



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas;
Fecha: 05 de junio de 2023

C. Blanca Cecilia Valeriano Cabrera

Pasante del Programa Educativo de: Licenciatura en Biología

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Parámetros reproductivos de *Tilac labialis* (Cyprinodontiformes: profunduidae) en la cuenca
del río Hondo, Ixtapa, Chiapas

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Gustavo Rivera Velázquez

Dr. Miguel Angel Peralta Meixueiro

Dr. Ernesto Velázquez Velázquez

Firmas:

Ccp. Expediente

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS

Parámetros reproductivos de *Tlaloc labialis*
(Cyprinodontiformes: Profundulidae) en la cuenca
del río Hondo, Ixtapa, Chiapas

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA

BLANCA CECILIA VALERIANO CABRERA

DIRECTOR

DR. ERNESTO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, UNICACH

ASESORES

MTRO. MANUEL DE JESÚS ANZUETO CALVO
M EN C. SARA ELIZABETH DOMÍNGUEZ CISNEROS
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, UNICACH

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

JUNIO DE 2023



DEDICATORIA

Principalmente a Dios que me ha brindado todas las herramientas para seguir adelante recordándome ser animosa y fuerte. “Dt 31:6”

A mi madre Blanca Esthela Cabrera Pérez, por ser mi gran ejemplo en la vida, darme todo lo necesario en este camino, aun en los momentos difíciles, por su esfuerzo, cuidado, forjarme y acompañarme en todo momento.

Mi padre Francisco Valeriano Vásquez por su apoyo, comprensión y cariño.

A las personas que, aunque no pudieron ver y compartir esta meta conmigo, dieron en mí lo mejor de ellos a lo largo de mi vida, amor, apoyo y orgullo, mis abuelos Julio Aguilar López y María Cristina Trujillo Morales. Señor Isidro Sánchez Roque por sus enseñanzas, por la familia que pudimos formar, por su amor y apoyo en tan poco tiempo.

Y el rayo de luz en mi vida, mi pequeña niña Jennifer Yan Valeriano Espinosa, por mostrarme un camino diferente lleno de esperanza.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Ernesto Velázquez Velázquez, por su dirección en el museo de zoología de la UNICACH, ayuda, tiempo y por compartir su conocimiento en la elaboración de este trabajo.

Biólogo Manuel de Jesús Anzueto Calvo por su tiempo, gran apoyo, asesoría, enseñanza, paciencia y amistad a lo largo de este momento.

A la pequeña familia del museo de zoología, Bióloga Maritza Fabiola Maza Cruz, por sus buenos consejos y compañía; y Mtra. Sara E. Domínguez Cisneros por los momentos alegres a lo largo de la elaboración de este trabajo.

Como olvidar a mis compañeros, amigos que estuvieron en la carrera, por su grata compañía y por los buenos momentos, Felipe Bladimir Pérez Villatoro y Francisco Salomón Abarca de la Cruz.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Descripción de los peces	3
2.2 Descripción de los Cyprinodontiformes	7
2.3 Descripción de la Familia Profundulidae	10
2.4 Descripción de la especie <i>T. labialis</i>	13
2.5 Clasificación taxonómica	14
2.6 Rango geográfico.....	15
2.7 Hábitat y ecología	15
2.8 Amenazas.....	16
III. ANTECEDENTES.....	17
3.1 Ictiofauna de Mexicana	17
3.2 Ictiofauna de Chiapas.....	18
3.3 Estudios sobre taxonomía y sistemática de la familia Profundulidae.....	19
3.4 Estudios morfológicos de profundulidae	22
3.5 Estudios sobre reproducción e Historia de vida.....	23
3.6 Estudios sobre nuevas especies.....	24
IV. OBJETIVOS.....	25
4.1 objetivo general	25
4.2 objetivos particulares.....	25
V. ÁREA DE ESTUDIO.....	26
5.1 Localización	26
5.2 Extensión territorial	26
5.3 Orografía.....	27
5.4 Hidrografía.....	27
5.5 Clima	27
5.6 Flora	27
5.7 Fauna	28
5.8 Características y uso de Suelo	28

VI. MATERIALES Y MÉTODO.....	29
6.1 Trabajo de campo	29
6.2 Actividades de laboratorio	30
6.2.1 Datos biométricos (medidas y peso)	30
6.2.2 Sexado de cada ejemplar	31
6.2.3 Extracción de gónadas y preservación	31
6.3 Índice gonadosomático	32
6.4 Relación Peso-Talla.....	32
6.5 Tipo de crecimiento.....	32
6.6 Factor de condición de Fulton (k)	33
6.7 Fecundidad.....	33
6.8 Dimorfismo sexual.....	33
6.9 Proporción sexual	34
6.10 Talla de primera madurez sexual (L ₅₀)	34
6.11 Ciclo reproductivo: madurez gonádica	34
6.12 Análisis estadístico	35
VII. RESULTADOS.....	36
7.1 Abundancia	36
7.2 Relación Longitud–Peso	37
7.3 Tipo de crecimiento.....	40
7.4 Factor de Condición Fulton (K)	40
7.5 Fecundidad.....	42
7.6 Dimorfismo sexual.....	45
7.7 Proporción sexual	47
7.8 Índice gonadosomático	47
7.9 Ciclo reproductivo: madurez gonádica	48
7.10 Talla de primera madurez sexual	51
VIII. DISCUSIÓN.....	53
8.1 Los índices somáticos	53
8.1.1 Relación longitud-peso	53
8.1.2 Factor de condición Fulton (K)	54
8.2 Parámetros reproductivos.....	55

8.2.1 Fecundidad.....	55
8.2.2 Dimorfismo sexual y proporción sexual.....	55
8.2.3 Índice gonadosomático	56
8.2.4 Talla de la primera madurez sexual	57
IX. CONCLUSIONES.....	58
X. RECOMENDACIONES.....	60
XI. REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	61

Índice de cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Parámetros de relación longitud-peso de <i>Tlaloc labialis</i>.	.....40

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Representantes de los grupos más importantes de peces vivientes; A: clase Cephalaspidomorphi; B: Clase Chondrichthyes; Clase Osteichthyes: C: Subclase Actinopterygii y D: Subclase Sarcopterygii (Lagler <i>et al.</i> 1990).	.....5
Figura 2. Representantes del Orden Cyprinodontiformes: A: Nothobranchiidae, B: Goodeidae, C: Poeciliidae y C: Cyprinodontidae.	.....10
Figura 3. Ejemplar representativo del género <i>Profundulus</i> (<i>Profundulus punctatus</i>)	.....12
Figura 4. Ejemplar representativo del género <i>Tlaloc</i> (<i>Tlaloc hildebrandi</i>)	.....13
Figura 5. Ejemplar de la especie <i>Tlaloc labialis</i>.	.....14
Figura 6. Distribución geográfica de <i>Tlaloc labialis</i> (IUCN, 2019).	.....15
Figura 7. Localización geográfica del municipio de Ixtapa, Chiapas (INEGI, 2022).	.....26
Figura 8. Localización Rio Hondo, Ixtapa, Chiapas.	.....27
Figura 9. Técnica de captura, con la red tipo chinchorro, utilizada para la captura de los ejemplares de <i>T. labialis</i>.	.....29
Figura 10. Conteo y etiquetado de ejemplares <i>T. labialis</i>.	.....30

Figura 11.	Registro de los datos morfométricos de <i>T. labialis</i>.	.....31
Figura 12.	Distribución de ejemplares de <i>T. labialis</i> , recolectados en los diferentes muestreos de septiembre de 2019 a marzo de 2021.	.....36
Figura 13.	Distribución de ejemplares Machos y Hembras de <i>T. labialis</i> , de las recolectas en los diferentes muestreos de septiembre de 2019 a marzo de 2021.	.....37
Figura 14.	Relación longitud-peso en ejemplares hembras de <i>Tlaloc labialis</i> , obteniendo un grado de correlación fuerte.	.....38
Figura 15.	Relación longitud-peso en ejemplares machos de <i>Tlaloc labialis</i>.	.....39
Figura 16.	Relación longitud-peso en ejemplares machos y hembras de <i>Tlaloc labialis</i>.	.....39
Figura 17.	Promedio del Factor de Condición Fulton (K) en <i>Tlaloc labialis</i>.	.....41
Figura 18.	Valores medios del factor de condición por temporadas de <i>T. labialis</i>.	.....41
Figura 19.	Ovocitos de una hembra de <i>T. labialis</i> (ID 73).	42
Figura 20.	Ovocitos de una hembra de <i>T. labialis</i> (ID 75).	.....43
Figura 21.	Ovocitos de una hembra de <i>T. labialis</i> (ID 206).	.....43

Figura 22.	Relación fecundidad-longitud de <i>T. labialis</i>.	.....44
Figura 23.	Relación fecundidad-peso de <i>T. labialis</i>	.....44
Figura 24.	Ejemplares hembra (A) y macho (B) de <i>T. labialis</i> (M2).	.....45
Figura 25.	Gónada de una ejemplar hembra de <i>T. labialis</i>.	.....46
Figura 26.	Gónada de una ejemplar macho de <i>T. labialis</i>.	.....46
Figura 27.	Valores medios del Índice gonadosomático por temporadas (estiaje-lluvias) en hembras de <i>T. labialis</i>.	.....47
Figura 28.	Gónada de un ejemplar macho en el estadio I, de <i>T. labialis</i>	.....48
Figura 29.	Gónada de una hembra en el estadio I (los óvulos aún no se distinguen) de <i>T. labialis</i>.	.....49
Figura 30.	Gónada de un ejemplar macho en estadio II de <i>T. labialis</i>	.....49
Figura 31.	Gónada de un ejemplar hembra en estadio II, de <i>T. labialis</i>	.....50
Figura 32.	Gónada de un ejemplar hembra estadio III de <i>T. labialis</i> , los ovocitos ya son notablemente visibles	.....50
Figura 33.	Ovocitos de ejemplar una hembra en estadio III, de <i>T. labialis</i>.	.....51
Figura 34.	Talla de la primera madurez sexual en hembras y machos de <i>T. labialis</i>.	.....52

RESUMEN

Se documentaron los índices somáticos y aspectos reproductivos de *Tlaloc labialis* en la cuenca del río Hondo, tributario del río Grijalva, en Chiapas, México; con datos provenientes de numerosas recolectas realizadas en septiembre de 2019 a marzo de 2021. La recolecta de ejemplares se realizó con una red tipo chinchorrito (3m x 2m; 5m luz malla). En total se obtuvieron 697 ejemplares de los cuales 603 fueron machos y 94 hembras; lo que arrojó una proporción de sexos de 1: 0.15 (machos: hembras) a favor de los machos, esta proporción observada fue muy diferente ($X^2= 212.76$; $p<0.0001$), comparada con la proporción esperada (1:1). La relación longitud-peso para ambos sexos presentaron un tipo de crecimiento isométrico ($b=3$; $r^2 =0.95$); sin embargo en análisis por sexos separados mostró diferencias en el tipo de crecimiento, mientras que para hembras es alométrico positivo ($b>3$; $r^2 =0.97$), para los machos fue alométrico negativo ($b<3$; $r^2 =0.91$). El factor de condición Fulton, registró un valor promedio de 1.89 (DE= 0.34). El valor promedio de la fecundidad fue 384.40 ovocitos y la fecundidad relativa es de 174.39 ovocitos; los cuales presentaron un valor promedio de 1.69 mm de diámetro; además hubo una relación lineal entre la fecundidad y la longitud, y entre la fecundidad y el peso. Esta especie presenta un dimorfismo sexual secundario poco evidente, solo el tamaño de la aleta anal nos permiten diferenciar entre ambos sexos. Se encontraron diferencias significativas en el índice gonadosomático entre temporadas de estiaje y lluvia, presentando valores más altos en la temporada de estiaje, principalmente en el mes de febrero, lo que sugiere que el periodo reproductivo de *T. labialis* es en la temporada de secas. La talla de la primera madurez sexual de *T. labialis* fue de 41 mm. El presente estudio representa la primera contribución de la biología reproductiva de *T. labialis* y los primeros esfuerzos para avanzar en nuestra comprensión de la historia natural de esta especie que habita en pequeños tributarios de la cuenca media del río Grijalva en el sur de México.

Abstract

Somatic indices and reproductive aspects of *Tlaloc labialis* were documented in rio Hondo, a tributary of the Grijalva River, in Chiapas, Mexico; with data from numerous collections from September 2019 to March 2021. Specimens were collected with a chinchorrito net (3 m x 2 m; 5 mm mesh size). A total of 697 specimens were obtained of which 603 were males and 94 females; resulting in a sex ratio of 1: 0.15 (males: females) in favor of males, this observed ratio was very different ($\chi^2= 212.76$; $p<0.0001$), compared to the expected ratio (1:1). The length-weight relationship for both sexes presented an isometric growth type ($b=3$; $r^2 =0.95$); however, in separate sexes analysis showed differences in the type of growth, while for females it was positive allometric ($b>3$; $r^2 =0.97$), for males it was negative allometric ($b<3$; $r^2 =0.91$). The Fulton condition factor recorded a mean value of 1.89 (SD = 0.34). The average fecundity value was 384.40 oocytes and the relative fecundity was 174.39 oocytes, which presented an average value of 1.69 mm in diameter; there was also a linear relationship between fecundity and length, and between fecundity and weight. This species shows little evident secondary sexual dimorphism, only the size of the anal fin allows us to differentiate between the two sexes. Significant differences were found in the gonadosomatic index between dry and rainy seasons, presenting higher values in the dry season, mainly in the month of February, suggesting that the reproductive period of *T. labialis* is in the dry season. The size at first sexual maturity of *T. labialis* was 41 mm.

The present study represents the first contribution to the reproductive biology of *T. labialis* and the first efforts to advance our understanding of the natural history of this species that inhabits small tributaries in the middle basin of the Grijalva River in southern Mexico.

I. Introducción

La familia Profundulidae (Orden: Cyprinodontiformes), presenta una distribución restringida al sur de México y Centroamérica: En la vertiente Atlántica, se distribuye desde la cuenca del río Papaloapan en México, hasta la cuenca del Nacaome en Honduras; mientras que en la vertiente Pacífica desde la cuenca del río Papagayo en México, a la cuenca del río Ulúa en el noroeste de Honduras (Matamoros *et al.*, 2012; McMahan *et al.*, 2013; González-Murcia *et al.*, 2019; Morcillo *et al.*, 2016). Esta familia se encuentra integrada por trece especies, incluidas en dos géneros *Profundulus* (9 especies) y *Tlaloc* (4 especies) (Domínguez *et al.*, 2021).

Los peces profundúlidos son uno de los elementos distintivos de la fauna endémica de América Central y el sur de México (Morcillo *et al.*, 2016) y la mayoría de las especies tienen rangos de distribución muy limitados. Son peces que habitan los arroyos y pequeños lagos de agua dulce de las zonas montañosas del sur de México y Centroamérica; constituyendo, en las zonas más elevadas, la única ictiofauna nativa; aunque algunas especies se han adaptado a vivir en arroyos de aguas cálidas y zonas bajas (Miller, 1955; Miller, 2005). Son peces pequeños, los adultos generalmente miden entre 60mm y 100 mm de longitud patrón, aunque las tallas máximas que se han encontrado en algunas especies son de 130 mm de longitud total en las hembras y 120 mm para los machos (Velázquez *et al.*, 2007).

El género *Tlaloc* está integrado por solamente cuatro especies (*T. hildebrandi*, *T. labialis*, *T. candalarius* y *T. portillorum*) (Morcillo *et al.*, 2016). *Tlaloc labialis* es una especie “cuasi endémica” cuya distribución se restringe a la frontera de México y Guatemala, ya que solamente se le conoce en algunos ríos y arroyos de Chiapas y Guatemala. Muy poco o casi nada se sabe sobre la historia natural de esta especie, ya que desde que la descripción original fue publicada (Günther, 1866), solamente Miller (2005), aportó datos sobre algunos aspectos de la dieta, basados en el contenido estomacal de algunos ejemplares; así mismo incluyó información sobre el dimorfismo sexual, argumentando que las hembras crecen más y maduran a mayor tamaño que los

machos. Por otra parte, los aspectos reproductivos de cada especie son de mucha importancia, ya que nos permiten generar información sobre manejo, conservación y diversos aspectos en áreas como: endocrinología, biología, fisiología, neurobiología y biotecnología, impacto en el nivel ecológico, control de población, estrategias de vida, variabilidad genética y función en la red trófica (Carrillo, 2009).

Los rasgos que se emplean comúnmente en los estudios de historia de vida de peces vinculados a la reproducción son: el índice gonadosomático, talla de primera madurez sexual, edad de madurez sexual, cuidado parental, número de ciclos reproductivos por tiempo de vida, tipo de desove, tiempo de eclosión, longitud de larvas al eclosionar, tipo de sustrato de desove, fecundidad relativa, tamaño del huevo, protección del huevo y longevidad. Muchos rasgos están correlacionados, lo que significa que se heredan juntos y cambian en relación directa entre sí, lo que hace que sea algo difícil aislar la interacción exacta entre el medio ambiente y adaptación (Helfman *et al.*, 2009).

Derivado de la escasa información sobre el ciclo de vida de la especie y sobre todo de los aspectos reproductivos, así como la importancia que tiene dentro del nicho ecológico, se propone documentar algunos aspectos relacionados con la biología reproductiva de esta especie, con el propósito de generar herramientas que puedan apoyar en la conservación de esta especie.

