



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y  
ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**TESIS**

**Caracterización de poros sensoriales  
cefálicos en peces de la Familia  
Profundulidae (Cyprinodontiformes)**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**LICENCIADO EN BIOLOGIA**

PRESENTA:

**ANGÉLICA LEÓN ESTRADA**



TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS.

AGOSTO DE 2019.



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

## **TESIS**

### **Caracterización de poros sensoriales cefálicos en peces de la Familia Profundulidae (Cyprinodontiformes)**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN BIOLOGIA**

PRESENTA:

**ANGÉLICA LEÓN ESTRADA**

DIRECTOR:

M. en C. SARA ELIZABETH DOMINGUEZ CISNEROS

**INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

ASESORES:

Dr. WILFREDO ANTONIO MATAMOROS ORTEGA

**INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Dr. ERNESTO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ

**INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS.

AGOSTO DE 2019.



## DEDICATORIA

El siguiente trabajo está dedicado a mi familia, quienes han sido un gran apoyo y pilar a lo largo de mi formación. Los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos Mayra, Noé y Leonardo por estar siempre cuando los he necesitado, ustedes son una parte importante de este logro.

A mis padres, Noé y Virginia, por enseñarme que siempre se cosecha lo que se siembra, y que siempre hay que trabajar duro para lograr nuestras metas, por inculcarme el valor del trabajo y del esfuerzo, sin ustedes no sería lo que soy. Porque gracias a su apoyo he realizado una de mis metas, este logro es tan mío como suyo

## AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis la maestra Sara Elizabeth Domínguez Cisneros, por compartirme sus conocimientos y guiarme a lo largo de todo este proceso. Por inculcarme que siempre estamos en constante aprendizaje y por demostrarme con el ejemplo que no importa lo que hagamos siempre y cuando se haga con el corazón. Por enseñarme un poco sobre su inmenso amor por los peces. Gracias por confiar en mí y alentarme a perseguir sueños más grandes.

A mis asesores, El Dr. Wilfredo y el Dr. Ernesto por haberse tomado el tiempo para la revisión del trabajo, así como también todos los comentarios y observaciones para enriquecerlo y mejorarlo.

A mi entrañable equipo y camaradas, Emmanuel, Lucero, Brenda y Carlitos, que fueron una parte muy importante durante mi formación. Gracias por todas las tardes y proyectos llenos de aprendizaje. Por haber estado conmigo de forma incondicional. Por enseñarme que con esfuerzo todo se puede. No puede haber trabajado con mejores personas que ustedes. Gracias por hacer de la carrera toda una aventura. CON SU COMPRENSION Y APOYO LLEGAMOS AL FINAL Y SIN ELLOS NADA HUBIERA SIDO IGUAL... Los amo.

A mis amigas Nahara, Citlalli y Andrea, sin ustedes la carrea no hubiera sido igual, gracias por todas las risas y por estar para mí en cada momento de tensión y estrés. Por ser las mejores cómplices que en esta vida pude encontrar. Las amo.

A todos mis compañeros y amigos que conocí a lo largo de la carrera, que de alguna u otra forma me ayudaron a crecer y mejorar como persona.

A mi mami hermosa Virginia por estar siempre apoyándome y alentándome, por no permitir que me rindiera. Y a mi querido papá, Noé Samuel por darse el tiempo de leer y ayudarme con este trabajo. A tu manera me has apoyado e inspirado a seguir adelante.

GRACIAS POR RECORRER CONMIGO ESTE CAMINO.

A mis hermanos Mayra y Noé que de igual forma siempre creyeron en mí y me apoyaron en todo momento. Por todas sus palabras de aliento en mis momentos de dificultades y estrés. Por ser mis cómplices en todo momento y a pesar de todo.

# ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEORICO</b> .....	3
2.1. Morfología.....	3
2.2. La Familia Profundulidae .....	4
2.3 Biogeografía de la Familia Profundulidae.....	9
2.4 Poros sensoriales .....	10
<b>III. ANTECEDENTES</b> .....	12
3.1 Taxonomía de la Familia Profundulidae .....	12
3.2 Estudios sobre poros sensoriales en otros grupos .....	14
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	16
4.1. General:.....	16
4.2. Específicos: .....	16
<b>V. MÉTODO</b> .....	17
5.1. Área de estudio.....	17
5.2. Selección del material biológico. ....	18
5.3. Captura de datos de los ejemplares.....	19
5.4. Análisis morfológico. ....	19
5.5. Captura y edición de fotografías. ....	20
5.6. Análisis estadístico. ....	20
<b>VI. RESULTADOS</b> .....	22
6.1 Descripción del arreglo de poros sensoriales cefálicos .....	22
6.2 Variación de los poros cefálicos.....	30
<b>VII. DISCUSIÓN</b> .....	36

VIII. CONCLUSIONES .....	40
IX. RECOMENDACIONES.....	41
X. REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	42
ANEXO 1 .....	46
ANEXO 2 .....	47

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Frecuencia del número de poros sensoriales cefálicos por región para cada especie. N= número total de ejemplares. ....	23
Cuadro 2. Frecuencia de organismos por especie que presentan los diferentes arreglos de poros sensoriales cefálicos de la región preorbital. N= número total de ejemplares y LP= longitud estándar promedio en mm.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especies que integran el Género <i>Tlaloc</i> : A) <i>T. labialis</i> , B) <i>T. candalarius</i> , C) <i>T. hildebrandi</i> y D) <i>T. portillorum</i> . Tomado de García, 2017.....	7
Figura 2. Especies que integran al género <i>Profundulus</i> : A) <i>P. punctatus</i> , B) <i>P. guatemalensis</i> , C) <i>P. oaxacae</i> , D) <i>P. kreiseri</i> , E) <i>P. mixtlanensis</i> y F) <i>P. balsanus</i> . Tomado de García, 2017.....	8
Figura 3. Distribución de las especies de peces de la Familia Profundulidae.....	18
Figura 4. Diagrama del patrón de poros sensoriales obtenido de Miller (1955).....	20
Figura 5. Representación esquemática de los poros de la cabeza sensorial y del canal supraorbital en peces Cyprinodontiformes. Basado en bocetos semidiagramáticos de Miller (1955).....	22
Figura 6. Poros sensoriales de la región supraorbital pertenecientes a <i>T. hildebrandi</i> .....	24
Figura 7. Poros de la región supraorbital cercanos al ojo pertenecientes a <i>P. guatemalensis</i> .....	25
Figura 8. Patrón de poros preorbitales en forma de "K". Se puede observar el poro superior próximo a la narina, lo que le confiere esta forma ( <i>T. candalarius</i> ).....	26
Figura 9. Patrón de poros preorbitales en forma de "C". Característicos por presentar a todos los poros que conforman esta región próximos unos con otros. El poro superior se encuentra más cercano a los otros tres ( <i>Profundulus kreiseri</i> ).....	26
Figura 10. Patrón de poros preorbitales en forma de "L", esto es debido a que tres de los cuatro poros se encuentran casi alineados como se puede observar con ayuda de la reglilla milimétrica del microscopio ( <i>T. portillorum</i> ).....	27
Figura 11. Conexión de poros preoperculares-mandibulares observados en todas las especies de la familia.....	28
Figura 12. Poros mandibulares inferiores pertenecientes a <i>T. hildebrandi</i> .....	29
Figura 13. Poros mandibulares superiores (rojo) ubicados entre los dos primeros poros supraorbitales.....	30

Figura 14. Valores medios del número de poros sensoriales supraorbitales de las especies del Género *Tlaloc* y *Profundulus* (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar).....31

Figura 15. Comparación de medias de la cantidad de poros de la región preorbital de las 11 especies que conforman a la Familia Profundulidae (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar)..... 32

Figura 16. Valores medios de la cantidad de poros de la zona mandibular inferior de las 11 especies que conforman a la Familia Profundulidae (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar)..... 33

Figura 17. Comparación de medias de la cantidad de poros de la zona mandibular superior de las 11 especies que conforman a la Familia Profundulidae (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar).....34

## RESUMEN

La Familia Profundulidae, es una de las pocas familias originarias de Centroamérica. Comprende a peces dulceacuícolas endémicos del sur de México y Centroamérica. En el presente trabajo de investigación, se 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. Se utilizaron un total de 573 ejemplares obtenidos de la colección ictiológica del Museo Miguel Álvarez del Villar de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Se observaron alrededor de 30-60 ejemplares por especie, de los cuales se obtuvo la merística (longitud estándar y peso). Se observaron 4 regiones cefálicas para la caracterización de los poros; supraorbital, preorbital, preopercular y mandibular inferior, añadiendo por primera vez la región mandibular superior. Se determinó que la cantidad y distribución de poros sensoriales de las regiones supraorbital y preopercular se mantiene para las 11 especies de la familia, con 9 y 7 poros sensoriales respectivamente. Se determinaron tres tipos de formas para la región preorbital “K”, “L” y “C” presentes en todas las especies. La cantidad de poros se mantuvo constante en la región mandibular inferior para el Género *Profundulus* (5 poros sensoriales) con excepción de *P. kreiseri*, mientras que en el Género *Tlaloc* se presentó una mayor variación (4-5 poros sensoriales). Así mismo, se determinó la presencia de poros mandibulares superiores, con mayor frecuencia en las especies del Género *Tlaloc*, con excepción de *T. portillorum*, la cual en su mayoría carece de ellos, al igual que las especies del Género *Profundulus*.

**Palabras clave:** poros sensoriales, supraorbital, preorbital, preopercular, mandibular inferior-superior.

# I. INTRODUCCIÓN

El Orden de los Cyprinodontiformes es un grupo de peces que está conformado principalmente por organismos pequeños, caracterizados por presentar aleta caudal truncada o redondeada; esqueleto de la aleta caudal simétrico, con un epural; primera costilla pleural en la segunda vértebra en lugar de en la tercera; e inserción de la aleta pectoral ventrolateral (Nelson, 2006). Estos peces, junto con los cíclidos, y carácidos concentran gran parte de la ictiofauna de agua dulce de América Central y el Sur de México (Miller, 1955 y De Marco *et al.*, 2011).

Dentro de los Cyprinodóntiformes se encuentra la Familia Profundulidae, la cual es originaria de Centroamérica, su origen se remonta al menos al Plioceno y probablemente al Mioceno (Miller, 1955). Comprende a peces dulceacuícolas endémicos del sur de México y Centroamérica, cuya distribución comprende de la vertiente del Pacífico centroamericano y la vertiente del Atlántico de América Central (Matamoros *et al.*, 2018); habitando principalmente ríos y arroyos de montaña (Miller, 1955).

