dulce en el mundo (Abell *et al.*, 2000), la cual se encuentra representada principalmente por invertebrados acuáticos, dentro de los cuales destacan insectos, crustáceos y moluscos, así como por vertebrados, los cuales son en su mayoría peces continentales (Page y Burr, 1991). Sin embargo, los ambientes dulceacuícolas y su biota resultan ser los más afectados en todo el mundo (Closs *et al.*, 2016).

El lago de Catemaco se encuentra ubicado en el sureste en México en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, posee un paisaje y biodiversidad que resulta un recurso valioso para los pobladores locales, debido a la generación de empleos e ingresos relacionados con la pesca y el turismo (Serio-Silva, 2006). Una de las características de éste cuerpo de agua es su gran número de endemismos presentes, que en el caso de la ictiofauna comprende a especies de las familias: Characidae, Pimelodidae, Cichlidae, Poeciliidae, Clupeidae y Synbranchidae (Miller *et al.*, 2009). En particular, dentro de la familia Poeciliidae, *Poecilia catemacensis* y *Xiphophorus kallmani*, han soportado cierto grado de afectación antropogénica (Ramírez, 2014), sin embargo, están consideradas como especies amenazadas (Jelks *et al.*, 2008) en estado de vulnerabilidad, esto basado en: la destrucción, reducción o modificación de su hábitat; contaminación; sobre explotación para uso comercial, recreacional, científico o educativo; erradicación intencional o indirecta; área de distribución restringida y, la presencia de organismos no nativos, con los que puedan competir, ser depredados o hibridar, entre otros aspectos (Jelks *et al.*, 2008). Lo anterior, puede traer como consecuencia, el aumento en la competencia por alimento, espacio disponible, depredación de crías y huevos de especies nativas, y finalmente, aspectos relacionados con la introducción y transmisión de enfermedades y parasitismo

hacia las especies de peces nativas (Mercado-Silva *et al.*, 2011), por ejemplo, se ha documentado la introducción de monogéneos parásitos de cíclidos introducidos (*Oreochromis* spp.) a cíclidos nativos de Catemaco, y viceversa (Jiménez-García *et al.*, 2001). Se tienen registros de peces no nativos en el lago de Catemaco, que posiblemente tengan un impacto negativo sobre las comunidades de peces nativas y endémicas en dicho lugar, entre ellos destaca la presencia de especies de la familia Cichlidae, como las tilapias (*Oreochromis* spp.), introducidas desde los 90's (Jiménez-García, 1993), y por otra parte al cíclido americano introducido *Mayaheros urophthalmus* conocido como "mojarra chogoma" (Jiménez-García y Suárez-Morales, 2017 ) y *Torhichtys* sp. (Lorán *et al.*, 2006).

Con respecto a lo anteriormente mencionado, no existen estudios que permitan conocer con certeza el papel de los posibles factores que han puesto a los poecílicos de Catemaco en estatus de vulnerabilidad. La información que se tiene actualmente sobre los poecílicos de Catemaco es escasa, limitándose a su descripción taxonómica y la información acerca de su biología, en la mayoría de los casos incluye solo observaciones puntuales (Miller *et al.*, 2009; Lorán *et al.*, 2013).

Por otra parte, se han estudiado las enfermedades infecciosas que aquejan a *Poecilia catemacensis*, *Pseudoxiphophorus tuxtlaensis* y *Xiphophorus kallmani*, quienes presentan un número relativamente elevado de especies de parásitos protozoarios y metazoarios (23 en *P. tuxtlaensis* y 12 en *P. catemacensis* y *X. kallmani*), los cuales ocupan prácticamente todos los órganos y tejidos de sus hospederos, lo cual parece indicar que el parasitismo puede jugar un papel importante en los ciclos biológicos de sus hospederos, afectando con probabilidad su adecuación biológica (crecimiento, reproducción y supervivencia) (Ramírez-Barragán, 2014).

A pesar del conocimiento de la biología reproductiva y mantenimiento en cautiverio de algunos poecílicos de Catemaco, es necesario continuar generando información acerca de su desarrollo que permita integrar sus historias de vida, puesto que tanto el conocimiento básico de su ecología, como el de su biología reproductiva resulta indispensable para la conservación de especies amenazadas (Ramirez-García *et al.*, 2018). Por tanto, el objetivo de esta investigación de tesis fue obtener los datos básicos para integrar la historia de vida (edad y longitud a la que hembras y machos alcanzan la madurez sexual, fertilidad, fecundidad, tasas de crecimiento) de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemaconis*. Siendo la hipótesis de éste estudio que *Poecilia catemaconis* alcanzará la madurez sexual a edad y longitud total menor que *Xiphophorus kallmani*, debido a que poecílicos del género *Xiphophorus* tienden a madurar a mayor longitud y edad en comparación con otros géneros de la familia (Milton y Arthington, 1982).

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Aspectos biológicos de la familia *Poeciliidae*

Los poecílidos comprenden en su mayoría peces vivíparos lecitotróficos (antiguamente llamados ovovivíparos) pequeños, de entre 31 a 70 mm de longitud (200 mm máximo), los cuales presentan dimorfismo sexual, observable fácilmente en adultos por la presencia del gonopodio (una modificación de los radios anales 3 a 5) en los machos (Hurt y Hedrick, 2003). Morfológicamente, una característica de los miembros de esta familia es que tanto en hembras como en machos los primeros tres radios anales no están divididos, y el tercero casi alcanza el margen distal de la aleta. El cuarto radio es profundamente ramificado (Miller *et al.*, 2009).

Por lo regular las hembras alcanzan una longitud mayor respecto a los machos (Arévalo *et al.*, 2010), se reproducen por fecundación interna (Hrbeck *et al.*, 2007) y dan luz a crías vivas con excepción del género *Tomeurus*. Las hembras de peces poecílidos pueden ser altamente fértiles, son capaces de producir camadas sucesivas, en el caso de *Poecilia reticulata* inclusive estando aisladas de machos hasta por 10 meses o más, esto debido a su capacidad para retener esperma (López-Sepulcre *et al.*, 2013)

Así mismo, algunas especies de poecílidos pueden presentar superfetación, de manera que dos o más camadas que se encuentren en diferentes etapas de desarrollo, con al menos tres estadios de diferencia, coexisten en una sola hembra (Miller *et al.*, 2009) y presentan además diferente aprovisionamiento nutricional, ya sea por lecitotrofia (administración de nutrientes al embrión por medio del vitelo) o matrotrofia, la cual hace referencia a la provisión de nutrientes de manera directa de la madre hacia el embrión (Blackburn, 1992 y Haynes, 1995). En el caso de los machos poecílidos, la transformación de la aleta anal en gonopodio va a determinar la edad y longitud a la que alcanzan su madurez sexual (Arévalo *et al.*,

2010). Para las hembras, la madurez sexual se define por la presencia de óvulos y embriones (Schoenherr, 1977).

### **3.2. Distribución de familia Poeciliidae**

Los poecílicos son peces pertenecientes a la familia *Poeciliidae*, la cual tiene una distribución principalmente tropical con más de 348 especies reportadas en 40 géneros. La mayor riqueza de especies la tiene el género *Gambusia* (44 especies), seguido por *Poecilia* (39 especies), *Xiphophorus* (28 especies), *Poeciliopsis* (24 especies), *Phalloceros* (22 especies) y *Limia* (21 especies) (Froese y Pauly, 2012).

En el continente americano se les encuentra tanto en agua dulce como salobre, teniendo una distribución que abarca desde el noreste de los Estados Unidos hasta el norte de Argentina (Gómez-Márquez, 1999), encontrándose en cuerpos de agua no superiores a los 2000 m sobre el nivel del mar (Arévalo *et al.*, 2010).

Poecílicos de ciertas especies conocidas comúnmente como platys y colas de espada, que pertenecen al género *Xiphophorus*, los guppies (*Poecilia reticulata*) y los mollies (género *Poecilia*), tienen una importancia económica relevante debido a su gran demanda en la ramo de la acuariofilia ornamental (Miller *et al.*, 2009),

Por otra parte, algunos poecílicos nativos de América del norte, tales como *Gambusia affinis* y *G. holbrooki*, han sido introducidos en diversas regiones del continente europeo, principalmente como controladores biológicos de mosquitos (Stockwell *et al.*, 2011).

### **3.3. Principales amenazas para los peces poecílicos**

A pesar de la amplia distribución geográfica de los poecílicos, un gran número de especies se encuentran amenazadas, el 33% de los nativos de América se encuentran catalogados como especies en peligro, dentro de las cuales ocho están clasificadas como amenazadas, en la categoría de especies en vulnerabilidad (Jelks *et al.*, 2008).



Diversos factores han sido identificados para incluir a las especies dentro de diversas categorías de amenaza, entre las que se encuentran: Destrucción, modificación o reducción de su hábitat: explotación por propósitos comerciales, recreacionales, científicos o educacionales incluida la erradicación intencional o por impactos indirectos de la pesca; enfermedades o parasitismo; impactos de organismos no nativos, hibridación, competencia, predación; y área de distribución restringida (Jelks *et al.*, 2008).

Uno de los principales motivos relacionados con la pérdida de especies endémicas, deriva del impacto que genera el hombre en el hábitat y que de manera particular en especies acuáticas, está a menudo asociados con prácticas de manejo del agua, lo que regularmente resulta en la pérdida o fragmentación del hábitat (Stockwell y Henkanaththegedara, 2011). Otro factor que impacta a las poblaciones naturales de poecílidos y otras especies acuáticas, es la degradación del hábitat asociada con el uso de la tierra, tales como el pastoreo excesivo, el cual conlleva al uso o abuso de plaguicidas e insecticidas, y el vertimiento de desechos contaminantes industriales, los cuales generan efectos adversos en las comunidades acuáticas, y en ocasiones producen la aparición de características sexuales no propias, tales como la masculinización de hembras, las cuales desarrollan gonopodio alterando su comportamiento reproductivo y por tanto el equilibrio de las poblaciones (Iguchi *et al.*, 2007).

Con respecto a enfermedades parasitarias, se han detectado la transfaunación de parásitos de poecílidos introducidos hacia especies de peces nativas australianas (Dove, 2000). En el lago de Catemaco, se tiene el reporte de un parásito con alto potencial patógeno, el protozoario ciliado, *Ichthyophthyrus multifiliis* en *Pseudoxiphophorus tuxtlaensis* y *Xiphophorus kallmani* (Ramirez, 2014 y García-Sánchez, 2017). Adicionalmente, se ha documentado la transfaunación de los parásitos monogéneos de origen africano, *Cichlidogyrus longicornis*, *C. sclerosus*, *C. tilapiae* y *Enterogyrus malmbergi*, de sus hospederos originales, las tilapias *Oreochromis aureus* y *O. niloticus*, cíclidos africanos a *Cichlasoma callolepis* y *C.*

*fenestratum*, los cuales son cíclidos nativos de México, mientras que se ha reportado la presencia del monogéneo *Sciadicleithrum bravohollisae* en el cíclido africano *O. aureus* (Jiménez-García *et al.*, 2001).

#### **3.4. Factores que amenazan a los poecílidos de Catemaco**

Para el lago de Catemaco se tiene el reporte de que la transformación del hábitat, principalmente a causa de la tala inmoderada en zonas aledañas al lago propicia el deterioro del ambiente acarreando sustancias al lago entre ellas pesticidas (CONANP, 2006). Existe presencia de pesticidas organoclorados (Diedrín, pp´DDT, pp´DDE y  $\alpha$ -HCH) en el sedimento, y se han encontrado concentraciones de Diedrín en músculo de caracol tegogolo (*Pomacea patula catemacensis*) y de topote (*Dorosoma petense*), que, si bien son concentraciones por debajo de los niveles de toxicidad, presentan un peligro potencial debido sus efectos negativos a largo plazo a causa de la bioacumulación de los mismos (Villagómez *et al.*, 2001). Pudiendo afectar a las especies de poecílidos tal y como lo reportado en estudios previos en los cuales se registraron variaciones en el ritmo opercular, irritabilidad, movimientos erráticos y excitación general en peces de la familia Characidae, asociados a altos niveles de Diedrín (Canestri, 1975).

Así mismo, otro factor que influye en la ictiofauna de Catemaco es el comercio con fines de acuariofilia de *Xiphophorus kallmani* (Lorán *et al.*, 2013), factor que es considerado como la mayor causa de la sobreexplotación de peces en cuerpos de agua dulce, se tiene el reporte de que el 90% de los que se comercializan en el mercado de los peces ornamentales, proviene directamente de poblaciones en estado silvestre (Stockwell y Henkanaththegeedara, 2011). Dicho mercado tiene una alta demanda en el sector por su continuo crecimiento (Gómez-Márquez, 1999).

Otro factor que influye negativamente en las poblaciones nativas y endémicas y que es importante considerar, es la introducción en el ambiente natural de especies exóticas con diferentes propósitos, pues puede conllevar a la extinción de especies endémicas y nativas debido a que suelen caracterizarse por mantener una alta competencia, depredación o alteración del hábitat (Miller *et al.*, 2009), aunado a que presentan una alta tolerancia a condiciones ambientales y en la mayoría de los casos, se han liberado de sus enemigos naturales: ausencia de depredadores y de parásitos que controlaban sus poblaciones en sus ambientes originales (Dove, 2000). Lo anterior favorece la colonización y establecimiento de especies introducidas, que se convierten en invasoras, en detrimento de las especies locales (Benejam *et al.*, 2009). Al respecto, un trabajo de tesis realizado en Catemaco, comparando la parasitofauna de peces nativos y endémicos en comparación con los introducidos (*Mayaheros urophthalmus*, antes conocido como *Cichlasoma urophthalmus*) y de *Thorichthys helleri* demostró que los peces introducidos y de mayor tamaño presentan menor riqueza y abundancia de parásitos en comparación con los peces nativos y endémicos, encontrándose un mayor número de especies de parásito en los peces nativos, *B. caballeroi* (6), seguido de *P. catemacensis* (5), *T. helleri* (4), y *D. petenense* (2), mientras que en el cíclido translocado, *M. urophthalmus* (2) y en la tilapia *O. aureus*, pez de origen africano, no se presentaron parásitos, datos que concuerdan con la hipótesis del origen geográfico de los peces, en donde los introducidos presentan menor riqueza y abundancia que los nativos o endémicos (García-Sánchez, 2017). Igualmente, las especies de parásitos registradas presentaron prevalencias menores al 30% en las especies de peces introducidos en comparación con los valores usualmente entre el 90% y 100% para las especies nativas y endémicas (García-Sánchez, 2017).

Así mismo, en el lago de Catemaco se tiene el registro de contaminación biológica por bacterias, se conoce que en el lago hay presencia de diversas especies de bacterias entre las que destacan *E. coli* y *Enterobacter hafniae*, mismas que se

han encontrado en tegogolos, y si bien se encuentran en niveles permisibles, están en el límite, a causa de ello se ha visto afectado de forma negativa el crecimiento de los mismos (Moreno *et al.*, 2009).

Otro factor a considerar son las inundaciones, debido a que en época de lluvias, particularmente en octubre, el volumen del lago puede llegar a aumentar hasta 450 m<sup>3</sup> de agua por segundo, debido a lo cual se tiene que liberar las presas por medio de desfogues, para ello se suelen abrir las compuertas para permitir la salida de hasta 400 m<sup>3</sup> de agua por segundo (Diario Eyipantla, 2015).

Es por ello, que en el lago de Catemaco, se presentan prácticamente todos los factores de origen natural y antropogénico, que con seguridad, están afectando negativamente a las especies endémicas, como es el caso de *Poecilia catemaconis* y *Xiphophorus kallmani*, que al ser especies endémicas del lago de Catemaco presentan mayor vulnerabilidad a extinguirse, puesto que se tiene el reporte de que las especies de peces con rangos geográficos restringidos, son más vulnerables a extinguirse por su limitada distribución (Jonhson y Hubbs, 1989).

### **3.5 Historias de vida y aspectos reproductivos de la familia *Poeciliidae***

Con respecto a los peces de la familia *Poeciliidae* ocho son las características reproductivas que se consideran para realizar estudios acerca de historias de vida: frecuencia de reproducción, tamaño de camada, aprovisionamiento maternal, superfetación, tamaño de la cría, edad de madurez sexual, longitud de maduración y distribución por sexos (Haynes, 1995).

Dentro de la familia *Poeciliidae* existen diversos estudios preliminares acerca del comportamiento reproductivo de algunas especies. Por ejemplo, en *Poecilia reticulata*, las hembras tienen una preferencia hacia los machos con colas más

largas, característica que está asociada con la longitud, la cual, en el caso de los machos, no tiene una relación directa con la edad (Reynolds y Gross, 1992).

Si bien, diversos autores reportan que las hembras de *Poecilia reticulata* tienden a escoger machos con una ornamentación llamativa y a individuos que realicen movimientos destacables, al efectuar el cortejo y seleccionar a sus parejas con fines reproductivos, otros autores indican que la respuesta de selección de las hembras es muy variable, sin que se pueda definir, de momento, algún patrón concreto de selección o característica de los machos, tanto de color corporal como de movimientos en el cortejo, que se configure como significativamente más atractivo para las hembras (Barreiro-Buceta, 2013).

En el caso del *Poecilia reticulata*, los machos con una mayor longitud total, engendran crías que crecen más rápido en comparación con las de padres pequeños (Reynolds y Gross, 1992). Así mismo, se encontró que la disponibilidad de alimento tiene un efecto sustancial en el crecimiento y talla alcanzada, y que las hembras reproductoras invierten el doble de energía en la formación de tejidos reproductivos, en comparación con tejidos para el crecimiento (Reznick, 1983). Por otra parte, para el caso de las hembras, el período de incubación fluctuó entre 28 y 35 días y una vez fecundadas, éstas pueden realizar de tres a cinco partos sin presencia de macho, con un intervalo entre partos entre 1 y 30 días (promedio de  $15.8 \pm 8.3$  días). Por otra parte, se encontró que, para todo su período reproductivo, las hembras tienen un valor promedio de  $18.0 \pm 14.6$  ovocitos (intervalo entre 1 y 66),  $18.6 \pm 19.6$  óvulos (intervalo entre 1 y 108),  $25.4 \pm 22.7$  huevos (intervalo entre 1 y 97) y  $20.3 \pm 30.1$  larvas (intervalo entre 1 y 104). Así mismo, se comprobó que la fecundidad (Número total de ovas al momento del análisis) y fertilidad (Número de alevines por camada), están positivamente relacionadas con la longitud total de la hembra al seleccionar a sus parejas (Urriola *et al.*, 2004). La fecundidad (suma de óvulos y ovocitos al momento del análisis) y la fertilidad (número de alevines por camada) de las hembras de *P. reticulata* tiene relación con su longitud total, puesto que, a mayor longitud, éstas presentan mayor fertilidad y fecundidad (Urriola *et al.*, 2004); tales autores

concluyeron que *P. reticulata* presenta un alto grado de matrotrofia y superfetación, debido a que las hembras pueden tener ovocitos, óvulos, huevos y embriones simultáneamente en la cámara incubatriz, y éstos últimos están cubiertos por una membrana, que les permite la transferencia de nutrientes desde la madre.

Se ha reportado que la talla a la cual *P. reticulata* inicia su etapa reproductiva es menor en machos que en hembras, lo cual es atribuible a que la tasa de crecimiento de los machos es mayor, como respuesta a la competencia por las hembras, siendo éstas las que alcanzan la madurez sexual a longitud total mayor a 23.6 mm, mientras que los machos a partir de 20 mm, lo cual está posiblemente relacionado con la presencia de depredadores durante la cópula, esto debido a que los machos con colores más llamativos en sus aletas caudales, resultan más atractivos para las hembras (Urriola Hernández *et al.*, 2004), y a la vez, más visibles para sus depredadores. Además, se registró que los valores del índice de condición de los peces en cautiverio, son importantes debido a que en especies amenazadas pueden proporcionar información sobre cómo responden a determinadas acciones de manejo (Urriola *et al.*, 2004).