II. Marco teórico

2.1 Descripción de los peces

Los peces son animales de sangre fría, caracterizados por poseer vértebras, branquias y aletas, dependen primordialmente del agua, que es el medio donde viven. Su respiración se produce principalmente por branquias situadas en las hendiduras de la faringe, la locomoción se basa en una forma hidrodinámica, con movimientos laterales del cuerpo, presentan una línea lateral que funciona como órgano sensorial que les permite detectar movimientos y vibraciones en el agua y una vejiga natatoria que les sirve para equilibrar la flotación (Lagler *et al.*, 1990).

Se estima que existen más de 20.000 especies vivientes. No solamente hay muchos peces diferentes, sino que también son de muchos tamaños, formas y colores distintos. La mayoría de los peces tienen forma de torpedo, aunque también los hay redondos o cilíndricos, otros planos y algunos angulares. Existen una gran diversidad de especies y por lo tanto la comprensión de su historia evolutiva y el establecimiento de una clasificación adecuada son complejos (Huidobro *et al.*, 2016).

Los peces son el grupo más diverso de vertebrados, lo que representa poco más de la mitad del total de especies conocidas de todos los vertebrados (54.711), en México el número de especies descritas es de 2 723; en particular, la fauna de peces de agua dulce cuenta con 506 especies distribuidas en 47 familias, lo que habla de la riqueza específica del grupo. Se distribuyen en océanos, lagunas costeras, estuarios, ríos, arroyos, lagos, charcas y aguas subterráneas, desde regiones árticas hasta zonas tropicales (Helfman *et al.*, 1997).

Este grupo de animales es vulnerable, ya que depende del agua, recurso que se encuentra sumamente amenazado. (Nelson, 2006; Huidobro *et al.*, 2016).

A pesar de que comúnmente se conocen como un solo grupo biológico dentro de los vertebrados, los peces constituyen un grupo tan heterogéneo que algunos de ellos están más relacionados evolutivamente con los tetrápodos que con otro grupo de peces. Dicha heterogeneidad es debida a que proceden de linajes diferentes (grupo parafilético) (Nelson, 2006).

La división primordial en la clasificación de los vertebrados queda entre los vertebrados sin mandíbulas (peces primitivos), los Agnatha, y los que sí las poseen, los Gnathostomata (Figura 1), estos constituyen tres importantes divisiones naturales: 1) Cephalaspidomorphi: los mixinos y las lampreas, que no tienen mandíbulas y tienen marsipobranquias; 2) Chondrichthyes: las quimeras, tiburones, rayas, mantarrayas, que presentan mandíbulas verdaderas, tienen branquias que nacen sobre aberturas branquiales situadas entre cámaras respiratorias (una sola cámara en las quimeras) y tienen esqueleto cartilagenoso (que pueden estar calcificado pero sin forma verdadero hueso) y 3) Osteichthyes: todos los peces superiores que son gnatostomados, tiene una cámara branquial protegida por una serie opercular hioidea, incluyendo la cubierta protectora de las branquias y opérculo y tienen esqueleto óseo. Este último se dividen en dos importantes grupos: los peces con aletas radiadas (Subclase Actinoperygii) y los peces con aletas lobuladas (Subclase Sarcopterigii) (Lagler *et al.*, 1990).

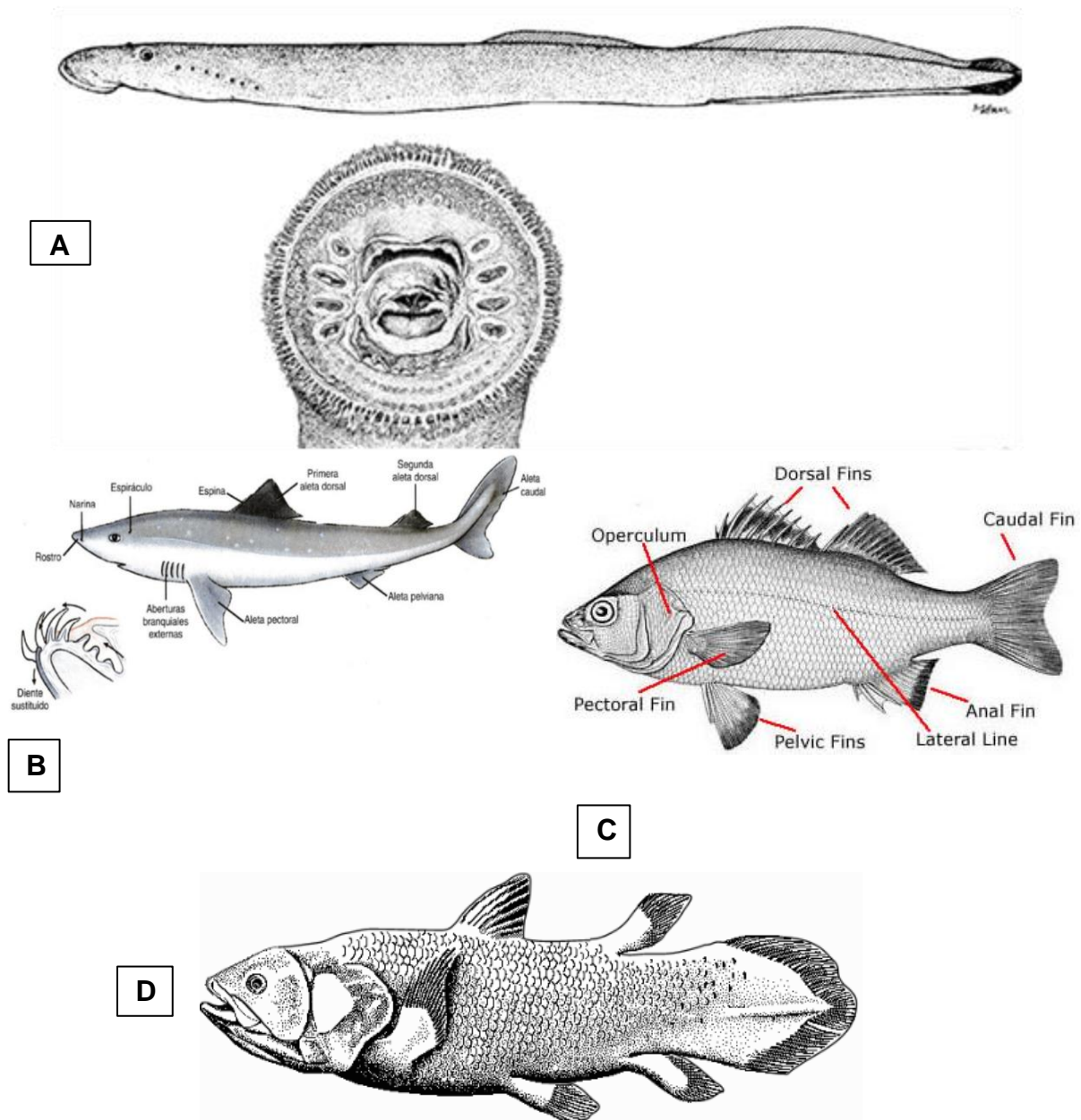


Figura 1. Representantes de los grupos más importantes de peces vivos; A: clase Cephalaspidomorphi; B: Clase Chondrichthyes; Clase Osteichthyes: C: Subclase Actinopterygii y D: Subclase Sarcopterygii (Lagler *et al.*, 1990).

La diversidad de peces de agua dulce (número total de especies) es mayor que la diversidad de peces marinos (~15.200 y ~ 14.800 especies, respectivamente), mientras que los ambientes marinos cubren ~70% de la Tierra y 97% de todas las aguas. En los ecosistemas marinos, la diversidad de especies de peces se concentra en las aguas

costeras (profundidades de <200m) que representan <1% de la superficie del mar mundial (Manel *et al.*, 2020).

A nivel mundial, los peces son el grupo de vertebrados más abundante. Sin embargo, también constituyen el grupo más amenazado, y los taxones de agua dulce son los que están sufriendo la mayor amenaza de todas. Las especies que tienen más probabilidades de verse amenazadas de extinción inmediata están especializadas para vivir en grandes ríos o son especies endémicas con distribuciones muy pequeñas. Los principales factores a los que se les debe dar mayor atención y que deben frenarse son: la erosión de los suelos, la desecación de los lagos, la pérdida de hábitats terrestres y acuáticos, la sobreexplotación y agotamiento de acuíferos, los cambios en el patrón hidrológico y la contaminación por influencia de la zona urbana-industrial, otro factor de suma importancia para las especies nativas de la ciudad es la introducción no controlada de especies invasoras, mismas que están modificando la dinámica natural de los sistemas (Moyle y Leidy, 1992; Huidobro *et al.*, 2016).

La falta de información crítica sobre historias de vida, distribución natural y requerimientos ambientales de la mayoría de las especies mexicanas hace más difícil estimar el grado de vulnerabilidad y decidir qué medidas de protección son las apropiadas.

Los peces desempeñan un papel importante en el ecosistema donde habitan, ya que ocupan una posición fundamental en la red alimentaria, siendo presa de muchos animales y funcionando como reguladores naturales de otros organismos a través de la depredación o competencia. Algunos peces son indicadores de la calidad y el estado de salud de los sistemas hidrológicos, debido a que son sensibles a ligeros cambios en la concentración de oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, etc. La presencia o ausencia de una o más especies, así como el restablecimiento de una población en una zona afectada de manera natural o antropogénica, puede indicarnos el grado de perturbación del sistema (Huidobro *et al.*, 2016).

Los peces son los representantes más importantes del necton en los ambientes acuáticos, ya que constituyen el 99% de este; a tienen una alta capacidad de

desplazamiento dentro de los ecosistemas, lo cual determina complejas interacciones biológicas entre estos organismos y el entorno físico-ambiental (Chávez y Yañez, 1985).

Los peces constituyen un elemento fundamental en la economía de muchos países; los recursos y los productos de la pesca son un componente fundamental en la alimentación y generación de empleo de muchas familias. Actualmente, se estima que las pesquerías constituyen 16% del consumo mundial de proteínas, derivado de la pesca y acuicultura, la cual suministra más de 100 millones de toneladas de pescado al año. Además, los peces sobresalen por su gran importancia en la acuariofilia (afición a la cría de peces y otros organismos acuáticos en acuarios), los cuales se crían y conservan en acuarios con fines educativos u ornamentales, así como en la pesca deportiva, actividad cuyo objetivo es la recreación, esparcimiento y competencia, la cual ha crecido de manera importante en los últimos años, en diversas partes de México y el mundo (Velázquez *et al.*, 2007).

2.2 Descripción de los Cyprinodontiformes

La ictiofauna continental centroamericana se caracteriza por su gran diversidad en peces dulceacuícolas de origen marino, incluidos los que se denominan en peces secundarios; dentro de los cuales los más diversificados son los Cichliformes con 82 especies y los Cyprinodontiformes con 84 especies repartidas. Su pequeño tamaño permite la existencia de poblaciones viables en hábitats restringidos; desde un punto de vista evolutivo, los Cyprinodontiformes constituyen un grupo de particular interés, debido a su amplia distribución, su diversidad cariotípica, a las numerosas especializaciones morfológicas y a que presentan un repertorio de adaptaciones reproductivas. Una de las familias menos diversa dentro de este grupo de peces es la familia Profundulidae (Morcillo, 2016).

Los Cyprinodontiformes son un grupo diverso de peces teleósteos distribuidos en áreas templadas, subtropicales y tropicales del mundo; son comunes en sistemas de agua dulce que toleran un amplio rango de temperatura (Parenti, 1981; Nelson *et al.*, 2016).

Se distribuyen actualmente a través de América, África, India e Indomalasia, ingresando apenas en Europa. Caracterizados por presentar aleta caudal truncada o redondeada; esqueleto de la aleta caudal simétrico, primera costilla pleural en la segunda vértebra en lugar de en la tercera; e inserción de la aleta pectoral ventrolateral, poseen un dimorfismo sexual que se evidencia en el tamaño, forma y función de las aletas y en la coloración, presentan cuerpo y cabeza con escamas cicloides, sin línea lateral continua, canal y poros, principalmente sobre la cabeza. La boca súpera en muchas especies, quijada superior, bordeada sólo por el premaxilar, normalmente protráctil (Nelson, 2006).

Desde un punto de vista evolutivo, los cyprinodontiformes constituyen un grupo de particular interés, debido a su amplia distribución, a su diversidad cariotípica, a las numerosas especializaciones morfológicas y a que presentan un repertorio de adaptaciones reproductivas sin precedentes; los estudios de filogenia, la distribución geográfica y la notable riqueza y especialización de los cyprinodontiformes, parecen indicar que las líneas evolutivas más primitivas se encuentran en el sur de Norteamérica, Centroamérica y Suramérica, siendo la subfamilia Rivulinae, dentro de los aplocheiloideos, el grupo más primitivo de todos los cyprinodontiformes (Parenti, 1981). Bussing (1998) atribuye la distribución actual de los peces continentales de Centroamérica a tres sucesos migratorios diferentes: (1) una primera radiación en Centroamérica a finales del Cretácico desde Suramérica, (2) una invasión más reciente, también desde Suramérica, al formarse el Istmo de Panamá (hace tres millones de años) y (3) una radiación procedente del norte que no contiene ningún miembro Cyprinodontiforme. Bermingham y Martin (1998) difieren de Bussing en la fecha de la primera invasión de los peces primarios, situándola más recientemente, en el Mioceno (Morcillo, 2004).

Los Cyprinodontiformes constituyen un grupo bastante diverso, con alrededor de 1 013 especies, de las cuales 996 son dulceacuícolas en aproximadamente 115 géneros muchos son indicadores muy sensibles de alteraciones peligrosas en los ambientes

acuáticos y por lo tanto pueden servir para advertir al ser humano sobre condiciones potencialmente dañinas (Nelson, 2006; Miller, 2009) (Figura 2).

Las familias están agrupadas en ovíparas, vivíparas, ovovivíparas, y ovíparas; las ovíparas consta de tres familias: Aplocheilidae (peces almirantes o rivulines del viejo mundo), Nothobranchiidae (Rivulines africanos) y Rivulidae (Rivulines del nuevo mundo); el grupo de los vivíparas: Goodeidae (Mexcalpiques); el grupo de los ovovivíparas: Anablepidae (Peces cuatro ojos) y Poeciliidae (Pecílidos, Topotes y Espadas) y el grupo de los ovíparas con cuatro familias: Cyprinodontidae (Cachorritos), Fundulidae (Fundulines o Sardinillas), Profundulidae (Escamudos o Fundulines centroamericanos) y Valenciidae (ITIS, 2004).



Figura 2. Representantes del Orden Cyprinodontiformes: A: Nothobranchiidae, B: Goodeidae, C: Poeciliidae y C: Cyprinodontidae

2.3 Descripción de la Familia Profundulidae

La familia Profundulidae es representante de la ictiofauna Neotropical del orden Cyprinodontiformes, considerada endémica de la región Mesoamericana (Morcillo *et al.* 2016). La familia Profundulidae parece ser originaria de Centroamérica, su origen se remontaría al menos al Plioceno, y probablemente al Mioceno (Morcillo, 2004).

La familia Profundulidae es monogénica y para algunos autores (Miller, 1955) la más plesiomórfica del suborden Cyprinontoidei, el cual incluye seis familias distribuidas por América, sur de Europa, Oriente Medio y Próximo, África Tropical y Madagascar. Ocupa dos de las provincias ictiológicas o áreas de endemismo de Centroamérica: la provincia Usumacinta, que abarca las tierras bajas de Tabasco y la vertiente atlántica del

este de México, y la provincia Chiapas en la vertiente pacífica. Seguramente este linaje endémico sea nativo de Centroamérica y probablemente evolucionó allí cuando esta porción de tierra se encontraba aislada de Norteamérica y de Suramérica ya que, geológicamente hablando, América Central no forma parte ni de Norteamérica ni de Suramérica, sino que representa un tercer elemento entre las dos. El fósil más antiguo de los ciprinodóntidos es un espécimen del Mioceno perteneciente al género *Fundulus*. Por lo tanto, todas las diferenciaciones de este género habrían ocurrido, como mínimo, a partir del Mioceno (Morcillo, 2004).

Los peces representantes de esta familia son comúnmente conocidos como escamudos, pupos, popoyotes o killis (“killifishes”). La mayoría de las especies habitan en las cuencas superiores y cabeceras de los ríos, además de sus tributarios de montaña con altitudes entre 500 a 2 250 m.s.n.m, donde la temperatura del agua es templada y con corrientes fuertes y moderadas (Miller, 1955; Ornelas-García *et al.*, 2015); aunque algunas especies pueden encontrarse cerca de los 60m.s.n.m. (Jamangapé *et al.* 2016).

La familia *Profundulidae* se caracteriza por especies de pequeño tamaño (69-116 mm) robustos, de cuerpo algo alargado, sin espinas en las aletas y porque presentan escamas cicloides, tienen canales sensoriales cefálicos bien desarrollados, dientes cónicos curvados hacia adentro en varias filas irregulares con los dientes más grandes en la fila más externa, la aleta dorsal plegada hacia atrás sobre o justo anterior a la aleta anal, una aleta caudal redondeada a truncada, una bolsa genital débil abarcando no más que el primer radio de la aleta anal en las hembras, y manchas oscuras variables a lo largo de los lados con manchas más pequeñas en las aletas dorsal, anal y caudal (Melvin, 2019).