Por mucho tiempo esta familia estaba conformada por un único Género: *Profundulus*, el cual incluía a dos Subgéneros: *Labialis* y *Punctatus*. Dentro de estos subgéneros se encontraban 5 especies validadas; para: *Punctatus* (*Profundulus guatemalensis* y *P. punctatus*) y *Labialis* (*P. candalarius*, *P. labialis* y *P. hildebrandi*) (Miller, 1955). Estudios posteriores incluyeron nuevas especies a la familia, los cuales seguían agrupándose dentro de los dos subgéneros ya mencionados. No obstante, no fue hasta la realización de estudios moleculares recientes que sugirieron la existencia de una divergencia genética entre los individuos de cada grupo (Morcillo *et al.*, 2016), por lo que ahora se consideran como dos géneros. El grupo *punctatus* retuvo el nombre genérico de *Profundulus* con siete especies (*Profundulus punctatus*, *P. guatemalensis*, *P. oaxacae*, *P. balsanus*, *P. mixtlanensis*, *P. kreiseri*, *P. parenti*), mientras que el grupo *labialis* fue nombrado como el Género *Tlaloc* e incluye a cuatro especies (*Tlaloc labialis*, *T. hildebrenadi*, *T. candalarius*, *T. portillorum*).

El establecimiento de estos dos géneros se sustentó en un principio a las diferencias morfológicas externas, ya que las especies del Género *Profundulus* presentan una mancha humeral de color oscuro en ambos lados del cuerpo y tienen más de la mitad de la base de la aleta caudal cubierta de escamas, mientras que los miembros de *Tlaloc* carecen de esta mancha humeral y no presentan escamas por detrás de la mitad de la aleta caudal (Miller, 1955). Pero no fue hasta la realización de los análisis moleculares que se tuvo una evidencia concreta de la diferenciación de estos dos géneros para la familia (Morcillo *et al.*, 2016).

Sin embargo, aunque las diferencias entre ambos géneros y por consiguiente las especies han sido determinadas mediante los estudios moleculares (Morcillo *et al.*, 2016), algunas de ellas como *T. labialis*, *T. candalarius* y *P. guatemalensis*, *P. punctatus* presentan cierto grado de dificultad al momento de identificarlas, basado en caracteres tradicionales; por lo que es importante encontrar caracteres morfológicos externos que ayuden a la diferenciación de las mismas. Una de estas herramientas podría ser el patrón de poros sensoriales cefálicos, los cuales son orificios que funcionan como receptores del medio externo y pueden ser diferentes en número, tamaño y disposición (Fernández, 2012).

No obstante, estos han sido poco abordados en esta familia, debido a que no se han realizado revisiones exhaustivas de dicho patrón en todas las especies que actualmente la conforman. Es por ello que mediante la realización del siguiente trabajo se pretende determinar si este carácter morfológico externo es de importancia en la diferenciación de las especies de la familia.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Morfología

A lo largo de la historia, la biología se ha apoyado en todo tipo de ciencias para explicar las relaciones que existen entre los organismos, así como también para diferenciarlos entre las diferentes especies que existen, una de estas ciencias es la morfología, la cual, puede definirse como una disciplina que se encarga de realizar el estudio de la estructura y la organización corporal en los seres vivos. Es una ciencia más bien descriptiva que tiene como base la identificación, comparación e interpretación de los cambios anatómicos ocurridos durante la evolución de los organismos (Osuna, 1995; Barrientos, 2003).

La morfología es una ciencia interdependiente de otras disciplinas, como la taxonomía quien se encarga de describir, identificar y clasificar a los organismos en un sistema jerarquizado e inclusivo. Cada nivel de este sistema se denomina categoría taxonómica y las diferentes categorías se incluyen unas dentro de otras, desde la categoría fundamental (especie) hasta otras de mayor rango como género, familia, orden, clase, phylum (filo o división) y reino. La taxonomía se ocupa de clasificar a los seres vivos que presentan semejanzas entre sí en grupos o taxones. El cual está dirigido principalmente a producir un sistema jerárquico de clasificación de los organismos, para que de esta forma sea de mucha mayor facilidad poder relacionar a un grupo dentro de un árbol filogenético y de esta manera poder realizar diversos estudios a los diferentes grupos sin caer en errores (Arija, 2012)

Los estudios taxonómicos se basan principalmente en la determinación de caracteres que la morfología se ha encargado de describir. Ya que estos son atributos que se han tomado de los organismos, los cuales deben ser heredables, y por lo tanto deberán ser aptos para ser usados en la descripción de los organismos que componen el taxón. Por lo tanto, la reconstrucción filogenética basada en la morfología se centra en la búsqueda de cambios anatómicos o funcionales que hayan podido producirse en un taxón y transmitirse a sus descendientes (Tinaut y Ruano, 2002; Arija, 2012).

No obstante, existen familias que han presentado problemas en cuanto a su clasificación. Esto puede ser debido a que son organismos que externamente pueden presentar una gran similitud, llegando a parecer ejemplares provenientes de una misma especie, sin embargo, molecularmente son completamente diferentes, lo que las posiciona como una especie diferente dentro de la misma familia. Lo que podría considerarse como especies crípticas, ya que estos grupos de especies son morfológicamente muy similares o idénticas, pero reproductivamente aisladas y derivadas entre sí (Knowlton, 1993; Beheregaray y Caccone, 2007 y Okolodkov, 2010).

Por consiguiente es importante definir el término de especie, de acuerdo con White (1977), una especie es un grupo de poblaciones, cuyos miembros tienen la capacidad de entrecruzarse en la naturaleza y producir descendencia viable y fértil. Pero no son capaces de producir descendencia viable y fértil con miembros de otras poblaciones. Wheeler y Meier (2000) definen a la especie como el menor taxón reconocido en una clasificación filogenética. En este tipo de clasificación, los organismos se agrupan en especies por evidencias de monofilatismo, en vez de a un nivel más alto porque son el menor grupo monofilético que merece un reconocimiento formal a causa del grado de apoyo para su monofilatismo y/o a causa de su importancia en los procesos biológicos que operan en el linaje en cuestión.

## **2.2. La Familia Profundulidae**

El Orden Cyprinodontiformes ha sido reconocido durante mucho tiempo como un grupo acantomorfo dentro de la serie Atherinomorpha junto con los órdenes Atheriniformes (pejerrey y peces arco iris) y Beloniformes (pez medio, pez aguja y peces voladores) (Ghedotti y Davis, 2013). Parenti (1981) fue quien realizó el primer análisis filogenético del Orden Cyprinodontiformes en el cual reorganizó la taxonomía de los peces Cyprinodontiformes para reflejar con mayor precisión las relaciones filogenéticas.

Los Cyprinodontiformes son considerados peces típicamente pequeños. Habitantes generalmente de las aguas dulces, aunque muchos miembros entran en agua salobre. Presentan un cuerpo típicamente fusiforme, raramente comprimido lateralmente. Aletas de rayos suaves, rara vez una primera dorsal espinosa o los primeros tres o cuatro radios de la aleta pélvica. Este grupo se distribuye tanto en climas tropicales como templados y se ha llegado a hipotetizar que su origen se ubica a finales del Triásico, cuando inició la separación de Laurasia y Gondwana (Parenti, 1981). Sin embargo se estima que presenta un origen más temprano, y que divergió durante las épocas del Plioceno o Mioceno de la era Cenozoica. Además presentan un número grande de caracteres plesiomorficos parecidos (Doadrio *et al.*, 1999).

La monofilia de este orden se reconoce sobre la base de varios caracteres derivados: por ejemplo, aleta caudal truncada o redondeada; esqueleto de la aleta caudal simétrico, con un epural; primera costilla pleural en la segunda vértebra en lugar de en la tercera; inserción de la aleta pectoral ventrolateral (primitivamente, cintura pectoral baja). Así mismo también presentan un canal de poros en la línea lateral, principalmente en la cabeza, una línea lateral representada en el cuerpo solo por escamas picadas, aletas y cinturas pélvicas presentes o ausentes, y un dimorfismo sexual marcado con los machos a menudo de colores brillantes (Nelson, 2006).

La Familia Profundulidae, que pertenece al Suborden Cyprinodontoidei, el cual es un grupo de peces que está conformado principalmente por peces pequeños, con aleta caudal homocerca (Miller, 1955 y De Marco *et al.*, 2011), es un grupo de peces dulceacuícolas originarios y endémicos del sur de México y Centroamérica. Actualmente está representada por los Géneros *Tlaloc* con cuatro especies: *T. portillorum*, *T. candalarius*, *T. labialis*, *T. hildebrandi*, *P. kreiseri* (Figura 1) y *Profundulus* con siete especies: *P. guatemalensis*, *P. oaxacae*, *P. mixtlanensis*, *P. balsanus*, *P. punctatus* y *P. parentiae*, (Figura 2).

La clasificación taxonómica de las especies de dicha familia han sufrido cambios a través del tiempo y después del trabajo de Miller (1955) se consideró que el taxón estaba integrado por cinco especies distribuidas en dos subgéneros: Labialis y Punctatus. Estudios moleculares recientes sugieren que existe suficiente divergencia genética entre ambos grupos, por lo que ahora se consideran géneros distintos: el grupo punctatus retuvo el nombre genérico de *Profundulus*, mientras que el grupo labialis ahora es reconocido como *Tlaloc* (Morcillo *et al.*, 2016).

Anteriormente, los integrantes de la actual Familia Profundulidae estuvieron considerados como parte de la Familia Cyprinodontidae, sin embargo, gracias al trabajo osteológico de Parenti (1981), en los Cyprinodontiformes se reconocieron dos subórdenes: Aplocheloidei y Cyprinodontoidei; y se agruparon en nueve familias dentro de las cuales se validó Profundulidae, conformado en aquel entonces por un género y cinco especies (Parenti, 1981).

El Género *Tlaloc*; estaba determinado por no mostrar una mancha humeral y tener un preorbital generalmente desnudo o con una o dos escamas aisladas cubiertas por tejido y menos de la mitad de la aleta caudal cubierta de escamas. Mientras que el Género *Profundulus* contaba como caracteres diagnósticos la presencia de una mancha humeral, un preorbital casi completamente cubierto por escamas bien desarrolladas y más de la mitad de la aleta caudal cubierta por escamas, sin embargo estos caracteres han ido perdiendo cierto grado de validez para diferenciar ambos grupos, ya que no todos cumplen con dichos arreglos.