Además de *P. reticulata*, otra especie sobre la cual se han realizado investigaciones acerca de historias de vida de algunas especies de poecílicos es *Gambusia marshi*, identificando la edad de maduración sexual en machos entre los 18-20 mm y 20-22 mm en las hembras, así mismo se encontró una correlación positiva entre la longitud total de las hembras y el número de embriones, se encontró superfetación (más de dos camadas en distinto estadio) en 2.4 % de los organismos analizados para ésta especie (Meffe, 1985).

Así mismo, se determinaron algunos patrones en la historia de vida de *Poeciliopsis occidentalis*, especie en la cual se identificaron diferencias entre dos poblaciones silvestres que habitaban dos manantiales en Arizona, uno de ellos con mayor disponibilidad de alimento que el otro, encontrándose que las hembras que nacen en el sitio con menor disponibilidad de alimento alcanzan la madurez sexual al año de edad, mientras que las hembras nacidas en el sitio con mayor

disponibilidad de alimento maduran sexualmente a los cinco meses de edad, así mismo, las hembras nacidas en el sitio con mayor disponibilidad de alimento presentaron mayores valores de fecundidad ( $13.6 \pm 2.5$  ovas), en comparación con las nacidas en el sitio de menor disponibilidad de alimento ( $4.69 \pm 1.1$ ), (Constantz, 1989).

Otra especie de poecílido para la cual se identificaron algunos componentes de su historia de vida es *Brachyrhaphis rhabdophora*, en la cual se encontró que las hembras alcanzan la madurez sexual entre los 22-24 mm de longitud total, encontrándose una correlación positiva entre la fecundidad y el peso de las hembras, y no se encontró una correlación entre el peso de las crías al nacer y la longitud total de las hembras (Reznick *et al.*, 1993).

De igual modo, se estudió la historia de vida de *Phalloceros caudiomaculatus*, especie en la que se encontró la presencia de matrotrofia, es decir la provisión de nutrientes de manera directa de la madre hacia el embrión, se reportó una longitud total de 23.9–38.2 mm de las hembras en su primera reproducción, misma en la cual tuvieron una fertilidad de 10-28 alevines por camada, mientras que se encontraron machos maduros sexualmente a longitudes de 16-31 mm (Alias Reznick, 2000).

Para los guppies (*Poecilia reticulata*), se tiene reportado una longitud total promedio en hembras de  $34.43 \pm 7.26$  mm y un peso de  $0.69 \pm .48$  g al alcanzar su madurez sexual, así mismo, se tiene el reporte de que presenta superfetación y matrotrofia, las hembras presentaron una fertilidad (suma de huevos y embriones) de entre 7.89 y 197.58, mientras que la fecundidad (suma de ovocitos y óvulos), se encontró entre 6.98 y 178.99 (Urriola *et al.*, 2004).

Por otra parte, se ha estudiado la historia de vida de *Heterandria bimaculata*, especie para la cual se determinó la longitud total de madurez sexual, 27 mm en machos y 40 mm en hembras, en el caso de las hembras se encontraron de 7-79 embriones al momento de su análisis, así mismo se determinó que las hembras viven más de dos años, mientras que los machos solo uno (Olinger *et al.*, 2016).



Por último, en un estudio realizado para *Pseudoxiphophorus bimaculatus* y *Poecilia sphenops*, se encontró una fertilidad máxima de  $15.99 \pm 2.27$  embriones para *P. bimaculatus* y de  $31.26 \pm 4.17$  embriones para *P. sphenops*; se encontraron diferencias significativas entre el tamaño de la hembra y machos de éstas dos especies, también se identificó la longitud total a la cual alcanzan la madurez sexual, en el caso de las hembras de *P. sphenops* fue de  $38.59 \pm 2.51$  mm y en los machos  $33.91 \pm 1.83$  mm, y en *Pseudoxiphophorus bimaculatus*,  $31.82 \pm 4.24$  mm en hembras y  $26.44 \pm 1.34$  mm en machos (Ramírez-García *et al.*, 2017).

De manera más particular, con respecto a las especies de poecílidos del lago de Catemaco, se observó que organismos silvestres de *Poecilia catemacensis* se reproduce durante todo el año, presentando dos picos, en abril y septiembre (Lorán *et al.*, 2006). Tales autores determinaron que las hembras pueden alcanzar una longitud total de 119 mm, siendo el promedio 90 mm mientras que los machos 85 mm; también reportan que hembras silvestres alcanzaron la madurez sexual a los 93 mm, y que la talla mínima para hembras grávidas fue de 52 mm; por su parte, los machos maduran sexualmente a una longitud total media de 78.5 mm (Lorán-Núñez *et al.*, 2013). Por otra parte, bajo condiciones de laboratorio se reportó que los machos de *Poecilia catemacensis* maduraron sexualmente a los 5 y 6 meses, contando con una longitud total de 63 y 64 mm. En el caso de las hembras se reportó la fecundidad de la primera reproducción después de los 180 días de nacidas; así mismo, se registró que las crías al nacer tienen una longitud total de  $1.438 \text{ cm} \pm 0.072 \text{ cm}$  (Ramírez, 2014).

En cuanto a *Xiphophorus kallmani* es una especie descrita hace relativamente poco tiempo, se colectó de una pequeña corriente entrante al lago de Catemaco (Kallman y Kazianis, 2006), de ella no se tiene información respecto a su historia de vida ni de sus parámetros poblacionales. Sin embargo, una especie del género *Xiphophorus*, *X. helleri*, pez nativo de Norte y Centroamérica ha sido relativamente bien estudiado, se ha registrado que al nacer sus crías tienen una longitud promedio de  $0.8 \text{ cm} \pm 0.0062$  (Essenberg, 1923). *X. helleri* se reproduce durante

todo el año, de agosto a mayo, llegando a producir entre ocho y nueve camadas en los meses de octubre a diciembre en los que presenta un pico de reproducción, mientras que *X. maculatus* se reproduce principalmente entre septiembre y marzo, con un número de camadas de entre cinco y seis (Milton y Arthington, 1983).

En el género *Xiphophorus* se ha registrado que las hembras tienen mayor preferencia reproductiva a machos con gonopodios más prominentes, los cuales alcanzan su madurez sexual a un promedio de  $77 \pm 2.45$  mm (Basolo, 1990). Aunque, es importante notar que otros autores difieren en ésta cifra, a longitud estandar de entre 25 mm a 30 mm que alcanzaron a las nueve y doce semanas de vida. Con respecto a esto, se menciona que el desarrollo temprano o precocidad en los machos de esta especie, puede ser parte de su estrategia reproductiva, pues de ello depende la posibilidad de dejar descendencia. Otra explicación posible para que ocurra a maduración temprana del pez puede deberse a que en los machos, el riesgo de predación es más alto debido a las características fenotípicas que presentan, pues su gonopodio suele ser desde la mitad de la longitud estándar del pez, hasta de la misma longitud estándar del organismo para *X. helleri*, o debido a su prominente cola (aleta caudal), desplegada como carácter sexual secundario en los machos, lo que los hace particularmente propensos a ser depredados (Rivera *et al.*, 2016).

Desafortunadamente, no se cuenta con registros anteriores con los que se pudieran comparar la longitud de este carácter en machos, por lo que este estudio, proporcionará información base a comparar, particularmente debido a los diversos factores de estrés, de origen o no, antropogénicos en el lago, en particular la presencia de especies introducidas con fuertes preferencias hacia la depredación de peces como lo son *Mayaheros urophthalmus* y *Torhychthys* sp.

Por otra parte, para la especie *Pseudoxiphophorus tuxtlaensis*, se ha registrado que sus crías al nacer miden en promedio 10 mm  $\pm$  1mm de longitud total. Las hembras producen óvulos con un diámetro promedio de  $3.05 \pm 0.275$  mm, así mismo, presenta una correlación entre su longitud total y el diámetro de sus óvulos (Ramírez, 2014)

#### 4. JUSTIFICACIÓN

El lago de Catemaco se caracteriza por presentar un número relativamente alto de especies de peces, varios endémicos. Dentro de su riqueza ictiológica, destacan los peces de la familia *Poeciliidae*, representada por *Xiphophorus milleri*, *Poeciliopsis catemaco*, *Poecilia catemaconis*, *Pseudoxiphophorus tuxtlaensis* y *X. kallmani*, todas ellas catalogadas como especies vulnerables, y *X. milleri* en peligro de extinción. Este nivel de afectación a las poblaciones de poecílicos, muy probablemente se asocie con la liberación de descargas de aguas residuales, destrucción de su hábitat, la introducción de especies no nativas, y a que suelen ser capturadas incidentalmente, con la pesca de especies relativamente pequeñas, de interés comercial utilizando atarrayas. A la fecha, solo se cuenta con investigaciones acerca de las pesquerías de *Poecilia catemaconis*, sin embargo, no existen estudios que aborden aspectos de su biología reproductiva, tales como su fertilidad, fecundidad, edad de la primera camada y de madurez sexual, las cuales conforman su historia de vida. Este conocimiento es útil porque brinda información indispensable para el aprovechamiento de poblaciones naturales, desarrollo de estrategias de conservación, establecer relaciones entre taxones y acerca de la influencia de las condiciones ambientales en la estructura poblacional de una especie. Poder integrar la historia de vida de los poecílicos de Catemaco permitirá contar con información para utilizar en la propuesta de posibles estrategias de manejo, así como evidenciar patrones biológicos que estén ligados al éxito adaptativo de las especies. Por tanto, en esta investigación de tesis se pretende obtener información acerca de la biología reproductiva de *X. kallmani* y *P. catemaconis*, en particular sobre la edad y longitud a la que alcanzan su madurez sexual, así mismo se determinará la fecundidad y fertilidad de las hembras en la primera reproducción, y finalmente, se contará con los valores del índice de condición de los peces en cautiverio, lo cual es importante ya que en especies amenazadas puede proporcionar información sobre cómo responden a

acciones de manejo. Adicionalmente, permitirá contar con una base de datos a partir de la cual se puedan realizar inferencias sobre diversas variables (de origen natural y antropogénico) que puedan estar perturbando a los componentes de las historias de vida, y contribuirá al desarrollo de estrategias de conservación que permitan la restauración de poblaciones afectadas, vulnerables o en peligro de extinción.

## 5. HIPÓTESIS

*Poecilia catemacónis* alcanzará la madurez sexual a edad y longitud total menor que *Xiphophorus kallmani*.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1. General

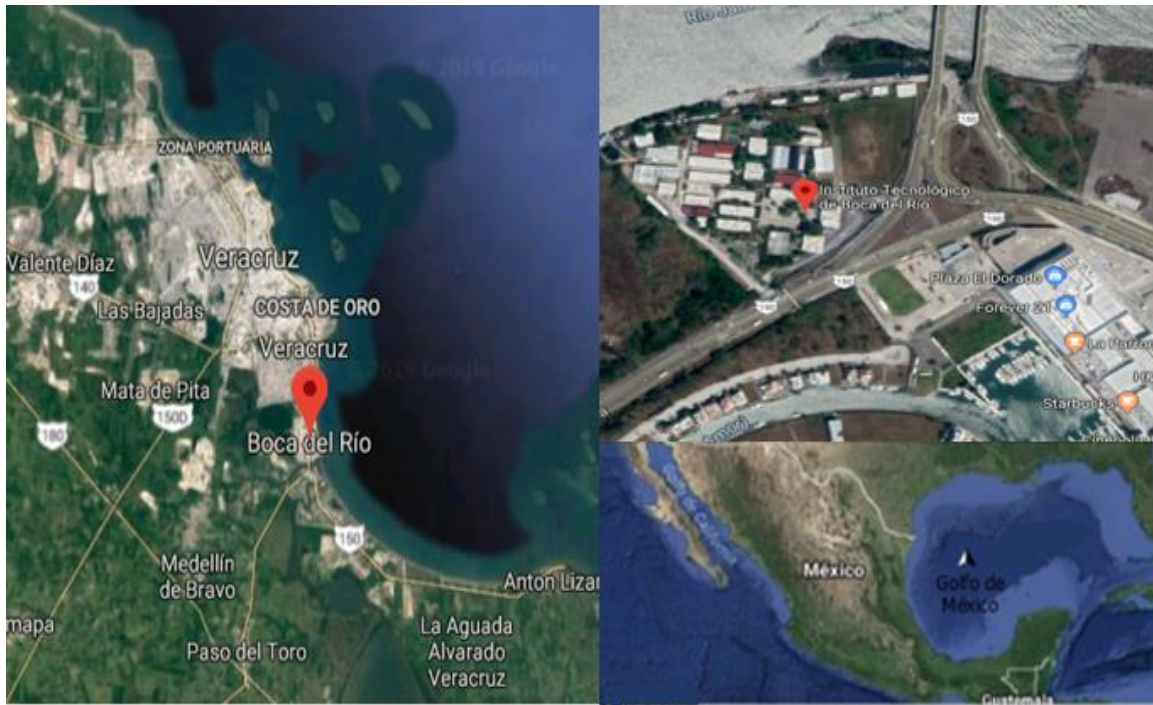
Determinar algunos componentes de la historia de vida de *Poecilia catemacensis* y *Xiphophorus kallmani*, poecílicos en estado de vulnerabilidad del lago de Catemaco, Veracruz.

### 6.2. Específicos

1. Seleccionar peces adultos de *Poecilia catemacensis* y *Xiphophorus kallmani* libres de ectoparásitos para formar los lotes de reproductores.
2. Reproducir a las dos especies de poecílicos para la obtención de las crías a analizar.
3. Determinar la edad y longitud a la que los machos y hembras de *P. catemacensis* y *X. kallmani* alcanzan la madurez sexual.
4. Evaluar la tasa de crecimiento de las especies bajo estudio.

## 7. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Peces, Parasitología y Sanidad Acuícola de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Boca del Río, ubicado en el boulevard Riviera Veracruzana # 14, Veracruz, Ver. (fig. 7.1).



**Figura 7. 2** Ubicación del Laboratorio de Peces, Parasitología y Sanidad Acuícola del Instituto Tecnológico de Boca del Río. Imágenes tomadas de Google Earth.



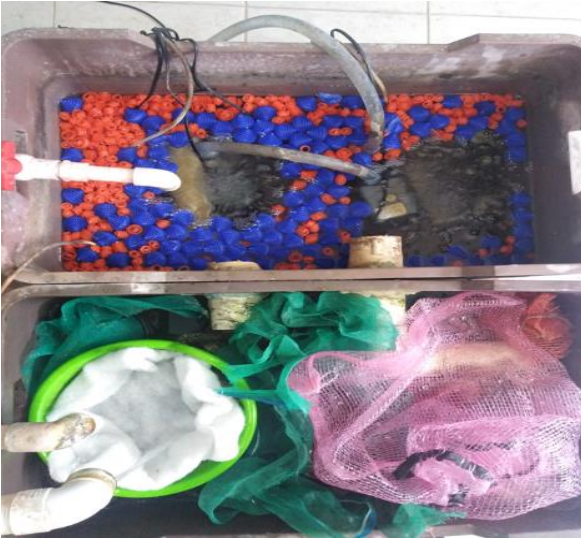
## 8. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un estudio observacional de un factor (especie), 2 niveles (*Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*) y 10 réplicas (grupos de reproductores) para lo cual se siguió la siguiente metodología.

### 8.1. Implementación de los sistemas de recirculación acuícola

Para el mantenimiento de los organismos durante el estudio, se diseñaron y construyeron dos sistemas de recirculación acuícola (uno para la reproducción y otro para la crianza) adaptados para el mantenimiento de poecílicos. Cada uno de los sistemas constó de 16 contenedores de plástico transparente, con una capacidad de 40 L de agua cada uno, con alimentación independiente de agua mediante tubería de PVC hidráulico. Todos de los contenedores fueron divididos a la mitad con malla mosquitera, la cual fue fijada con silicón industrial, con el fin de obtener 32 compartimentos para albergar a los peces, así mismo a cada contenedor se le reforzaron las paredes con tiras de nylon para evitar su deformación debido a la presión hidrostática del agua ejercida sobre las mismas.

Todos los contenedores se colocaron sobre una estructura metálica de cuatro niveles. Los contenedores se conectaron a un filtro mecánico-biológico (fig. 8.1), para lo cual se emplearon dos taras plásticas rectangulares con capacidad de 72 L cada una, que junto con los contenedores sumaban un total de 784 L totales por sistema. Para la filtración mecánica se utilizó perlón y mallas de plástico, mientras que para la filtración biológica se usaron canutillos de cerámica, piedra tezontle, biobolas comerciales, conchas de ostión y estructuras de tubo poliflex con diámetros de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  pulgadas. Además, en el filtro biológico se colocaron difusores de aire para asegurar condiciones aeróbicas durante el proceso de nitrificación.



**Figura 8. 3.** Filtro utilizado en los sistemas de recirculación acuícolas.

Para evitar el escape de peces se colocó una tapa hecha con tela de tul y elástico.

Así mismo, cada compartimiento fue dotado de un refugio; el cual consistió en un atado de rafia finamente desmenuzada a modo de simular la vegetación acuática.

Cabe destacar que para los contenedores que albergaron a los ejemplares de *Xiphophorus kallmani* se proveyó un refugio adicional puesto que los machos perseguían constantemente a las hembras.

Se colocó un termómetro digital (marca Boyu, 0.5 °C de precisión) en cada sistema de recirculación para medir constantemente la temperatura y un medidor continuo de amonio (marca Seachem, 0.05 mg de precisión); para su llenado se utilizó agua clorada (1ml cloro/L de agua), la cual posteriormente se neutralizó con tiosulfato de sodio (0.06g/litro). Para la maduración de los sistemas se utilizó cloruro de amonio a razón de 0.001 mg/L de agua con el fin de acelerar el proceso de ciclado, también se adicionó una solución comercial de bacterias (Supreme bioguard de Azoo plus), se efectuaron mediciones de amonio dos veces al día (10:00 h. y 18:00 h) mediante un kit colorimétrico (Nutrafin) hasta que el valor del amonio fue de cero, lo cual ocurrió después de 11 días para el primer sistema y siete días para el segundo, tiempo tras el cual se estabilizaron los niveles de amonio (<0.03 ppm).

## 8.2. Alimentación

La alimentación de *Poecilia catemacónis* se basó en alimento comercial seco en hojuelas (Wardley con 43% de proteína) *ad libitum*, complementado con *Artemia franciscana* (1 g por cada 10 organismos) en el caso de los adultos y juveniles, y con anguililla del vinagre (*Turbatrix acetí*) a una proporción de 650 nematodos/ml, suministrándose 4 ml por cada 10 crías (Tabla 8.2.1,). Para el caso de *Xiphophorus kallmani*, los organismos se alimentaron bajo el plan de alimentación mostrado en la Tabla 8.2.2.