Se reconoce, morfológicamente, por tener un elevado número de branquiespinas en el primer arco branquial (14-23) y una fosa autopterótica grande (Parenti, 1981). Tienen la aleta dorsal con uno a tres radios rudimentarios y 10 a 16 radios principales, con escamas en series laterales de 31 a 39. Son ovíparos con fecundación externa (Morcillo, 2004).

Actualmente cuenta con 13 especies válidas en dos géneros: *Profundulus* y *Tlaloc* (Figuras 3 y 4). En el género *Profundulus* se tiene nueve especies: *P. punctatus*, *P. oaxacae*, *P. balsanus*, *P. mixtlanensis*, *P. guatemalensis*, *P. kreiseri*, *P. chimalapensis*, *P. parentiae* y *P. andani*, con un rango de distribución más amplia. En el género *Tlaloc* se reconocen cuatro especies: *T. candalarius*, *T. hildebrandi*, *T. labialis* y *T. portillorum*, las cuales presentan distribuciones limitadas (Domínguez *et al.* 2021).



Figura 3. Ejemplar representativo del género *Profundulus* (*Profundulus punctatus*)



Figura 4. Ejemplar representativo del género *Tlaloc* (*Tlaloc hildebrandi*)

2.4 Descripción de la especie *T. labialis*

Esta especie se caracteriza por tener la mandíbula inferior tan ancha y fuerte como la superior, e igual en proyección o incluida en la superior. No presenta puntos oscuros en la base de la aleta caudal, preorbital: normalmente desnudo o con uno o dos escamas, coloración del adulto: clara, sin una banda lateral definida pero con marcas claras interrumpidas y puntos claros en los costados, aleta caudal: menos de la mitad cubierta con numerosas escamas, escamas dorsolaterales: predominantemente seis, raramente cinco y en ocasiones siete, escamas en la serie lateral: normalmente 35-38, vertebras: 35 a 39, normalmente de 36 a 38, aleta anal en hembra adulta: alargada, los radios anteriores más largos que los posteriores, origen de la dorsal: ligeramente detrás del origen de la anal, rostral en adulto: normalmente desarrollado (Morcillo, 2004) (Figura 5).

El patrón de distribución de *T. labialis* proporciona evidencias para indicar que esta especie se originó en lo que ahora es la cuenca del río Grande de Chiapas más que en la cuenca adyacente e independiente del Grijalva-Usumacinta (Morcillo, 2004).



Figura 5. Ejemplar de la especie *Tlaloc labialis*

2.5 Clasificación taxonómica

Reino: Animalia

Filo: Cordados

Clase: Actinopterygii

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: Profundulidae

Género: *Tlaloc*

Especie: *Tlaloc labialis*

Nombre común: escamudo bocón (UICN, 2019).

2.6 Rango geográfico

Tlaloc labialis es una especie restringida a las tierras altas de la vertiente atlántica de Centroamérica, desde el centro de Chiapas hasta el sur de Guatemala (Figura 6) (UICN, 2019).

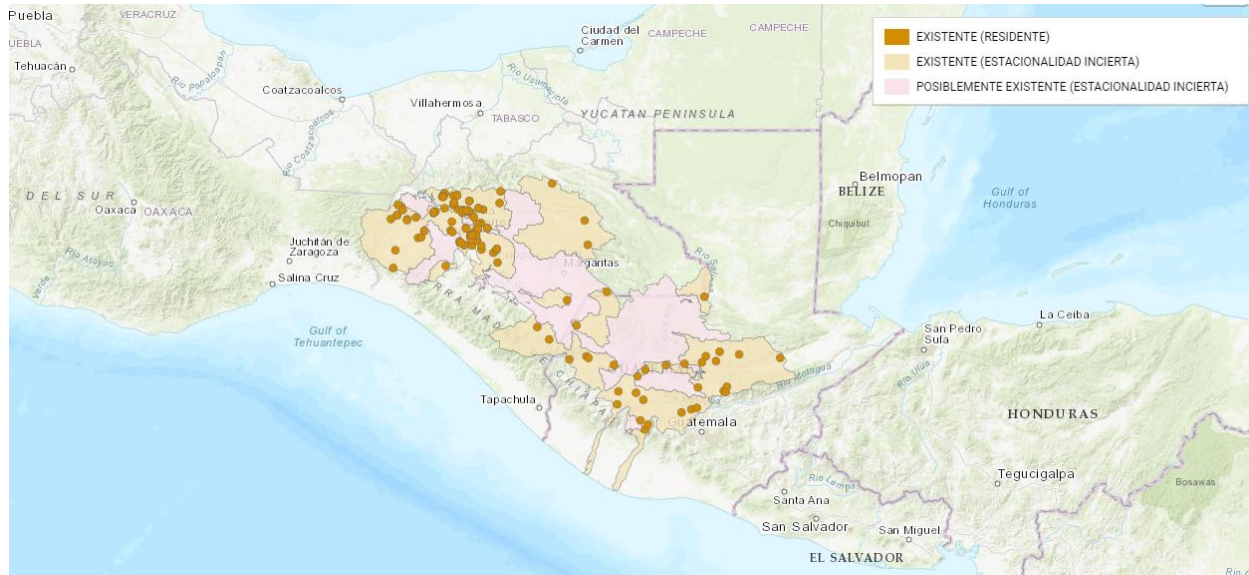


Figura 6. Distribución geográfica de *Tlaloc labialis* (UICN, 2019)

2.7 Hábitat y ecología

Habita en los principales ríos de agua dulce y arroyos tributarios más pequeños, sobre todo, en los rápidos; corriente lenta a rápida y relativamente caudalosa, fondo de grava, rocas, guijarros, arena y limo; agua clara a lodosa (en la estación de lluvias); vegetación nula, o bien algas o *Potamogeton* de hojas angostas; profundidad de hasta un metro. (Miller, 2005).

Se encuentran desde manantiales y depresiones kársticas con poco o ningún flujo hasta estanques lentos y riachuelos de arroyos pequeños a moderados con poca o ninguna vegetación. Las aguas ocupadas son típicamente poco profundas y el sustrato varía desde arena y limo profundo hasta rocas y cantos rodados (Melvin, 2019).

2.8 Amenazas

La especie *Tlaloclabialis* se encuentra en la cuenca del Grijalva-Usumacinta que enfrenta mayores presiones de especies invasoras, principalmente por especies de la familia *Loricariidae*, así como la deforestación, que ha ido en aumento en las últimas décadas; sin embargo, la misma área también está sujeta a varios esfuerzos de conservación en parte debido a su naturaleza altamente turística y, por lo tanto, algunos ecosistemas acuáticos en esta área específica aún permanecen en muy buenas condiciones (UICN, 2019).

III. Antecedentes

Los peces de la familia Profundulidae han sido escasamente estudiados, existen varios trabajos que abordan diversos aspectos sobre los peces de esta familia:

3.1 Ictiofauna de Mexicana

Espinosa (2014), presentó una revisión de la ictiofauna mexicana, que incluye 505 especies dulceacuícolas, 2 224 marinas y 563 estuarinas y vicarias, caracterizadas por tener distribuciones neárticas, neotropicales o de transición en aguas continentales y de 7 provincias marinas. También muestra la diversidad de formas, reproducción y comportamiento de algunas especies, realizada con tablas sobre la clasificación taxonómica y ecológica de la ictiofauna del siglo XX. Por lo que recomienda aumentar la exploración en sitios de difícil acceso de modo que la integración de las nuevas exploraciones con estudios más profundos de las poblaciones conocidas en la actualidad, permita conocer mejor la diversidad íctica del país.

En México se han documentado 259 familias, de las 515 reconocidas para todo el mundo, esto es poco más del 50% del total, incluida la nueva familia Lacantunidae descrita en el año de 2005 para la Selva Lacandona, Chiapas. Entre las nueve familias de peces más numerosas en el mundo, con más de 400 especies cada una, en México están registradas las familias Cyprinidae (carpas), Gobiidae (gobios), Cichlidae (cíclidos), Characidae (mojarras), Serranidae (serránidos), Labridae (peces de arrecifes) y Scorpanidae (escorpiones y rocotes) (Nelson, 2006).

A pesar de la gran diversidad e importancia de la ictiofauna mexicana, existen vacíos de información sobre su distribución, lo que dificulta el diseño, planeación y aplicación de medidas de conservación efectivas que permitan mantener y recuperar sus poblaciones (Lyons *et al.*, 2020; Moyle *et al.*, 2013). Esto es particularmente importante para cuencas de alta riqueza y endemismo, las cuales se encuentran inmersas en una

dinámica de fuertes presiones antrópicas como es el caso de la cuenca del río Ameca, localizada al occidente de México (Contreras *et al.*, 2014; Espinosa, 2014; Miller, 2009).

3.2 Ictiofauna de Chiapas

Chiapas es el estado con mayor riqueza de peces continentales en México y el único con la influencia de las dos vertientes de América (separadas por la Sierra Madre); además, forma parte de dos grandes provincias ictiolimnológicas tropicales, Chiapas-Nicaragua y Usumacinta (Nelson, 2006; Rodiles, 2005).

Velázquez *et al.*, (2016) presentan un inventario de peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote y presa Nezahualcóyotl (Malpaso), incluyendo el río Totopac en Chiapas, México. Lo recolectaron en 14 pruebas realizadas en 83 puntos entre marzo de 2007 y septiembre de 2009; se incluyen cuatro campañas adicionales de 2014; en total, se recolectaron 22.034 ejemplares. El elenco determinado está representado por 47 especies contenidas en 30 géneros, 16 familias y 10 órdenes. Las familias más representativas fueron Cichlidae y Poeciliidae con 16 y 11 especies, respectivamente (57% de las especies recolectadas).

Lozano y Contreras (1987), realizaron una lista geográfica y ecológica de la ictiofauna continental de Chiapas, México, en base al material colectado de más de 60.000 ejemplares.

Rodiles *et al.*, (2005) presentan una lista sistemática de la ictiofauna continental del estado de Chiapas, desde las formas dulceacuícolas, hasta las marinas que penetran estacional, ocasional o permanentemente a los estuarios y sistemas lagunares. La información se basa principalmente en los registros de la Colección de Peces de ECOSUR en San Cristóbal de las Casas, así como en los registros de otras colecciones y en un análisis de la literatura. La lista está documentada por 207 especies de las cuales nueve son introducidas; están distribuidas en 110 géneros de 45 familias y 20 órdenes. Diez familias agrupan el 66% de la riqueza total de especies: Cichlidae, Poeciliidae,

Carangidae, Sciaenidae, Ariidae, Centropomidae, Characidae, Gerreidae, Haemulidae y Engraulidae.

La ictiofauna chiapaneca destaca por la presencia de importantes endemismos en algunos de sus componentes, que de este modo la hacen un área prioritaria de conservación de la biodiversidad. Se debe promover la ejecución de estudios integrales y de cuenca que incluyan, además del componente biológico, los factores ambientales y sociales. Esto ayudará a entender el funcionamiento y la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos de Chiapas, del mismo modo, servirá para hacer recomendaciones y emprender acciones de manejo, conservación y restauración.

3.3 Estudios sobre taxonomía y sistemática de la familia Profundulidae

La familia Profundulidae fue erigida por Hoedeman and Bronner en 1951, la cual solo incluía un género nominal (*Profundulus* Hubbs, 1924), sin embargo, no fue reconocida como tal, debido a la carencia de una diagnosis (Miller, 1955, Miller, 2005, Nelson, 1994). En la revisión de Parenti (1981) del orden Cyprinodontiformes, con base en el uso de métodos de sistemática filogenética y biogeografía vicariante (utilizando principalmente caracteres osteológicos), como conclusión, propuso una clasificación más comprensiva del orden reconociendo la existencia de nueve familias dentro de los Cyprinodóntidos, la cual incluyó la diagnosis (con base en caracteres osteológicos) y reconocimiento de la familia Profundulidae.

González-Díaz *et al.*, (2005) presenta los resultados de la comparación morfométrica de las especies del "complejo labialis", basada en 11 medidas tradicionales y 21 cruzadas. Mediante el análisis de componentes principales y agrupamiento se demostró que *T. labialis* y *T. candalarius* muestran un patrón morfológico semejante, las relaciones de similitud establecidas en este análisis concuerdan con las relaciones filogenéticas propuestas por otros autores. Las diferencias encontradas en medidas relacionadas con estructuras tróficas y de la altura del cuerpo podrían estar relacionadas con aspectos ecológicos o asociaciones con distintos hábitats.

González *et al.*, (2014) realizaron la comparación osteológica entre seis especies de los subgéneros *Profundulus* y *Tlaloc* (Cyprinodontidae: Profundulidae). Se revisaron 17 huesos ubicados en el cráneo y la cintura pélvica, y se encontraron diferencias cualitativas en el mesetmoides, vómer, lacrimal, premaxilar, articular, cuadrado, interopérculo y basipterigio. Los patrones de variación observados permiten diagnosticar ambos subgéneros, corroborando lo encontrado en estudios morfológicos y moleculares. Las evidencias permiten suponer que ambos taxones podrían ser reubicados como géneros, como previamente se había establecido.

León (2019), realizó una caracterización de poros sensoriales cefálicos en las 11 especies que conforman a la Familia Profundulidae, con el objetivo de encontrar caracteres morfológicos externos para diferenciar a las especies estudiadas.

Jamangapé *et al.*, (2016) realizaron un estudio para reconstruir una filogenia para ubicar a *P. balsanus* en un contexto sistemático, utilizaron una combinación de datos morfométricos, merísticos, coloración y osteológicos, ocupando datos moleculares para demostrar el carácter distintivo de *P. balsanus*.

Valencia y Espinosa (2010), realizaron un estudio donde analizan y se compara la composición genética de tres especies del estado de Chiapas, *Profundulus candalarius*, *Profundulus labialis* y *Profundulus punctatus*.

Beltrán *et al.*, (2021) realizaron un estudio donde se analiza tres marcadores mitocondriales y uno nuclear para evaluar la diversidad genética y la estructura de la población de *T. hildebrandi* encontraron que, en comparación con otras especies de peces de agua dulce en peligro de extinción de México, *T. hildebrandi* mostró un nivel más bajo de diversidad genética, además, las poblaciones analizadas exhibieron una estructura genética fuerte de acuerdo con su distribución geográfica, se propuso el reconocimiento de al menos tres unidades evolutivamente significativas para la especie y la implementación urgente de esfuerzos de conservación y manejo *ex-situ* e *in-situ* que consideren los antecedentes genéticos de la especie.

Calixto *et al.*, (2021) la familia Profundulidae es un grupo de especies de peces de pequeño tamaño distribuidas entre el sur de México y Honduras, donde con frecuencia son los únicos representantes de peces en las elevaciones más altas de las cuencas donde se encuentran. Por lo que estudiaron su nicho ecológico usando diferentes métodos y métricas extraídas del modelado de nichos y reexaminando las relaciones filogenéticas de una filogenia molecular de esta familia publicada recientemente para obtener una mejor comprensión de su historia biogeográfica y evolutiva, evaluaron ambas líneas de evidencia desde la perspectiva del conservadurismo de nicho para establecer una base para discutir hipótesis sobre los procesos que subyacen a la distribución y evolución del grupo.

Morcillo *et al.*, (2016) en su estudio de las relaciones filogenéticas e historia evolutiva de la familia Profundulidae, basados en datos moleculares (mtDNA y nDNA), erigieron los géneros *Tlaloc* y *Profundulus*; además propusieron una hipótesis taxonómica con dos modelos: un modelo conservador de ocho especies y un modelo más alentador de 12 especies. Ambos modelos proporcionaron evidencias adicionales de una mayor diversidad taxonómica que la originalmente reconocida en esta familia, cada uno de los dos subgéneros se resolvió como monofilético, con una notable divergencia molecular del 24,5 % para mtDNA y del 7,8 % para nDNA y la importancia de realizar más estudios para resolver la taxonomía de los géneros.

Meyer y Lydeard (1993), mencionan que los ciprinodontiformes son un grupo diverso de aproximadamente 900 peces, mientras que la gran mayoría de los peces ponen huevos (son ovíparos), este grupo es inusual porque cuatro grupos de peces ciprinodontes dan a luz crías vivas (es decir, son vivíparos). Por lo que propuso una hipótesis filogenética molecular donde se basó en secuencias parciales de ADN del gen *X-src* de la tirosina quinasa. El estudio incluyó los principales linajes de peces del suborden Cyprinodontoidei, orden Cyprinodontiformes, lo que concordó con algunas pero no con todas las conclusiones de un análisis cladístico morfológico previo (Parenti, 1981). La filogenia molecular se utilizó para reconstruir la evolución de los principales rasgos de la historia de vida, como la fertilización interna, los órganos copuladores, la procreación y las placentas. La fecundación interna, las modificaciones de la aleta anal

del macho para formar un órgano copulador y la viviparidad probablemente evolucionaron de forma independiente tres veces en los peces ciprinodontiformes: en las subfamilias Goodeinae, Anablepinae y Poeciliinae (Parenti 1981).

3.4 Estudios morfológicos de profundulidae

Domínguez (2014), describió la morfología del sistema digestivo de *Profundulus hildebrandi*, y analizó la composición de la dieta con relación al sexo, tallas y épocas climáticas. Los contenidos estomacales fueron analizados mediante el método de la cuadrícula y la frecuencia de ocurrencia. La diversidad trófica fue expresada mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener.