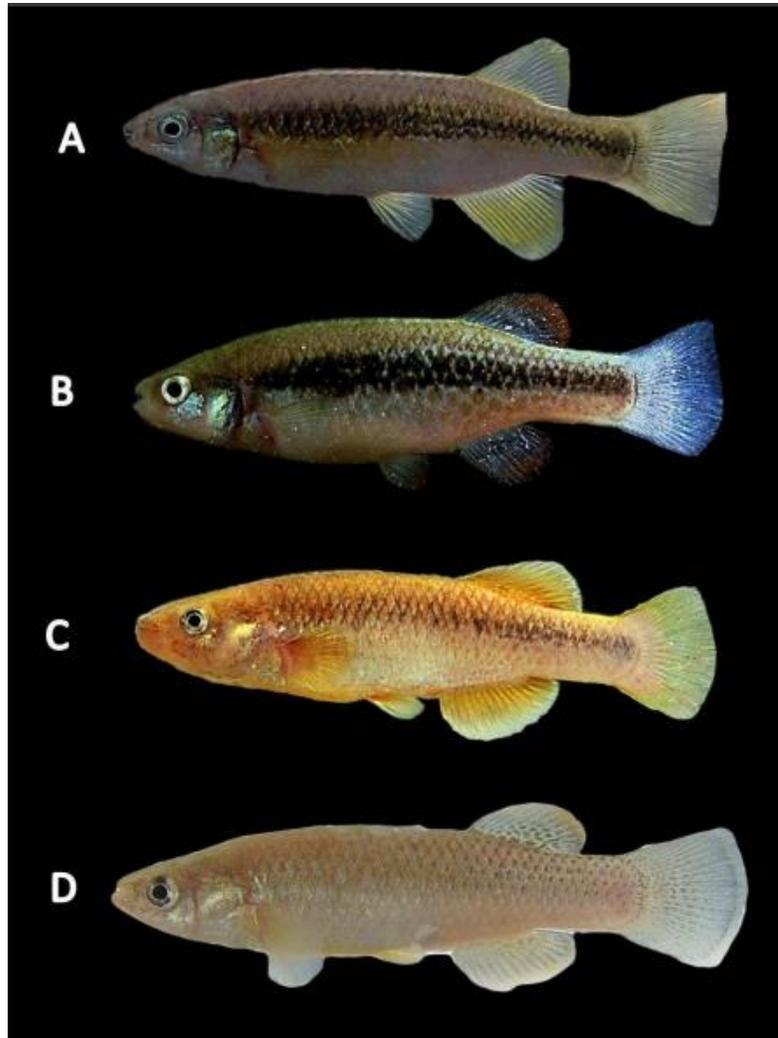


Figura 1. Especies que integran el Género *Tlaloc*: A) *T. labialis*, B) *T. candalarius*, C) *T. hildebrandi* y D) *T. portillorum*. Tomado de García, 2017.

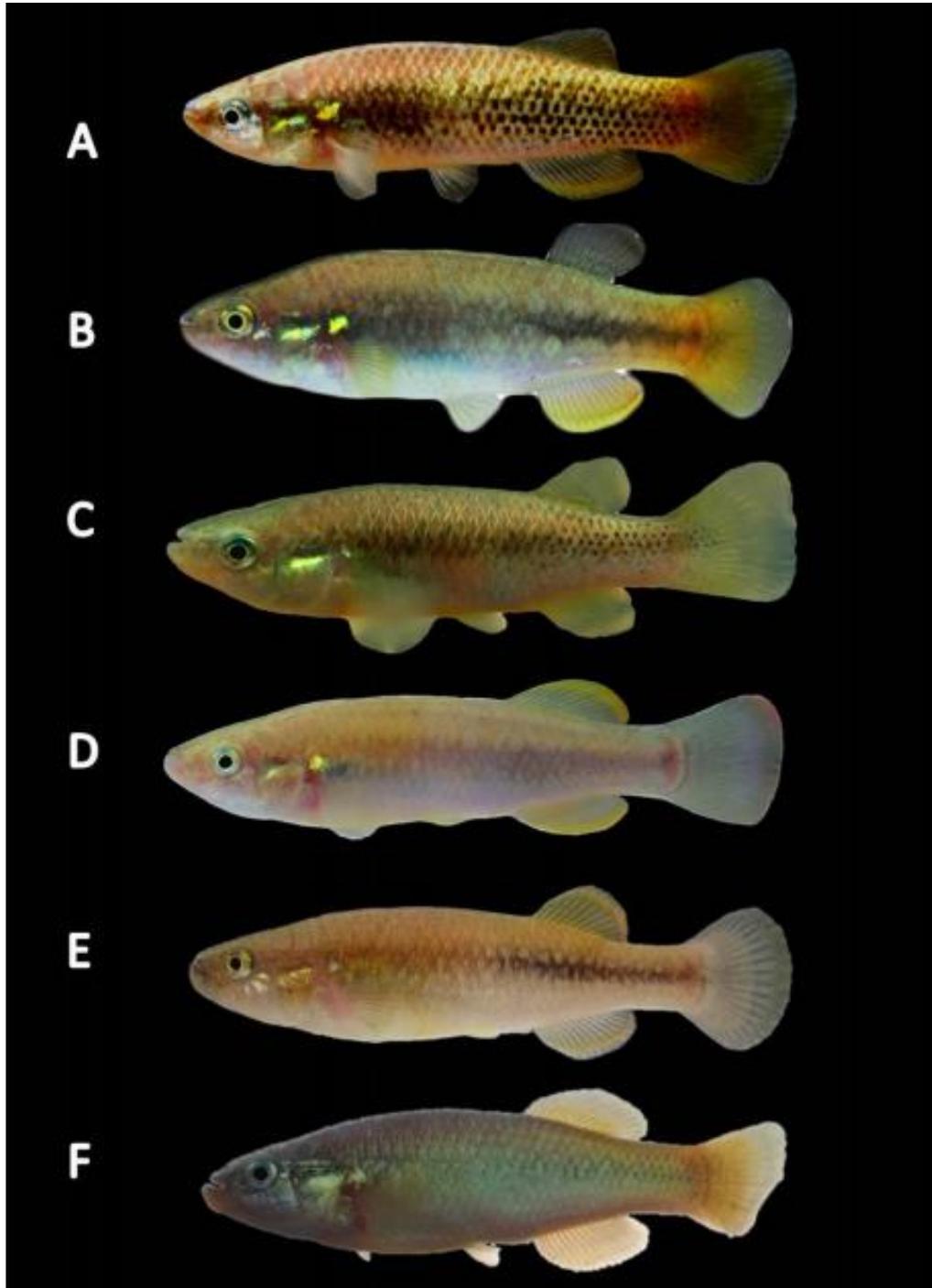


Figura 2. Especies que integran al género *Profundulus*: A) *P. punctatus*, B) *P. guatemalensis*, C) *P. oaxacae*, D) *P. kreiseri*, E) *P. mixtlanensis* y F) *P. balsanus*. Tomado de García, 2017.

### **2.3 Biogeografía de la Familia Profundulidae**

Miller (1955) sugiere que los dos géneros se originaron en distintas áreas de América Central y que posteriormente se unieron a través de cambios topográficos naturales, como la captura de arroyos. De igual forma, señala que ambos géneros se diversificaron en alopatría; el cual, de acuerdo con Wiley (1981) es un proceso en donde se logra la independencia del linaje mientras dos o más linajes están geográficamente separados.

Los géneros ocupan 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/Nicaragüense 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 (Miller, 1955).

Las especies que se originaron durante el Oligoceno Superior, presentaron dos pulsos principales de diversificación que podrían coincidir con eventos de diversificación en otros grupos de peces de agua dulce. El primero, durante el Mioceno inferior, podría estar relacionado con la actividad volcánica de la región, seguido de un evento más reciente en el Cuaternario, que coincide con las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno. La dificultad para establecer límites de especies en Profundulidae, principalmente en el género *Profundulus*, es un reflejo de la compleja historia geológica de América Central Nuclear, principalmente en el área del Istmo de Tehuantepec (Morcillo *et al.*, 2015)

## 2.4 Poros sensoriales

Los peces han desarrollado distintas adaptaciones que les permite recibir información del medio donde viven (Lorencio, 2002). La información sensorial es, en general, recibida por el sistema nervioso periférico.

El órgano sensorial más curioso es la línea lateral, a ambos lados del cuerpo, formada por una sucesión de células neuroreceptoras sensibles a la presión del agua y que están dispuestas a lo largo de canales epidérmicos que se comunican en la superficie de la piel mediante poros. La línea lateral presenta un diseño fijo en cada especie (línea continua, cortes, ramificadas, etc.), y se forma por escamas perforadas que comunican cámaras sensoriales al exterior. En muchos casos estos poros son bastante visibles y dibujan una línea más o menos curvada que va del opérculo branquial a la raíz de la aleta caudal. El individuo recibe variaciones de presión, conductividad eléctrica, equilibrio, temperatura (existen especies capaces de detectar diferencias de 0.03°C) y otras (Lorencio, 2002 y Vast, 2016).

Estos poros, como ya se mencionó, son orificios que funcionan como receptores del medio externo y pueden ser diferentes en número, tamaño y disposición. Cada poro se encuentra lleno de una sustancia gelatinosa que cuenta con la misma resistencia que el agua de mar y que tiene propiedades eléctricas similares a las de un semiconductor, debido a esto el pez es capaz de captar todas las variaciones o cambios que se puedan en el medio (Fernández, 2012). Debido a que la línea lateral está involucrada en el comportamiento de alimentación, defensivo, reproductivo y de migración en los peces, lo que les permite orientarse en la oscuridad (Kasumyan, 2003).

Estas series de poros se encuentran tanto en la línea lateral como en la región cefálica de los peces. Miller (1955) los clasifica en cuatro regiones: supraorbitales (parte superior de la cabeza), preorbitales (zona entre la boca y el ojo), preoperculares (zona entre el ojo y el opérculo) y los mandibulares, ya sean inferiores o superiores (Figura 4).

De igual forma dicho patrón podría presentar una herramienta útil para diferenciar morfológicamente a las especies de la familia, ya que a pesar de que no se ha trabajado de forma exhaustiva en la familia se han encontrado diferencias en cuanto al arreglo (Miller, 1955).

### III. ANTECEDENTES

La Familia Profundulidae es un grupo que ha presentado diferentes problemas al momento de realizar la sistemática de los individuos que la conforman, debido a que algunas de las especies son muy similares morfológicamente, como es el caso de *T. labilis* con *T. candalarius* dentro del Género *Tlaloc*. y de *P. guatemalensis* con *P. kreiseri* para el Género *Profundulus*. Las investigaciones que se han realizado en la mayoría de dichos individuos se basan principalmente en descripciones o redescrpciones de las especies que la conforman.

#### 3.1 Taxonomía de la Familia Profundulidae

Miller (1955) hace una descripción sobre la distribución de la familia, así como también incluye detalles merísticos tales como radios en las aletas; el número de vértebras, branquiespinas y escamas tanto en la línea lateral como alrededor del cuerpo, y el arreglo de poros sensoriales cefálicos. Determinando un único género para la familia: *Profundulus*, el cual englobaba cinco especies válidas pero que se encontraban divididas en dos grupos: punctatus, (*P. guatemalensis* y *P. punctatus*) y labialis (*P. candalarius*, *P. labialis* y *P. hildebrandi*). En el caso del patrón de poros y canales sensoriales, Miller (1955) describió que los canales sensoriales y los poros en la cabeza de *Profundulus* eran bastante uniformes en el patrón y desarrollo entre las especies.