**Tabla 8.2.1.** Horario de alimentación de *Poecilia catemacónis*.

Horario	Organismos		
	Crías	Juveniles	Adultos
10:00	Hojuelas en polvo	Hojuelas trituradas	Hojuelas
12:00	Hojuelas en polvo		
14:00	Hojuelas en polvo	Hojuelas trituradas	Hojuelas
16:00	Hojuelas en polvo		
18:00	Anguililla del vinagre	<i>Artemia</i>	<i>Artemia</i>

**Tabla 8. 2.2.** Horario de alimentación de *Xiphophorus kallmani*.

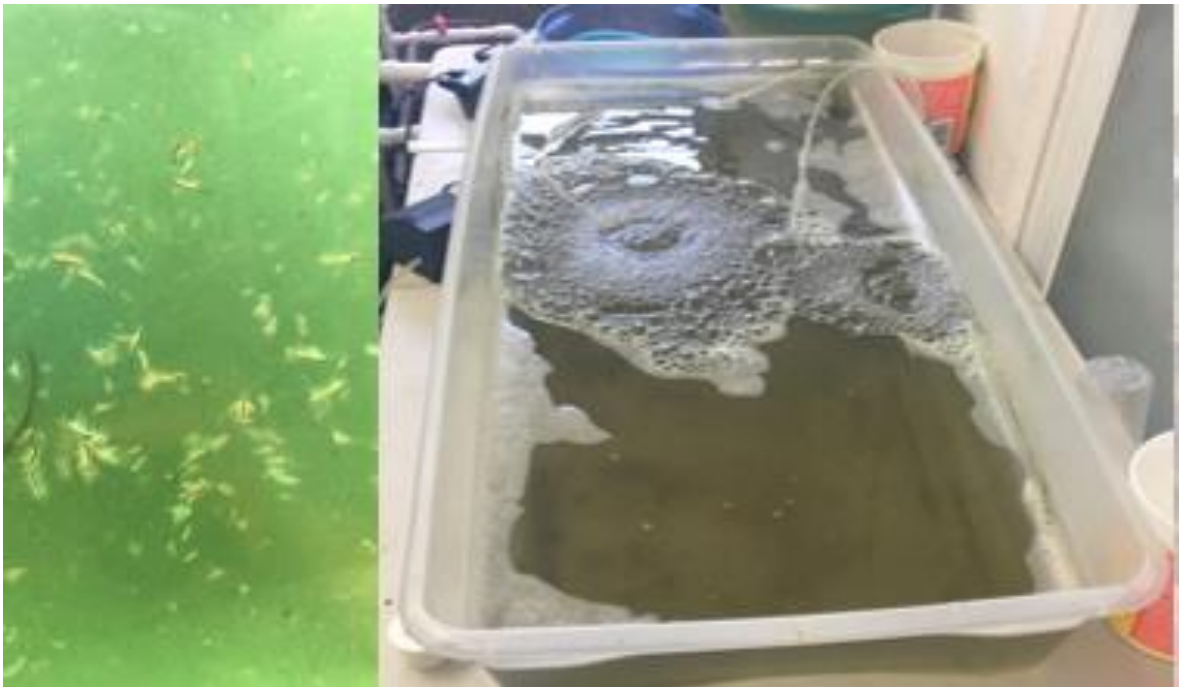
Horario	Organismos			
	Crías 1-3 días	Crías (3 días en adelante)	Juveniles	Adultos
10:00	Anguililla del vinagre	Hojuelas en polvo	Hojuelas trituradas	Hojuelas
12:00	Anguililla del vinagre	Hojuelas en polvo		
14:00	Anguililla del vinagre	Hojuelas en polvo	Hojuelas trituradas	Hojuelas
16:00	Anguililla del vinagre	Hojuelas en polvo		
18:00	Anguililla del vinagre	Anguililla del vinagre	<i>Artemia</i>	<i>Artemia</i>

### 8.3. Cultivo de Artemia

Se realizó un cultivo de *Artemia franciscana* (Fig. 8.2) con el fin de complementar la dieta de los organismos, cada semana se eclosionaron 6 gramos de quistes, los cuales se colocaron durante la primera semana en un balde de 40 L de capacidad, provisionado con dos piedras aireadoras, a una temperatura entre 26-28 C°, durante la primera semana fueron alimentados con una mezcla de harina de arroz y alga espirulina (*Spirulina platensis*) en polvo.

Pasada la primera semana, los juveniles de artemia fueron trasladados primeramente a un tanque de 2500 L de capacidad, provisto de piedras difusoras y un fotoperiodo de 10:14 (horas luz: oscuridad), en éste sitio fueron alimentadas con la microalga *Nannochloropsis oculata*, a razón de 10 L por día, en éste tanque

fueron mantenidas las artemias juveniles y adultas por un mes, tiempo tras el cual debido a problemas en las instalaciones, el cultivo tuvo que ser trasladado a una tina con capacidad de 120 L, provista de una piedra aireadora y con un fotoperiodo de 8 h, cabe destacar que pese al gran cambio que conllevó el traslado de los organismos, el cultivo permaneció estable sin que se presentaran altas mortandades, pues al encontrarse en un contenedor de menor tamaño, el alimento, en este caso la microalga, era mejor aprovechada puesto que permanecía más tiempo suspendida en la columna de agua.



**Figura 8. 3.** Cultivo de *Artemia franciscana*.

#### 8.4. Cultivo de Microalga (*Nannochloropsis oculata*)

Para el cultivo de microalga (Fig. 8.3) se utilizó una cepa de *Nannochloropsis oculata* cultivada en agua salada (45 ppt), inicialmente se utilizaron dos bidones de 6 L cada uno y dos garrafones de 20 L, posteriormente se fue escalando el cultivo hasta implementarlo en una bobina de 200 L, la cual se sembraba a partir de 40 L provenientes de los garrafones, mismos que eran resembrados con el contenido de un bidón cada uno, mientras que los dos restantes eran utilizados para resembrar, se utilizó fertilizante foliar (Bayfolan de Bayer) a una proporción de cinco gotas/L, así mismo se añadió carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a una proporción 0.33 g/L de medio. El cultivo de microalgas se mantuvo con un fotoperiodo constante de 24 h luz.



**Figura 8. 4.** Cultivo de alga *Nannochloropsis oculata*.

### 8.5. Cultivo de anguililla del vinagre (*Turbatrix aceti*)

Para poner en marcha éste cultivo se utilizó una cepa inicial proveniente de un cultivo propio con edad de 4 años, misma que fue traída al Laboratorio de Parasitología, Peces y Sanidad Acuícola del Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Se comenzó con un recipiente plástico con capacidad de cuatro litros, mismo que se utilizó como cultivo madre, como medio de cultivo se adicionó vinagre de manzana y agua purificada en una proporción 1:1, y se añadieron 250 g de manzana, a partir de éste medio de cultivo se implementaron otros cuatro cultivos (fig. 8.4) en recipientes plásticos de 3 L de capacidad, a los cuales se les añadieron 125 g de manzana, éstos cultivos se fueron implementando cada dos meses para permitir que las poblaciones de nemátodos se recuperaran.



**Figura 8. 5.** Cultivos de *Turbatrix aceti*.

## 8.6. Selección de reproductores

Para la selección de los ejemplares que conformaron cada lote de reproductores se usaron organismos de un año de edad de las especies *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*, nacidos en el Laboratorio de Peces, Parasitología, y Sanidad acuícola del Instituto Tecnológico de Boca del Río, los cuales se encontraban libres de parásitos y bien adaptados al manejo en cautiverio. Cada especie contaba con individuos de talla similar, y en el caso de las hembras se tomó en cuenta que presentaran el punto grávido (Fig. 8.6) el cual indica la presencia de óvulos maduros, es decir, que la hembra se encuentra fisiológicamente madura para la reproducción (Llanos y Scotto, 2014). Se establecieron 10 lotes de reproductores, cada uno formado por hembras y machos en una proporción 3:1, esto de acuerdo a estudios previos con especies de la familia Poeciliidae (Maya y Marañon, 2001).



**Figura 8. 6.** Punto grávido en hembra de *Xiphophorus kallmani*.

Se prestó especial atención a que los gonopodios de los machos seleccionados se encontrasen sin ningún tipo de herida y completos, debido a que en ésta especie es común que se lastimen.



En cuanto a los ejemplares de *Xiphophorus kallmani* se seleccionaron los machos que tuviesen la aleta caudal completa y las hembras de mayor tamaño, así mismo fueron seleccionados los machos con coloraciones más vistosas.

### **8.7 reproducción de *Poecilia catemacensis* y *Xiphophorus kallmani***

Cada lote reproductor se colocó en un compartimento dentro de uno de los sistemas de recirculación acuícola por dos meses, tiempo tras el cual, y al comenzar a eclosionar las crías, éstas se separaron por camadas en los compartimentos de otro sistema de recirculación (Fig. 8.7) puesto que las hembras suelen comerse a sus crías (Ramírez, 2014).



**Figura 8. 7.** Sistema de recirculación acuícola para el mantenimiento de crías.

## 8.8 Parámetros de mantenimiento del agua

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron en los sistemas de recirculación fueron: pH, oxígeno disuelto (Sonda YSI 55), dureza y nitritos una vez por semana mediante kits colorimétricos (Nutrafin), mientras que el amonio y la temperatura se midieron diariamente (Tabla 8.8). Para la limpieza del sistema de recirculación, se sifoneó una vez por semana recuperándose el volumen perdido con agua clorada y neutralizada tiosulfato de sodio, para lo cual se contó con un reservorio de agua dulce de 1,200 L de capacidad. En el caso del filtro mecánico se lavó el material filtrante una vez por semana.

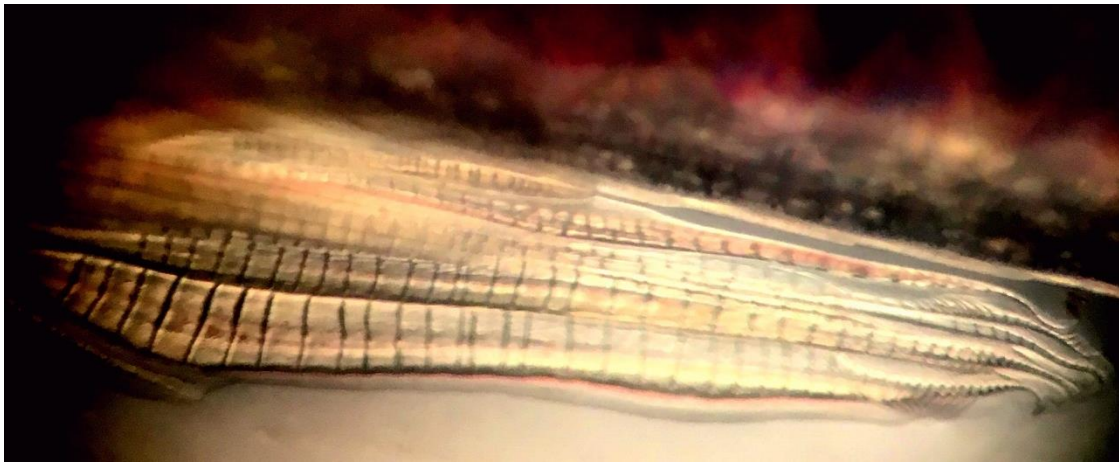
**Tabla 8. 8.** Rangos de variación de los parámetros de calidad del agua en los sistemas de recirculación durante el estudio.

Parámetro	Rango
Temperatura (°C)	28-30
pH	7-7.5
O <sub>2</sub> (mg/L)	5.6-6.2
NH <sub>4</sub> (ppm)	<0.02
NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.10-0.12
NO <sub>3</sub> (mg/L)	5-10
Gh (mg/L)	80

## 8.9. Madurez sexual en *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*

### 8.9.1 Longitud total y edad de madurez sexual en machos

Para determinar la edad y longitud a la que se presentó la madurez sexual en los machos de las dos especies de poecílidos, se dio seguimiento a las crías nacidas en cautiverio mediante biometrías realizadas cada dos semanas, así como, la diferenciación sexual en base a características anatómicas como el desarrollo del gonopodio. Una vez detectado el inicio de la transformación de la aleta anal (en gonopodio), se hicieron revisiones de los organismos en el microscopio estereoscópico (marca Leica Zoom 2000) y compuesto (marca Leica eZ4-16) cada dos semanas hasta que observó la completa formación del gonopodio (Fig. 8.9.1) para lo cual, los machos fueron anestesiados, a partir de una solución madre de benzocaína al 1%, la cual se diluyó en una solución 1:2 (anestésico: agua destilada).



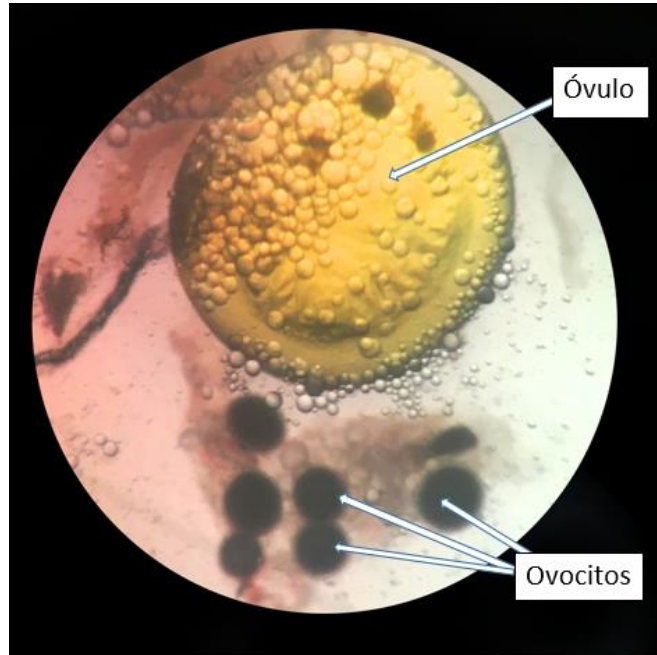
**Figura 8.9.1.** Gonopodio completamente formado de *Xiphophorus kallmani* (50 X).

### 8.9.2 Longitud total, edad de madurez sexual y fecundidad de la primera reproducción en hembras

Para determinar la longitud total a la cual alcanzan la madurez sexual las hembras, se realizaron biometrías cada dos semanas hasta un mes después de que los machos de su misma camada completaran la formación del gonopodio, una vez pasado ese lapso de tiempo se realizó la extracción de las gónadas con ayuda de unas microtijeras de cirugía oftalmológica. Se analizaron las ovas (óvulos y ovocitos) y la madurez sexual se determinó cuando se encontraron maduros, es decir, cuando presentaron la yema formada completamente, color amarillo dorado translúcido (de anaranjado a rojo naranja en algunos especímenes preservados) y gotas de aceite distribuidas uniformemente en la superficie de la yema de acuerdo con Haynes (1995) (Tabla 8.3). Para determinar la fecundidad se consideró el número total de óvulos y ovocitos I y II (Figs. 8.9.2.1 y 8.9.2.2) en el momento en el que las hembras fueron analizadas. Para ello se contó el número de óvulos y ovocitos con ayuda de un contador celular manual.



**Figura 8.9.2.1.** Óvulos maduros en estadio IV de *Xiphophorus kallmani* (45X)



**Figura 8. 4.2.1** Óvulos y ovocitos de *Xiphophorus kallmani* (45X).

**Tabla 8.9.** Estadios de desarrollo en poecílidos de acuerdo a la clasificación de Haynes (1995).

Estadio	Características
I	Óvulo inmaduro: pequeño, color blanco opaco, distribuido a través del ovario y a menudo compartiendo espacio con la yema de las ovas y/o embriones en desarrollo.
II	Óvulo de yema temprana: óvulo en proceso de formar la yema, un color anaranjado-amarillo opaco, pero no de tamaño completo, gotas de aceite, si es están presentes, se encuentran dispersas.
III	Óvulo maduro: óvulo con yema formada completamente, color amarillo dorado translucido (de anaranjado a rojo anaranjado en algunos especímenes preservados, gotas de aceite distribuidas uniformemente en la superficie de la yema.
IV	Embrión en estadio de blastodisco: óvulo recientemente fertilizado. El embrión parece como una pequeña capa blanca sobre la superficie de la yema, midiendo cerca de la quinta parte (en lecitotróficas) o la mitad (matrotroáficas) del diámetro total de la yema. Las gotas de lípido están concentradas en el polo animal.

- 
- V** Embrión del estadio de escudo. La banda primitiva se observa como una línea blanca en el centro del escudo embrionario. La longitud del escudo es equivalente a aproximadamente la mitad del diámetro de todo el embrión en organismos lecitotróficos y en forma de media luna en matrotroóficos.
- VI** Embrión de copas ópticas con muy poca o sin ninguna pigmentación en los ojos. El sistema portal de la yema (sistema para el transporte de nutrientes), está presente en organismos lecitotróficos.
- VII** Embrión de ojos tempranos con algo de pigmentación, cabeza muy amplia en comparación con el cuerpo y desarrollo temprano de las aletas caudal y pectoral. Inicia la pigmentación dorsal en la mayoría de las especies.
- VIII** Embrión de ojos medios: ojos completos, pero no de tamaño completo, cabeza y cuerpo proporcionados; poca pigmentación dorsal y mínima lateral, brotes presentes de aletas dorsal y anal. Opérculo formándose, pero poco visible.
- IX** Embrión de ojos tardíos: Ojos agrandados, pero aún sin tamaño completo; pigmentación dorsal moderada; pigmento presente a lo largo de la línea lateral en especies con esa característica; la cola puede estar flexionada sobre la cabeza o alrededor de la punta de la boca; radios de la aleta pectoral presentes. Saco vitelino relativamente grande en lecitotróficos pero completamente absorbido en matrotroóficos.
- X** Embrión de ojos muy tardíos: Ojos de tamaño completo; opérculo visible y puede estar pigmentado; radios de las aletas anal y dorsal presentes; embrión más alargado. Si está presente el saco vitelino, es pequeño e irregular.
- XI** Embrión maduro: saco vitelino en su mayoría o totalmente absorbido; aletas pectorales alargadas; escamas presentes. El embrión se asemeja a un pequeño adulto.
-

### **8.8.10 Determinación de la fertilidad de primera reproducción**

Para determinar la fertilidad de la primera reproducción, se utilizaron dos metodologías: en el caso de que las hembras liberasen las crías antes de su análisis, se tomó como fertilidad el tamaño de la camada de cada hembra, puesto que se consideró que los alevines nacientes fueron los óvulos que resultaron fertilizados (Ramírez, 2014), mientras que para aquellas hembras que al momento de realizar su disección, se observó la presencia de embriones, se tomó como fertilidad el número total de embriones que contenía (Schoenherr, 1977). Al término de las disecciones las hembras y las ovas fueron preservadas en alcohol al 95%.

### **8.8.11. Evaluación del crecimiento de las crías**

Para evaluar el crecimiento, los alevines que se obtuvieron por camada, fueron separados de acuerdo a su fecha de nacimiento, se realizaron biometrías cada dos semanas, en las cuales se determinó su peso con una balanza analítica con una precisión de 0.01 g, así como su longitud total con la ayuda de un vernier digital con una precisión de 0.001 mm

## **8.9 Índice de condición**

Se determinó el índice de condición (K) de Fulton (Froese, 2006) con la fórmula:  
 $K = 100 * W / L^3$

Donde: K= Índice de condición, W= Peso (g) y L= Longitud (cm)

## 8.10 Análisis estadístico

Para comparar la longitud total y peso alcanzado en la madurez sexual entre camadas, se realizaron análisis de varianza de una vía, así mismo se realizaron correlaciones de Pearson para identificar posibles asociaciones entre el peso, longitud total, índice de condición, fecundidad y fertilidad, dentro y entre camadas de cada especie de pez analizada.

Así mismo, se realizaron pruebas de t-Student para determinar diferencias significativas entre ambas especie (*Poecilia catemacanis* y *Xiphophorus kallmani*) al alcanzar la madurez sexual para las variables tiempo, índice de condición, longitud total y peso, mismas en la que se decidió no tomar en cuenta los datos de la camada siete de *Poecilia catemacanis*, debido a que maduraron 10 semanas más tarde (35 semanas) que la camada número 10, la cual fue la segunda que tardó más tiempo en alcanzar la madurez sexual (25 semanas). Los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . Para todas las pruebas estadísticas se utilizó el paquete estadístico Statistica v10.0.