Arévalo (2018), describe la morfología del sistema digestivo de *T. candalarius* mediante técnica de descarnado manual; describe los componentes de la alimentación por métodos de disección, encontrando una dieta carnívora preferente en insectos encontrando una alta cantidad de ingesta de insectos (siete de nueve componentes encontrados), la organización general del sistema digestivo de *T. candalarius* corresponden al patrón morfológico general de los teleósteos y en particular de los Cyprinodontiformes y desde un punto de vista taxonómico encontrándose diferencias de la musculatura visceral, esqueleto y órganos internos entre las especies *T.candalarius* y *T.hildebrandi*.

Anzuetto *et al.*, (2022) evaluaron los parámetros de la relación peso-longitud, el peso relativo y el factor de condición entre diferentes poblaciones del killis endémico, *T. hildebrandi*. Se estimó el factor de condición de Fulton (K), el peso relativo (Wr) y la relación longitud-peso para tres poblaciones de killis a lo largo de su rango de distribución en las tierras altas de Chiapas, México. El Wr fue significativamente más bajo en los peces donde hay actividades antropogénicas más altas. Los índices somáticos y las relaciones talla-peso de *T. hildebrandi* publican por primera vez tanto en la literatura científica como en bases de datos, como Fishbase.

Velázquez, *et al.*, (2022) proporcionaron un diagnóstico genérico y una clave taxonómica de las especies de la familia Profundulidae basada en la morfología. Por lo que los siguientes resultados fueron que el género Tlaloc se diagnostica sobre la base de cinco caracteres únicos, entre los que se encuentran: el mesetmoides prominente y de forma ovalada, que sobrepasa los márgenes posteriores del vómer; la porción anterior del paraesfenoides que hace contacto con el mesetmoides y se extiende más allá del centro del mesetmoides; y una fosa autopterótica reducida, mientras que *Profundulus* se diagnostica en los siguientes caracteres: el mesetmoides es pequeño, tiene forma de media luna y no se extiende más allá de los márgenes del vómer; la porción anterior del paraesfenoides apenas hace contacto con el mesetmoides y no se extiende más allá del centro del mesetmoides; una fosa autopterótica grande. Para cada género, se proporciona una descripción y áreas de distribución, así como una clave para la identificación de las especies.

3.5 Estudios sobre reproducción e Historia de vida

Velázquez *et al.*, (2007) mencionan algunos aspectos reproductivos de *Profundulus (Tlaloc) hildebrandi*, en el que describen la madurez sexual, la cual la alcanzan a los 51.71 mm de longitud patrón, en el cual han logrado un peso promedio de 4.15 gr. La fecundidad es de 116.82 óvulos maduros (por gramo de peso de la gónada). La proporción de sexos es de 0.45 (hembras: machos), la cual es muy cercano a 1:1 (un macho por cada hembra). La población está compuesta predominantemente por juveniles y adultos.

Rodríguez (2007), evaluó los aspectos reproductivos de *Profundulus hildebrandi*, en la cuenca hidrológica de San Cristóbal de las Casas, basándose en 1045 ejemplares los cuales 563 fueron hembras y 462 machos. Menciona que esta especie presenta un dimorfismo sexual secundario, y que las hembras presentan un mayor tamaño corporal que los machos, inician su ciclo reproductivo en febrero hasta junio, la talla de primera madurez sexual en machos fue estimada a partir de los 40 mm de longitud patrón y para las hembras a partir de los 50 mm de longitud patrón, el promedio de fecundidad en hembras fue de 118 óvulos maduros por hembra y que la proporción de sexos difiere estadísticamente de un macho por una hembra teniendo una proporción global de 0.45 (hembras: machos).

Cruz (2018), menciona que *Tlaloc hildebrandi* es un pez endémico que se distribuye en los altos de Chiapas, considerado en peligro por normas nacionales e internacionales; a pesar de la protección de esta especie, los esfuerzos de conservación se ven limitados, debido a la escasez de estudios en investigaciones acerca de la biología y ecología de la especie. Describe varios aspectos de la historia de vida de *T. hildebrandi* y concluye que actualmente se desconoce el estado de sus poblaciones en las localidades de nuevos registros.

3.6 Estudios sobre nuevas especies

Del Moral *et al.*, (2020) proponen una nueva especie, *Profundulus chimalapensis* donde recolectaron ejemplares en los tributarios de la cuenca superior del Río Coatzacoalcos y se depositaron en colecciones de referencia, tomaron datos morfológicos (conteos, mediciones y características esqueléticas) y se compararon con especies relacionadas.

Matamoros y Schaefer (2010), realizaron un estudio donde se describe una nueva especie de *Profundulus* (*Profundulus portillorum*), de Honduras, el cual pertenece al “grupo labialis” (género *Tlaloc*).

Domínguez *et al.*, (2021) describen una nueva especie del género *Profundulus* (*P. adani*), proveniente de los tramos superiores del río Papaloapan en el estado de Oaxaca. Donde la singularidad de esta nueva especie está respaldada por evidencia morfológica y molecular, se distingue de todos los congéneres por la ausencia de una mancha humeral en individuos mayores de 45 mm SL. Además, muestra una banda oscura descolorida que se extiende desde la punta del opérculo hasta el final del pedúnculo caudal. Geográficamente esto representa una expansión significativa del rango de distribución de la familia Profundulidae.

IV. Objetivos

4.1 objetivo general

- Evaluar los índices somáticos y parámetros reproductivos de *Tlaloc labialis*, en la Cuenca del río Hondo, Ixtapa, Chiapas, México.

4.2 objetivos particulares

- Determinar los índices somáticos, relación peso-talla y factor de condición de *Tlaloc labialis*.
- Estimar los parámetros reproductivos: índice gonadosomático, dimorfismo sexual, fecundidad, proporción sexual y ciclo reproductivo de *Tlaloc labialis*.
- Estimar la talla de primera madurez sexual (L_{50}) en *Tlaloc labialis*.

V. Área de estudio

5.1 Localización

El municipio de Ixtapa, dentro del estado de Chiapas, se ubica en los límites del Altiplano Central y de las Montañas del Norte, por lo que su territorio es montañoso, sus coordenadas geográficas son $16^{\circ} 48'N$ y $92^{\circ} 54'W$, su altitud es de 1,120 msnm. Limita al norte con los municipios de Soyaló, Bochil y Larráinzar, al este Zinacantán y Chamula, al sur y al oeste con Chiapa de Corzo (Figura 7) (INAFED, 2018).



Figura 7. Localización geográfica del municipio de Ixtapa, Chiapas (INEGI, 2022)

5.2 Extensión territorial

Su extensión territorial de 264.8 km² representa el 2.48 % del territorio de la región Centro y el 0.41% de la superficie estatal. La red hidrológica del municipio está formada por los ríos Escopetazo, Salina, Hondo (Figura 8), Lajas y los arroyos intermitentes Limón y Pitahaya (INAFED, 2018).



Figura 8. Localización Río Hondo, Ixtapa, Chiapas

5.3 Orografía

La superficie del municipio está constituida en un 60% por zonas accidentadas y el restante 40% por zonas semiplanas en la parte occidental y planas en el centro (INAFED, 2018).

5.4 Hidrografía

La red hidrológica del municipio está formada por los ríos Escopetazo, Salina, Hondo y Lajas y los arroyos intermitentes Limón y Pitahaya (INAFED, 2018).

5.5 Clima

El clima predominante es el cálido subhúmedo con lluvias en verano, convirtiéndose en semicálido en altitudes mayores, en la cabecera municipal la temperatura media anual es de 21.5 °C y una precipitación pluvial de 1,273 milímetros anuales (INAFED, 2018).

5.6 Flora

El municipio cuenta con una gran variedad de especies de las cuales las más sobresalientes son: nanche, roble, caoba, ciprés, romerillo, pino, sabino, manzanilla,

amate, cedro, ceiba, chicozapote, guarumbo, hule, jimba, camarón, cepillo, guaje y huizache (INAFED, 2018).

5.7 Fauna

La fauna característica del municipio está compuesta por una gran variedad de especies siendo las más importantes las siguientes: culebra ocotera, gavilán golondrino, picamadero ocotero, ardilla voladora, jabalí, murciélago, venado de campo, zorrillo espalda blanca, boa, coral, iguana de ribera, tortuga plana, tortuga cocodrilo, zopilote rey, armadillo, venado, iguana de roca, urraca copetona y ciertas especies de peces en los diferentes ríos (INAFED, 2018).

5.8 Características y uso de Suelo

El territorio del municipio está constituido geológicamente por terrenos terciario mioceno, terciario ligoceno y cretácico inferior, los tipos de suelo predominantes son: regosol, litosol, redzina y andosol, su principal uso es agrícola con bosque correspondiendo el 98% del territorio a terrenos ejidales y el restante a propiedad privada (INAFED, 2018).

VI. Materiales y método

6.1 Trabajo de campo

Los Muestreos se realizaron en el periodo de septiembre 2019 hasta marzo de 2021, abarcando las temporadas de lluvia y estiaje. Los peces fueron recolectados con una red tipo chinchorro (3 x 2 m; 5mm luz malla) durante 30 minutos abarcando una distancia de 150 metros (Figura 9).



Figura 9. Técnica de captura, tipo chinchorro, utilizada para la captura de los ejemplares de *T. labialis*.

Los organismos capturados fueron fijados en formalina al 10%, para posteriormente analizarlos en el Museo de Zoología del Instituto de Ciencias Biológicas de la UNICACH.

Para cada muestreo se realizó una hoja de datos de la localidad, fecha y nombre de colector.

6.2 Actividades de laboratorio

Los peces colectados fueron llevados al Museo de Zoología del Instituto de Ciencias Biológicas de la UNICACH, para etiquetarlos y conservados en frascos con alcohol al 70%, previamente lavados, eliminando los restos de sustratos que pudiera traer consigo (Algas, tierra, etc.) para cuantificar el número de ejemplares colectados por cada muestreo (Figura 10).



Figura 10. Conteo y etiquetado de ejemplares *T. labialis*

6.2.1 Datos biométricos (medidas y peso)

A cada ejemplar se le midió su longitud corporal con ayuda de un calibrador vernier para la determinar la longitud estándar (LE) en mm y luego expresado en cm, también fueron pesados mediante una balanza analítica para determinar el peso (W) expresado en gramos (Figura 11).



Figura 11. Registro de los datos morfométricos de *T. labialis*.

6.2.2 Sexado de cada ejemplar

Se identificaron características morfológicas externas y después se extrajeron las gónadas, para verificar el sexo de cada organismo.

6.2.3 Extracción de gónadas y preservación

Se realizó un corte longitudinal empezando entre las aletas pélvicas hasta el ano, en donde con unas pinzas se extrajeron las gónadas y estas fueron preservadas en alcohol al 70%, para pesarlas y posteriormente hacer el recuento de los ovocitos.

6.3 Índice gonadosomático

Para describir el ciclo reproductivo en los peces se obtuvo el índice Gonadosomático, mediante la fórmula siguiente:

$$IGS = \left(\frac{Wg}{Wt} \right) * 100$$

Donde Wg: peso gónadas en gramos

Wt: peso del pez en gramos (Granado 2002).

6.4 Relación Peso-Talla

Se utilizan para estimar el peso correspondiente a una determinada longitud, y los factores de condición para comparar el bienestar del pez. El análisis se realizó mediante una regresión potencial (Froese, 2006).

$$W = aL^b$$

De donde:

W= es el peso total en gramos

L= la longitud patrón en cm

a y b = parámetros del modelo.

6.5 Tipo de crecimiento

Permite determinar cuál tipo de crecimiento tiene el pez:

Isométrico: La forma relativa del cuerpo se mantiene constante durante su crecimiento.

Allométrico: (+ o -) La forma relativa del cuerpo varía durante su crecimiento.

6.6 Factor de condición de Fulton (k)

Basado en estimar el buen estado de los peces (Granado, 2002). El factor de condición se estimó mediante la fórmula:

$$k = 100\left(\frac{W}{L^3}\right)$$

Dónde: W: es el peso corporal en gramos

L: la longitud patrón en cm

El factor 100 se utiliza para acercar K a la unidad (Froese, 2006).

6.7 Fecundidad

Fecundidad absoluta = es el número de ovocitos por hembra, es un parámetro de gran interés característico de la población y termino fundamental en los modelos de dinámica poblacional (Granado, 2002). Se estimó mediante un análisis de regresión lineal entre la fecundidad y la longitud estándar y la fecundidad-peso total mediante los modelos:

$$\text{Modelo lineal: } Y = a + b * X$$

Dónde: Y= fecundidad

a= ordenada al origen

b= pendiente de la recta

x= valor que asume la variable independiente (talla/peso)

Se seleccionaron 32 hembras de *T. labialis* a las que se les determinaron su valor promedio, error estándar, fecundidad relativa y valor promedio de ovocitos.

6.8 Dimorfismo sexual

Caracterización del dimorfismo sexual secundario: tamaño corporal (talla promedio), forma y coloración de la aletas anal y dorsal, tubérculos reproductivos (protuberancias queratinizadas) en aleta anal, se extrajeron las gónadas y se analizaron cuidadosamente.

6.9 Proporción sexual

Relación entre número de Hembras vs Machos.

Relación teórica esperada de una proporción de 1: 1 (macho: hembra). Con el propósito de determinar si existen diferencias significativas entre la población estudiada (observada), se utilizó la prueba de Chi-cuadrada (X^2).

6.10 Talla de primera madurez sexual (L_{50})

Longitud media en la que el 50% de los individuos alcanzan la madurez (L_{50}) se estimó para cada sexo de acuerdo con Roa *et al.* (1999).

$$PL = \frac{1}{1 + (A + B * L)}$$

PL= proporción de individuos que están maduros.

A y B= son parámetros del modelo

L= es la longitud patrón.

6.11 Ciclo reproductivo: madurez gonádica

El sexo y la madurez gonadal de los peces se determinan por medio de la escala morfocromática de Brown-Peterson *et al.* (2011), que se basa en el color y en la forma de la gónada.

Consta de 5 fases o estadio de maduración gonádica:

Estadio I: Inmaduro, vírgenes. En machos los testículos pequeños, a menudo claros y filiformes, sin lumen en los lobulillos; en hembras, ovarios pequeños, a menudo claros, vasos sanguíneos indistintos. Pared ovárica delgada y poco espacio entre ovocitos.

Estadio II: En desarrollo. En machos los testículos están comenzando a crecer y desarrollar, los testículos son pequeños pero fáciles de identificar. Espermatocistos

evidentes a lo largo de los lóbulos; en hembras los ovarios comienzan a desarrollarse, pero no está listo para desovar, ovarios agrandados, vasos sanguíneos cada vez más distintos.

Estadio III: Capacidad de desove. Los peces son fisiológicamente capaces de desovar en este ciclo; en machos los testículos son grandes y firmes; en hembras, los ovarios son grandes, vasos sanguíneos prominentes y ovocitos individuales visible macroscópicamente.

Estadio IV: Desarrollo tardío. En machos, testículos grandes y firmes, semen liberado con suave presión sobre el abdomen; en hembras, ovarios flácidos, vasos sanguíneos prominentes.

Estadio V: Regresión (cese de desove). En machos, testículos pequeños y flácidos, no se suelta el semen con la presión; en hembras, sexualmente maduro, reproductivamente inactivo, ovarios pequeños, vasos sanguíneos reducidos pero presentes. Solamente ovogonias y ovocitos presentes, haces musculares, vasos sanguíneos agrandados y pared ovárica gruesa.

6.12 Análisis estadístico

Los índices somáticos: Peso de la gónada (W_g) y factor de condición Fulton (K) fueron analizados mediante análisis estadísticos Paramétricos (Anova), antes de ello se verifico los supuestos de Normalidad y homocedasticidad de varianzas, los índices somáticos fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se estimó los intervalos de confianza (95%CI) para los valores de a y b en la LWR, así como la significancia estadística para el coeficiente de determinación (r^2) (Zar, 1999).

VII. Resultados

7.1 Abundancia

Se recolectaron en total 697 ejemplares de *Tlaloc labialis*, de los cuales 603 fueron machos y 94 hembras. El muestreo en el que se obtuvieron el menor número de ejemplares corresponde al mes de enero de 2021 (M4), con 30 individuos, mientras que en el mes de marzo de 2021 se obtuvo el mayor número de ejemplares con 311 individuos (M6) (Figura 12), con un promedio de 116.16 individuos por muestreo.