Sin embargo, con el paso del tiempo se fueron describiendo nuevas especies, llegando a un total de 8 especies para la familia, descritas dentro de los dos grupos que componían al género. Matamoros y Schaefer (2010) describen a *Profundulus portillorum* para el grupo labialis. De igual manera se le adjunto una nueva especie al grupo punctatus (*P. kreiseri*), descrita por Matamoros *et al.*, en el 2012. Dejando a la familia de la siguiente forma, el grupo punctatus con cuatro especies (*P. guatemalensis*, *P. punctatus*, *P. kreiseri* y *P. oaxacae*) y el grupo labialis con (*P. candalarius*, *P. labialis*, *P. hildebrandi* y *P. portillorum*).

Posteriormente gracias al estudio realizado por Ornelas-García *et al.*, (2015) a las ocho especies anteriormente descritas se agregó *Porfundulus mixtlanensis*, la cual fue separada de *P. oaxacae* gracias a los estudios moleculares realizados. Sin embargo el trabajo describe 22 variables (17 morfométricas y cinco merísticas), con las cuales se pretendía mostrar una diferencia significativa entre ambas especies.

En 2016 Jamangapé *et al.*, realizarn la redescipción de *P. balsanus* utilizando una combinación de análisis morfométricos, datos osteológicos, la coloración de los individuos y datos moleculares, haciendo un análisis comparativo con las especies cercanas *P. balsanus*, *P. oaxacae* y *P. punctatus*.

Recientemente Morcillo *et al.*, (2016) realizaron estudios moleculares sobre las especies que conforman a la familia, demostrando que existe una notable divergencia molecular del 24,5% para el ADNmt y del 7,8% para las distancias  $p$  no corregidas del ADNn, entre los dos grupos (*punctatus* y *labialis*) proponiendo que corresponden a géneros separados (*Profundulus* y *Tlaloc*), con sus respectivas especies, dejando así al Género *Profundulus* con seis especies (*P. punctatus*, *P. guatemalensis*, *P. oaxacae*, *P. kreiseri*, *P. mixtlanensis*, y *P. balsanus*) mientras que el Género *Tlaloc* quedo conformado por cuatro especies (*T. labialis*, *T. candalarius*, *T. portillorum* y *T. hildebrandi*). Recientemente Matamoros *et al.* (2018), contribuyen con otra nueva especie del Género *Profundulus*: (*P. parentiae*); incluyendo un total de once especies para la familia.

No obstante, desde el trabajo de Miller (1955) no se ha realizado una revisión de la descripción de los poros para la familia. Sin embargo, en años posteriores se realizó otro trabajo sobre poros en familias cercanas a *Profundulidae*, como: el trabajo de Gosline (1949) en el que realiza una descripción del arreglo del patrón de poros y canales sensoriales en el Género *Fundulus*, e incluye la revisión de poros de tres especie perteneciente a la Familia *Profundulidae* (*P. oaxacae*, *P. labilis* y *P. punctatus*). Describiendo de forma muy general el tipo de canal que presentan. Describe que el canal mandibular y preopercular es continuo y únicamente se presenta de esta forma en esta familia.

En el caso de *P. oaxacae*, hace una revisión más específica, debido a que realiza una descripción del tipo de canal, el cual es discontinuo, así como también menciona que se contabilizaron siete poros para la región preopercular, cinco poros para la región mandibular y cuatro poros para la región preorbital.

### **3.2 Estudios sobre poros sensoriales en otros grupos**

De igual forma el canal de poros sensoriales si ha sido poco más estudiado dentro de otros grupos de peces como en los Godeidos, Galaxidos, Fundulidos y Esocoides. Así mismo se han encontrado otra serie de trabajos que “avalan” esta herramienta (caracterización del patrón de poros) para la separación o diagnóstico de alguna especie.

Nelson (1972) realiza un estudio sobre el canal cefálico sensorial en los peces esocoides que comparten ciertas particularidades con las de los peces galaxiidos ya que tanto en Esocidae como en Umbridae, las tendencias filéticas implican la reducción de canales sensoriales cefálico y la relación entre esocoides y galaxiides no está respaldado, pero una relación entre clupeomorfos y elopomorfos está respaldada por la estructura del sistema de canales cefálicos.

Otro estudio enfocado en la caracterización de poros sensoriales cefálicos es el que presentan Fitzimons (1981) el cual fue realizado en Godeidos, En dicho trabajo realiza la descripción de dicho patrón, así como también divide el patrón de poros en dos tipos; continuo y discontinuo (I y II respectivamente), en 3 géneros que conforman a la familia. Encontrando que el patrón predominante el II (discontinuo). Corroborando una vez más la importancia de este carácter como herramienta para la determinación de especies.

Recientemente se han realizado otros trabajos sobre poros sensoriales en diversos grupos: Di Dario y De Pinna (2006) enfocaron su trabajo en organismos de la especie *Denticeps clupeioides* (arenques) con la finalidad de comprender las relaciones filogenéticas de este orden, ya que el canal sensorial se puede

presentar. Mientras que Ghedotti y Davis (2013) también toman en cuenta la disposición de dichos poros para la elaboración de una base de datos para la filogenia y determinación de la familia Fundulidae también perteneciente al Orden Cyprinodontiformes, tomando en cuenta también la descripción de dicho patrón en algunos ejemplares (*Tlaloc labialis*, *Profundulus punctatus* y *Profundulus guatemalensis*) de la Familia Profundulidae.

Finalmente, Sáez y Pequeño (2014) realizan una descripción de canal de poros sensoriales cefálicos en peces galaxidos de Chile, con el principal objetivo de encontrar diferencias importantes dentro de las especies, obteniendo resultados favorables, ya que se encontró que *Brachygalaxias* difiere de *Galaxias*, en ausencia de poros mandibulares y en la reducción del número de poros en la serie preopercular. De igual manera las variaciones más importantes se registraron en *Galaxias globiceps* y *G. platei*. Las especies anteriores difirieron de las otras especies en ausencia de un poro en la serie preopercular, mientras que en *G. platei* el poro supraorbital situado detrás del ojo fue el principal rasgo distintivo observado. Estos resultados indican una vez más que el patrón de poros puede resultar en un carácter taxonómico útil para la determinación de las especies.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1. General:

Caracterizar el patrón de poros en los peces de la Familia Profundulidae (*T. portillorum*, *T. candalarius*, *T. labialis*, *T. hildebrandi*, *P. kreiseri*, *P. guatemalensis*, *P. oaxacae*, *P. mixtlanensis*, *P. balsanus*, *P. punctatus* y *P. parentiae*).

### 4.2. Específicos:

- Describir el arreglo de los poros en las especies de los Géneros *Tlaloc* y *Profundulus*.
- Cuantificar el número de poros en las especies de la Familia Profundulidae.
- Determinar las diferencias del patrón de poros en las especies de los géneros *Tlaloc* y *Profundulus* y si es útil para la taxonomía de las especies de la Familia Profundulidae.

## V. MÉTODO

### 5.1. Área de estudio.

Para la realización del siguiente trabajo se revisaron todas las especies registradas para la |, que se encuentran en la colección ictiológica del Museo de Zoología José Álvarez del Villar del Instituto de Ciencias Biológicas de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Los cuales fueron recolectados en diferentes localidades del sur de México y Centroamérica. Los organismos fueron recolectados en los cuerpos de agua dulce a lo largo las vertientes del océano Atlántico y del Pacífico, que van desde el sur de México, Guatemala y Honduras (Figura 3). Los miembros del Género *Profundulus* se encuentran principalmente en ríos y arroyos que desembocan en la vertiente del Pacífico centroamericano, desde el río Papagayo en la Costa Chica en el estado mexicano de Guerrero, hasta el río Choluteca Lempa en Honduras y El Salvador (Matamoros *et al.*, 2018) con algunas poblaciones de *P. kreiseri* que se encuentran en el Atlántico de Honduras y Guatemala (Matamoros *et al.*, 2012). Mientras que los miembros del Género *Tlaloc* se limitan principalmente a la vertiente atlántica de América Central desde la cuenca Río Grijalva-Usumacinta en México y Guatemala hasta el río Ulúa en Honduras (Matamoros *et al.*, 2018), excepto por unas poblaciones de *T. portillorum* en los ríos Choluteca y Nacaome de la vertiente del Pacífico de Honduras

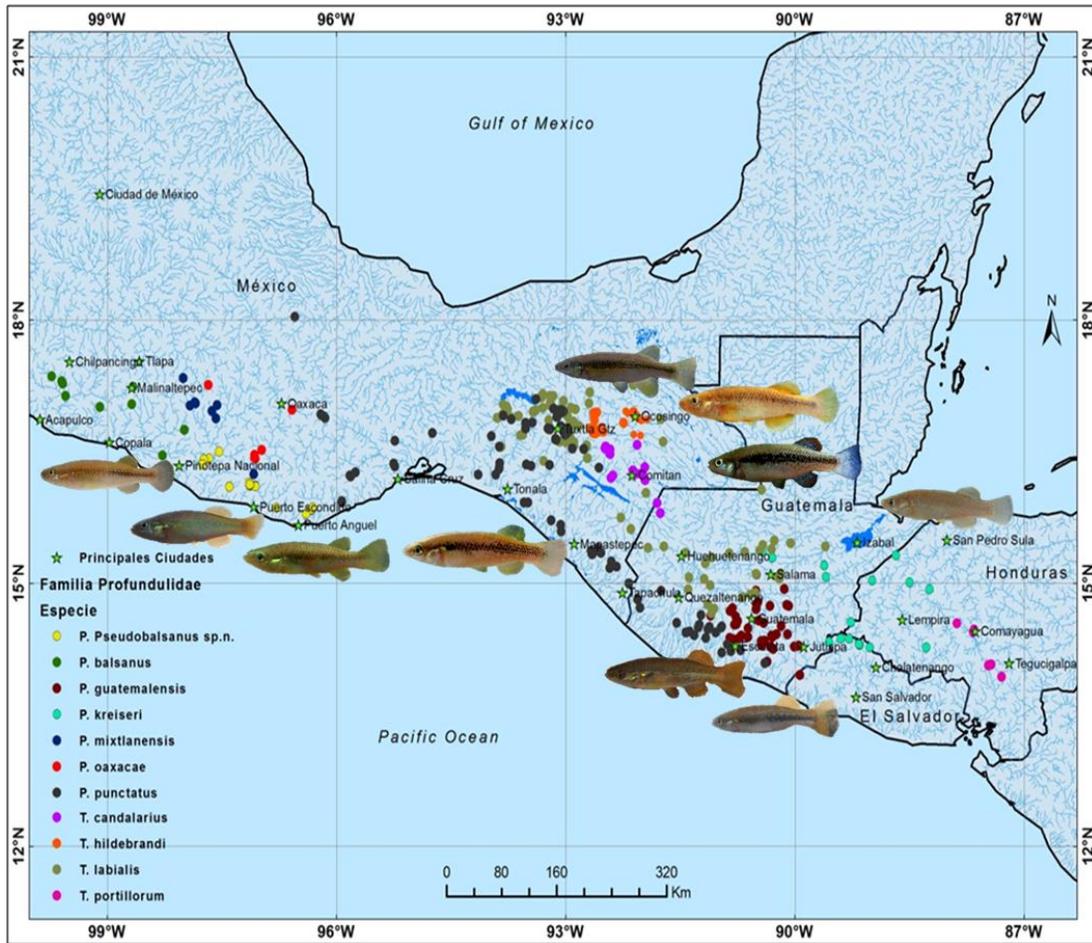


Figura 3. Distribución de las especies de peces de la Familia Profundulidae

## 5.2. Selección del material biológico.

Se observaron 60 ejemplares por especie aproximadamente, distribuidos en un total de 40 lotes catalogados de la colección ictiológica del Museo de Zoología.