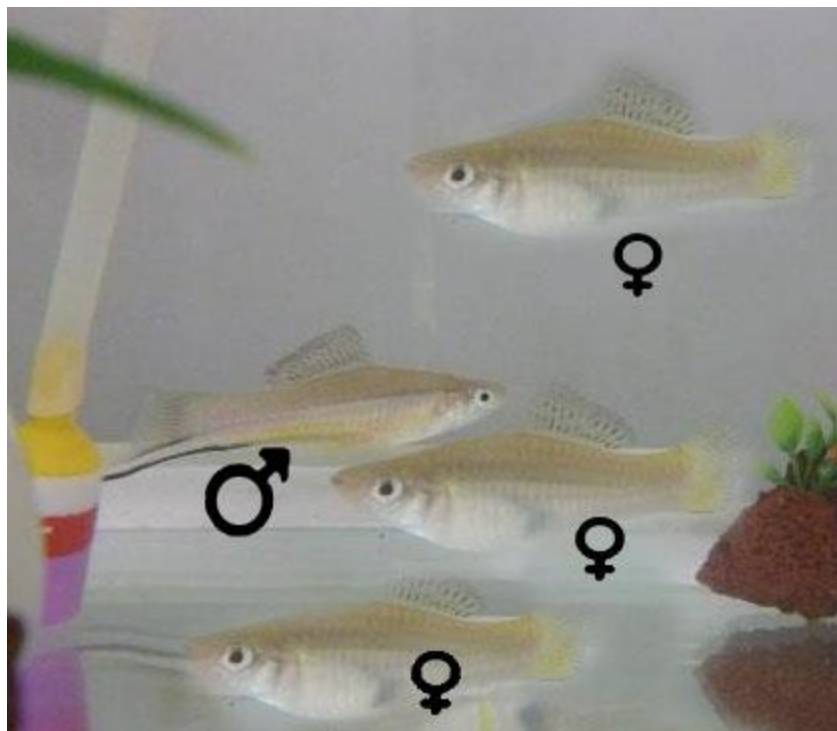


## 9. RESULTADOS

### 9.1. Conformación de los lotes de reproductores

Se seleccionaron 40 ejemplares por especie (*Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*), 30 hembras y 10 machos. Para *X. kallmani* se seleccionaron machos con una longitud total y peso promedio de  $7.49 \pm 0.44$  cm y  $3.57 \pm 0.13$  g, mientras que las hembras tenían una longitud total y peso promedio de  $7.56 \pm 0.44$  cm y  $4.64 \pm 0.95$  g, todos de un año de edad. Para *P. catemacónis*, los machos tenían una longitud total y peso promedio de  $7.36 \pm 1.08$  cm y  $4.19 \pm 0.63$  g, y las hembras tenían una longitud total promedio de  $8.20 \pm 0.41$  cm y un peso promedio de  $5.40 \pm 1.0$  g.

Se establecieron 10 lotes con reproductores (Fig. 9.1) por cada especie de pez compuestos cada uno por un macho y tres hembras.



**Figura 9. 3.** Lote reproductor de *Xiphophorus kallmani*.

## 9.2 Reproducción de las dos especies de peces

### 9.2.1 *Xiphophorus kallmani*

Para la especie *Xiphophorus kallmani*, se recuperaron ocho camadas, de 10 esperadas (Fig. 9.2.1), obteniendo 21 machos y 52 hembras con un total de 73 organismos con un promedio de  $9.1 \pm 10.6$  crías por camada.



**Figura 9. 4.1** Camada de *Xiphophorus kallmani*.

### 9.2.2. *Poecilia catemacónis*

Para la especie *Poecilia catemacónis*, se recuperaron 14 camadas de los 10 lotes reproductores; de los lotes nueve, dos y tres se recuperó más de una camada (Fig. 9.3), obteniendo 15 machos y 118 hembras con un promedio de  $7.8 \pm 3.7$  crías por camada.



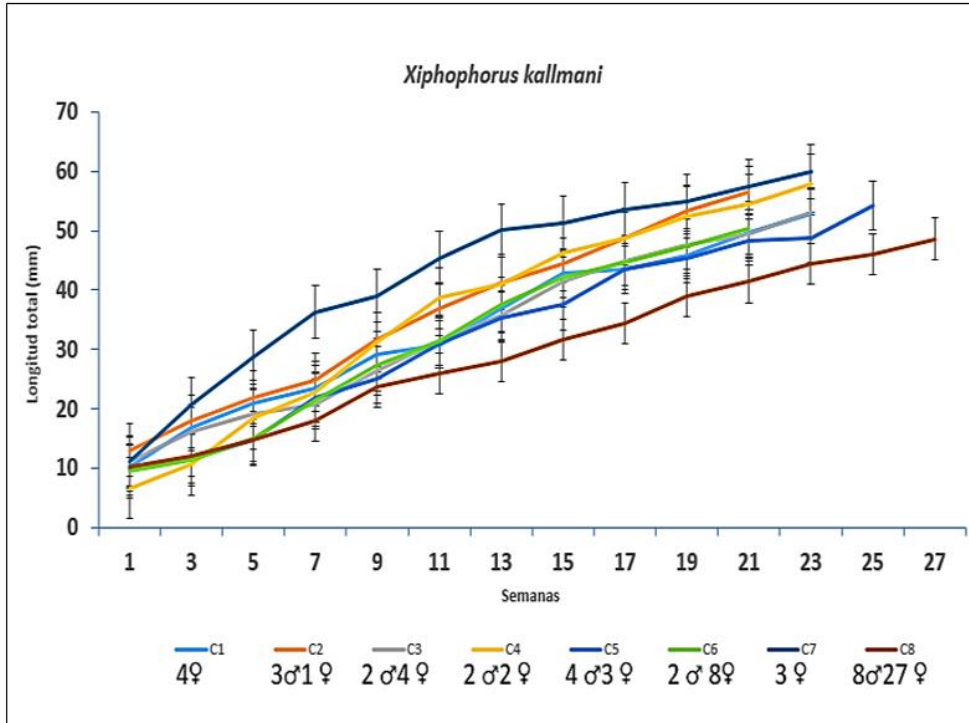
**Figura 9.2.2** Camada de *Poecilia catemacensis*.

### **9.3. Maduración sexual**

#### **9.3.1 *Xiphophorus kallmani***

##### **9.3.1.1 Longitud**

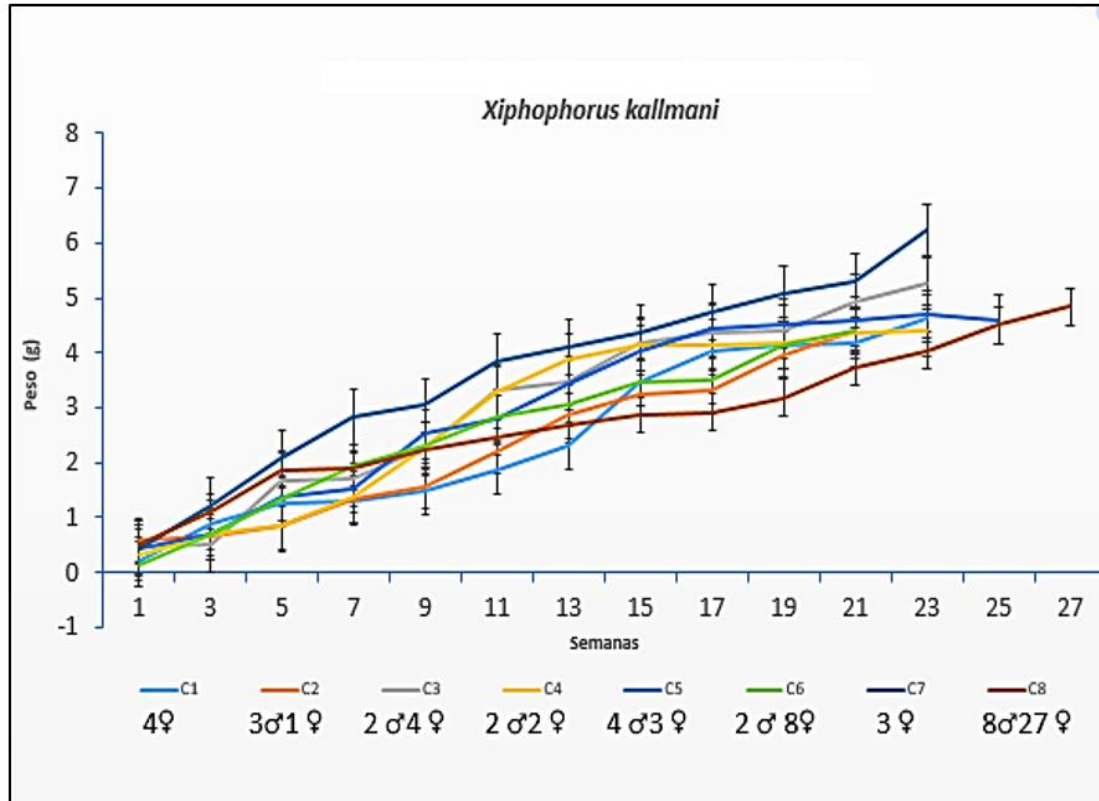
Se registró el comportamiento de la longitud total de los miembros de cada camada hasta que alcanzaron su maduración sexual. En la Fig. 9.3.1.1 se observa que la longitud final al alcanzar la madurez sexual en la mayoría de las camadas oscila entre los 55-57 mm, lo cual sucede entre las semanas 23-25. Destacaron las camadas siete y ocho que presentaron la menor (N=3) y mayor (N=35) descendencia, respectivamente. La camada siete maduró a una longitud total promedio de  $59.97 \pm 3.02$  mm, mientras que la ocho a una longitud de  $48.64 \pm 6.71$  mm.



**Figura 9.3.1.1** Comportamiento de la longitud total de ocho camadas de *Xiphophorus kallmani* hasta alcanzar su madurez sexual. Se indica la proporción de sexos por camada (C). N=73. Las barras indican  $\pm$  desviación estándar

### 9.3.1.2 Peso

Se observa que en la mayoría de las camadas el peso alcanzado al terminar la maduración sexual, misma que se presentó entre la semana 23 y 25, se encuentra entre los 4.4-5.3 g (Fig. 9.5). Similar al caso de la longitud total, destaca la camada siete, la cual fue la que maduró a un mayor peso ( $6.22 \pm 0.46$  g) y edad de 23 semanas, así mismo, la camada siete era la que tenía menos organismos (N=3), siendo todos ellos hembras (Fig.9.3.1.2).



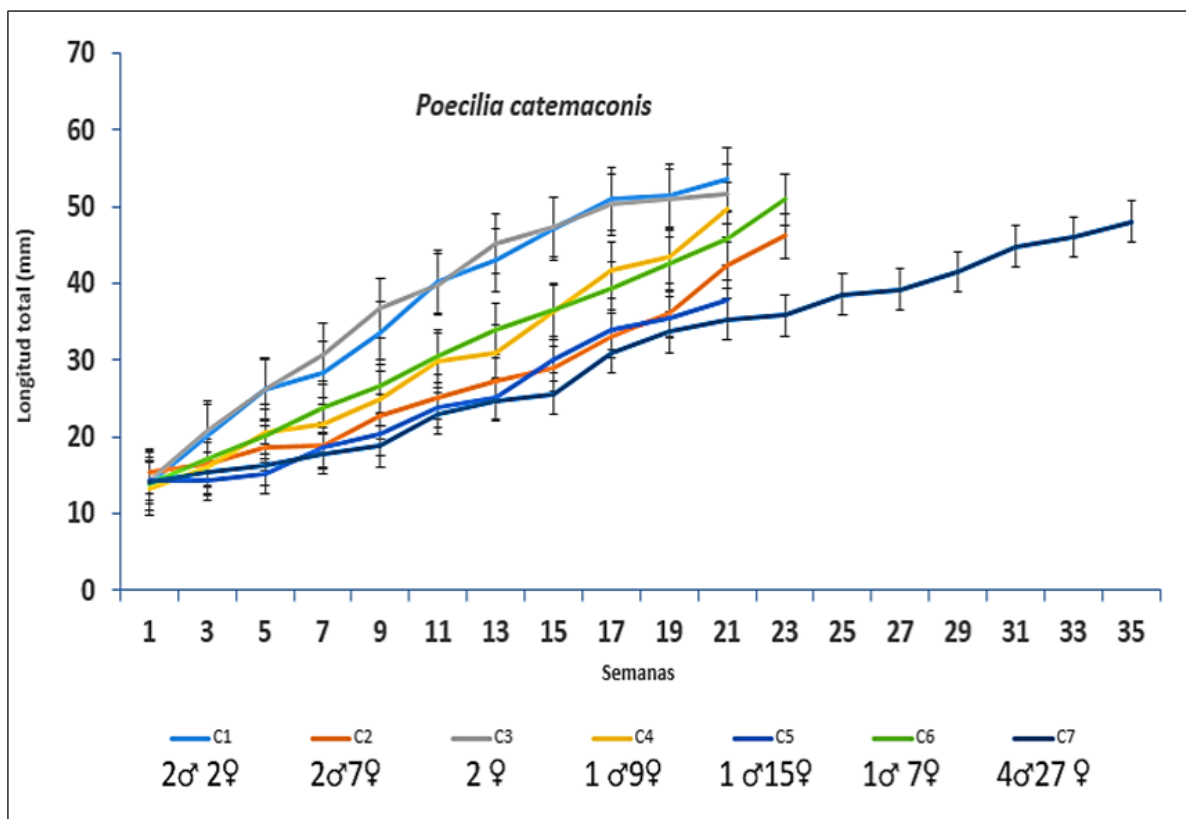
**Figura 9.3.1.2** Comportamiento del peso de ocho camadas de *Xiphophorus kallmani* hasta alcanzar la madurez sexual. Se indica la proporción de sexos por camada (C). N=73. Las barras indican  $\pm$  desviación estándar.

## 9.4 *Poecilia catemacensis*

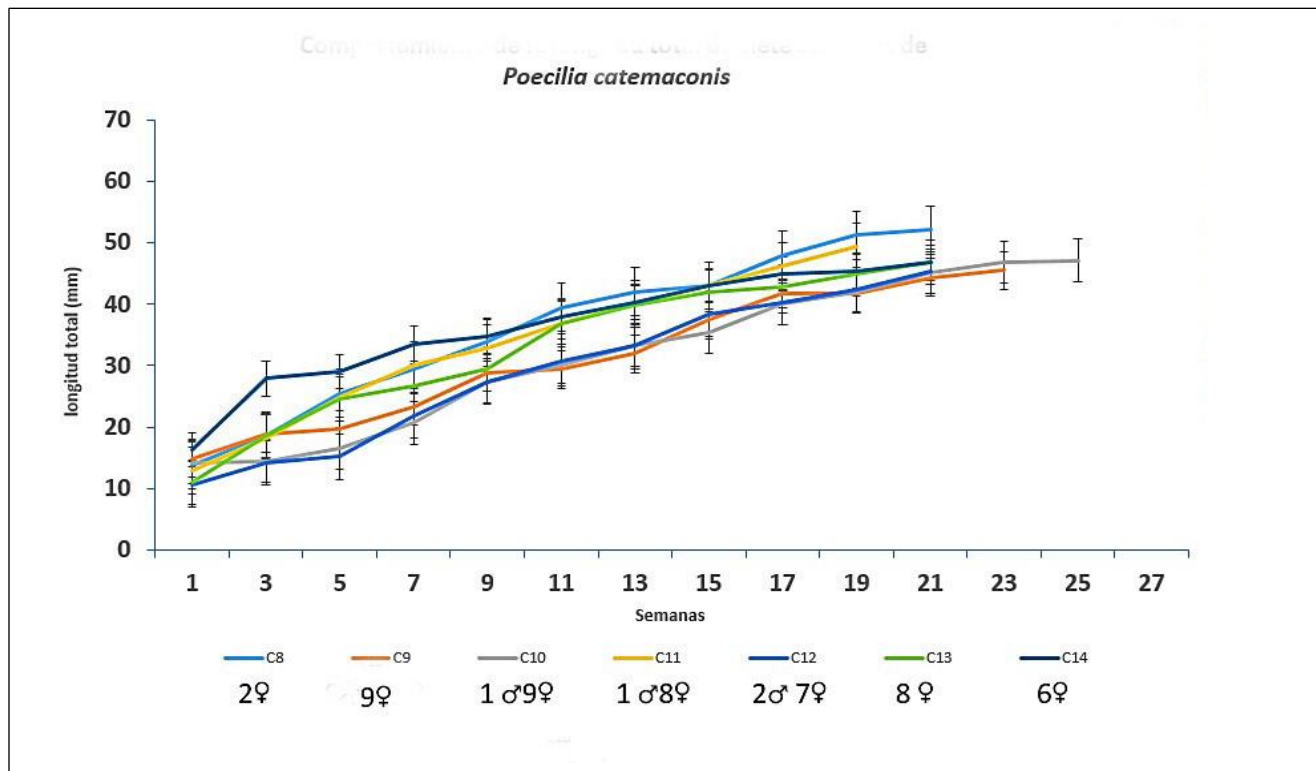
### 9.4.1 Longitud

Con el fin de facilitar la visualización de los resultados, la información se separó en dos gráficas: de la camada uno a la siete (Fig. 9.4.1) y de la ocho a la catorce (Fig. 9.4.1.2).

La longitud final al alcanzar la madurez sexual usualmente se presentó entre los 45 y 53 mm, lo cual sucedió entre las semanas 19 a 25 (Fig. 9.4.1), a excepción de la camada siete que fue la que maduró a mayor edad (35 semanas), sin embargo, pese a haber alcanzado la madurez sexual más tarde que el resto, y ser la camada con mayor número de organismos (N=31), presentó valores de longitud total de  $48.02 \pm 4.14$  mm, siendo similares al resto de las camadas; por el contrario, la camada uno fue la que alcanzó la mayor longitud total promedio ( $53.55 \pm 3.16$  mm) y la cinco la menor ( $37.87 \pm 3.44$  mm) (Fig. 9.4.1).



**Figura 9.4.1.1.** Comportamiento de la longitud total de siete camadas de *Poecilia catemacensis* hasta alcanzar la madurez sexual. Se indica la proporción de sexos por camada (C). N=80. Las barras indican  $\pm$  desviación estándar.

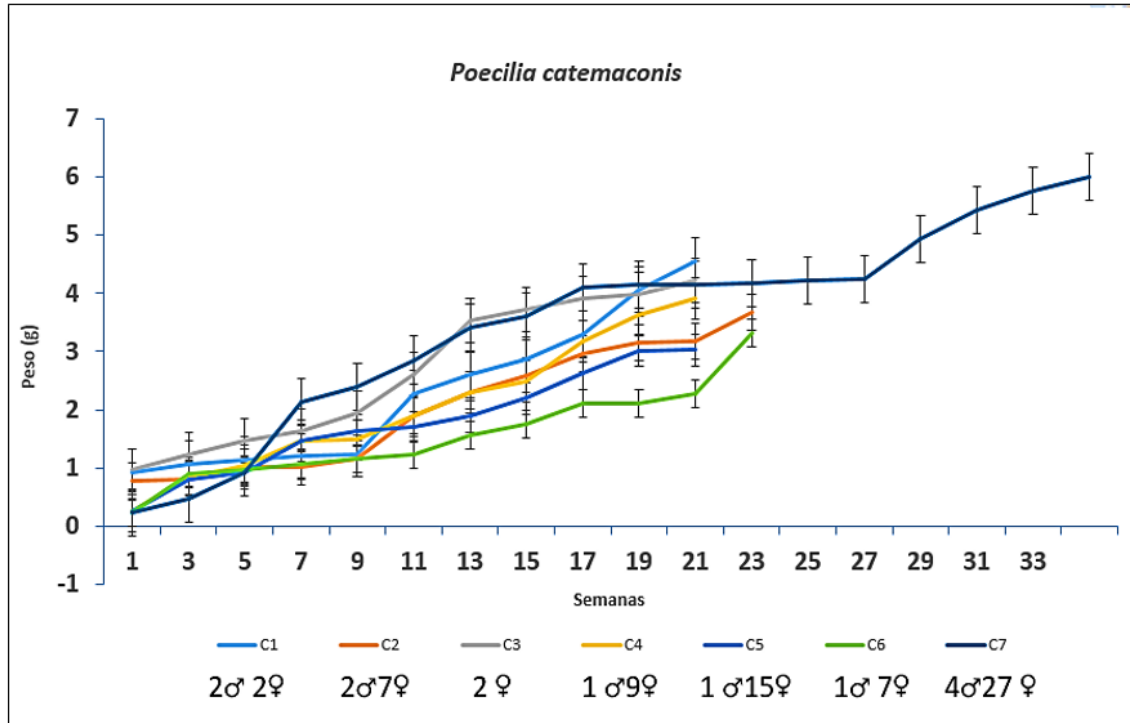


**Figura 9.4.1.2.** Comportamiento de la longitud total de siete camadas de *Poecilia catemacensis* hasta alcanzar la madurez sexual, se indica la proporción de sexos por camada (C). N=53. Las barras indican  $\pm$  desviación estándar.