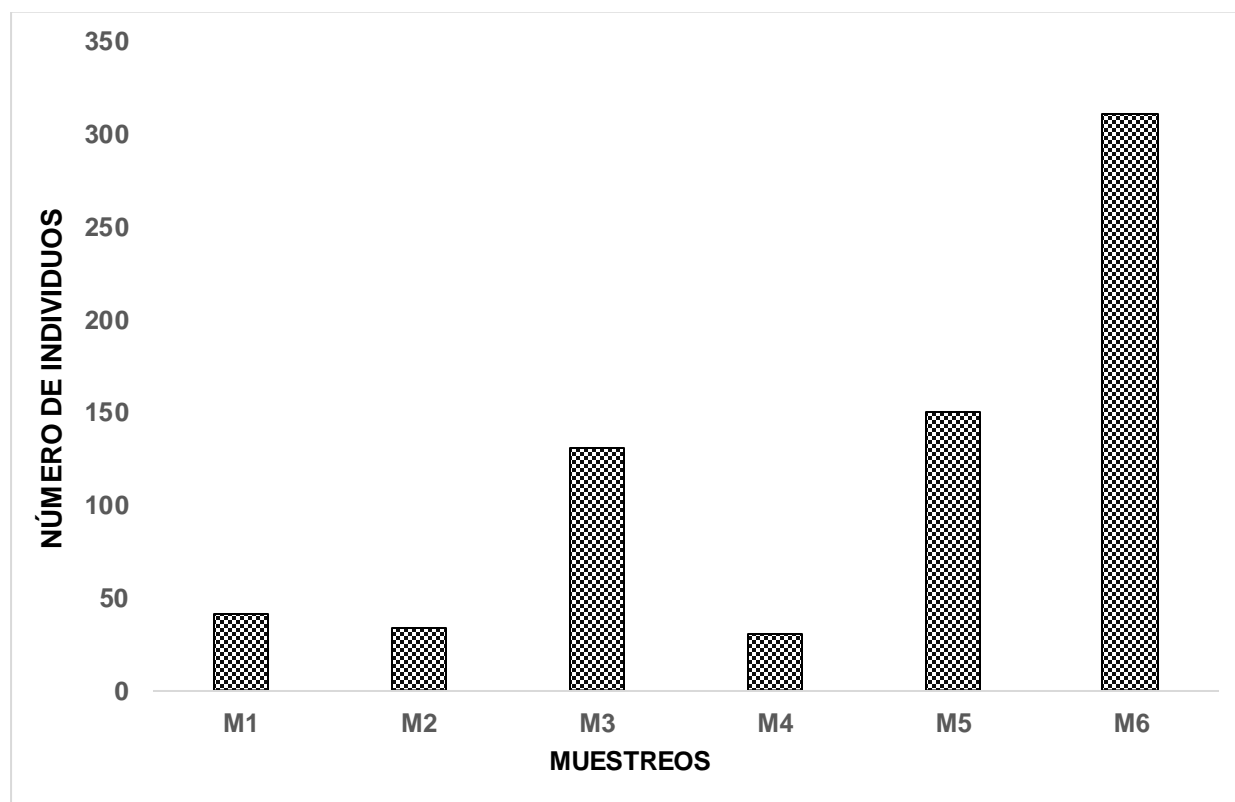


Figura 12. Distribución de ejemplares de *T. labialis*, recolectados en los diferentes muestreos de septiembre de 2019 a marzo de 2021

En marzo de 2021 (M6) se obtuvo el mayor número de individuos machos con 290 individuos, mientras que para las hembras fue en noviembre de 2019 (M2) con 24 individuos. El menor número de individuos recolectados de machos fue en noviembre de 2019 (M2), mientras que para las hembras fue en el mes de enero de 2021 (M4), con diez y cuatro individuos, respectivamente (Figura 13).

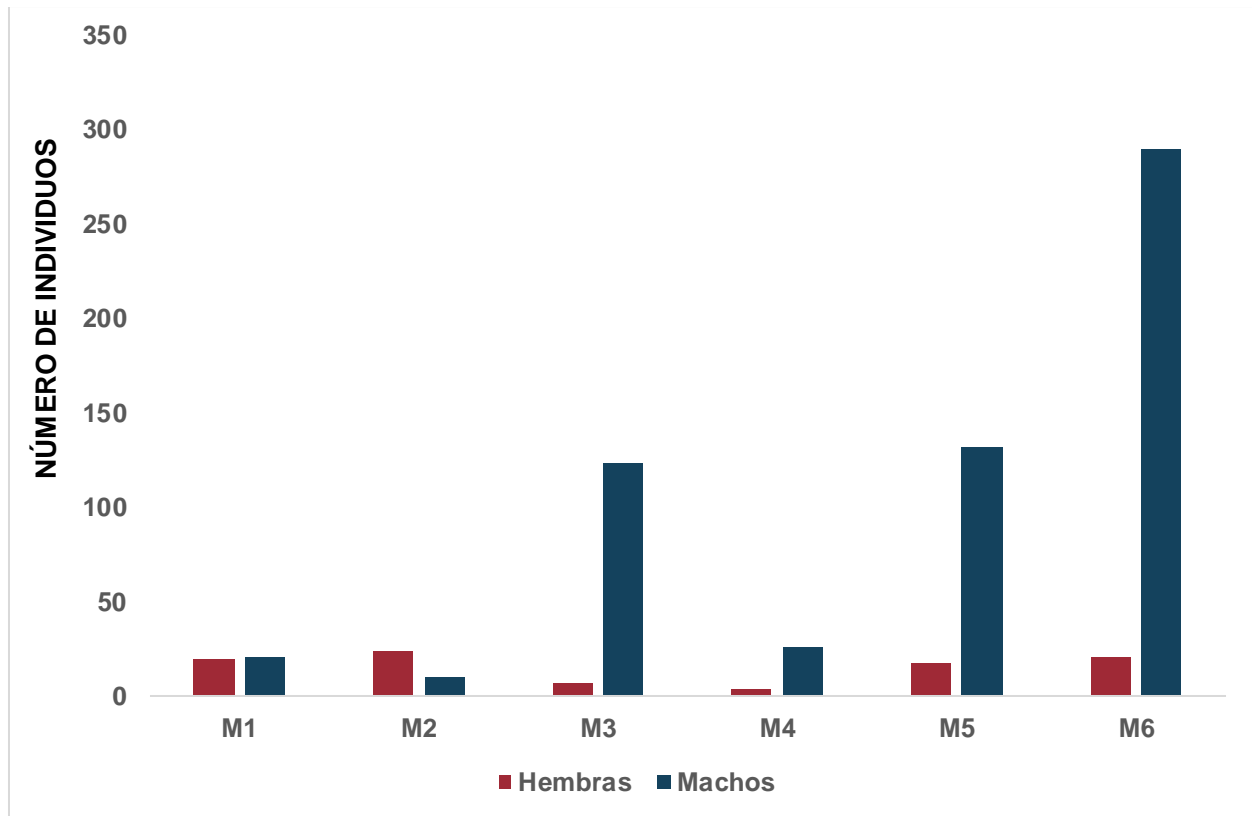


Figura 13. Distribución de ejemplares Machos y Hembras de *T. labialis*, de las recolectas en los diferentes muestreos de septiembre de 2019 a marzo de 2021

7.2 Relación Longitud–Peso

El valor de longitud estándar más alto en una hembra fue de 61.49 mm, con un peso de 5.14 gramos. En los machos el valor máximo de longitud estándar fue de 47.92 mm, con un peso de 2.55 gr.

El valor mínimo de hembras y machos de longitud estándar fue de 12.84 y 18.34 mm, respectivamente. El peso mínimo de machos y hembras fue de 0.06 y 0.1 gr., respectivamente.

En la temporada de estiaje el valor promedio obtenido de hembras y machos fue de 26.66 mm y 0.49 gr, mientras que en la temporada de lluvia fue de 39.62 mm y 1.33 gr.

Se determinó un grado de asociación de las variables peso y la talla en los ejemplares de peces *Tilac labialis*. Particularmente en los ejemplares hembras el grado de

correlación fue de $r^2= 0.98$ (Figura 14); en tanto que en los ejemplares machos el grado de correlación es $r^2= 0.89$ (figura 15). En la agrupación de machos y hembras fue de $r^2= 0.95$ (Figura 16).

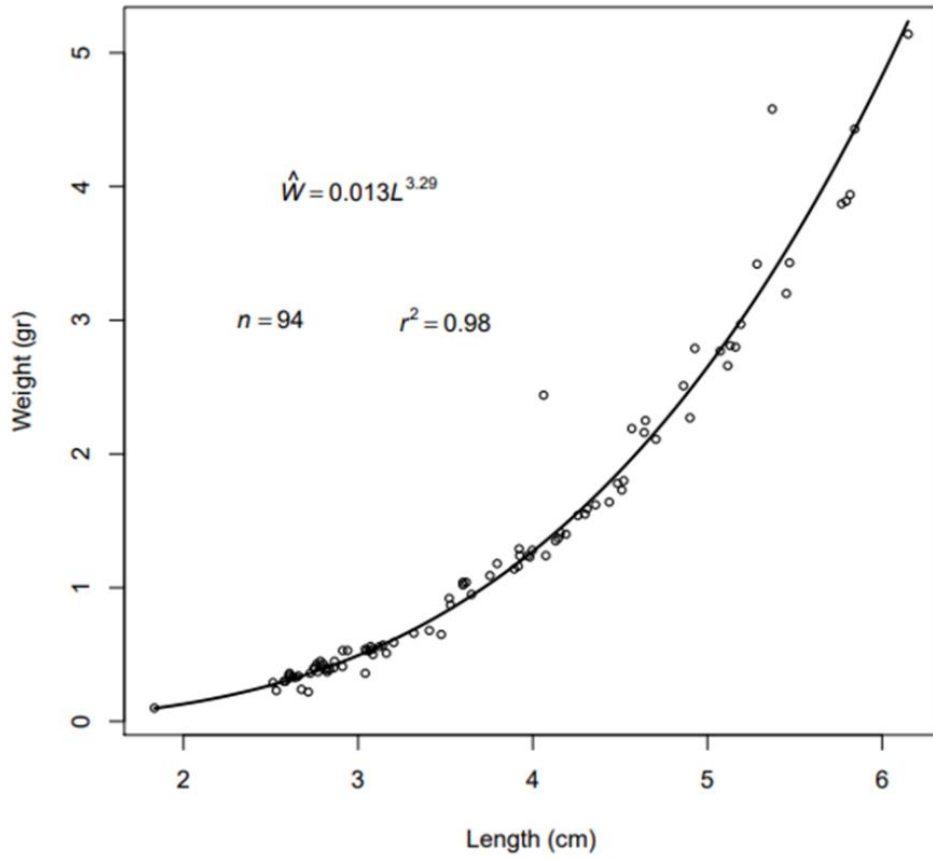


Figura 14. Relación longitud-peso en ejemplares hembras de *Tlaloc labialis*, obteniendo un grado de correlación fuerte

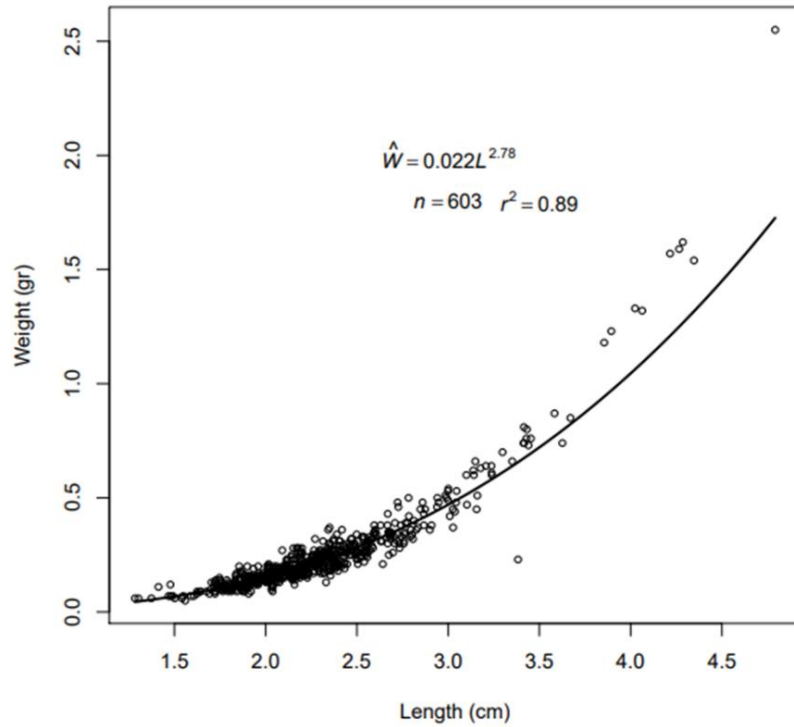


Figura 15. Relación longitud-peso en ejemplares machos de *Tlaloc labialis*

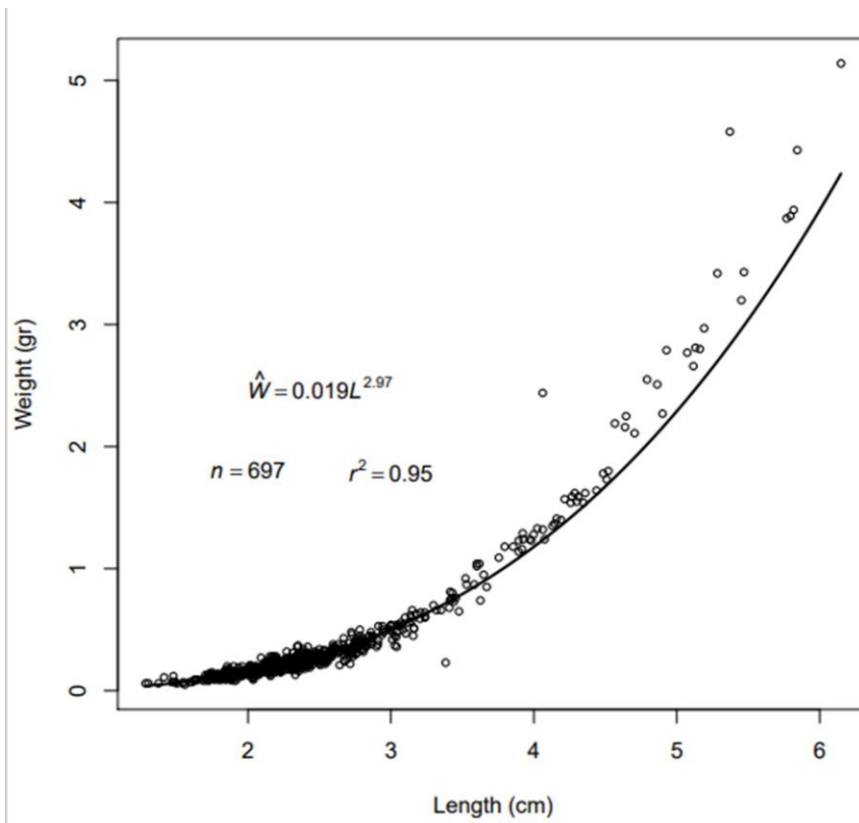


Figura 16. Relación longitud-peso en ejemplares machos y hembras de *Tlaloc labialis*

7.3 Tipo de crecimiento

El tipo de crecimiento en las hembras fue alométrico positivo con un valor de $b= 3.29$, mientras que en los machos el valor de $b= 2.77$, lo que demostró un tipo de crecimiento alométrico negativo.

En el análisis de relación longitud peso que contemplo ambos sexos el valor de $b=2.97$, determinó que el crecimiento es isométrico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros de relación longitud-peso de *Tlaloc labialis*

Sexo	N	Min	Max	a	LL(a)	UL(a)	b	LL(b)	UL(b)	r ²
Hembras	94	1.8	6.1	0.013	0.012	0.015	3.292	3.194	3.39	0.9796
Machos	603	1.3	4.8	0.022	0.021	0.024	2.778	2.701	2.856	0.892
Machos y Hembras	697	1.3	6.1	0.019	0.018	0.02	2.975	2.923	3.027	0.9479

Donde n= número de individuos, Min y Max: longitud estándar mínima y máxima, a y b: parámetros de relación longitud-peso, LL (a), UL(a), LL(b) y UL(b): límite de confianza inferior y superior, r²:coeficiente de determinación

7.4 Factor de Condición Fulton (K)

Se registró un valor promedio de 1.89 (DE= 0.34) de factor de condición de los ejemplares de *T. labialis* contemplando ambos sexos. Las hembras presentaron el valor más alto con 1.94 (DE=0.29) mientras que los machos registraron un valor de 1.88 (DE= 0.34) (Figura 17), en el análisis de comparación por sexos se obtuvieron diferencias significativas $W= 33078$, $p < 0.0091$.

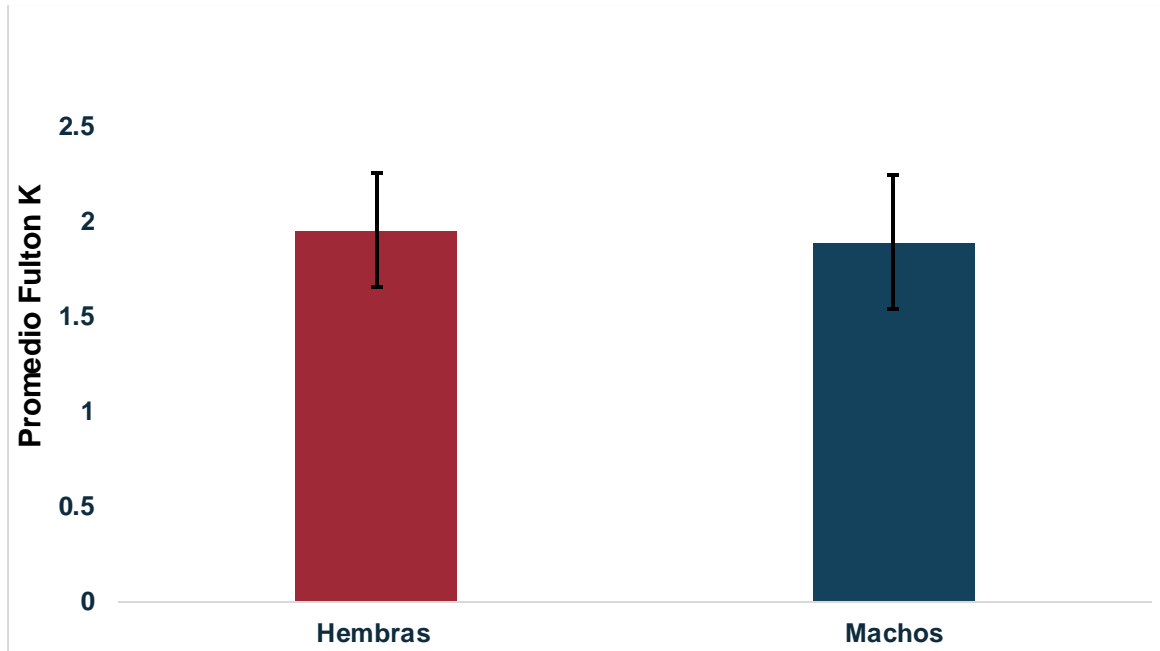


Figura 17. Promedio del Factor de Condición Fulton (K) en *Tlaloc labialis*

En la temporada de estiaje se obtuvo un promedio de 1.89 (DE=0.35) y en la temporada de lluvias se obtuvo el promedio de 1.95 (DE= 0.12) (Figura 18), en el análisis de comparación por temporadas se obtuvieron diferencias significativas ($W=16428$ $p=0.01721$).