Se escogieron los ejemplares de la colección y posteriormente se separaron en diferentes frascos con sus respectivas etiquetas, con datos como: número del catálogo original, el nombre de la especie, la fecha de la colecta, el lugar de donde fueron obtenidos, así como también el nombre del colector.

Únicamente se observaron ejemplares de las diferentes localidades registradas, que se encontraban en buenas condiciones, esto implica que los

organismos se encontraban completos y que no presenten daños en el tegumento, principalmente de la región cefálica.

### **5.3. Captura de datos de los ejemplares.**

Una vez seleccionados los individuos, se tomaron datos como el sexo del ejemplar, longitud patrón de cada individuo, la longitud del poro 2b (Figura 4A) de la región supraorbital. Para la toma de medidas de la longitud patrón se utilizó un vernier electrónico, mientras que para la toma de la medida de la narina y el poro 2b se utilizó la reglilla milimétrica integrada al microscopio estereoscópico.

Los ejemplares se observaron con ayuda de un microscopio estereoscópico para identificar las especies con base en claves taxonómicas y las descripciones originales de las especies.

### **5.4. Análisis morfológico.**

Para el análisis morfológico de los poros cefálicos, se revisaron bajo el microscopio estereoscópico las cuatro regiones cefálicas para los poros: supraorbital, preorbital, mandibular (superiores e inferiores) y preopercular. Una vez identificada cada zona se contabilizó el número de poros que conforman a cada región, así como también se identificó el arreglo presentado en cada ejemplar con ayuda de los diagramas realizados por Miller (1955), (Figura 4). Omitiendo el arreglo de la región supraorbital para el conteo de poros de dicha zona.

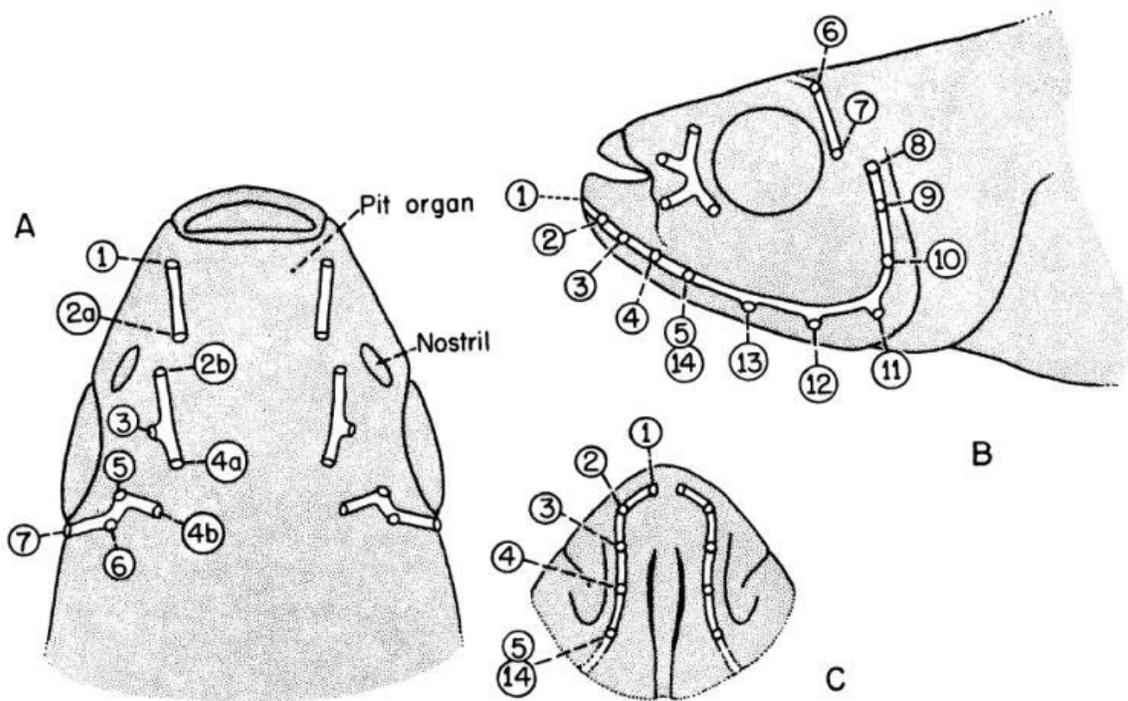


Figura 4. Diagrama del patrón de poros sensoriales obtenido de Miller (1955).

### 5.5. Captura y edición de fotografías.

Posteriormente se tomaron fotografías de los arreglos de poros para cada región cefálica, utilizando el lado izquierdo de cada ejemplar con ayuda de una cámara fotográfica Sony Alpha. Una vez obtenidas, estas fueron sometidas a procesos de edición mediante programas especializados (Photoshop), para generar una mejor calidad en las imágenes obtenidas. De igual forma se realizaron diagramas del arreglo de poros utilizando el programa Autocad 2016.

### 5.6. Análisis estadístico.

Una vez revisadas todas las especies se procedió a realizar un cuadro comparativo sobre la merística del arreglo de los poros de cada una de las especies utilizadas, de igual manera se realizó una comparación en el arreglo de los poros entre los dos géneros.

Se obtuvo la media del número de poros para cada región cefálica de todas las especies. Posteriormente con la media obtenida se realizaron gráficas de caja o bigotes, con el programa Statistica, con la finalidad de hacer una comparación de dichas medias, de todas las especies, tomando por separado cada región cefálica; con el objetivo de evidenciar si existen diferencias significativas en cuanto al número de poros sensoriales para cada especie con base en cada región cefálica.

## VI. RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron a partir del análisis de 573 ejemplares de la Familia Profundulidae. Los cuales presentaron una talla mínima de 15 mm y una máxima de 101 mm de longitud estándar. Las estadísticas de resumen de las mediciones morfométricas realizadas en 230 especímenes de *Tlaloc* y 343 especímenes de Género *Profundulus*, se muestran en el cuadro 1.

### 6.1 Descripción del arreglo de poros sensoriales cefálicos

El patrón de poros sensoriales cefálicos en la familia Profundulidae, es similar al patrón general de los cyprinodontiformes (Figura 5). El cual se caracteriza por la presencia de cuatro regiones de poros sensoriales cefálicos: supraorbital, preorbital, preopercular y mandibular, esta última se divide en mandibular inferior y superior para las especies que conforman a la familia.

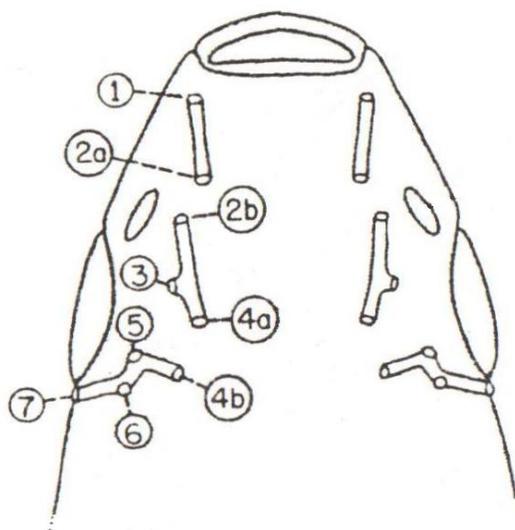


Figura 5. Representación esquemática de los poros de la cabeza sensorial y del canal supraorbital en peces Cyprinodontiformes. Basado en bocetos semidiagramáticos de Miller (1955).

Cuadro 1. Frecuencia del número de poros sensoriales cefálicos por región para cada especie. N= número total de ejemplares.

ESPECIE	N	POROS																						
		SUPRAORBITALES					PREORBITALES				PREOPERCULARES					MANDIBULARES								
		5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	4	5	6	7	8	INFERIOR			SUPERIOR				
<i>T. labialis</i>	60	0	1	2	21	36	0	0	1	59	0	0	0	6	54	0	0	1	59	1	0	22	0	37
<i>T. hildebrandi</i>	60	0	0	1	15	39	5	0	0	57	3	0	1	10	48	1	0	7	53	0	0	3	14	43
<i>T. portillorum</i>	50	0	0	3	11	35	1	0	0	50	0	0	0	1	47	2	0	1	49	30	0	16	0	4
<i>T. candalarius</i>	60	0	0	0	6	53	1	0	1	59	0	0	0	2	58	0	1	0	59	4	0	6	1	49
<i>P. oaxacae</i>	60	0	3	2	1	53	1	0	0	60	0	0	0	2	57	1	0	0	60	60	0	0	0	0
<i>P. mixtlanensis</i>	60	0	0	1	4	54	1	0	0	60	0	0	0	3	57	0	0	0	60	52	0	6	0	2
<i>P. punctatus</i>	60	0	0	2	3	54	1	1	4	54	1	0	0	1	59	0	0	0	60	55	0	3	0	2
<i>P. balsanus</i>	30	0	0	7	6	16	1	0	0	30	0	1	0	7	22	0	0	0	30	30	0	0	0	0
<i>P. guatemalensis</i>	40	0	0	0	4	35	1	0	0	21	19	0	0	3	35	2	0	0	40	21	0	6	1	12
<i>P. kreiseri</i>	60	0	0	0	1	58	1	0	0	60	0	0	0	0	59	1	0	3	57	58	1	1	0	0
<i>P. parentiae</i>	33	1	1	0	4	27	0	0	1	32	0	0	0	5	27	1	0	0	33	24	0	9	0	0

En las especies de la Familia Profundulidae la región supraorbital se caracteriza por presentar el arreglo de los poros en: 1, 2a, 2b, 3, 4a, 4b 5, 6 y 7. En este arreglo se presentan dos interrupciones, en el segundo y tercer poro (2a y 2b) y entre el cuarto y quinto poro (4a y 4b) (Figura 6). Los poros se encuentran distribuidos en la parte superior de cabeza, iniciando en el margen anterior del hueso nasal. Generalmente el último poro cefálico supraorbital se encuentra cercano al ojo y *específicamente P. guatemalensis* y *P. kreiseri* y *T. hildebrandi* pueden presentar hasta dos poros cercanos al ojo (Figura 7).



Figura 6. Poros sensoriales de la región supraorbital pertenecientes a *T. hildebrandi*.



Figura 7. Poros de la región supraorbital cercanos al ojo pertenecientes a *P. guatemalensis*.