### 9.4.2 Peso

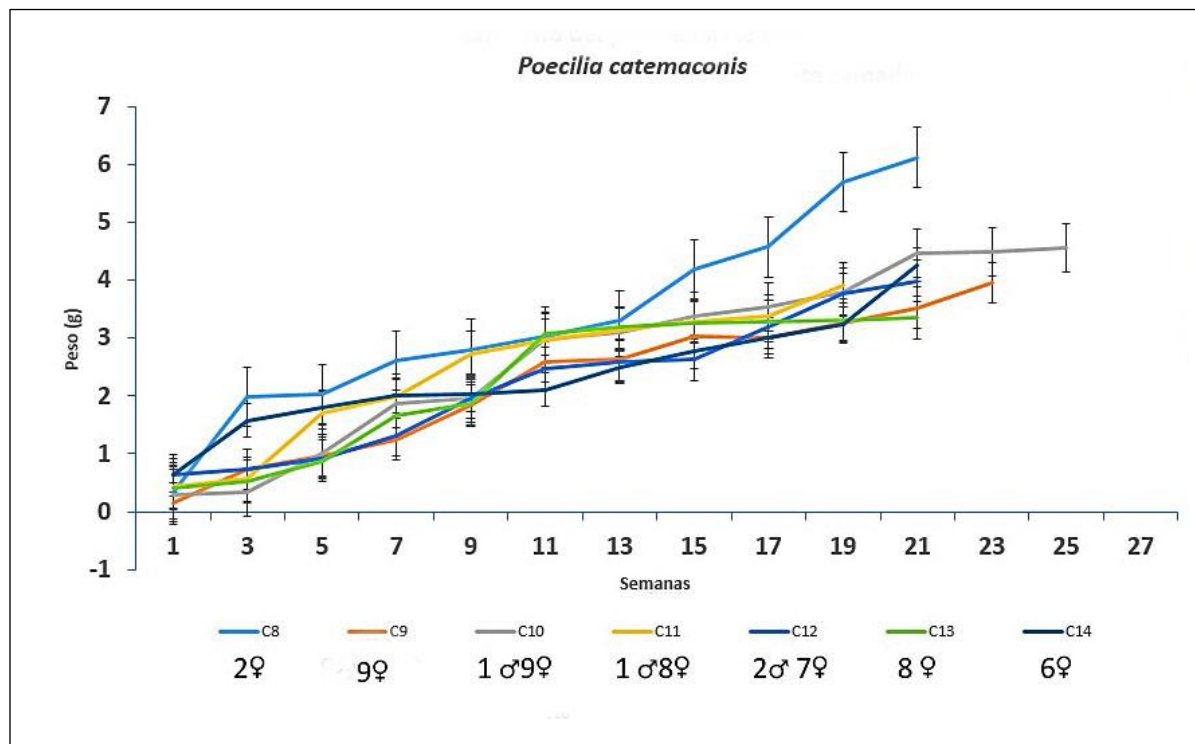
De igual forma que para la longitud total se presentan dos grupos (camada 1 a 7 y de la 8 a la 14), para tener una mejor visualización de los resultados. Se observa que si bien en la mayoría de las camadas el peso alcanzado al terminar la maduración sexual se encuentra entre los 3.30-6.12 g. La camada de más altos valores fue la ocho, puesto que contaba solo con dos crías y ambas eran hembras, alcanzando la madurez sexual a las 27 semanas, mientras que el resto maduraron entre la semana 21 y 35. Al igual que para la longitud total, resalta la camada siete, que en la semana 27 empezó a aumentar de peso de manera exponencial, esto coincidió con el inicio de la transformación de la aleta anal a gonopodio en los machos de su misma camada (Fig. 9.4.2). La camada que tuvo

el mayor peso fue la ocho, que alcanzó un peso promedio de  $6.12 \pm 0.24$  g, mientras que la cinco, al igual que en la longitud total, fue la que maduro a un peso promedio de  $3.02 \pm 0.22$ g (Fig. 9.4.2.1).



**Figura 9.4.2.** Comportamiento del peso de siete camadas de *Poecilia catemaconis* hasta alcanzar la madurez sexual. Se indica la proporción de sexos por camada (C) N=80. Las barras indican  $\pm$  desviación estándar.





**Figura 9.4.2.1.** Comportamiento del peso de siete camadas de *Poecilia catemacensis* hasta alcanzar la madurez sexual. Se indica la proporción de sexos por camada (C). N=53. Las barras indican  $\pm$  desviación estándar.

## 9.5 Maduración sexual en *Poecilia catemacensis* y *Xiphophorus kallmani*

### 9.5.1 Madurez sexual en machos

#### 9.5.1.1 Edad de maduración sexual en machos de *X. kallmani* y *P. catemacensis*

Para *Xiphophorus kallmani* (Fig. 9.5.1.1) se obtuvieron ocho camadas, en seis de ellas se observó la presencia de machos, obteniéndose un total de 21 machos, los cuales alcanzaron la madurez sexual en un tiempo promedio de  $22.04 \pm 3.78$  semanas, con un mínimo de  $17.00 \pm 0.0$  y un máximo de  $23 \pm 2.30$  semanas, mientras que para *P. catemacensis* se obtuvieron 14 camadas, en nueve de ellas se registraron machos, obteniéndose un total de 15 machos, los cuales alcanzaron la madurez sexual a un promedio de  $19.00 \pm 4.08$  semanas, con un mínimo de

17.00 ± 0.0 y un máximo de 34 ± 2.0 semanas., madurando la mayoría entre las 17 y 21 semanas (Fig. 9.5.1.2).



**Figura 9.5.1.1.** *Xiphophorus kallmani*. Macho de 21 semanas de edad sexualmente maduro.



**Figura 9.5.1.2.** *Poecilia catemacónis*. Macho de 21 semanas de edad sexualmente maduro.

### **9.5.1.2 Longitud al momento de la maduración sexual en machos de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*.**

Los machos de *Xiphophorus kallmani* alcanzaron la madurez sexual a una longitud promedio de  $50.48 \pm 4.55$  mm, con una longitud total mínima de  $48.56 \pm 4.57$  mm y máxima de  $51.265 \pm 0.38$  mm entre las seis camadas con machos, mientras que los machos de *P. catemacónis* alcanzaron la madurez sexual a un promedio de longitud de  $43.19 \pm 5.43$  mm a una longitud total mínima y máxima de  $32.74 \pm 0.00$  mm y  $50.91 \pm 1.40$  mm respectivamente entre las nueve camadas en las que hubo presencia de machos.

### **9.5.1.3 Índice de condición al momento de la maduración sexual en machos de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis***

Al momento de alcanzar la madurez sexual, los machos de *X. kallmani* presentaron un índice de condición promedio de  $3.58 \pm 1.10$ , con valores mínimos y máximos de  $2.948 \pm 0.264$  y  $4.15 \pm 1.88$  respectivamente, mientras que en los machos de *P. catemacónis* se obtuvo un índice de condición promedio de  $4.50 \pm 1.69$ , con un valor mínimo de  $1.93 \pm 0.00$  y máximo de  $6.06 \pm 0.00$  en las nueve camadas.

### **9.5.1.4 Peso al momento de la maduración sexual en machos de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis***

El peso promedio al que los machos de *Xiphophorus kallmani* maduraron sexualmente fue de  $4.41 \pm 0.56$  g, con un peso promedio mínimo entre camadas de  $3.34 \pm 0.33$  g y máximo de  $4.84 \pm 0.34$  g, mientras que en *P. catemacónis* el peso promedio general fue de  $3.37 \pm 0.75$  g, con un mínimo de  $1.93 \pm 0.00$  g y máximo de  $5.84 \pm 1.08$  g respectivamente.

## 9.5.2 Madurez sexual en hembras

### 9.5.2.1. Edad de maduración sexual en hembras de *X. kallmani* y *P. catemacónis*

Para *Xiphophorus kallmani* se obtuvieron 52 hembras (Fig. 9.5.2.1) en las ocho camadas, mismas que de manera general alcanzaron la madurez sexual promedio a las  $24.80 \pm 2.44$  semanas, con una edad mínima y máxima entre camadas de  $21 \pm 0.00$  y  $27 \pm 0.00$  semanas, mientras que para *P. catemacónis*, se obtuvo un total de 118 hembras (Fig. 9.5.2.2) en todas las camadas con una edad de maduración sexual promedio de  $21.52 \pm 2.12$  semanas y madurando a una edad mínima de  $19 \pm 0.00$  y máxima  $35 \pm 0.00$  semanas por camada.



**Figura 9.5.2.1.** *Xiphophorus kallmani*, hembra de 21 semanas de edad sexualmente madura.



**Figura 9.5.2.2.** *Poecilia catemacónis*, hembra de 21 semanas de edad sexualmente madura.

#### **9.5.2.2 Longitud al momento de la maduración sexual en hembras de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*.**

La longitud total promedio en hembras de *Xiphophorus kallmani* de  $50.80 \pm 7.12$  mm, con una LT mínima de  $48.22 \pm 7.09$  mm y máxima de  $59.97 \pm 3.02$  mm por camada, mientras que en *Poecilia catemacónis* fue  $46.46 \pm 5.1$  mm, de manera general, con una LT mínima de  $37.93 \pm 3.55$  mm y máxima de  $56.2 \pm 0.35$  mm entre las distintas camadas.

#### **9.5.2.3 Índice de condición al momento de la maduración sexual en hembras de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis***

Al momento de alcanzar la madurez sexual, el índice de condición promedio de las hembras de *Xiphophorus kallmani* fue de  $4.02 \pm 1.66$ , con un valor entre camadas mínimo de  $2.14 \pm 0.48$  y máximo de  $4.66 \pm 1.86$  mientras que para las de *P. catemacónis* fue de  $4.13 \pm 1.54$ , con un mínimo de  $2.52 \pm 0.33$  y máximo de  $5.83 \pm 1.88$

#### **9.5.2.4. Peso al momento de la maduración sexual en hembras de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis***

El peso promedio al que las hembras de *Xiphophorus kallmani* maduran sexualmente fue de  $4.80 \pm 0.58$  g, con un peso mínimo de  $4.38 \pm 0.18$  g y máximo de  $6.22 \pm 0.46$  g entre camadas, mientras que las hembras de *P. catemacónis* de manera general maduraron a un peso de  $3.84 \pm 0.65$  g, a un peso mínimo y máximo de  $3.01 \pm 0.23$  g y  $6.12 \pm 0.24$  g respectivamente.

#### **9.5.2.5 Fecundidad y fertilidad en hembras de *X. kallmani* y *P. catemacónis***

Se determinó la fecundidad de la primera reproducción en hembras de *Xiphophorus kallmani* (Fig. 9.5.2.5) obteniéndose una fecundidad promedio de  $57.59 \pm 7.21$  ovas con un mínimo de  $48.75 \pm 7.54$  ovas y un máximo  $68.5 \pm 0.70$  ovas, mientras que en *P. catemacónis*, de manera general se obtuvo una fecundidad promedio de  $44.60 \pm 15.87$  ovas, con un mínimo de  $22.5 \pm 6.36$  ovas y

máximo de  $65.28 \pm 6.18$  ovas entre las 14 camadas. En cuanto a la fertilidad promedio, fue de  $5.26 \pm 2.88$  embriones en hembras de *X. kallmani*, con un mínimo de  $3 \pm 0.00$  embriones y un máximo de  $10.12 \pm 2.90$  embriones entre las distintas camadas, para hembras de *P. catemacónis* (Fig 9.5.2.5.1) la fertilidad general promedio fue de  $3.73 \pm 3.26$  embriones, con una mínima de  $1.11 \pm 0.33$  embriones y máxima de  $12 \pm 4.24$  embriones por camada.



Figura 9.5.2.5. *Xiphophorus kallmani*, hembra al momento de su disección.

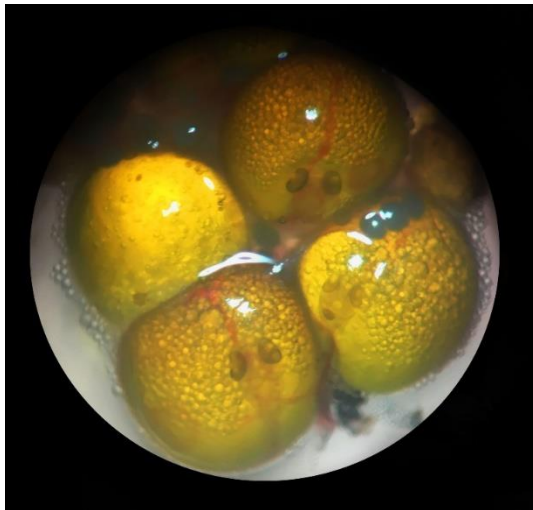


Figura 9. 5.2.5.1. Óvulos en estadio XI de *Poecilia catemacónis* (45X).

### 9.6 Evaluación del crecimiento entre especies (*Poecilia catemacónis* y *Xiphophorus kallmani*)

### 9.6.1 Edad de maduración sexual

Los machos de *Poecilia catemacónis* maduraron sexualmente a una edad significativamente menor ( $19.00 \pm 4.08$  semanas) que los de *Xiphophorus kallmani* ( $22.04 \pm 3.72$  semanas) (t-Student=2.18;  $p < 0.03$ ). Por su parte, las hembras de *P. catemacónis* maduraron a una edad significativamente menor ( $21.52 \pm 2.12$  semanas) que las de *X. kallmani* ( $24.80 \pm 2.44$  semanas) (t-Student =8.3;  $p < 0.001$ ).

### 9.6.2 Longitud total y peso

Las hembras de *Poecilia catemacónis* alcanzaron una longitud total de  $46.46 \pm 5.16$  mm y peso de  $3.83 \pm 0.65$  g, mientras que las hembras de *Xiphophorus kallmani*  $50.80 \pm 7.12$  mm (t-Student= 4.17;  $p < .000051$ ) y peso de  $4.79 \pm 0.58$  g, (t-Student = 8.68 ( $p < 0.0001$ )). Por su parte los machos de *P. catemacónis*, maduraron a una longitud y peso significativamente menores ( $43.19 \pm 5.43$  mm) y  $3.37 \pm 0.75$  g, mientras que los de *X. kallmani* a los  $50.48 \pm 4.55$  mm (t-Student = 4.12;  $p < .00026$ ) y un peso de  $4.41 \pm 0.56$  g, (t- Student=4.48;  $p < 0.0001$ )

### 9.6.3 Índice de condición

Para el índice de condición no se encontraron diferencias significativas entre ambas especies ( $p > 0.68$ ).

### 9.6.4 *Poecilia catemacónis* – asociaciones entre la fecundidad y fertilidad con variables biométricas.

Para *P. catemacónis*, la fecundidad y fertilidad estuvieron en general correlacionadas positivamente con el peso y longitud, sin embargo, de forma negativa con el índice de condición. En los machos, la edad de maduración sexual solo se asoció positivamente con el peso. Finalmente, el índice de condición se correlacionó de forma negativa con la longitud total en hembras y machos (Tabla 9.6.4).

**Tabla 9.6.4.** Asociaciones significativas entre variables biométricas y reproductivas de las crías obtenidas de *Poecilia catemacónis*. N= 133.

	Edad de maduración sexual	Fecundidad	Fertilidad	Peso (g)	Longitud total (mm)	Índice de condición (K)
Edad de maduración sexual				♂+@**		
Fecundidad						
Fertilidad						
Peso (g)				♀-@*		
Longitud total		♀+@***	♀+@***			♂-§***
Índice de condición (K)		♀-@***	♀-@*		♀-@***	

@ r<sup>2</sup> ≤ 0.5-0.60    § r<sup>2</sup> = 0.66-0.80    \* p < 0.05    \*\* p < 0.01    \*\*\* p < 0.001

♂ machos    ♀ hembras    +=correlación positiva    -=correlación negativa



**9.6.4.1 *Poecilia catemacónis* – asociaciones entre la fecundidad y fertilidad con variables biométricas por camadas.**

En *P. catemacónis*, la fecundidad mostró el mayor número de correlaciones con el peso, longitud y/o índice de condición de las hembras de las camadas 7 y 10. Por su parte en 10 de las 14 camadas, excepto la 1, 3, 8 y 14, se encontraron asociaciones negativas entre la longitud total de hembras y/o machos y el índice de condición.

**9.6.5 *Xiphophorus kallmani* -asociaciones entre la fecundidad y fertilidad con variables biométricas.**

De manera general en hembras de *X.kallmani* la fecundidad, edad de maduración sexual e índice de condición estuvieron relacionadas, mientras que en los machos de *X. kallmani* se encontró una correlación positiva entre el peso y edad de maduración sexual y entre la longitud total de los machos y la fertilidad de las hembras.  $P < 0.5$ ,  $r^2 = 0.71$  y una negativa entre el peso y el índice de condición. (Tabla 9.6.5)

**Tabla 9.6.5.** Asociaciones significativas entre variables biométricas y reproductivas de las crías obtenidas de *Xiphophorus kallmani*. N= 73

	Edad de maduración sexual	Fecundidad	Fertilidad	Peso (g)	Longitud total (mm)	Índice de condición (K)
Edad de maduración sexual			♀-@**	♂+@**		
Fecundidad			♀+@**			
Fertilidad						
Peso (g)						
Longitud total (mm)						♂-§***
Índice de condición (K)			♀-@*			

@  $r^2 \leq 0.5-0.60$  §  $r^2 = 0.66-0.80$  \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$  \*\*\*  $p < 0.001$

♂ machos ♀ hembras +=correlación positiva - =correlación negativa

**9.6.5.1 *Xiphophorus kallmani*- asociaciones entre la fecundidad y fertilidad por camadas con variables biométricas.**

Se encontraron asociaciones negativas entre peso e índice de condición hembras y machos de las camadas 6 y 8 y entre longitud total e índice de condición en las camadas 1, 2, 4, 5, 6 y 8, las asociaciones positivas encontradas fueron en la camada 8 para fertilidad y fecundidad en hembras y en machos entre longitud total e índice de condición.