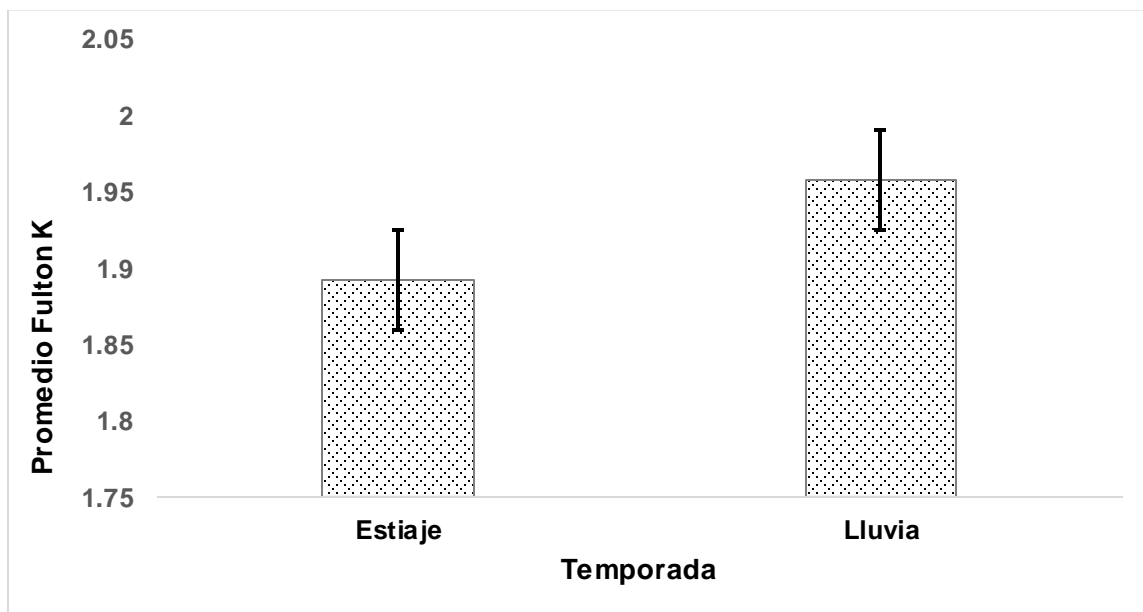


Figura 18. Valores medios del Factor de Condición (K) por temporadas de *T. labialis*

7.5 Fecundidad

Se registró un valor promedio de 384.40 y error estándar (EE)= 28.47 de ovocitos por hembra, correspondiente a 32 hembras de *T. labialis*. El valor mínimo de fecundidad absoluta fue de 73 ovocitos correspondiente a una hembra capturada en febrero de 2021(M5), con un peso de 2.66 gr y longitud estándar de 51.16 mm.

El valor máximo de fecundidad absoluta en *T. labialis* fue de 830 ovocitos en una hembra del mes de noviembre de 2019 (M2) con un peso de 3.89 gr y longitud estándar de 57.95 mm.

Se registró un valor máximo de fecundidad relativa de 347.05 ovocitos por gramo de hembra, mientras que el valor mínimo fue de 27.44 ovocitos por gramo de hembra. El valor medio de fecundidad relativa fue de 174.39 ovocitos por gramo de hembra (EE = 11.88).

Los ovocitos presentaron valores de diámetro de 0.6 mm a 2.4mm, con un valor promedio de 1.69 mm (EE =0.25) (Figuras 19, 29 y 21).

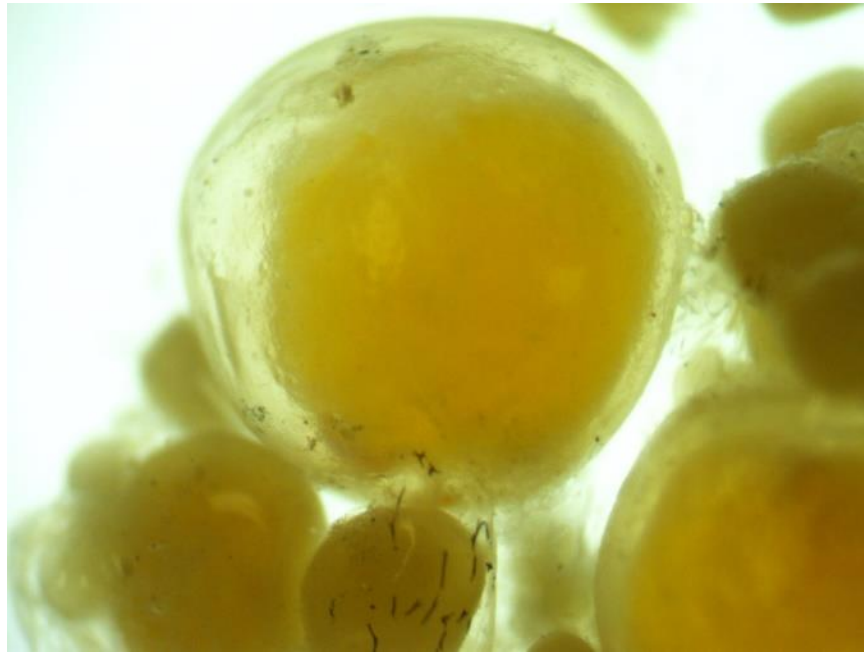


Figura 19. Ovocitos de una hembra de *T. labialis* (ID 73)



Figura 20. Ovocito de hembra de *T. labialis* (ID 75)



Figura 21. Ovocito de una hembra *T. labialis* (ID 206)

En la relación fecundidad y longitud estándar se obtuvo el modelo siguiente: $y=15.44x - 354.07$, valor de correlación 0.663324958 ($R^2 = 0.44$) (Figura 22).

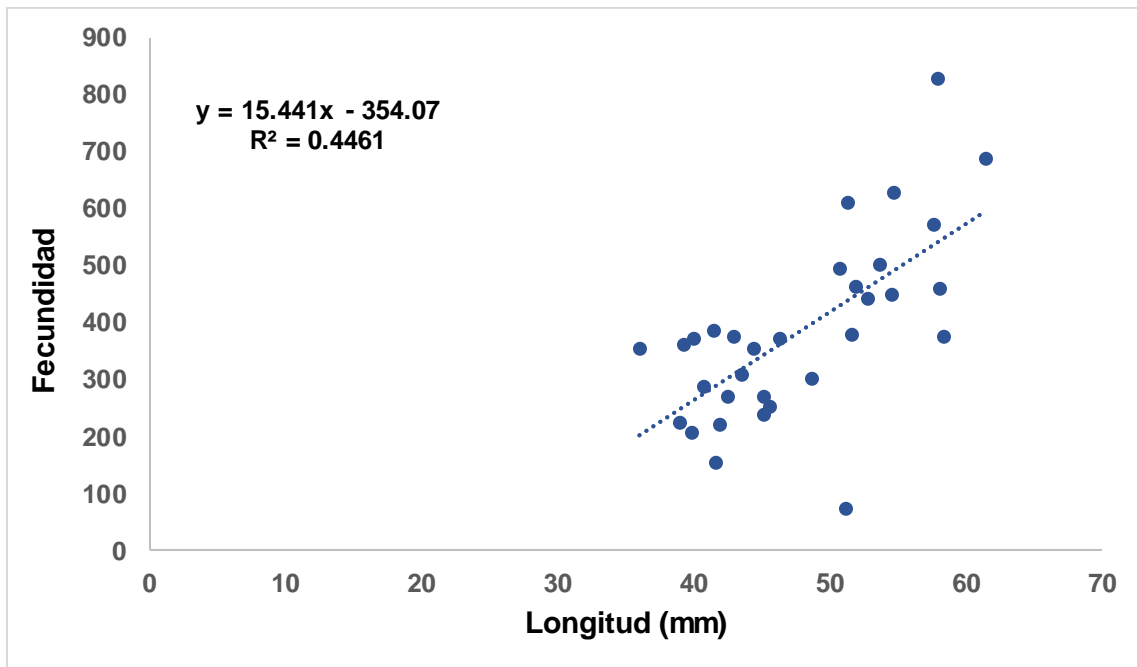


Figura 22. Relación fecundidad-longitud de *T. labialis*

En la relación fecundidad y peso (gr) se obtuvo el modelo siguiente: $y= 93.801x + 115.82$. Valor de correlación 0.678232998 ($R^2 = 0.46$) (Figura 23).

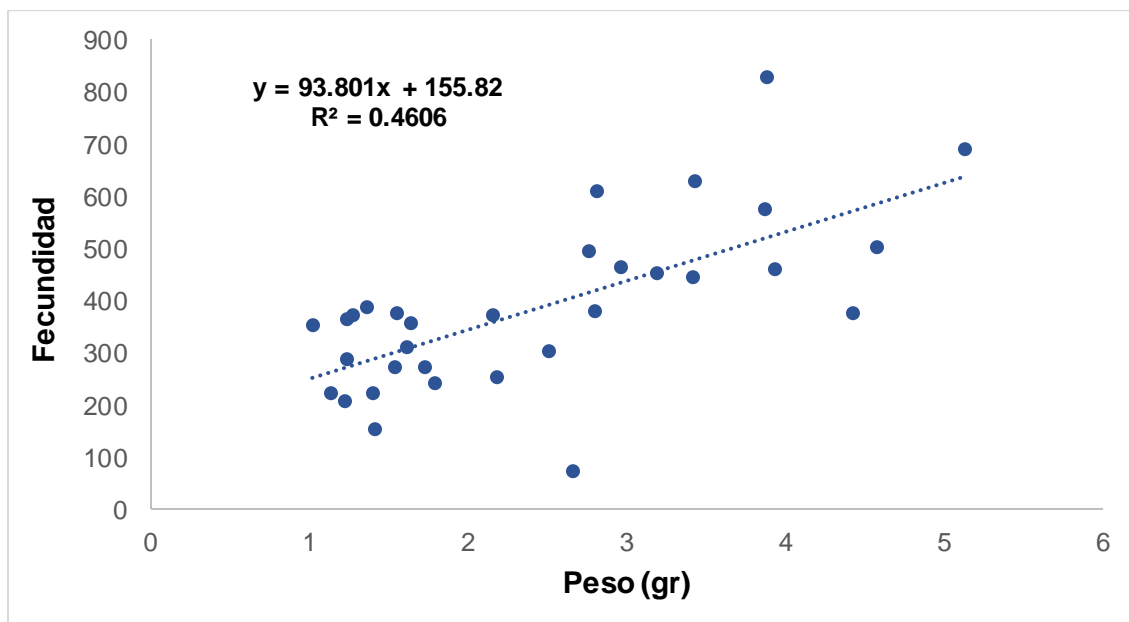


Figura 23. Relación fecundidad- peso de *T. labialis*

7.6 Dimorfismo sexual

En las características externas entre hembras y machos son muy escasas, sin embargo, se observó que la aleta anal de las hembras es más alargada y puntiaguda, mientras que en los machos son más pequeña y redondeada; además las hembras presentan un tamaño mayor (Figura 24).

Internamente las diferencias son más notorias, aun dependiendo en que estadio se encuentren, en las gónadas de las hembras suelen ser ovaladas, más grandes por los ovocitos que suelen ser evidentes con una coloración rosa (Figura 25), y en los machos suelen ser alargadas y su coloración es totalmente blanca (Figura 26).



Figura 24. Ejemplares hembra (A) y macho (B) de *T. labialis* (M2)



Figura 25. Gónada de una ejemplar hembra de *T. labialis*



Figura 26. Gónada de ejemplar macho de *T. labialis*

7.7 Proporción sexual

La relación dada entre hembras (94 ejemplares) y machos (603 ejemplares), equivale a una proporción de 1: 0.15 (Macho: Hembra); lo anterior fue diferente a la proporción esperada (1:1), ya que estas diferencias observadas fueron estadísticamente significativas ($X^2 = 212.76$, $df= 1$, $p<0.00001$);

7.8 Índice gonadosomático

El promedio general del índice gonadosomático (IGS) de 62 ejemplares hembras de *T. labialis* fue 2.58, el valor mínimo de IGS es 0.04 en una hembra correspondiente al mes de febrero (M3) y el valor máximo fue de 20.70 correspondiente al mes de noviembre (M2). La temporada de estiaje obtuvo un valor promedio del IGS de 2.90 (EE= 0.53) (rango: 0.04-20.70); la temporada de lluvia obtuvo un promedio de 1.10 (EE= 0.15) (rango: 0.5-1.81) (figura 27), en el análisis de comparación por temporadas, se obtuvieron diferencias significativas $W= 51$ $p= 0.002585$.

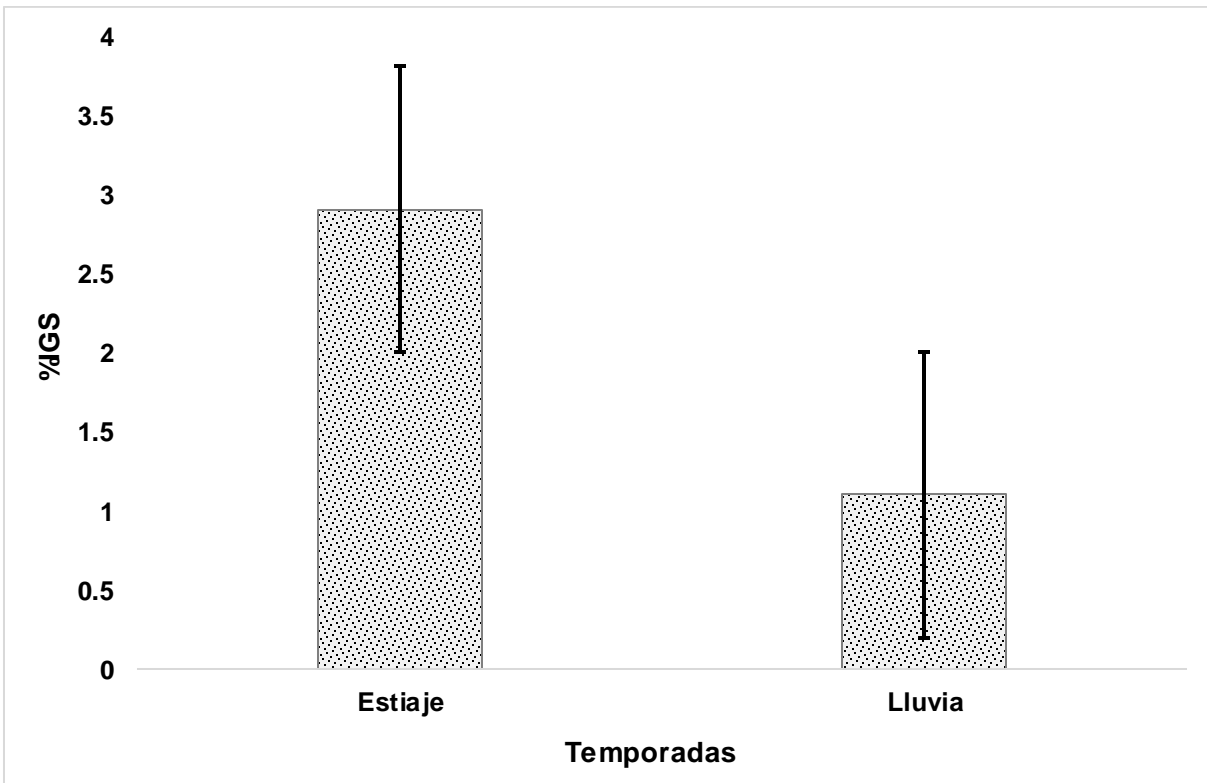


Figura 27. Valores medios del Índice gonadosomático por temporadas (estiaje-lluvias) en hembras de *T. labialis*

7.9 Ciclo reproductivo: madurez gonádica

De los 90 ejemplares analizados, 28 estuvieron en estadio I: 12 machos y 16 hembras (Figuras 28 y 29); 30 ejemplares en el estadio II: 16 machos (figura 30) y 14 hembras (figura 31); 32 hembras en el estadio III (figura 32 y 33).