En la región preorbital los poros se encuentran distribuidos en el hueso lacrimal. Se identificaron tres tipos de patrones de arreglos de los poros para esta zona: en forma de K invertida, de “C” y en forma de “L”. La primera (K) se caracteriza por presentar el primer poro superior cercano a la narina. El segundo poro inferior se encuentra cercano al ojo. Anteriormente se encuentran dos poros cercanos a la boca y ligeramente desalineados entre sí, generalmente el poro superior es más cercano a la boca que el inferior (Figura 8).

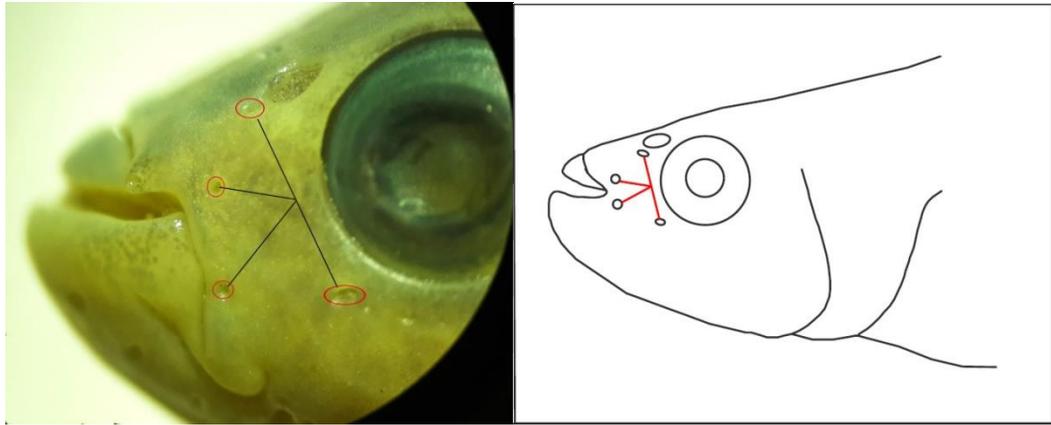


Figura 8. Patrón de poros preorbitales en forma de "K". Se puede observar el poro superior próximo a la narina, lo que le confiere esta forma (*T. candalarius*).

El arreglo tipo "C", se caracteriza por presentar el primer poro superior alejado de la narina. El segundo poro inferior se encuentra cercano al ojo. Anteriormente se encuentran dos poros cercanos a la boca, alineados entre sí (Figura 9).

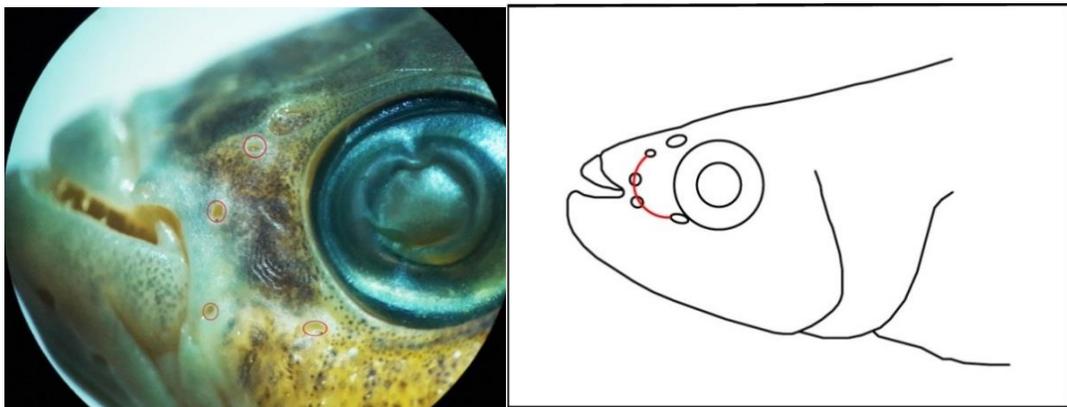


Figura 9. Patrón de poros preorbitales en forma de "C". Característicos por presentar a todos los poros que conforman esta región próximos unos con otros. El poro superior se encuentra más cercano a los otros tres (*Profundulus kreiseri*).

El arreglo en forma de “L” se caracteriza por presentar el primer poro superior cercano a la narina. El segundo poro inferior cercano al ojo, y anteriormente se encuentran dos poros cercanos a la boca desalineados entre sí. Generalmente el poro superior se encuentra más cercano al primer poro superior, quedando alineado en diagonal entre el poro inferior cercano a la boca y el poro superior cercano a la narina (Figura 10).

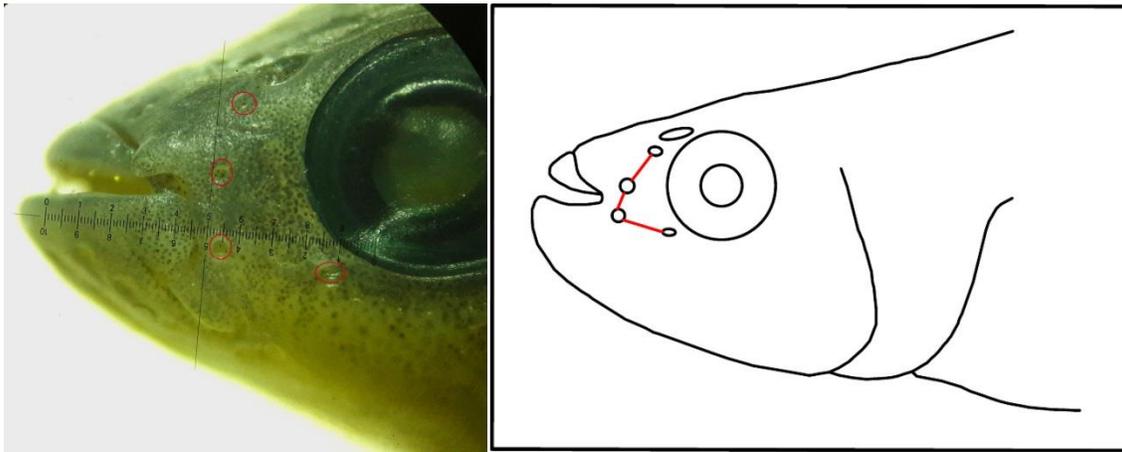


Figura 10. Patrón de poros preorbitales en forma de "L", esto es debido a que tres de los cuatro poros se encuentran casi alineados como se puede observar con ayuda de la reglilla milimétrica del microscopio (*T. portillorum*).

Los poros preoperculares inician desde el hueso preopercular. Se encuentran alineados de forma vertical en el borde posterior del preopérculo, y se extienden anteriormente en la parte inferior del cráneo. Cabe mencionar que el último poro de esta región se puede encontrar alejado, cercano o conectado al primer poro de la región mandibular inferior (Figura 11).

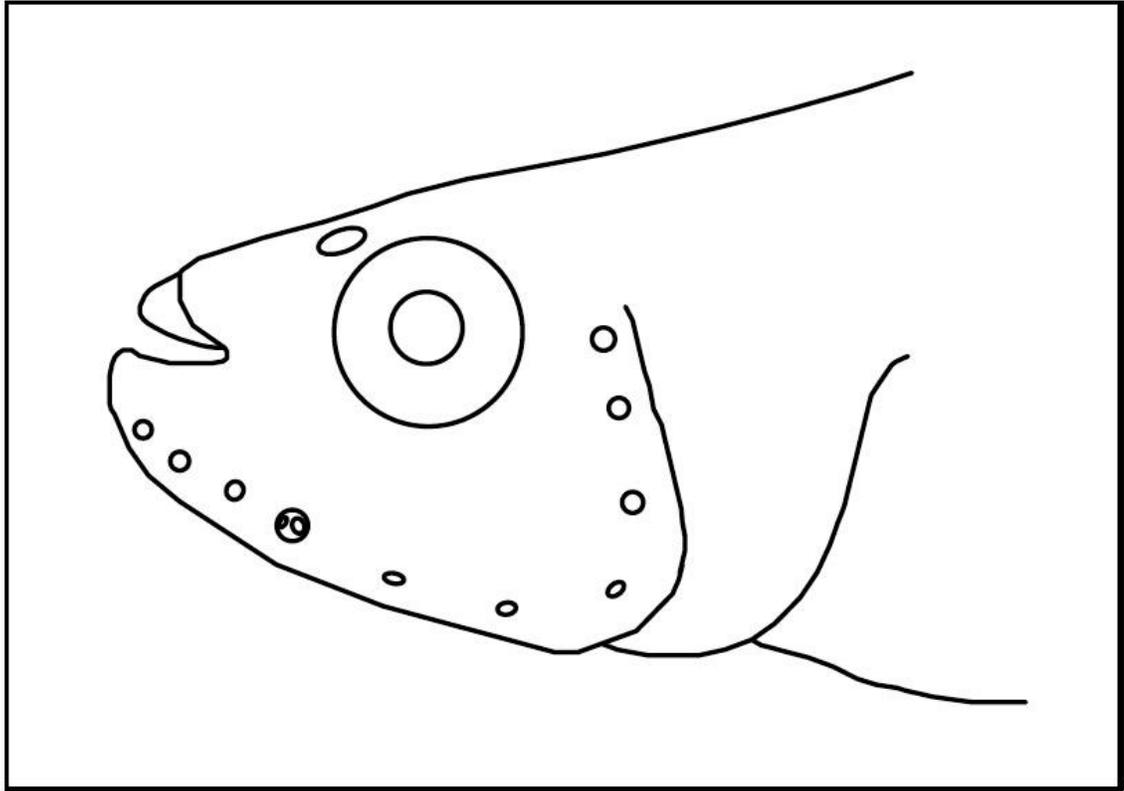


Figura 11. Conexión de poros preoperculares-mandibulares observados en todas las especies de la familia.

Los poros mandibulares inferiores, se encuentran situados en el hueso mandibular. Estos inician justo debajo de la boca y terminan a la mitad de esta, es decir que se pueden observar cinco poros de cada lado de la región mandibular inferior (Figura 12).

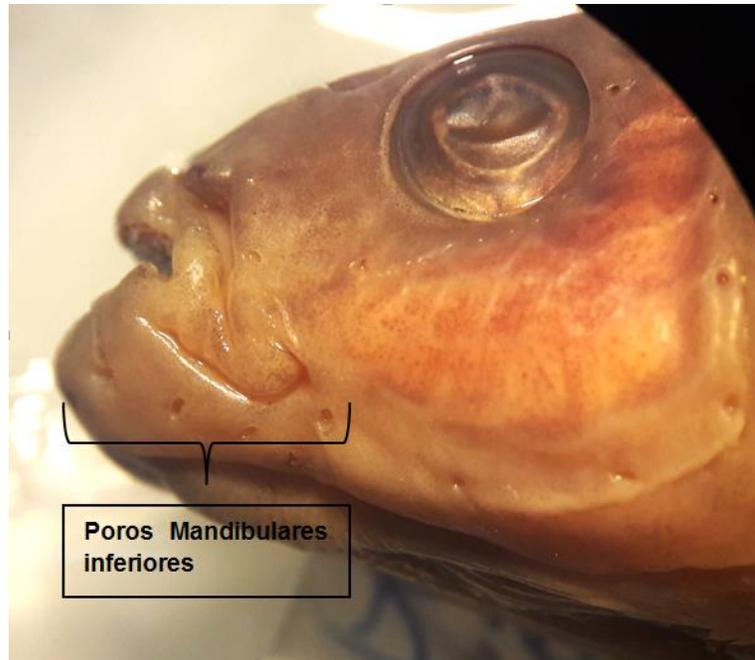


Figura 12. Poros mandibulares inferiores pertenecientes a *T. hildebrandi*.