## 10 DISCUSIÓN

### 10.1 Selección y conformación de los lotes reproductores

En este estudio, se logró el establecimiento de lotes de peces a partir de la selección de peces de una población cautiva de adultos, a partir de los cuales se conformaron grupos en una proporción de 3:1 (hembras:machos), con la cual se logró la reproducción en ambas especies de peces estudiados en esta tesis (*X. kallmani* y *P. catemaconis*), la cual coincide con la utilizada para guppies (*Poecilia reticulata*) (Maya y Marañón, 1998; 2001), pero a su vez, difirió con lo reportado en un estudio de laboratorio con *Xiphophorus milleri*, poecílido endémico del lago de Catemaco, en la que a pesar de haberse utilizado una proporción de 3:1, no se obtuvieron camadas en todas las hembras que copularon con el macho (Ramírez, 2014). Otras especies de poecílicos han logrado reproducirse a diferente proporción de reproductores, por ejemplo, las variedades comerciales de “*X. helleri*”, producto de la cruce, principalmente entre *X. maculatus* y *X. helleri* (Bassolo, 1990). En comparación con éstas, la proporción 3:1 aquí utilizada coincide con la usada para el cola de espada variedades “neón” y “terciopelo rojo”, en cambio, difiere con la variedad “puesta de sol”, en cuyo óptimo cultivo para reproducción se usa una proporción sexual de 4:1, mientras que en los “cola negra” 2:1, pero en el caso del “azul místico”, se requiere de una proporción 1:1 (Tamaru et al., 2001). Dicha diferencia en la proporción de sexos utilizada en la reproducción de poecílicos en cautiverio, puede estar relacionada con el gasto energético utilizado durante la competencia por las hembras (Weir, 2013) y para prevenir la agresión que se puede establecer entre los machos por un recurso limitado (hembras) (Hurtado-González y Uy, 2010 y Buceta, 2013).

Adicionalmente, durante este trabajo de tesis, fue posible observar el comportamiento de cortejo en ambas especies de peces. En el caso de *P. catemaconis*, consistió en la estimulación del macho hacia la hembra mediante

ligeros golpes de su boca sobre la apertura urogenital de las hembras; por otra parte, no se observó preferencia del macho hacia alguna de ellas, a diferencia de lo observado por Ramírez (2014), quien menciona la preferencia de los machos a hembras con mayor longitud; sin embargo, en el presente estudio, se seleccionaron hembras que tuviesen un tamaño similar, por lo que la posibilidad de que el macho eligiera de entre ellas por el tamaño, quedaría excluida. Para el caso de *X. kallmani*, el comportamiento de cortejo consistió principalmente en la persecución del macho a las hembras, así como nado con las aletas distendidas alrededor de ellas para atraer su atención, ésta conducta coincidió con la reportada para otras especies del mismo género (Zayan, 1973; Bassolo, 1980; Lodi, 1980; Policansky, 1983; Franc, 2003; Ramírez, 2014).

## **10.2 Reproducción de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis* para la obtención de crías.**

Los promedios del tamaño de las camadas, con un rango de 2-35 crías para hembras de *X. kallmani* con LT de  $75.36 \pm 4.43$  mm y de entre 2-31 en hembras de *P. catemacónis* con una LT de  $82.93 \pm 6.38$  mm difirieron a otras especies de la familia Poeciliidae, como es el caso de peces silvestres *Phalloceros caudiomaculatus*, en el que se analizaron hembras con una longitud estándar promedio de 23.9-38.2 mm obteniendo  $17.5 \pm 5.16$  crías por camada con un rango de 10-28 crías (Arias y Reznick, 2000). Tales autores mencionan que el espacio disponible, tipo y frecuencia de alimentación, pueden asociarse con el número de crías por camada, y que probablemente otro factor importante sería la calidad del agua, sin embargo, no se registraron los parámetros de calidad de agua en los sitios de colecta (Maya y Marañón, 1988).

Otra especie para la cual se ha determinado el número de crías por camada es *Brachyrhaphis rhabdophora* colectados de un ambiente silvestre, los organismos contaron con una longitud y peso promedio de 32.4 mm y 215 mg, respectivamente (Reznick *et al.*, 1993). Tales autores obtuvieron datos para cinco

localidades, dos de las cuales mostraron resultados similares a los obtenidos:  $9.6 \pm 2.43$  y  $9.3 \pm 2.12$  crías promedio por camada, mientras que en *X. kallmani* se obtuvo un tamaño de camada de  $9.12 \pm 10.6$  crías, coincidiendo con lo encontrado en *X. multilineatus* ( $9.12 \pm 4.9$  crías) y en *P. catemacensis*  $9.5 \pm 7.1$  crías por camada.

Otros estudios acerca del tamaño de camada de distintas especies de *Xiphophorus* en su medio natural y con variedades silvestres sin seleccionar, muestran datos que difieren al tamaño de camada obtenido para *X. kallmani*, como es el caso de *X. nigrensis*, cuyos promedios de camada van de  $6.0 \pm 4.03$  crías hasta  $6.2 \pm 1.55$  en hembras con una longitud total promedio de 27.7-29.2 mm, y para *X. pygmaeus*, con un máximo de  $5.2 \pm 1.83$  crías por camada en hembras con una longitud total de  $22.0 \pm 1.62$  mm (Morris y Ryan, 1992), éstos datos son menores que los obtenidos para *X. kallmani*, muy probablemente debido a que ambas especies mencionadas alcanzan tallas menores, se ha reportado que a menor talla de las especies, tendrán un menor número de crías por camada, debido a la relación entre el tamaño de la cámara incubatriz y la cantidad de alevines por camada (Cheong *et al.*, 1984; Peña y López, 1995).

Se tiene el registro del tamaño de camada para *Xiphophorus milleri*, especie endémica de Catemaco, para hembras de  $28.2 \pm 1.59$  mm de longitud total y peso de  $0.31 \pm 0.06$  g de tres meses de edad, bajo condiciones de laboratorio similares a las de este estudio, en el que se obtuvo un tamaño de camada de  $12 \pm 10.4$  crías (Ramirez, 2014), el cual es mayor que el obtenido para *X. kallmani* con hembras de longitud total promedio considerablemente mayor,  $75.6 \pm 44$  mm y un peso promedio de  $4.64 \pm 0.95$  g, esto pudo deberse, a que en dicho estudio se utilizaron hembras descendientes de reproductores capturados en su medio natural, por lo que pudo haber influido en las crías puesto que provenían de hembras con otro tipo de alimentación más variada y que pudiese estar relacionada con la cantidad de huevos y calidad de los alevines producidos tal como lo reportado previamente (Ramirez, 2014), no así con las utilizadas en el presente estudio, pues todas ellas eran la tercera generación de nacidas en

cautiverio con un año de edad. En ambos estudios se utilizaron hembras nulíparas.

### **10.3 Maduración sexual**

#### **10.3.1 Edad y longitud total al alcanzar la madurez sexual en machos de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*.**

Se ha reportado que el tiempo de vida en machos suele ser menor en comparación con las hembras y por lo tanto como estrategia reproductiva los machos de algunas especies de poecílicos considerados de pequeño tamaño (LP < 55 mm) suelen madurar antes y a longitudes menores (Meffe, 1985). Esto coincide con lo reportado para *Gambusia marshi*, especie en la cual los machos alcanzan la madurez sexual a una longitud total entre los 18-20 mm (Meffe, 1985), de 31.5 mm para *Poecilia reticulata*, si bien no se especifica la edad de los mismos, pues se trató de un estudio de campo (Urriola *et al.*, 2003) y en el caso de machos de *Phalloceros caudimaculatus* maduran en un rango de 16-31 mm (Arias y Reznick, 2000).

De igual modo, se ha estudiado a *Poecilia latipinna* en el cual se tiene el reporte de que los machos maduran a los dos meses de edad con una longitud total mínima de 20-28mm, lo cual está relacionado con la época del año, tardando más en madurar aquellos nacidos en invierno (Snelson, 1984), esto coincide con los datos obtenidos para *Xiphophorus kallmani*, ya que la camada ocho, que fue la que más tarde en madurar sexualmente, nació en invierno el 25 de noviembre de 2018, a una temperatura del agua de  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , no así la camada con mayor número de individuos de *Poecilia catemacónis* (31 alevines), las cuales tuvieron un promedio de  $7.8 \pm 3.7$  alevines misma que nació el 9 de agosto de 2018, a una temperatura del agua de  $29 \pm 1^\circ\text{C}$ , en la cual la tardía madurez sexual se podría atribuir a otros factores tales como la alta densidad de cultivo durante las primeras semanas de vida, coincidiendo con lo reportado para otros poecílicos (Olivier y Kaiser, 1997).

Los datos obtenidos para *Poecilia catemacensis* durante este estudio (madurez sexual a una LT de  $43.2 \pm 5.4$  mm), difieren de otros reportados, en un estudio de campo se determinó que la longitud mínima para su maduración sexual en su hábitat natural es de 64 mm, con una longitud promedio de 78.5 mm (Loran *et al.*, 2013), mientras que bajo condiciones de laboratorio, se encontró una longitud de  $63.5 \pm 0.70$  mm a una edad de  $50.4 \pm 0.9$  semanas al alcanzar la maduración sexual (Ramirez, 2014), se puede inferir como posibles causas de diferencia con éste estudio, también realizado en laboratorio, el tipo de alimentación y la temperatura, mismos que son factores que afectan la madurez sexual en poeciliidos (Policansky y Sohn, 1983; James y Sampath, 2003), por ejemplo, Ramirez en 2014 utilizó alimento vivo (*Moina macrocopa*), suministrado cada tercer día, mientras que en éste estudio se proporcionó diariamente, *Turbatrix acetii* y *Artemia franciscana*. Así mismo la temperatura pudo influir, puesto que en el anterior estudio las temperaturas registradas fueron más bajas ( $26.26 \pm 1.80$  °C), mientras que en el presente estudio la temperatura fue mayor (28-30 °C), coincidiendo con lo reportado para *Poecilia latipinna*, especie en la cual a temperaturas más frías tarda más en madurar sexualmente (Snelson, 1984).

En cuanto a especies del género *Xiphophorus*, se tiene el reporte de *X. helleri*, en el cual los machos maduran entre las 9 y 12 semanas a una longitud total de 25 a 30 mm (Stickney, 2000), de igual modo se ha estudiado a *X. maculatus*, en la que los machos maduran entre las 10 y 16 semanas (Kallman *et al.*, 1973), y entre las 10 y 13 semanas (Policansky y Sohn, 1983). Así mismo, se ha registrado que otra especie del género *Xiphophorus*, igualmente endémica del lago de Catemaco: *X. milleri*, los machos maduran sexualmente a una longitud total promedio de  $24.7 \pm 1.4$  mm a los tres meses de edad; en éste caso, es probable que al ser una especie considerada como en peligro de extinción, haya desarrollado una estrategia de precocidad, es decir, que madure sexualmente a temprana edad, en comparación con otras especies del mismo género, ello como una estrategia

reproductiva con el fin de lograr descendencia y que sus genes pasen a la siguiente generación (Ramírez, 2014). Adicionalmente, el parasitismo puede estar contrubuyendo a afectar la adecuación (crecimiento, reproducción y/o supervivencia) de los peces como hospederos de parásitos (Poulin, 2011); al respecto, se ha mostrado que poecílicos del lago de Catemaco, presentan una riqueza de especies de parásitos y/o abundancias relativamente altas para los poecílicos de Catemaco, en los cuales se han registrado un total de 26 parásitos, 5 especies de protozoarios y 21 metazoarios siendo la mayoría de las especies larvas de tremátodos (metacercarias) particularmente del género *Phagicola*, (Ramírez, 2014), habitando prácticamente todos los órganos y tejidos de los peces, excepto los no analizados (sangre y huesos), se tiene el reporte de *Xiphophorus kallmani*, el cual tiene una abundancia alta de parásitos entre los que destacan *Phagicola nana* (70) y *myxobulus sp.* (60), encontrándose principalmente su intestino y esporádicamente en sus agallas, mientras que en *Poecilia catemaconis* se ha detectado una abundancia de parásitos de 220 *Phagicola nana* y 180 de *myxobulus sp.*, encontrándose principalmente en vísceras y mesenterio; y aunque en la actualidad no se tiene registro de una relación entre cargas parasitarias y edad de maduración sexual en peces, en otros organismos acuáticos, como el caracol *Cerithidea californica*, de lagunas costeras de California, EUA, se identificó el fenómeno de precocidad en aquellos caracoles con mayor riqueza de especies de tremátodos endoparásitos, es decir, los que presentaban larvas (cercarías), las cuales se caracterizan por replicarse asexualmente en los caracoles, llegando a invadir prácticamente todo el tejido en el que se encuentran, si se trata de las gónadas, causan castración parasitaria (Lafferty, 1993).. La presencia en poecílicos del lago de Catemaco, de la especie de eucarionte quizá más patógena en peces (*Ichthiophthirius multifiliis*), así como de mixosporidios, los cuales son capaces de dañar tejidos de aletas y músculo hasta causar la muerte, no teniendo cura, además de las trematodiasis, permite inferir que las parasitosis, pueden jugar un papel particularmente relevante en las historias de vida de los poecílicos de Catemaco.



### **10.3.2 Edad y longitud total al alcanzar la madurez sexual en hembras de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacensis*.**

En el caso de *X. kallmani* las hembras maduraron a una edad promedio de  $24.8 \pm 2.4$  semanas con una longitud total promedio de  $50.8 \pm 7.1$  mm, mientras que las hembras de *P. catemacensis* a las  $21.5 \pm 2.1$  semanas, con una longitud total de  $46.5 \pm 5.2$  mm. Estos datos difieren a lo reportado para *P. catemacensis* silvestres, puesto que en un estudio realizado *in situ* se reportó como talla mínima de madurez sexual en hembras una longitud total de 52 mm (Lorán *et al.*, 2013), siendo esta longitud mayor a la reportada en éste estudio, lo anterior se puede atribuir a la edad de las hembras, la cual no fue registrada por Lorán *et al.* (2013), al tratarse de un estudio de campo.

La edad y longitud de madurez sexual en las hembras de poecílicos es variable entre las especies, ya que, a pesar de ser una familia caracterizada por incluir especies de talla pequeña, también las hay relativamente grandes, como *Belonesox belizanus*, la cual alcanza hasta 200 mm (Miller *et al.*, 2009). *Poecilia catemacensis* es la especie más grande del género *Poecilia* (Stockwell y Henkanaththegedara, 2011), la cual en un estudio *in situ* en el lago de Catemaco, presenta tallas máximas registradas de 11.9 cm (Loran *et al.*, 2013). Igualmente otro estudio con *P. catemacensis*, realizado en laboratorio, determinó que a una longitud total de  $69.7 \pm 5.0$  mm y 25 semanas, las hembras aún no alcanzaban la madurez sexual (Ramírez, 2014), a diferencia de los resultados obtenidos en éste estudio, en los cuales se registraron hembras sexualmente maduras desde las 19 semanas de edad, como fue el caso en este estudio para la camada 11, siendo la madurez promedio a las  $21.5 \pm 2.1$  semanas, de igual manera alcanzaron la madurez sexual a longitudes menores a las reportadas, lo anterior puede deberse a la temperatura puesto que en el presente estudio la temperatura fluctuó entre los 28-30 °C , a diferencia del estudio anterior en el que se obtuvo un promedio de  $26.26 \pm 1.80$  °C, así mismo los ejemplares usados en el estudio anterior fueron en su mayoría silvestres y solo una camada (N=2) fue nacida en laboratorio, así como el tipo de alimento puesto que se usó diferente alimento vivo (*Moina macrocopa* y

*Artemia* sp.) suministrado tres veces por semana mientras que en éste estudio se utilizó *turbatrix acetii* y *Artemia franciscana* diariamente.

Se tiene el reporte de otros miembros de la familia *Poeciliidae* que maduran a longitudes menores que *P. catemacensis*, tal es el caso de *P. reticulata*, en el cual diversos autores han determinado la edad y longitud a la que ésta especie llega al alcanzar la madurez sexual, es decir a los 23.6 mm (Urriola *et al.*, 2004), y de 23.9 a 38.2 mm en las hembras de *Phalloceros caudiomaculatus* (Arias y Reznick, 2000). Siendo estudios de tipo descriptivo, en los cuales su tamaño menor a las especies de éste estudio (*Poecilia catemacensis* y *Xiphophorus kallmani*), las cuales alcanzaron la madurez sexuales a longitudes mayores ( $50.8 \pm 7.1$  mm y  $46.4 \pm 5.1$  mm respectivamente), se podría predecir que madurarán a mayores longitudes debido a que en su etapa adulta éstas especies alcanzan mayores longitudes totales que *P. caudiomaculatus* y *P. reticulata*, las cuales están consideradas como especies pequeñas por alcanzar una LT en adultos menor a 50 mm, lo cual coincide con estudios previos en los que que la talla de la especie en su edad adulta es un factor que influye notablemente en la biología reproductiva de poecílicos, de modo que especies más grandes maduraran a mayores longitudes, en comparación con las especies de menor tamaño (Schoenherr, 1977 y Meffe, 1985). Lo cual coincide con lo reportado para especies del género *Xiphophorus*, se tiene el reporte de *X. milleri*, *X. helleri*, *X. nigrensis*, *X. multilineatus* y *X. pymaeus* todas ellas de menor tamaño que *Xiphophorus kallmani*, las cuales maduraron a una edad y longitud total menor que *X. kallmani* (Dawes, 1991, Morris y Ryan, 1992 y Ramírez, 2014)

pudiendo atribuirse las diferencias en longitud y edad al llegar a la madurez sexual al tamaño de la especie e la edad adulta puesto que estudios previos han demostrado que especies pequeñas de poecílicos suelen alcanzar a menor edad la madurez sexual (Meffe, 1985), como es el caso de otra especie de Poecílico aunque de diferente género en la cual se ha estudiado parte de su historia de vida es *Brachyrhaphis rhabdophora*, especie en la cual se ha determinado que las hembras maduran sexualmente entre los 22 y 24 mm (Reznick *et al.*, 1993).

Por otra parte se ha mencionado que la calidad del alimento y frecuencia de la alimentación pueden acelerar o retardar el proceso de maduración (James y Sampath, 2003), esto debido a que en ambientes silvestres existe mayor variedad y cantidad de alimento, mientras que en cautiverio, normalmente los organismos se adaptan a alimentos artificiales y alimento vivo complementario, además, la frecuencia de la alimentación en cautiverio es controlada, no así en estado silvestre (Ramírez, 2014). En éste estudio, el tamaño en la etapa adulta de ambas especies, así como su tipo de alimentación y temperatura son los factores que con probabilidad jugaron un papel principal en la edad y longitud a la cual alcanzan su madurez sexual las hembras y machos de *P. catemacónis* y *X. kallmani*.

### **10.3.3 Fecundidad y fertilidad de *Poecilia catemacónis* y *Xiphophorus kallmani*.**

En éste estudio, la fecundidad y fertilidad de *Xiphophorus kallmani* fue significativamente mayor a *Poecilia catemacónis*. Esto se pudo deber principalmente a la longitud total alcanzada al llegar a la madurez sexual, puesto que las hembras de *X. kallmani* alcanzaron longitudes mayores, por lo que tenían mayor espacio en sus cavidades abdominales y por consiguiente cámaras incubatrices de mayor tamaño que *P. catemacónis*, lo cual les permite albergar mayor número de óvulos y gestar mayor cantidad de embriones, tal como lo reportado en estudios previos (Schoenherr, 1977; Peña y López, 1995; Contreras-MacBeath, Ramírez-Espinoza, 1996; Vargas y de Sostoa, 1996; Gómez-marquez *et al.*, 1999; Urriola *et al.*, 2004).