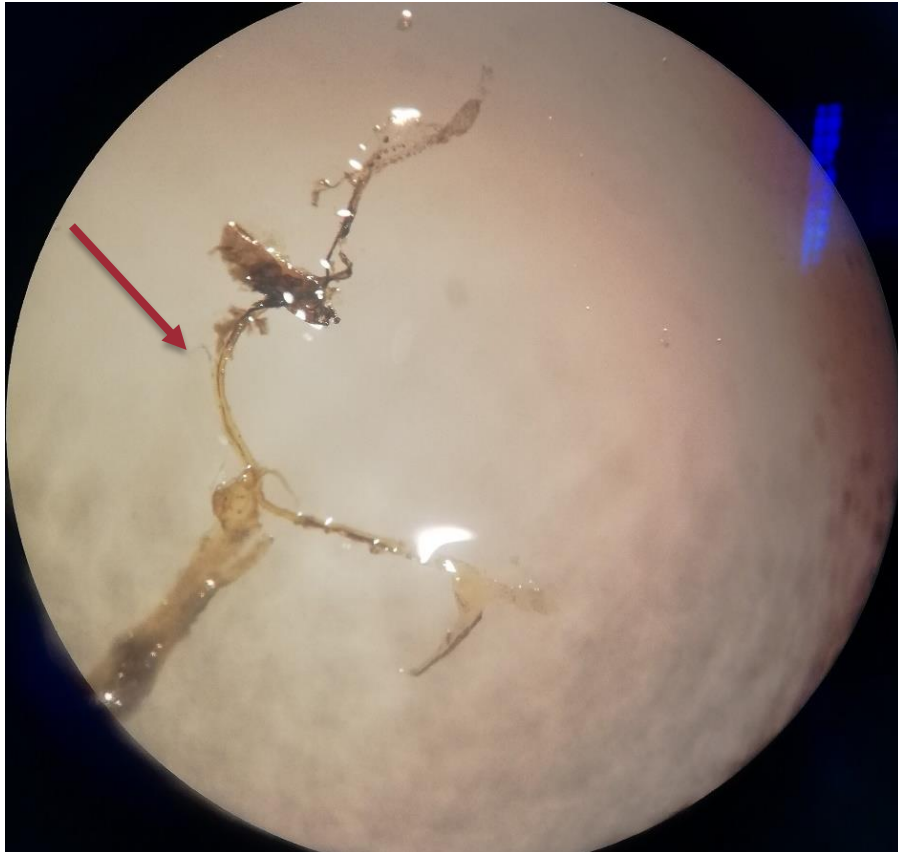


Figura 28. Gónada de un ejemplar macho en el estadio I, de *T. labialis*



Figura 29. Gónada de una hembra en el estadio I (los óvulos aún no se distinguen) de *T. labialis*

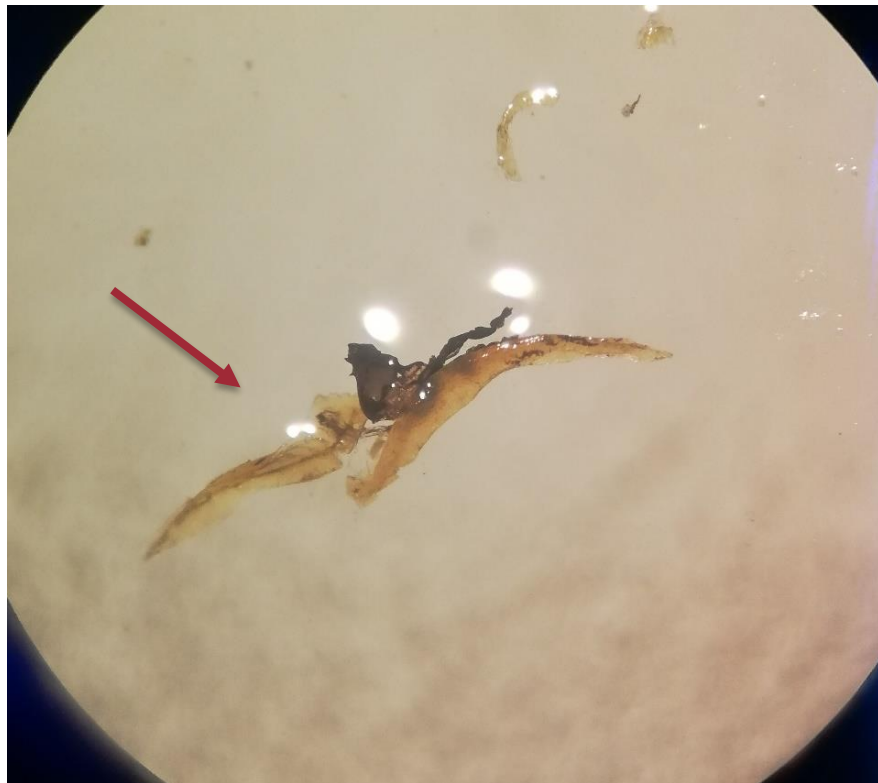


Figura 30. Gónada de un ejemplar macho en estadio II de *T. labialis*



Figura 31. Gónada de un ejemplar hembra en estadio II, de *T. labialis*



Figura 32. Gónada de un ejemplar hembra estadio III de *T. labialis*, los ovocitos ya son notablemente visibles

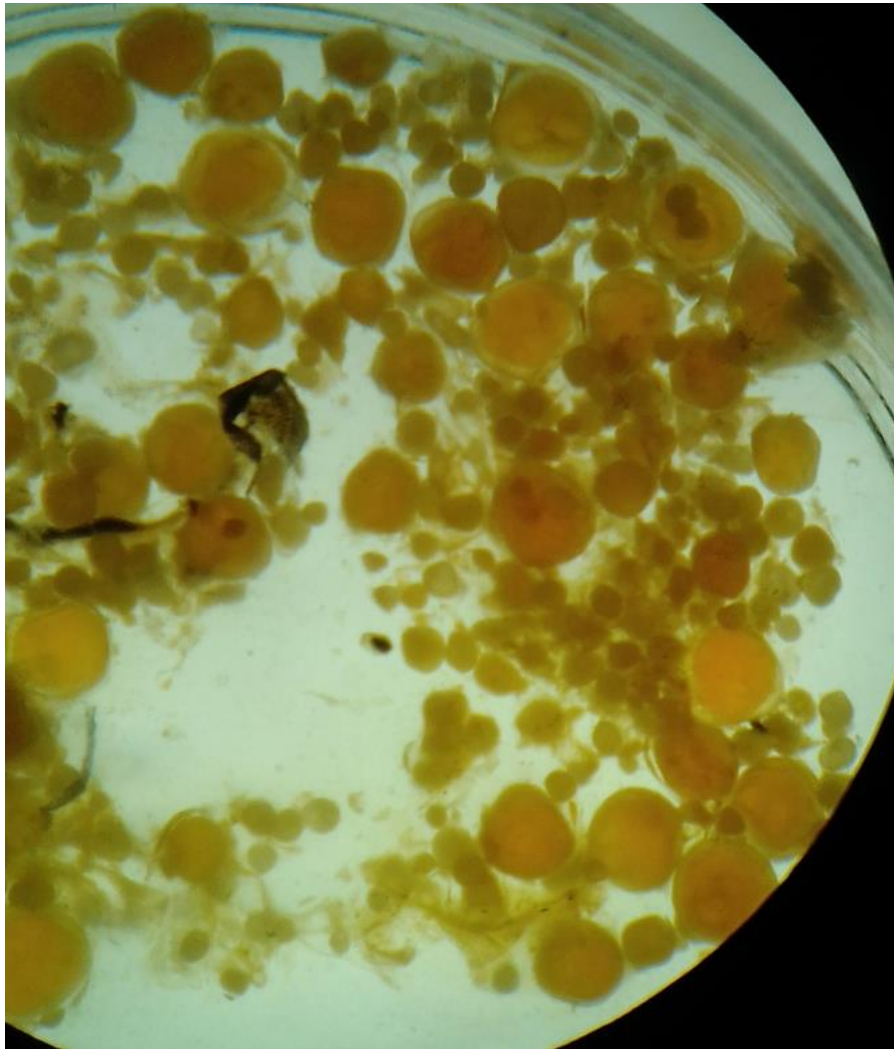


Figura 33. Ovocitos de ejemplar una hembra en estadio III, de *T. labialis*

7.10 Talla de primera madurez sexual

La talla de la primera madurez sexual (L_{50}) de 90 ejemplares (62 hembras y 28 machos) fue de 41 mm, con intervalos de 39.2-43.8 y con parámetros de: $A=-14.87$, $B= 0.36$ y $R^2= 0.74$ (Figura 34).

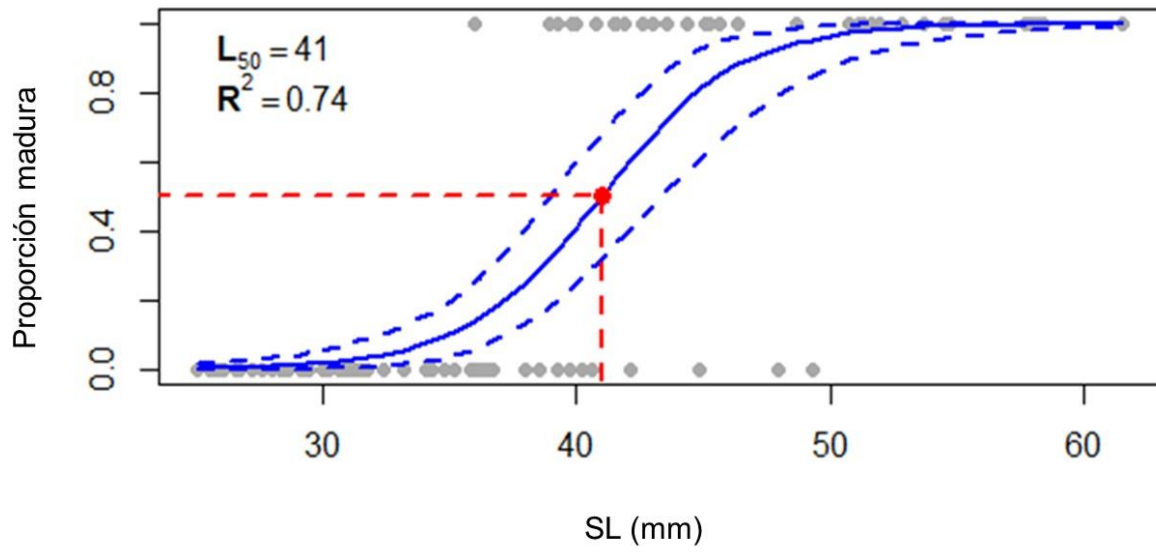


Figura 34. Talla de primera madurez sexual en hembras y machos de *T. labialis*

VIII. Discusión

Melvin (2019) menciona que basado en registros dispersos, la familia profundulidae posiblemente desovan desde finales de enero hasta junio y que, en los acuarios, el desove se produce a temperaturas de 20-30 °C, los huevos eclosionan de nueve a quince días, dependiendo de la temperatura del agua; tomando en cuenta estos datos y un estimado del tiempo de eclosión, se considera que por esta razón en este estudio los meses de febrero de 2020, febrero y marzo de 2021 (estiaje) se obtuvieron mayor número de recolecta de la especie además que la mayoría de ejemplares eran de menor tamaño.

8.1 Los índices somáticos

8.1.1 Relacion longitud-peso

Los índices corporales (relación longitud-peso y el factor de condición) se han utilizado comúnmente para la vigilancia biológica del estrés ambiental sobre la salud general de los peces (Khallaf *et al.* 2003); además estos índices somáticos son descriptores de gran interés en la ecología de poblaciones de peces, ya que aportan información fundamental sobre estrategias de crecimiento, estado nutricional y reproducción (Cifuentes *et al.* 2012; Neumann *et al.*, 2012). Encina *et al.*, (2001) mencionan que las medidas directas de longitud del cuerpo y peso, proporcionan evidencias sobre el crecimiento o falta del mismo, en los peces; En este estudio, los parámetros de la longitud-peso evaluados en *Tlaloc labialis*, tanto en las hembras como en los machos, presentaron un crecimiento diferenciado; mientras que en las hembras el crecimiento fue alométrico positivo ($b > 3.0$), lo que significa una mayor ganancia proporcional en peso que en la longitud (Froese, 2006); en los machos valor del parámetro b en la relación (RLP) fue alométrico negativo ($b < 3$), lo que significa un mayor crecimiento en la longitud vs el peso (Froese, 2006). El análisis conjunto de los datos de la RLP de ambos sexos arrojó un crecimiento de tipo isométrico, lo que significa una ganancia proporcional en peso y la longitud. Aunque los valores de RLPs en los peces son afectados por muchos factores, incluyendo el hábitat, estacionalidad, sexo, dieta, tipo y tiempo de preservación, etc. (Froese 2006; Karachle y Stergiou, 2008; Anzueto *et al.*, 2017); las diferencias sexuales observadas en la LWR (relación longitud-peso) en *T. labialis* pueden estar asociadas al bajo número de muestras

utilizadas en las hembras; ya que sus números representan menos de la mitad de ejemplares que en los machos utilizados (Cuadro 1); las diferencias en los valores de la RLP frecuentemente son producto de muestras poco representativas numéricamente (Carlander, 1969, Froese, 2006). Encina *et al.*, (2001) mencionan que el parámetro “*b*” puede variar considerablemente con los distintos estados de desarrollo de los individuos y que el valor de “*a*” varía más entre diferentes tipos de hábitats; en nuestro estudio el parámetro “*b*” fue distinto entre machos y hembras, se considera que es debido a que las hembras estaban en gestación; los valores de “*a*” los fueron muy similares ya que los peces fueron recolectados en el mismo hábitat.

Los datos de la LWR observadas en *T. labialis* son distintos a los reportados en la especie endémica de Chiapas, *Tlaloc hildebrandi*, por Anzueto *et al.*, (2022) quienes citaron que los valores de la LWR fueron del tipo isométrico ($b=3$); sin embargo los mismos autores señalan que existen diferencias significativas en los valores de la LWR entre las poblaciones estudiadas; lo cual sugieren puede deberse a las diferencias en las condiciones ecológicas del hábitat. La mayoría de las especies (>90%) poseen un crecimiento isométrico evidenciado por una tendencia general al aumento del grosor, proporcional a la talla, durante el crecimiento (Cifuentes *et al.*, 2012).

8.1.2 Factor de condición Fulton (K)

El segundo índice corporal evaluado, es el factor condición relativo (K), el cual es un valor derivado de RLP (Le Cren, 1951). El factor de condición refleja las circunstancias físicas y biológicas y las fluctuaciones debido a la interacción entre las condiciones de alimentación, las infecciones parasitarias y los factores fisiológicos (Le Cren, 1951). Esto también indica los cambios en las reservas de alimentos y, por tanto, un indicador de la condición general de los peces (Froese, 2006; Neuman *et al.*, 2012). Los valores más altos del factor de condición relativo (K) registrados en el presente estudio, muestran que las hembras de *T. labialis* son más robustas ($K > 1.9$) que los machos ($K < 1.9$); lo cual puede ser el reflejo del estado reproductivo de las hembras, ya que se observaron hembras grávidas en el periodo de estudio; lo cual puede ser el reflejo de un mayor valor en el factor de condición. Los datos del factor de condición (K) observados en *T. labialis*

son muy similares a los reportados en *Tlaloc hildebrandi*, por Anzueto *et al.*, (2022) quienes registraron un valor promedio de $K = 1.88$. Granado, (2006), quien menciona que existen factores que intervienen en el estado del pez, variando según la especie, estos pueden ser: edad, estado de madurez reproductiva, época del año y el ambiente.

8.2 Parámetros reproductivos

8.2.1 Fecundidad

La fecundidad es un importante parámetro de la historia de vida en los peces, debido a que es uno de los componentes mayores de su aptitud (fitness) (Endler, 1986). La fecundidad en peces, es la estimación de la cantidad de ovocitos que una hembra podría expulsar en un desove, siendo uno de los indicadores más utilizados para evaluar el potencial reproductivo de una especie (Moreno y Castellanos, 2011). Los resultados obtenidos para *T. labialis*, mostraron una relación significativa entre fecundidad y la longitud y entre la fecundidad y el peso; los resultados observados en *T. labialis* son muy similares a los que Rodríguez (2007) reportó en *Tlaloc hildebrandi* y a los reportados por Anzueto *et al.* (2022), para *T. hildebrandi*, quienes señalaron que la fecundidad estuvo positivamente correlacionada con la longitud y el peso corporal. En la mayoría de los peces la fecundidad está positivamente correlacionada con el tamaño y peso del cuerpo, siendo mayor el número de huevos producido por una hembra que presenta un mayor peso y tamaño (Duarte y Alcaraz, 1989), lo anterior se corroboró al observar que en la hembra más pequeña de *T. labialis* (2.66 gr, 51.16mm) se registró 73 ovocitos, mientras que en la más grande (3.89 gr, 57.95mm) se obtuvo 830 ovocitos.