Los poros mandibulares superiores se encuentran en una línea por encima del labio entre los dos primeros poros de cada lado de la región supraorbital (Figura 13) o bien pueden estar ausentes en algunos individuos de ciertas especies (*P. punctatus* y *P. oaxacae*).

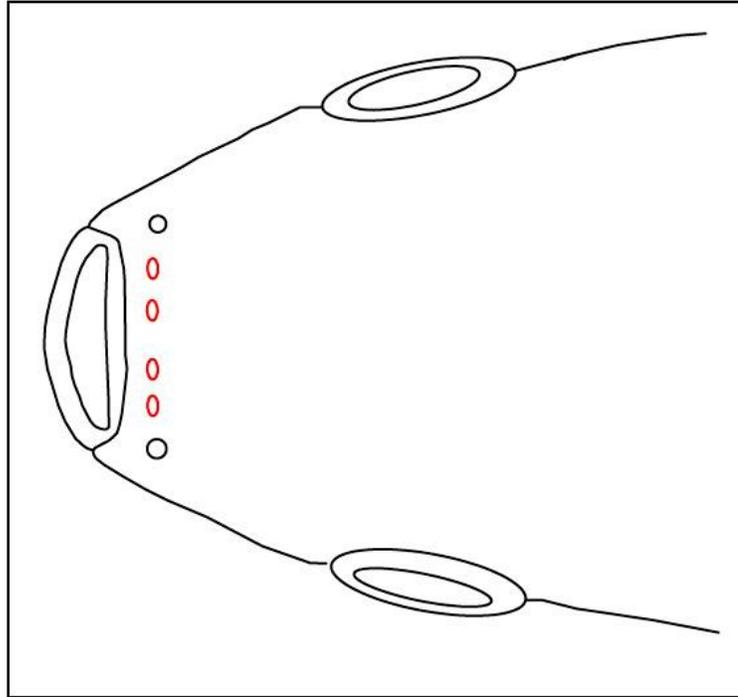


Figura 13. Poros mandibulares superiores (rojo) ubicados entre los dos primeros poros supraorbitales.

## 6.2 Variación de los poros cefálicos

El sistema de canales supraorbitales de *Profundulus* presenta entre siete y once poros discontinuos en el canal que los conecta (Cuadro 1). El patrón del sistema del canal supraorbital es 1-4a, se rompe entre 2a y 2b y se separa del canal postorbital entre 4a y 4b en todas las especies examinadas (Figura 1).

El sistema de canales supraorbitales presenta de siete a nueve poros sensoriales discontinuos, en todas las especies de la Familia Profundulidae y raramente algunas especies pueden tener cinco, seis y/o 10 poros sensoriales (ej. *T. labialis*, *P. oaxacae* y *P. parentiae*) (Cuadro1). *P. balsanus* es la especie que presenta el promedio más bajo (8.3 poros DS:) de poros de la zona supraorbital, mientras que *P. kreiseri* el valor más alto (9.0 poros: DS:) (Figura 14).

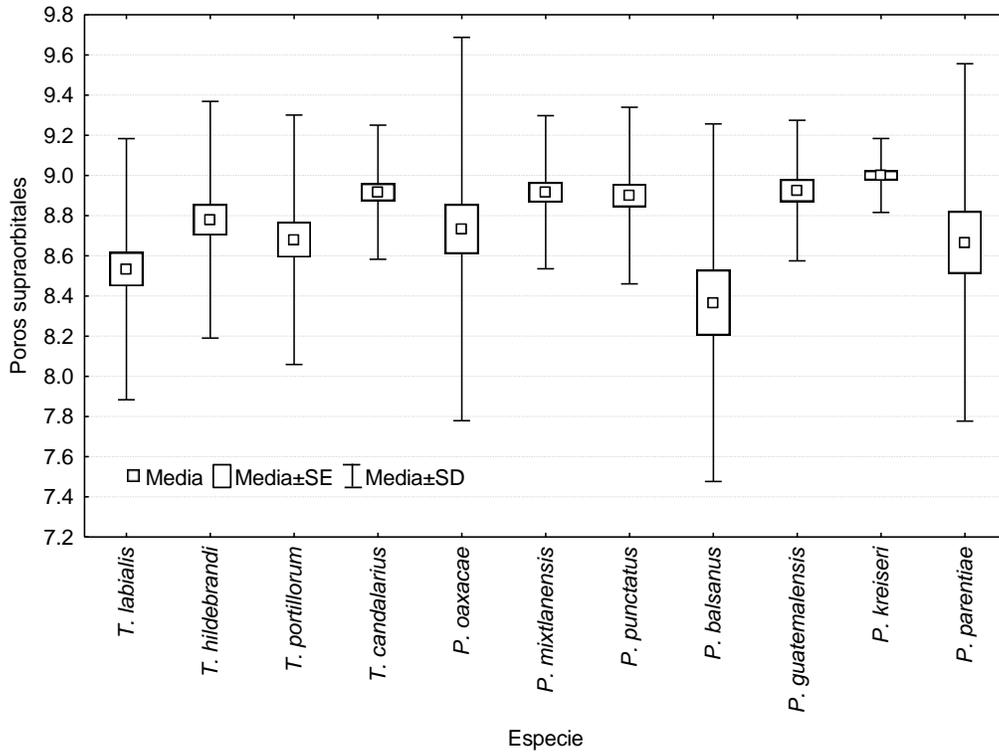


Figura 14. Valores medios del número de poros sensoriales supraorbitales de las especies del Género *Taloc* y *Profundulus* (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar).

En la región preorbital generalmente presentan modalmente cuatro poros sensoriales, con excepción de *P. guatemalensis* que presenta cuatro y cinco poros (21 y 19 ejemplares analizados respectivamente) y raramente de dos a tres poros sensoriales (Cuadro1). El valor promedio en el número de poros preorbitales fue invariablemente cuatro en todas las especies, exceptuando a *P. guatemalensis* que presenta un promedio un poco más alto (4.5 poros DS:) (Figura 15).

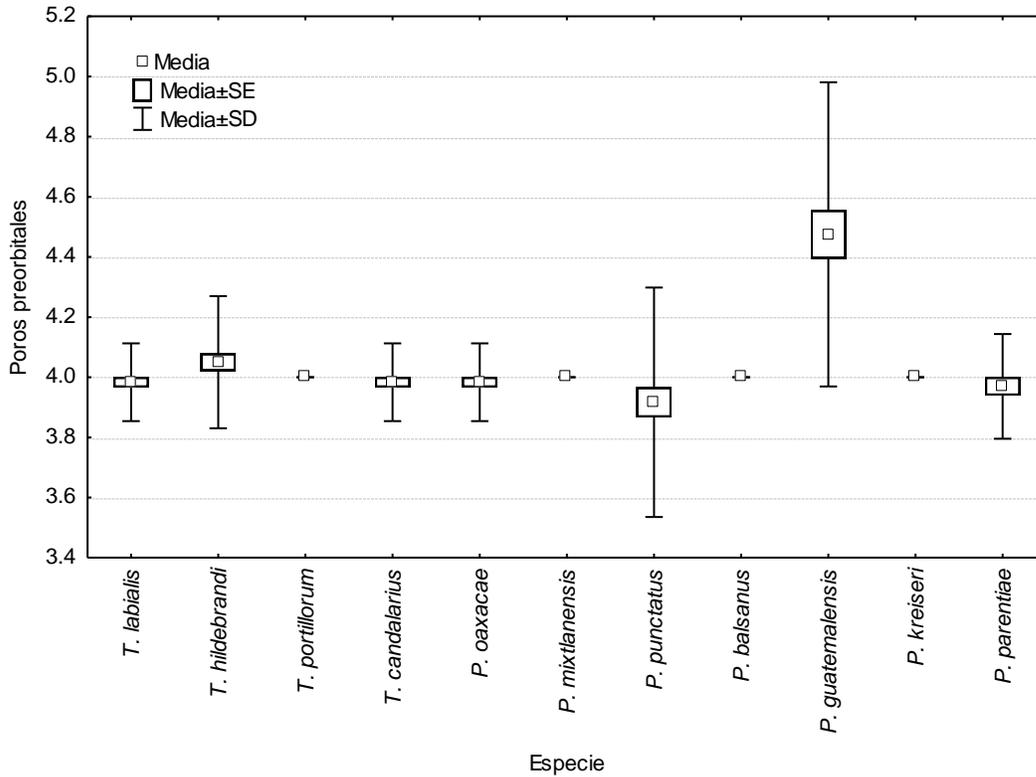


Figura 15. Comparación de medias de la cantidad de poros de la región preorbital de las 11 especies que conforman a la Familia Profundulidae (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar).

En la región preopercular presentan de cuatro a ocho poros sensoriales, aunque el valor modal es de siete poros, en todas las especies; sin embargo, algunas especies (*T. labialis*, *T. hildebrandi*, *P. balsanus* y *P. parentiae*), presentan frecuentemente seis y modalmente siete poros.

En la región mandibular inferior, generalmente se encuentran cinco poros en todas las especies examinadas, y raramente de tres a cuatro poros sensoriales (figura 16). En la región mandibular superior se pueden encontrar de dos a cuatro poros en la mayoría de las especies a excepción de *P. oaxacae* y *P. balsanus*, que

carecen de poros mandibulares superiores (Cuadro 1). El promedio en el número de poros mandibulares fue mayor a tres poros (DS:) en tres de las especies del Género *Tlaloc* (*T. labialis*, *T. hildebrandi* y *T. Candalarius*); mientras que en todas las especies del Género *Profundulus* presentaron uno o carecerían de estos poros (Figura 17).