Los resultados obtenidos difieren con los reportados para otras especies, tal es el caso de *Poecilia reticulata*, especie para la cual se ha mencionado una fertilidad de  $56.1 \pm 43.6$  embriones con entre 8.0 y 197 embriones, mientras que tuvo una fecundidad de  $49.0 \pm 36.0$  ovas con entre 7 y 179 ovas (Urriola *et al.*, 2004). Si bien los valores reportados para la fecundidad de *P. reticulata* son similares para las especies de éste estudio ( $44.60 \pm 15.87$  en *P. catemacónis* y  $57.59 \pm 7.21$  para *X. kallmani*), difieren con respecto a la fertilidad con ambas especies, inclusive

para *Poecilia catemacónis*, que si bien es del mismo género, es de considerable mayor tamaño y menos fértil que *Poecilia reticulata*. Un factor que puede influir en esto es que las hembras de *Poecilia reticulata* no eran nulíparas, así mismo se tiene el reporte de que las variedades de *Poecilia reticulata* han sufrido un proceso de domesticación a lo largo de los años, en el cual mediante selección artificial se ha incrementado su fertilidad y colorido, así mismo se les considera como especie invasora en un gran número de hábitats, considerando su elevada fertilidad, y su comportamiento de huida ante posibles depredadores como un factor clave en los procesos de colonización de hábitats (Sievers *et al*, 2012), así mismo compiten con poblaciones naturales de otros poecílidos, siendo *Poecilia reticulata* los que terminan teniendo una dominancia numérica poblacional sobre las especies nativas (Shubel, 2006; Lockwood *et al.*, 2007; Ramírez-García *et al.*, 2018). Otra especie de poecílido para la cual se ha determinado su fertilidad es *Poecilia sphenops*, de  $5.7 \pm 5.7$  embriones, en un estudio descriptivo *in situ* en el río de Teuchitlan, Jalisco.(Ramírez-García *et al.*, 2018), siendo similares con los datos obtenidos en este estudio para *X. kallmani*.

De acuerdo a un estudio previo en laboratorio para *Poecilia catemacónis*, las hembras presentan una fecundidad de  $130.2 \pm 15.8$  ovas (Ramirez, 2014), la cual difiere en gran medida de la aquí obtenida ( $45.00 \pm 16.53$  ovas). Al respecto, en el presente estudio, uno de los factores que influyó en el tamaño al que las hembras maduran sexualmente es la longitud total y la fecundidad, pues registramos correlaciones significativas positivas entre las variables mencionadas. Por tanto, se puede atribuir tal diferencia en la fecundidad a que las hembras estudiadas por Ramírez (2014), tenían longitudes totales más altas ( $69.66 \pm 5.03$  mm), en comparación con las de éste estudio ( $46.5 \pm 5.2$  mm). Eso coincide con lo reportado para algunas especies de poecílidos como *P. occidentalis*, *P. turrubarensis*, *G. holbrooki* y *H. bimaculata*, en los cuales se reportó una correlación positiva entre la longitud total de la hembra y la fecundidad y fertilidad, lo cual se puede atribuir a que las hembras tienen mayor espacio dentro de sus cavidades abdominales, presentando mayor tamaño de su cámara incubatriz para

albegar embriones (Schoenherr, 1977; Peña y López, 1995; Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza, 1996; Vargas y de Sostoa, 1996; Gómez-Marquez *et al.*, 1999; Urriola *et al.*, 2004).

Existen otros registros de fecundidad y fertilidad para poecílidos, como es el caso de *Gambusia affinis* que tiene una fecundidad de  $22.8 \pm 1.0$ , *X. helleri*  $60.1 \pm 3.8$  y *X. maculatus*  $27.3 \pm 2.4$  (Milton y Arlington, 1983), los datos difieren con los obtenidos en éste estudio, posiblemente porque los autores mencionados utilizaron una definición de fecundidad diferente a la de este estudio, es decir, la tomaron como el número de crías por camada (la cual estaría más cercana a la definición usada en éste estudio para determinar el tamaño de las camadas), mientras que la definición utilizada en el presente estudio fue el número total de ovúlos en todos los estadios al momento de disectar a las hembras. Debido a lo anterior, se coincide con Ramírez (2014), quien menciona la importancia de estandarizar los conceptos para poder comparar resultados de los diversos estudios acerca de los elementos que conforman las historias de vida de poecílidos; sin embargo, esto resulta complicado dado el carácter vivíparo lecitotrófico (antiguamente llamado ovoviviparismo) de la mayoría de los peces de la familia *Poeciliidae.*, es decir presentan cuidado parental por parte de las hembras, dentro de las cuales se desarrollan los embriones, mismos que se nutren directamente del vitelo (Saborido-Rey, 2014). Dentro de la familia *Poeciliidae* el género *Xiphophorus* presenta viviparismo lecitotrófico y con respecto a éste género se tiene un estudio de laboratorio de una especie endémica del lago de Catemaco (*X. milleri*), para la cual, se registró una fecundidad de  $34.0 \pm 31.0$  ovas al momento de su disección, y una fertilidad de  $12.0 \pm 10.1$  alevines (Ramírez, 2014). Éstos datos difieren con la segunda especie de pez aquí estudiada, *X. kallmani*, que presentó una fecundidad de  $57.5 \pm 7.2$  ovas y una fertilidad de  $5.2 \pm 2.8$  embriones, lo cual podría atribuirse a las diferencias de tamaño, pues *X. kallmani* es una especie más grande que *X. milleri*, por lo que podría ser más fecunda. Así mismo en éste estudio de tesis se encontró una correlación positiva entre la fecundidad y la fertilidad en hembras de *X. kallmani*,

de modo que hembras más fecundas tendrán valores más altos de fertilidad, lo que coincide con lo reportado para hembras de *X. milleri*, especie en la que también se encontró una correlación positiva entre fecundidad y fertilidad (Ramirez, 2014), pudiéndose atribuir estas diferencias, como se mencionó anteriormente, al tamaño de las hembras y por consiguiente al tamaño de sus cámaras incubatriz (Cheong *et al.*, 1984; Peña y López, 1995).

También, se encontró una correlación negativa entre la edad de maduración sexual y la fertilidad de modo que las hembras que tardaron más en madurar, eran menos fértiles, esto difiere de lo reportado para otras especies del género *Xiphophorus*, pero coincide con otros géneros, como es el caso de *Poecilia*, donde las hembras maduran a temprana edad (Shubel, 2006; Lockwood *et al.*, 2007).

Con respecto a lo anterior, también se tiene el registro para *X. helleri* de que en una misma población, los machos maduran sexualmente a edad, longitud y peso diferentes (Rivera *et al.*, 2016), lo cual puede estar asociado a una estrategia reproductiva temporal, lo cual podría relacionarse a la disponibilidad ya sea de alimento y a la menor presencia (abundancia) de depredadores en diferentes escalas de tiempo y/o espacio (Tyagi y Shukla, 2002). Ésto es similar a lo reportado para *Brachyraphis rhabdophora* y para *X. helleri*, especies en las cuales se registró la presencia de poblaciones con polimorfismo, de edad y longitud, al momento de alcanzar la madurez sexual adjudicando éstas diferencias a las historias de vida de las hembras, a una combinación en la diversidad genética intraespecífica, y a factores ambientales (Kallman, 1989; Reznick, 1993); lo anterior coincide con el presente estudio, ya que los machos de una misma camada maduraron a diferente edad y longitud, la expresión de tal atributo quizá esté fijada genéticamente, puesto que las parejas en este estudio y su descendencia se encontraron en igualdad de condiciones ambientales, es decir, se colocaron a lo largo del estudio en un mismo sistema de recirculación de agua, y recibieron el mismo tipo y cantidad de alimento.

#### 10.4 Crecimiento de *Poecilia catemaconis* y *Xiphophorus kallmani*

Con respecto a las ocho camadas obtenidas para *Xiphophorus kallmani*, se pudo observar que en aquellas en las que se alcanzó un mayor peso en su madurez sexual fueron las tres, siete y ocho, mismas en las cuales se encontraba una mayor proporción de hembras que de machos; y se ha observado en otras especies de poecílidos, que las hembras suelen alcanzar mayor peso y longitud total que los machos (Urriola *et al*, 2004; Ramírez, 2014; Ramírez-García *et al.*, 2018). En cuanto a la longitud alcanzada, destacaron por su mayor tamaño los organismos de la camada número uno, misma que presentó el menor número de organismos, todos ellos hembras, y en acuacultura es sabido que un menor número de organismos por unidad de área (densidad), se relaciona de forma inversamente proporcional con el tamaño de los organismos, como lo reportado para los poecílidos *P. mexicana* y *P. vittata*, las cuales crecieron menos a densidades altas (10 peces/3.8 litros) en comparación con las mantenidas a 5 peces/3.8 litros (Baldwin, 2009).

Con respecto a *P. catemaconis*, de las 14 camadas obtenidas, destaca por su menor número la uno, la cual tenía un tamaño de cuatro crías, dos hembras y dos machos, organismos que registraron la mayor longitud total al alcanzar la madurez sexual ( $53.55 \pm 3.16$  mm ), en comparación con el resto de las camadas, las cuales maduraron a un promedio de  $47.5 \pm 2.3$  mm. En cuanto a la ganancia de peso en las camadas de *P. catemacomis*, se registró un aumento considerable al inicio de la maduración sexual en las camadas dos, seis, siete y 14, siendo más notorio en la camada siete, la cual entre las semanas 21-35 aumentó de 4.1 g, al inicio de la maduración sexual, a 5.9 g, cuando todos los ejemplares maduraron sexualmente, en comparación con el resto de las camadas ( $22.5 \pm 3.8$  semanas), en las cuales durante el proceso de maduración sexual aumentaron de 4.25 gr 5.98 gr

. Asi mismo, se encontró una correlación positiva entre la edad de maduración sexual en machos de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemaconis* y el peso ( $p=0.001$  y  $p=0.002$ , respectivamente), tal es el caso de la camada 11 de *P.*

*catemaconis*, en la que los machos maduraron a las  $15 \pm 0$  semanas, alcanzando un peso promedio de  $3.23 \pm 0.0$  g, en comparación con la camada número siete, en la que los machos maduraron a la semana  $34 \pm 2$ , con un peso promedio de  $5.8 \pm 1.4$  g. Cabe destacar que la camada siete tenía un tamaño de 31 crías (4 machos y 27 hembras) siendo la que presentó un mayor número de hembras que de machos, al respecto diversos autores han demostrado que en camadas con un mayor número de hembras, se observa un incremento significativo de peso en las camadas cuando las hembras empiezan a madurar sexualmente (Reznick y Endler, 1982; Cabral y Marques, 1999; Gómez *et al.*, 1999; Pérez-Bote y López, 2005; Ramírez, 2014). Se han reportado diversos factores que pueden influir en el crecimiento de peces poecílicos, como el tamaño de camada, se ha observado que en aquellas con un mayor número de individuos, éstos suelen crecer menos, según lo reportado para *Xiphophorus helleri* (Olivier y Kaiser, 1977); además de la disminución de espacio para crecer en cautiverio, las altas densidades pueden provocar situaciones de competencia por alimento, agresividad y estrés (Ramírez, 2014). Una posible causa asociada con la tardía madurez sexual en poecílicos, principalmente del género *Xiphophorus*, es que camadas grandes tienden a formar subgrupos de individuos, debido al establecimiento de jerarquías y presentarse individuos con mayor dominancia los cuales pueden madurar a distinto tiempo (Dengler, 2008), esto pudiera estar relacionado con la varianza relativamente grande observada en las camadas, tal es el caso de la ocho, la cual tuvo un mayor número de crías ( $N= 35$ ), y en la que se observaron grupos de machos que maduraron a la semana 23, 25 y 27, siendo éstos últimos los que coincidieron con la edad de maduración sexual de las hembras de su camada, puesto que éstas alcanzaron la madurez sexual a las 27 semanas, en comparación con el resto de las camadas en las cuales las hembras maduraron entre las semana 21 y 25, con un promedio de  $5.4 \pm 2.4$  crías mientras que la camada 8 tuvo 27 35 crías.

Cabe recordar que durante este trabajo de tesis, se hicieron biometrías por camadas hasta el momento en que todos los organismos hubieran madurado sexualmente, pueiendose apreciar que los machos de todas las camadas de



ambas especies, *X. kallmani* y *P. catemaconis*, continuaron su crecimiento aún después de haber alcanzado la madurez sexual, contrario a la mayoría de especies de poecílicos, en los cuales los machos dejan de crecer una vez alcanzada su madurez sexual (Snelson, 1982) , pese a ésta diferencia, el resultado obtenido durante esta tesis coincide con lo reportado para otras especies de poecílicos: *P. latipinna*, *X. milleri*, *G. hoolbroki* y *Phallocerus caudiomaculatus*, las cuales al igual que *P. catemaconis* y *X. kallmani* continúan creciendo después de haber madurado sexualmente. (Snelson, 1984, Arias y Reznick, 2000, Pérez y López, 2005 y Ramírez, 2014).

### **10.5 Índice de condición en *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemaconis***

Durante éste estudio no se encontraron diferencias significativas entre el índice de condición de ambas especies ( $P=0.06$ ), si bien en *P. catemaconis* el índice de condición de machos ( $4.50 \pm 1.69$ ) tendió a ser mayor que en hembras ( $4.13 \pm 1.54$ )., encontrándose una correlación negativa entre la longitud total y el índice de condición en ambas especies, si bien existen pocos estudios del índice de condición en poecílicos, en uno de ellos, el de machos de “guppies finos”, *Poecilia reticulata*, se presentó un índice de condición promedio de  $28.52 \pm 0.19$  (Urriola *et al.*, 2004), mientras que en *Xiphophorus helleri*, se obtuvo un índice de condición de  $0.60 \pm 0.06$  en machos (Han y Fang, 2010). Difiriendo ambas especies de los datos obtenidos para *P. catemaconis* y *X. kallmani*, al respecto se han estudiado diversos factores que afectan el índice de condición en la familia *Poeciliidae*, tal es el caso de la temperatura a la que se desarrollan, disponibilidad de alimento, presencia/ausencia de depredadores, así como toxicidad, espacio y espacio disponible (Plath *et al.*, 2005; Tobler *et al.*, 2008; Hayes *et al.*, 2017), sin embargo en éste caso las diferencias se pueden atribuir a que a un mayor peso, el índice de condición suele ser mayor mientras que a una mayor longitud, éste suele ser menor (Frose, 2006). Esto ya que las longitudes totales de *P. catemaconis* ( $46.46 \pm 5.10$  mm ) son mayores a las de los “guppies finos “ estudiados con anterioridad , los cuales tenían una LT entre 17 a 31.5 mm (Urriola *et al.*, 2004),

mientras que las diferencias con *X. helleri* pueden ser atribuidas a la diferencia de peso, ya que *X. kallmani* obtuvo mayor peso en machos ( $4.41 \pm 0.56$  g) y en hembras ( $4.02 \pm 1.66$ ) que *X. helleri* machos ( $0.45 \pm 0.02$  g) y hembras ( $0.58 \pm 0.03$  g). (Han y Fang, 2010).

Con respecto al índice de condición en las crías obtenidas, al analizar la población conformada por todas las crías obtenidas de *P. catemaconis*, se encontró una correlación negativa entre índice de condición y fecundidad ( $p < 0.0001$ ) y fertilidad ( $p = 0.001$ ), de modo que las hembras con valores más altos de índice de condición eran menos fecundas y menos fértiles, mientras que para *Xiphophorus kallmani* de manera general al examinar todas las camadas se encontró una correlación negativa entre el índice de condición y fertilidad ( $p = 0.0486$ ), estos datos coinciden con lo reportado para *Xiphophorus helleri*, en el cual se observó que las hembras con un menor índice de condición tenían un mayor número de óvulos y de embriones, en comparación con aquellas que presentaban valores altos de índice de condición (Han y Fang, 2010), lo cual se puede relacionar con el desarrollo de los machos (Bassolo, 1990), puesto que en este estudio se encontró una correlación positiva entre la longitud total de los machos de *Xiphophorus kallmani* con la fertilidad de las hembras  $p = 0.033$  y  $r^2 = 0.71$ , en donde es posible que los machos de mayor tamaño puedan producir mayor número de espermatozoides, lo que incrementaría el número de óvulos fecundados, lo que pudiese ser parte de su estrategia reproductiva, ya que se ha registrado en *Xiphophorus helleri* que existe una competencia espermática, es decir, espermatozoides provenientes de varios machos compiten por fertilizar los óvulos de la hembra, de modo que en *X. helleri*, los machos con mayor longitud total producían mayor cantidad de esperma, incrementando la posibilidad de que sus genes fuesen los que pasen a la siguiente generación (Lou *et al.*, 2005).

Por otra parte, otro factor a considerar son las parasitosis, en particular, las cargas parasitarias de los metazoarios, podrían estar asociadas con el desempeño productivo de organismos acuáticos (Lafferty, 1993). Coleman (1993) mostró como es que la carga parasitaria de una larva de trematodo de la familia Heterophyidae,

habitando el bulbo arterial de peces ciprinodontidos en Florida, afectan negativamente la capacidad de nado de peces ciprinodontidos, lo cual es particularmente acrecentado por la disminución de la temperatura y temporadas con disminución de oxígeno en el agua. Al respecto, cabe mencionar que el heterófito *Ascocotyle felipeei*, habita el bulbo arterial de varias familias de peces del Lago de Catemaco, incluida la Poeciliidae (Jiménez, 1993; Ramírez, 2014; Sánchez, 2017).

Así mismo existe la posibilidad que exista un factor genético que programe el que las hembras de menor longitud, incrementen su producción de ovúlos, actuando como una estrategia reproductiva, relacionándose con una temprana maduración sexual (precocidad), como lo ocurrido en machos, los cuales para *P. reticulata* se ha reportado que algunas poblaciones, principalmente aquellas con un alto nivel de predación, sus machos maduran sexualmente a edades más tempranas que aquellos provenientes de sitios con ausencia de predadores (Reznick *et al*, 1982) y en *Xiphophorus* sp. Se ha atribuido la precocidad de los machos con diferencias en los alelos implicados en el proceso de maduración gonadal, actuando como controladores del crecimiento y edad de maduración sexual sobre el eje hipotálamo-pituitaria (Bao y Kallman, 1982).

Este trabajo de tesis, contribuye al conocimiento de la biología reproductiva de poeciílicos de lago de Catemaco, desafortunadamente no existe información publicada al respecto, por lo que no contamos con puntos de comparación de nuestros resultados. Dicha información es indispensable, en particular porque todas las variables que se sabe, ponen en riesgo a los ambientes dulceacuícolas y a su biota, allí están sucediendo: modificación y perturbación del hábitat, contaminación, sobrepesca o pesca indirecta, altas cargas parasitarias, así como la presencia de especies invasoras, en particular, el cíclido translocado *Mayaheros urophthalmus*, que no solo depreda a los peces del lago, sino también a los ítems alimentarios de éstos. Por tanto, los datos obtenidos constituyen un referente para futuros estudios, por ejemplo biológicos (historías de vida), ecológicos, de

conservación y acuacultura.; por ejemplo, continuar con el estudio de aspectos reproductivos de *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*: determinar si presentan superfecundación, abordar el tema de cambio de sexo en *X. kallmani*, así como la preferencia de las hembras de ambas especies hacia machos con algún fenotipo en particular. Finalmente, también es necesario realizar estudios sobre las historias de vida de las demás especies de poecílidos, puesto que solo, y peces de otras familias, particularmente de las que están catalogadas en estatus de vulnerabilidad.

## 11 CONCLUSIONES

1.- *Xiphophorus kallmani* (hembras y machos) alcanzan la madurez sexual a edad, longitud y peso mayor que *Poecilia catemacónis*; y los machos de ambas especies maduraron sexualmente antes que las hembras.

2.- La fecundidad de las hembras de *X. kallmani* se correlaciona negativamente con su longitud total, mientras que en *P. catemacónis*, la fecundidad y fertilidad se asociaron negativamente con el índice de condición.

3.- *Poecilia catemacónis* presenta un mayor número de crías por camada que *Xiphophorus kallmani*, y su peso se correlaciona positivamente con la fertilidad de las hembras.

4.- La longitud total de los machos está correlacionada positivamente con la fertilidad de las hembras en *Xiphophorus kallmani*.

5.- El índice de condición al alcanzar la madurez sexual, no muestra diferencias significativas entre *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis*.