8.2.2 Dimorfismo sexual y proporción sexual

Las características morfológicas relacionadas con el dimorfismo sexual permiten la identificación de los sexos, y son clasificados como primarias y secundarias; los primarios tienen responsabilidad directa del proceso reproductor, los testículos en machos y ovarios en las hembras, los caracteres sexuales primarios a menudo requieren la disección para poder ser distinguidos (Lagler, 1990). La especie *T. labialis* presenta escaso dimorfismo sexual secundario, particularmente las relacionadas con la morfología externa; por lo

que en el caso de *T. labialis* presenta un dimorfismo primario; sin embargo la observación general encontrada en las hembras de *T. labialis* con respecto a los machos, es que las primeras presentan los radios medios de la aleta anal un poco más alargados que el resto de los radios, lo cual hace ver la aleta de las hembras mucho más alargada que la de los machos. En un estudio reciente realizado por Velázquez (2022) en los peces de la familia Profundulidae señalaron la ocurrencia de órganos de contacto (espículas) en las aletas anal y dorsal y escamas de los machos de todas las especies de profundúlidos, la cual citan como el atributo morfológico más importante para diferenciar a los machos de las hembras esta familia a la cual pertenece *T. labialis*.

La proporción sexual, se define entre el número de machos y hembras en una población (Omoloye, 2006). Por otro lado la proporción sexual registrada en *T. labialis* se aleja significativamente de la proporción esperada de 1:1 (macho:hembra), ya que se registró un sesgo mucho mayor hacia los machos; estos resultados contrastan con lo registrado por Rodríguez (2007) para *T. hildebrandi* quien mostró que la proporción sexual no fue la esperada (1:1), pero en este caso se fue a favor de las hembras; la diferencia podría deberse en parte al tamaño de la muestra (697 ejemplares), que fue un poco menor en comparación con *T. hildebrandi* (1045 ejemplares). La proporción sexual de la mayoría de las especies tiende a ser uno a uno, sin embargo, se ha observado que algunas especies se desvían de esta proporción, para aumentar al máximo el potencial y las perspectivas a largo plazo de una población dada; es importante porque la población requiere una cantidad de hembras que genere la producción de huevos adecuada (Hjernquist *et al.*, 2009; Lasker, 1985).

8.2.3 Índice gonadosomático

El índice gonadosomático es considerado como un índice que refleja estado de la condición reproductora de los peces, por lo tanto el peso de las gónadas con relación al peso corporal, es utilizado para el estudio del ciclo reproductivo (Encina *et al.*, 2001). Los altos valores del IGS, generalmente, están relacionados con la actividad reproductiva y coinciden con la presencia de gónadas maduras. Por su parte, cuando los valores del IGS son bajos, se asocian con periodos de poca actividad reproductiva o reposo (Saborido-Rey, 2014). El promedio del IGS estimado en las hembras de *Tlaloc labialis*,

presentó variaciones significativas entre las épocas del año; los valores más altos se observaron en la época de estiaje, lo cual sugiere una mayor actividad reproductiva en los meses febrero-mayo (estiaje). Resultados similares han sido reportados, Rodríguez (2007) menciona que esta especie presenta valores más altos en la temporada de estiaje (febrero- junio), y el valor más alto en el mes de febrero; Velázquez *et al.*, (2007) reporta que el periodo reproductivo se inicia en el mes de febrero, alcanzando su mayor actividad reproductiva entre los meses de marzo y abril, y se extiende hasta el mes de junio, cesando por completo con el inicio de las lluvias y el descenso de la temperatura.

La reproducción es un proceso esencial para la perpetuación de las especies, al ser un proceso cíclico, está integrada de actividades fisiológicas diarias y anuales que necesitan sincronizarse muy estrechamente con las variaciones periódicas del medio ambiente exterior (Carrillo, 2009).

8.2.4 Talla de la primera madurez sexual

T. labialis alcanza la madurez sexual a los 41 mm de longitud patrón (L50); estos resultados pueden ser ventajosos, ya que la maduración a un tamaño más pequeño significa una mayor producción de descendencia durante toda la vida útil. En peces de la familia Profundulidae, los reportes científicos sobre madurez sexual son escasos; los únicos registros documentados son los de Rodríguez (2007) para la *T. hildebrandi* en el cual reporta que las hembras alcanzan la talla de primera madurez sexual a 50 mm y los machos a 40 mm. El tamaño de primera madurez puede variar entre especies, aunque pertenezcan a la misma familia o entre hembras y machos de la misma especie (Cuevas *et al.*, 2021).

IX. Conclusiones

El presente estudio representa la primera contribución de la biología reproductiva de *T. labialis* y los primeros esfuerzos para avanzar en nuestra comprensión de la historia natural de esta especie que habita en pequeños tributarios de la cuenca media del río Grijalva en el sur de México; del cual se derivan las principales conclusiones:

- El tipo de crecimiento registrado en *Tlaloc labialis* es alométrico positivo ($b > 3.0$) para las hembras; mientras que para los machos se registró un crecimiento alométrico negativo ($b < 3$).
- Los valores más altos del factor de condición (K) registrados en el presente estudio, muestran que las hembras de *T. labialis* son más robustas ($K > 1.9$) que los machos ($K < 1.9$); lo cual puede ser el reflejo del estado reproductivo de las hembras.
- El promedio de fecundidad absoluta para las hembras capturadas fue 384.40 ovocitos, mientras que el valor medio la fecundidad relativa es de 174.39 (rango de 27.44-347.05) ovocitos por gramo de hembra, los ovocitos presentaron un valor promedio de 1.69 mm de diámetro. Los resultados obtenidos para *T. labialis*, mostraron una relación significativa entre fecundidad y la longitud y entre la fecundidad y el peso.
- *T. labialis* no presenta un dimorfismo sexual secundario evidente, por lo que presenta dimorfismo primario; algunos caracteres morfológicos externos relacionados con el tamaño de la aleta anal nos permiten diferenciar entre ambos sexos. La aleta anal de las hembras es más alargada y puntiaguda, en comparación con la de los machos que es más pequeña y redondeada.
- La proporción de sexos observada difiere significativamente de los esperado (1:1), ya que se registró un sesgo mucho mayor hacia los machos (1: 0.15) (Macho: Hembra).

- El índice gonadosomático (IGS), presentó valores más altos en la temporada de estiaje, lo que sugiere que el periodo reproductivo de *T. labialis* coincide con la temporada de secas.
- La talla de la primera madurez sexual de *T. labialis*, es de 41 mm, con intervalos de 39.2-43.8mm.

X. Recomendaciones

El presente trabajo está basado en los aspectos reproductivos de *Tlaloc labialis*, con la finalidad de brindar información introductoria del manejo y/o estrategias de conservación relevante para futuros estudios sobre especies dentro de la familia. Cabe señalar que es la primera investigación enfocada en la reproducción de esta especie por lo que se sugiere analizar esta especie el año completo preferentemente cada mes para corroborar lo que sucede en el ciclo reproductivo.

Asimismo, se recomienda hacer estudios en distintas localidades donde esta especie habita para determinar su abundancia y los factores que afecten su conservación.

XI. Referencias documentales

- Anzueto, M., Velázquez, E., Ruiz, G., Cruz, B. y Domínguez, C. (2022). Evaluación de índices somáticos en el killifish endémico y en peligro de extinción *Tlaloc hildebrandi* (Cyprinodontiformes: profundulidae). *Biodiversidad tropical*. 8(1): 267-270.
- Anzueto, M., Matamoros, W., Velázquez, E. y Nettel, A. 2017. Efecto de conservación de pescado en formalina y etanol sobre relaciones peso-longitud y factor de condición en *Tlaloc labialis* (Günther, 1866). *Journal of Applied Ichthyology*. 1(6): 1–3.
- Arévalo, H. 2018. Morfología trófica de *Tlaloc candalarius* (Hubbs, 1924). Tesis de licenciatura. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Brown-Peterson, N., Wyanski, D., Saborido, F., Macewicz, B. y Lowerre, S. 2011. Terminología estandarizada para describir el desarrollo reproductivo de los peces. *Pesquerías marinas y costeras: dinámica, gestión y ciencia de los ecosistemas*. 3(1): 52-70.
- Beltrán, R., González, A., Soria, M., Garduño, M., Xochitla, C., Rodiles, R. y Ornelas, P. 2021. Genetic diversity and structure of one of the most endangered freshwater fish species in Mexico: *Tlaloc hildebrandi* (Miller, 1950) and recognition of its evolutionarily significant units. *PeerJ*, 9, e11952. <https://doi.org/10.7717/peerj.1195>. Consultado el 28 de diciembre de 2022.
- Calixto, M., Lira, A., Rubio, M., Pérez, G. y Pinacho, C. 2021. Relaciones filogenéticas y conservadurismo de nicho ecológico en killis (Profundulidae) en Mesoamérica. *Journal of fish Biology*. 99(2): 396-410.
- Carrillo, A. 2009. Reproducción en peces, aspectos básicos y sus aplicaciones. Paraninfo. España. Pp. 718.
- Chávez, G. y Yáñez, A. 1985. Control ecológico de los peces demersales: variabilidad ambiental de la zona costera y su influencia en la producción natural de los recursos pesqueros. Instituto de ciencias del mar y limnología, UNAM. México. Pp. 748.
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P. y Habit, E. 2012. Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana*. 75(2): 101-110.

- Cruz, B. 2018. Historia de vida y ecología de *Tlaloc hildebrandi* (Miller, 1950) en los altos de Chiapas, México. Tesis de maestría. Universidad de ciencias y artes de Chiapas.
- Cubillos, L. y Alarcón, C. 2010. Estimación de la talla media de madurez sexual en *Trachurus murphyi* mediante parámetros del consumo relativo de oxígeno. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 38(2): 178-187.
- Cuevas, G., Fernández, Melo., Gastélum, E., Rocha, L., Chávez, J. y Munguía, K. 2021. Recursos pesqueros: conocer para conocer y conservar. *Conabio, biodiversitas.* 155 (1): 12- 16.
- Del-Moral, L., López, E. y Hernández, T. 2020. *Profundulus chimalapensis*, una nueva especie de pez ciprinodóntico (Cyprinodontiformes: Profundulidae) del Río Coatzacoalcos, México. *Revista de Biología Tropical.* 68 (4): 1185-1197.
- Duarte, C. y Alcaraz, M. 1989. Producir muchos huevos pequeños o pocos huevos grandes: una táctica reproductiva independiente del tamaño de los peces. *Ecología.* 80(3): 401-40.
- Domínguez, S. 2014. Morfología trófica y hábitos de alimento de *Profundulus Hildebrandi* Miller 1950, pez endémico de Chiapas, México. tesis de maestría. Universidad de ciencias y artes de Chiapas.
- Domínguez, S., Velázquez, E., McMahan, C. y Matamoros, W. 2021. A New Species of killifish of the genus *Profundulus* (Atherinomorpha: Profundulidae) from the upper reaches of the papaloapan river in the Mexican state of Oaxaca. *Ichthyology and herpetology.* 109(4): 949-957.
- Encina, L., Rodríguez, A., Granado, C. y Escot, C. 2001. Gestión y evaluación de embalses, estudio de las poblaciones de peces. Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 218.
- Espinoza, H. 2014. Biodiversidad de peces en México. *Revista mexicana de Biodiversidad.* 85(1): 450-459.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology.* 22(4): 241-253.

- González, A., Díaz, E., Barreto, M. y Martínez, E. 2014. Diferencias Osteológicas entre los Subgéneros *Profundulus* y *Tlaloc* (Teleostei: *Profundulidae*). *Int. J. Morphol.* 32(3): 1-5.
- González-Díaz, A., Díaz, E., Soria, M. y Rodiles, R. 2005. Análisis morfométrico de los peces del grupo labialis, género *Profundulus* (Cyprinodontiformes: *Profundulidae*), en Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad.* 76(1): 55.
- Granado, C. 2002. Ecología de peces. Sevilla: Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 353.
- Helfman, G., Collette, B., Facey, D. y Bowen, B. 2009. The diversity of fishes. Wiley Blackwell. EU. Pp. 736.
- Hjernerquist, M., Hjernerquist, K., Forsman, J. y Gustafsson, L. 2009. Asignación de sexos en respuesta a la competencia local de recursos por los territorios de cría. *Ecología del comportamiento.* 20(2): 335-339.
- Hubbs, C. 2006. Studies of the fishes of the order cyprinodontes. The University Michigan. Michigan. Pp. 36.
- Huidobro, L., Valencia, X., Álvarez, N. y Espinosa, H. 2016. Peces. En: La biodiversidad en la Ciudad de México. Conabio/sedema. México. Pp. 382.
- INAFED, Chiapas, México. 2018. Ixtapa. <http://inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07044a.html>. Consultado el 6 de enero de 2022.
- INEGI. 2022 Biblioteca digital de Mapas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>. Consultado el 5 de enero de 2022.
- ITIS, sistema integrado de información taxonómica 2004. Cyprinodontiformes, Berg, 1940. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=553130#null. Consultado el 5 de mayo de 2022
- Jamangapé, J., Velázquez, E., Martínez, E., Anzueto, M., Gómez, E., Domínguez, S., McMahan, C. y Matamoros, W. 2016. Validez y redescrición de *Profundulus balsanus* Ahl, 1935 (Cyprinodontiformes: *Profundulidae*). *Zootaxa.* 4173(1): 1-3.
- Lagler, K., Bardach, J., Miller, R. y May, D. 1990. Ictiología. AGT editor. México. Pp. 498.

- Lasker, R. 1985. Un método de producción de huevos para estimar la biomasa de desove de peces pelágicos: aplicación a la anchoveta del norte, *Engraulis mordax*. NOAA. USA. Pp. 105.
- Le Cren, E. 1951. Length-weight relationship and seasonal cycle in gonadal weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *The Journal of Animal Ecology*.
- León, A. 2019. Caracterización de poros sensoriales cefálicos en peces de la Familia Profundulidae (Cyprinodontiformes). Tesis de licenciatura. Universidad de ciencias y artes de Chiapas.
- Lozano, M. y Contreras, S. 1987. Lista zoogeografía y ecológica de la ictiofauna continental de Chiapas, México. *The southwestern naturalist*. 32(2): 223-236.
- Matamoros, W. 2019. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN: Tlaloc labialis. de <https://www.iucnredlist.org/species/191794/2003304#population>. Consultado el 2 de enero de 2022
- Matamoros, W. y Schaefer, J. 2010. A new species of *Profundulus* (Cyprinodontiformes: Profundulidae) from the Honduran central highlands. *J. Fish Biol.* 76(6): 507-1498.
- Melvin, L., Brooks, M., Echelle, A., Kuhajda, B. y Ross, S. 2019. Freshwater Fishes of North America. Prensa JHU. USA. Pp. 936.
- Meyer, A. y Lydeard, C. 1993. La evolución de los órganos copuladores, la fertilización interna, las placentas y la viviparidad en killis (Cyprinodontiformes) inferida a partir de una filogenia de ADN del gen de la tirosina quinasa *X-src*. *The royal society*. 254(1340): 1471-2954.
- Miller, R. 2009. Peces dulceacuícolas de México. Ediciones de la noche. Guadalajara, Jalisco. México. Pp. 559.
- Miller, R., Minckley, W. y Norris, S. 2005. Peces de agua dulce de México. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Moyle, P. y Leidy, R. 1992. Biología de la conservación. M. A. Boston. Pp. 169.
- Morcillo, F. 2004. El género *Profundulus* Hubbs, 1924 (Actinopterygii: Profundulidae): Sistemática, filogenia y biogeografía. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid. Pp. 201.

- Morcillo, F., Ornelas, C., Alcaraz, L. Matamoros, W. y Doadrío, I. 2016. Phylogenetic relationships and evolutionary history of the Mesoamerican endemic freshwater fish family Profundulidae (Cyprinodontiformes: Actinopterygii). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 242-251.
- Moreno, L. y Castellanos, J. 2011. Fecundidad de *Otocinclus spectabilis*. *Orinoquia*. 15(41): 41-47.
- Nash, R., Valencia y Geffen, A. 2014. The Origin of Fulton's Condition Factor, setting the Record Straight. *Fisheries*. 31(5): 236-238.
- Nelson, J. 2006. Fishes of the World. *Open Journal of Ecology*. 5(12): 601.
- Omoloye, A. 2006. Sex ratio bias in the F₁ adult progeny of African rice gall midge, *Orseolia oryzivora* H. and G. (Dipt. Cecidomyiidae). *Journal of applied entomology*. 130(6): 349-355.
- Parenti, L. 1981. A phylogenetic and biogeographic analysis of Cyprinodontiform Fishes (Teleostei, Atherinomorpha). *B. Am. Mus. Nat. Hist.* 168: 335-557.
- Rodiles, R., González, A. y Chan-Sala, C. 2005. Lista de Peces Continentales de Chiapas, México. *Hidrobiológica*. 15(2): 245-253.
- Rodríguez, R. 2007. Aspectos reproductivos de *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950; pez endémico de Chiapas, México. Tesis de licenciatura. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Valencia, X. y Espinosa, H. 2010. Análisis comparativo de poblaciones de tres especies de *Profundulus* (Teleostei: Cyprinodontiformes) usando dos marcadores genéticos. *ADN mitochondrial*. 22(1): 19-21.
- Velázquez, E., Domínguez, E., Domínguez, S., Hernández, J. y Rodríguez, R. 2007. Monografía de *Profundulus hildebrandi* Miller, 1950, pez endémico de Chiapas. UNICACH, Chiapas, México.
- Velázquez, E., Anzueto, M. y Gómez, A. 2016. Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote y embalse Nezahualcóyotl (Malpaso), Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 87(3): 972-979.
- Domínguez, S., Domínguez, O., Velázquez, E. y Pérez, R. 2022. Redescrición y diagnóstico de los géneros *Profundulus* Tlaloc (Cyprinodontiformes: Profundulidae), peces endémicos mesoamericanos. *Neotropical ichthyology*. 21(1): 1-22.