6.- *Xiphophorus kallmani* y *Poecilia catemacónis* presentan una correlación positiva entre el peso de los organismos y la edad de maduración sexual, y una asociación negativa entre la longitud total de los organismos y el índice de condición.

**12 LITERATURA CITADA**

- Abell, R. A., D. M. Olsen, E. Dinerstein, P. T. Hurley, J. T. Diggs, W. Eichbaum, S. Walters, W. Wettengel, T. Allnutt, C. J. Loucks, y P. Hedao. (2000). Freshwater ecoregions of North America: a conservation assessment. Island Press, Washington, D.C.
- Arévalo-Rivera, E. Y., Gómez-Pérez, I. M., Gómez-Ramírez, E., Rodríguez-Calcedo, D. y Hurtado-Giraldo, H. (2010). Estudio preliminar de la relación del tamaño corporal y la maduración testicular de *Xiphophorus helleri* (Heckel, 1948). *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 6 (2): 226-239.
- Arias, A. L., y Reznick, D. (2000). Life history of *Phalloceros caudiomaculatus*: a novel variation on the theme of livebearing in the family *Poeciliidae*. *Copeia*, 2000(3), 792-798.
- Baldwin, W. J., y McGrenra, M. J. (1979, March). Problems with the culture of topminnows (family *Poeciliidae*) and their use as live baitfishes. In *Proceedings of the World Mariculture Society* 10,(1-4): 249-259. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Barreiro- Buceta, P. (2013). Selección sexual en *Poecilia reticulata* (Guppies). *Anales Universitarios de Etología. ULPGC*, 7, 62-68.
- Basolo, A. L. (1990). Female preference for male sword length in the green swordtail, *Xiphophorus helleri* (Pisces: Poeciliidae). *Animal Behaviour*, 40(2), 332-338.
- Benejam, L., C. Alcaraz, P. Sasal, G. Simon-Levert y E. García-Berthou. (2009). Life history and parasites of the invasive mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) along a latitudinal gradient. *Biological Invasions* 11: 2265-2277.
- Cabral, J. A. y Marques, J. C. (1999). Life history, population dynamics and production of eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae)

- in rice fields of the lower Mondego River Valley, western Portugal. *Acta Oecologica*, 20 (6): 607- 620.
- Canestri, V. (1975). Susceptibilidad de tres familias de peces de dulceacuicolas al dieldrin. *Memoria Sociedad de Ciencias Naturales La Salle (Venezuela)*.(Sep-Dic, 35(102), 301-307.
- Cheong, R. T., Henrich, S., Farr, J. A., y Travis, J. (1984). Variation in fecundity and its relationship to body size in a population of the least killifish, *Heterandria formosa* (Pisces: Poeciliidae). *Copeia*, 720-726
- Closs, G. P., Krkosek, M., y Olden, J. D. (Eds.). (2016). *Conservation of freshwater fishes*. Cambridge University Press.
- Coleman, F. C. 1993. Morphological and physiological consequences of parasites encysted in the bulbus arteriosus of an estuarine fish, the Sheepshead Minnow, *Cyprinodon variegatus*. *Journal of Parasitology* 79, 247-254.
- CONANP. (2006). Programa de conservación y manejo de la reserva de la biósfera de los Tuxtlas. Dirección general de manejo para la conservación y la dirección regional centro y golfo.
- Constantz, G. D. (1979). Life history patterns of a livebearing fish in contrasting environments. *Oecologia*, 40(2), 189-201.
- Contreras-MacBeath, T., y Ramírez-Espinoza, H. (1996). Some aspects of the reproductive strategy of *Poeciliopsis gracilis* (Osteichthyes: Poeciliidae) in the Cuautla River, Morelos, México. *Journal of Freshwater Ecology*, 11, 327–338. 455
- Dawes, J.A. (1991). *Livebearing Fishes. A Guide to Their Aquarium Care, Biology and Classification*. Blandford, London, England. 240 pp.
- De León García, J. L. P. (2012). Estrategias de historia de vida relacionadas con la reproducción de la familia *Poeciliidae* (*Actinopterygii cyprinodontiformes*) en Cuba. Editorial Universitaria.

- Dengler (2008). Care and keeping livebearers. U.S.A.T.F.H publications
- Dove, A. D. M. (2000). Richness patterns in the parasite communities of exotic poeciliid fishes. *Parasitology*, 120: 609-623.
- Essenberg, J. M. (1923). Sex-differentiation in the viviparous Teleost *Xiphophorus helleri* Heckel. *The Biological Bulletin*, 45(1), 46–96.
- Franck, D., Müller, A., y Rogmann, N. (2003). A colour and size dimorphism in the green swordtail (population Jalapa): female mate choice, male–male competition, and male mating strategies. *Acta ethologica*, 5(2), 75-79.
- Froese R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22: 241–253.
- Gómez-Márquez, J. L. Guzmán Santiago, J. L. y Olvera Soto, A. (1999). Reproducción y crecimiento de *Heterandria Bimaculata* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) en la Laguna “El Rodeo”, Morelos, México. *Biología Tropical*, 47(3).
- Han, J., y Fang, Z. (2010). Estrogenic effects, reproductive impairment and developmental toxicity in ovoviparous swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) exposed to perfluorooctane sulfonate (PFOS). *Aquatic toxicology*, 99(2), 281-290.
- Hayes, F. P., Dodrill, M. J., Gerig, B. S., Finch, C., y III, W. E. P. (2017). Body condition of endangered humpback chub in relation to temperature and discharge in the lower Colorado River. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 8(1), 333-342.
- Haynes, J. L. (1995). Standardized classification of Poeciliid development for Life-History studies. *Copeia*, 1:147-154.
- Hedrick, P. W. y Hurt, C. R. (2012). Conservation genetics and evolution in an endangered species: research in Sonoran topminnows. *Evolutionary Applications*, 5(8): 806-819.



- Hrbeck, T., J. Seckinger y Meyer, Axel. (2007). A phylogenetic and biogeographic perspective on the evolution of poeciliid fishes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43: 986-998.
- Hurtado-Gonzales, J. L., y Uy, J. A. C. (2010). Intrasexual competition facilitates the evolution of alternative mating strategies in a colour polymorphic fish. *BMC evolutionary biology*, 10(1), 391.
- Iguchi, T., Katsu, Y., Urushitani, H., Lange, A. y Tyler, C. (2007). Developmental reproductive effects of exposure to pharmaceutical steroids in the aquatic environment: Studies on mosquitofish (*Gambusia affinis affinis*), roach (*Rutilus rutilus*) y medaka (*Oryzias latipes*). *Special Issue*, 29-36.
- James, R y Sampath, K. (2003). Effects of meal frequency on growth and reproduction in the ornamental red swordtail, *Xiphophorus helleri*. *The Israeli Journal of Aquaculture Bamidgeh*, 55(3): 197-207.
- Jelks, H. L., Walsh, S. J., Burkhead, N. M., Contreras-Balderas, S., Diaz-Pardo, E., Hendrickson, D. A., y Nelson, J. S. (2008). Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. *Fisheries*, 33(8), 372–407.
- Jiménez-García, M. I., Vidal-Martínez, V. M., y López-Jiménez, S. (2001). Monogeneans in introduced and native cichlids in Mexico: evidence for transfer. *Journal of Parasitology*, 87(4), 907–909.
- Jiménez-García, M.I. (1993). Fauna helmintológica de *Cichlasoma fenestratum* (Pisces: *Cichlidae*) del Lago de Catemaco, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie zoológica* 64: 75-78.
- Johnson, J. E., y Hubbs, C. (1989). Status and conservation of poeciliid fishes. In *Ecology and Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)*, G. K. Meffe y F. F. Snelson Jr. (Eds.) 301–317. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Nueva Jersey.

- Kallman K. D., y Kazianis S. (2006). The Genus *Xiphophorus* in Mexico and Central America. *Zebrafish*. 3(3) 271 – 285
- Kallman, K. D. (1989). Genetic control of size at maturity in *Xiphophorus*, 163-184. En: Ecology and evolution of life-bearing fishes (Poeciliidae). G.K. Meffe & F. F. Snelson, Jr. (eds.). Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kallman, K. D., Schreibman, M. P., y Borkoski, V. (1973). Genetic control of gonadotrop differentiation in the platyfish, *Xiphophorus maculatus* (Poeciliidae). *Science*, 181(4100), 678-680.
- Lafferty, K. D. (1993). Effects of parasitic castration on growth, reproduction and population dynamics of the marine snail *Cerithidea californica*. *Marine Ecology-Progress Series*, 96, 229-229.
- Llanos, C., y Scotto, C. (2014). Comparación entre la obtención de crías por cruce natural versus la utilización de un inseminador artificial en el pez ornamental *Xiphophorus helleri* (Heckel, 1848) (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Revista AquaTIC*, (40).
- Lockwood, J., Hoopes, M., y Marchetti, M. (2007). *Invasion Ecology* (p. 299). Oxford: Blackwell publishing.
- Lodi, E. (1980). Sex inversion in domesticated strains of the swordtail, *Xiphophorus helleri* Heckel (Pisces, Osteichthyes). *Italian Journal of Zoology*, 47(1-2), 1-8.
- López-Sepulcre, A., Gordon, S. P., Paterson, I. G., Bentzen, P., y Reznick, D. N. (2013). Beyond lifetime reproductive success: the posthumous reproductive dynamics of male Trinidadian guppies. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 280(1763), 20131116.
- Lorán, R., Valdez, A, Martínez, F y Gáspar, T. (2013). Lago de Catemaco, Veracruz. En Dillanes, M y Aguilar, D (Ed.), *Pesquerías continentales de México*. (pp. 93-118) México, Df: Instituto nacional de pesca.

- Lorán-Núñez, R. M., Martínez, F. R., Valdez-Guzmán, A. J., y Martínez-Lorán, E. R. (2013). Notas sobre la biología y la pesquería del guatopote azul *Poecilia catemacensis* del Lago de Catemaco, Veracruz. *Ciencia Pesquera*, 21(2), 43–46.
- Lou, J., Sanetra, M., Scharl, M. y Meyer, A. (2005). The multiply mated swordtail *Xiphophorus multilineatus* (Teleostei). In: Strong reproductive skew among males. *Journal of Heredity Advance Access*. Alemania.
- Maya-Peña, E. y Marañón- Herrera, S. (2001). Efecto de la temperatura sobre la proporción sexual de *Poecilia reticulata* Peters, 1859 (Pisces: *Poeciliidae*). *Hidrobiológica*, 11(002): 157-162.
- Maya-Peña, E. y Marañón Herrera S. (1998). Efecto del ph sobre la producción de sexos, el crecimiento y la sobrevivencia del guppy *Poecilia reticulata* Peters, 1859. *Hidrobiológica*, 8(2): 125- 132.
- Meffe, G. K. (1985). Life history patterns of *Gambusia marshi* (*Poeciliidae*) from Cuatro Ciénegas, Mexico. *Copeia*, 898-905.
- Miller Rush, R., Minckley, W. L y Mark Norris, N. (2009). Peces dulceacuícolas de México. Primera edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. D. F.
- Milton, D. A., y Arthington, A. H. (1983). Reproductive biology of *Gambusia affinis* holbrooki Baird and Girard, *Xiphophorus helleri* (Gunther) and *X. maculatus* (Heckel) (Pisces; *Poeciliidae*) in Queensland, Australia. *Journal of Fish Biology*, 23(1), 23-41.
- Morris, M. R., y Ryan, M. J. (1992). Breeding cycles in natural populations of *Xiphophorus nigrensis*, *X. multilineatus*, and *X. pygmaeus*. *Copeia*, 1992(4), 1074-1077.
- Munday, P. L., y Wilson, S. K. (1997). Comparative efficacy of clove oil and other chemicals in anaesthetization of *Pomacentrus amboinensis*, a coral reef fish. *Journal of Fish Biology*, 51(5), 931-938.

- Olivier, A. y Kaiser, H. (1997). A comparison of growth, survival rate, and number of marketable fish produced of swordtails, *Xiphophorus helleri* Heckel (Family Poeciliidae), between two types of culture systems. *Aquaculture Research*, 28(3), 215-221.
- Page, L. M. y B. M. Burr. (1991). A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico. Houghton Mifflin. Company, Boston.
- Peña, J. C. y López, Y. S. (1995). Fertilidad y fecundidad en *Poeciliopsis turrubarensis* (Pisces: *Poeciliidae*). *Revista de biología tropical*, 317-320
- Pérez-Bote, J y López, M. T. (2005). Life history pattern of the introduced eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Baird y Girard, 1854), in a Mediterranean-type river: the River Guadiana (SW Iberian Peninsula). *Italian Journal Zoological* 72: 241- 248.
- Pires, M., Banet, A., Pollux, B y Reznick, D. (2011). Review of Life History Patterns in Poeciliid Fishes. Chicago: University of Chicago press
- Plath M, Heubel KU, García de León FJ, y Schlupp I (2005) Cave molly females (*Poecilia mexicana*, *Poeciliidae*, Teleostei) like well-fed males. *Behavioral ecology and sociobiology*.58:144–151
- Policansky, D & Sohn, J. (1983). Age, weight and the genetics of sexual maturation in the platyfish, *Xiphophorus maculatus*. *Copeia*, 1983(3), 770-774.
- Poulin, R., Paterson, R. A., Townsend, C. R., Tompkins, D. M. y Kelly, D. W. 2011. Biological invasions and the dynamics of endemic diseases en freshwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 56: 676- 688.
- Ramírez-García, A., Ramírez-Herrejón, J. P., Medina-Nava, M., Hernández-Morales, R., y Domínguez-Domínguez, O. (2018). Reproductive biology of the invasive species *Pseudoxiphophorus bimaculatus* and *Poecilia sphenops* in the Teuchitlán River, México. *Journal of applied ichthyology*, 34(1), 81-90.

- Reynolds, J. D., y Gross, M. R. (1992). Female mate preference enhances offspring growth and reproduction in a fish, *Poecilia reticulata*. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 250(1327),
- Reznick, D. y Endler, J. A. (1982). The impact of Predation on life History Evolution in Trinidadian Guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution*, 36(1): 160-177.
- Reznick, D. (1983). The Structure of Guppy Life Histories: The Tradeoff between Growth and Reproduction. *Ecology*, 64(4), 862-873
- Reznick, D., Meyer, A., y Frear, D. (1993). Life history of *Brachyrhaphis rhabdophora* (pisces: Poeciliidae). *Copeia*, 103-111.
- Rivera, E. Y. A., Pérez, I. M. G., Ramírez, E. G., Caicedo, D. R., y Giraldo, H. H. (2016). Estudio Preliminar de la Relación del Tamaño Corporal y la Maduración Testicular de *Xiphophorus hellerii* (Heckel, 1948). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 6(2), 226-239.
- Ross, L y Ross, B. (2009). *Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Saborido-Rey, F. (2014). *Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos*. Vigo, España. Universidad de Vigo.
- Schoenherr, A. A. (1977). Dependent and density independent regulation of reproduction in the Gila Topminnow, *Poeciliopsis occidentalis* (Baird and Girard). *Ecology*, 58: 438-444.
- Serio-Silva, J. C. (2006). Las Islas de los Changos (the Monkey Islands): the economic impact of ecotourism in the region of Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *American Journal of Primatology*, 68(5), 499-506
- Sievers, C., Willing, E. M., Hoffmann, M., Dreyer, C., Ramnarine, I., y Magurran, A. (2012). Reasons for the invasive success of a guppy (*Poecilia reticulata*) population in Trinidad. *PloS one*, 7(5), e38404.
- Shubel (2006). Care and keeping of fancy guppies. U.S.A.T.F.H publications

- Snelson Jr, F. F. (1982). Indeterminate growth in males of the sailfin molly, *Poecilia latipinna*. *Copeia*, 296-304.
- Snelson, F. F. (1984). Seasonal maturation and growth of males in a natural population of *Poecilia latipinna*. *Copeia*, 1984(1), 252-255.
- Stickney, R., (2000). Enciclopedia of aquaculture, Wiley interscience publication. Estados Unidos. 321-324, 602-607, 760-764 p.
- Stockwell C., A. y Henkanaththegedara S., M. (2011). Chapter 12. Conservation biology of poeciliids. En J., Evans, A., Pilastro y I., Schlupp (Eds). Ecology and Evolution of Poeciliid Fishes (128-141 pp). University of Chicago Press.
- Tamaru, C. Cole, B. Bailey, R. Brown, y C Ako, H. (2001). A Manual for Commercial Production of the Swordtail, *Xiphophorus helleri*. USA. University of Hawaii Sea Grant.
- Tobler, M., Riesch, R., De León, F. G., Schlupp, I., y Plath, M. (2008). A new and morphologically distinct population of cavernicolous *Poecilia mexicana* (Poeciliidae: Teleostei). *Environmental Biology of Fishes*, 82(1), 101-108.
- Tyagi, R., Shukla, A., (2002). Development of fishes. Anmol publications PVT.LTD. India. Capítulos VII-VIII-IX.
- Urriola Hernández, M., Cabrera Peña, J., y Protti Quesada, M. (2004). Fecundidad, fertilidad e índice gonadosomático de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en Heredia, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52(4), 945-950.
- Urriola Hernández, M., Cabrera Peña, J., y Protti Quesada, M. (2004). Composición, crecimiento e índice de condición de una población de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae), en un estanque en Heredia, Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 52(1), 157–162.
- Vargas, M. J., y De Sostoa, A. (1996). Life history of *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae) in the Ebro delta (NE Iberian peninsula). *Hydrobiologia*, 341(3), 215-224.

- Villagómez, H. E. C., Enriquez, R. G., y Bazúa, C. D. D. (2001). Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos acuáticos del lago de Catemaco, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17(1), 23-30.
- Weir, L. K. (2013). Male–male competition and alternative male mating tactics influence female behavior and fertility in Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Behavioral ecology and sociobiology*, 67(2), 193-203.
- Zayan, R. C. (1974). Le rôle de la reconnaissance individuelle dans la stabilité des relations hiérarchiques chez *Xiphophorus* (Pisces, Poeciliidae). *Behaviour*, 49(3-4), 268-312.

## 12.1 Literatura gris

Diario eyipantla. (2015). *Desfogan presas de Catemaco; aumenta nivel del río san Juan*. Crónica de Veracruz.

Estalles, M. L. (2012). Características de historia de vida y explotación comercial de la raya *Sympterygia bonapartii* en el Golfo San Matías. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Froese, R. y Pauly, D. (2012). FishBase. Recuperado el 24 de noviembre de 2018. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org).

García-Sánchez, J. (2017). Caracterización temporal de las parasitosis causadas por protozoarios y metazoarios en peces nativos e introducidos en el lago de Catemaco, Veracruz. Instituto Tecnológico de Boca Del Río, Boca Del Río, Veracruz, México.

Lorán, N., Valdez, J. y Martínez, R (2006). Biología de los peces del lago de Catemaco (Veracruz, México), para contribuir a su protección. Póster presentado en el simposio sobre ecosistemas costeros del golfo de México y el mar Caribe: hacia la integración de grupos de investigación. Veracruz, México.

Lorán, R. M., Valdéz, A. J. y Martínez, F. R. (2006). Biología de los peces del Lago de Catemaco (Veracruz, México), para contribuir en su protección. II Taller/ Simposio sobre Ecosistemas Costeros del Golfo de México y Mar Caribe: hacia la integración de Grupos de Investigación. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa Tabasco, México

Moreno, P., Sánchez, N., Aguilar, L., y Adriano Moran, C. (2009). Contaminación microbiana en el lago de Catemaco.

Ramírez, M. (2014). *Algunos aspectos reproductivos, de crianza y sanitarios de Xiphophorus milleri, Poecilia catemaconis y Heterandria tuxtlaensis, poecílicos endémicos del Lago de Catemaco, Veracruz*. Instituto Tecnológico de Boca Del Río, Boca Del Río, Veracruz, México.