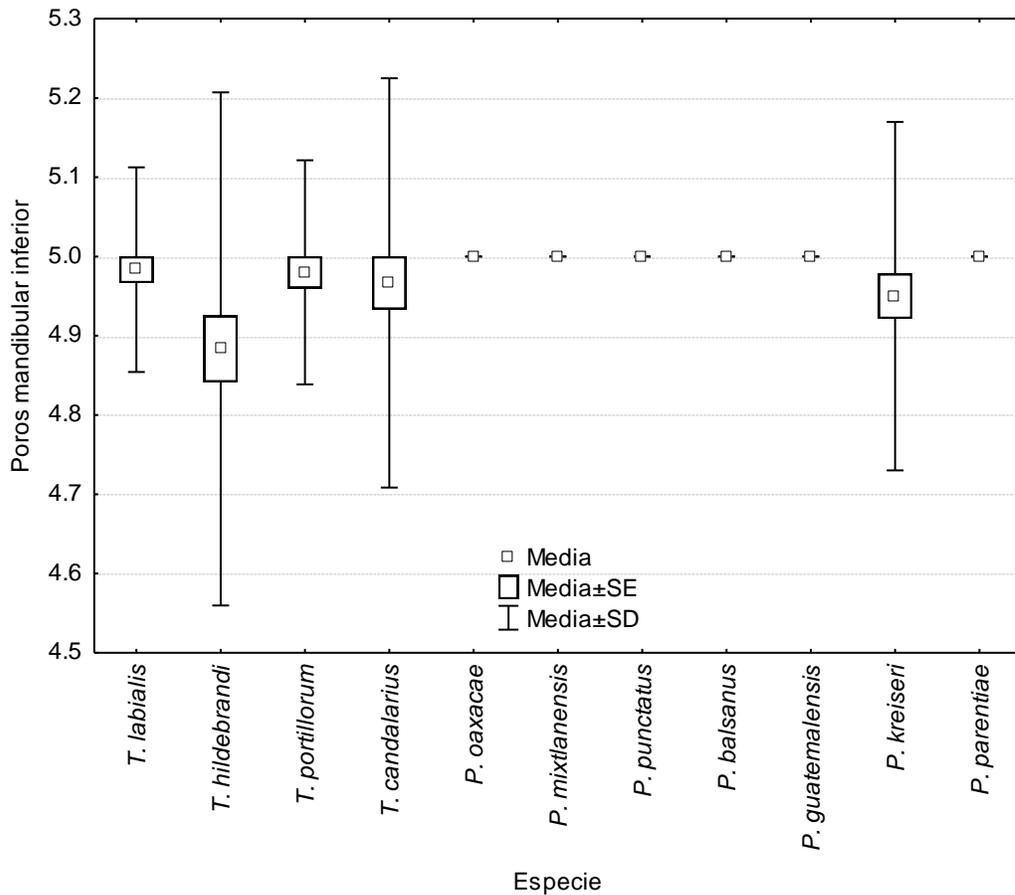


Figura 16. Valores medios de la cantidad de poros de la zona mandibular inferior de las 11 especies que conforman a la Familia Profundulidae (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar).

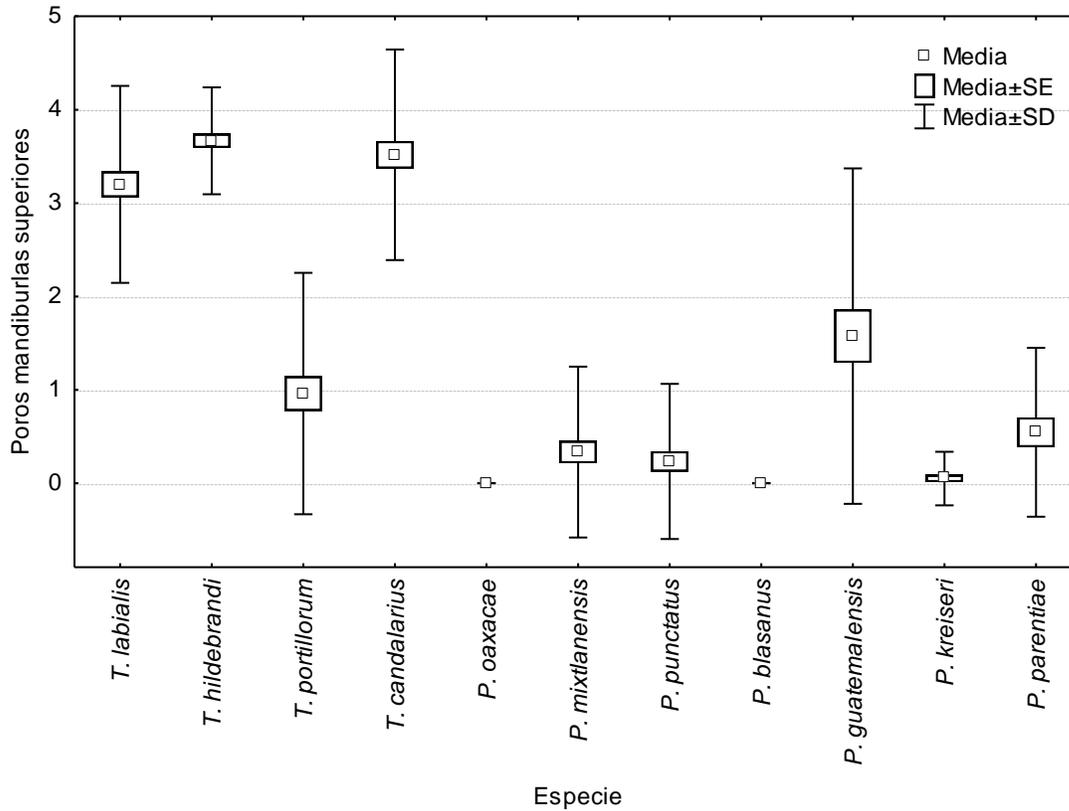


Figura 17. Comparación de medias de la cantidad de poros de la zona mandibular superior de las 11 especies que conforman a la Familia Profundulidae (la caja representa el error estándar y los bigotes, la desviación estándar).

De acuerdo al arreglo de los poros sensoriales en la región preorbital se evidencia que, en la mayoría de las especies, principalmente predominan las formas “K,” y “C”, rara vez, la forma “L”; aunque *T. hildebrandi* no presenta la forma “L”, así como *P. guatemalensis* no presenta la forma “C”. Sin embargo, *P. punctatus* a diferencia de las demás especies presenta, mayormente la forma “K”. *T. candalarius* presentó un mayor número de ejemplares con la forma “L” en contraste con las demás especies. Finalmente *T. labialis* presentó un mayor número de ejemplares con el arreglo “C” en relación a las demás especies de la familia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Frecuencia de organismos por especie que presentan los diferentes arreglos de poros sensoriales cefálicos de la región preorbital. N= número total de ejemplares y LP= longitud estándar promedio en mm.

ESPECIE	N	LP	ARREGLO		
			K	L	C
<i>T. labialis</i>	60	46.1	38	1	21
<i>T. hildebrandi</i>	60	61.0	<b>47</b>	<b>0</b>	<b>13</b>
<i>T. portillorum</i>	50	49.6	30	4	16
<i>T. candalarius</i>	60	39.5	46	11	3
<i>P. oaxacae</i>	60	37.3	45	1	14
<i>P. mixtlanensis</i>	60	41.5	48	4	8
<i>P. punctatus</i>	60	50.5	50	4	6
<i>P. balsanus</i>	30	38.0	22	2	6
<i>P. guatemalensis</i>	40	41.7	<b>39</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<i>P. kreiseri</i>	60	39.7	48	3	9
<i>P. parentiae</i>	33	43.0	24	1	8

## VII. DISCUSIÓN

Durante las últimas décadas, la Familia Profundulidae ha estado sujeta a diversos cambios taxonómicos. Estos cambios taxonómicos se han generado en parte debido a las dificultades en la delimitación de especies, lo cual se atribuye a la falta de diferenciación morfológica entre algunas especies dentro de la familia; algunos autores sugieren que lo anterior puede ser atribuido a la especiación críptica que ocurre dentro de las especies particularmente del Género *Profundulus* (Morcillo *et al.*, 2015). Miller (1955) sugirió que ambos géneros se diversificaron en alopatria, donde las especies de *Profundulus* se distribuían, en la mayoría de los casos, en la vertiente del Pacífico, mientras que las especies de *Tlaloc* se distribuían en la vertiente atlántica. La compleja historia geológica de América Central, principalmente en el Istmo de Tehuantepec ha generado dificultad para establecer límites de especies en Profundulidae, principalmente en el género *Profundulus*.

Nuestros resultados sobre la descripción de los poros en el canal sensorial de la cabeza en la Familia Profundulidae, permiten caracterizar y describir el patrón de poros sensoriales para la familia. Presentando variaciones para algunas regiones en cuanto a los dos géneros que conforman a la familia

Gosline (1949) describe los poros sensoriales cefálicos, de tres especies de *Profundulus* (*P. labialis*, *P. punctatus* y *P. oaxacae*), haciendo un mayor énfasis en *P. oaxacae*. Actualmente los estudios de sistemática y distribución validan a *P. balsanus* por lo cual se considera que los organismos de *P. oaxacae* utilizados en el trabajo de Gosline (1949) son pertenecientes a *P. balsanus*, debido a la región de donde fueron colectados (Jamangapé *et al.*, 2016). Por su parte, Miller (1955) estudia los poros sensoriales cefálicos de cinco especies válidas, en ese entonces de un solo Género *Profundulus* (*P. punctatus*, *P. guatemalensis*, *P. labialis*, *P. candalaria* y *P. hildebrandi*). Este trabajo coincide con ambos autores en que los canales sensoriales y los poros cefálicos de la Familia Profundulidae son

uniformes en cuanto al patrón entre las once especies validas actualmente aquí estudiadas.

Este estudio coincide con Gosline (1949) y Miller (1955) en que los poros sensoriales cefálicos se dividen en cuatro regiones: supraorbital, preorbital, preopercular y mandibular inferior. Sin embargo se adicionan los poros sensoriales cefálicos de la mandíbula superior. Específicamente para la región supraorbital, y concuerda con ambos autores en la localización y el patrón de 7 poros sensoriales (1, 2a, 2b, 3, 4a, 4b, 5, 6 y 7). Con las mismas discontinuidades de las conexiones que presenta el canal (2a, 2b, 4a y 4b). Esto difiere de lo que reporta Fitzsimons (1981) para los Godeidos, familia hermana de Profundulidae dado que encuentra tres patrones diferentes en la región supraorbital.

En la región preorbital se presentaron algunas variaciones que por primera vez se describen en este trabajo; se describen tres patrones de arreglos de los poros: en forma de “K” invertida, en forma de “C” y en forma de “L”. El arreglo predominante para las once especies fue el de tipo “K”, seguido por el tipo “C” y raras veces se presentó el arreglo “L”. Específicamente en *T. hildebrandi* no presentó el arreglo tipo “L” y *P. guatemalensis* no presentó el arreglo tipo “C”.

Miller (1955) y Gosline (1949) señalan una conexión de los poros sensoriales entre las series preopercular y mandibular, excepto en *T. candalarius*, en la cual estos dos canales están típicamente separados. Estos canales se unen en *T. hildebrandi* y se pueden encontrar conectados tanto en *P. punctatus* como en *P. guatemalensis*, sin embargo la conexión se desarrolla de manera más variable en *T. labialis*. Nuestros resultados discrepan en lo que mencionan ambos autores, debido a que la conexión de la serie preopercular mandibular se encontró en *T. candalarius* y de forma variable en las once especies estudiadas.

Gosline (1949) y Miller (1955) reportaron un total de 9 poros supraorbitales, 4 preorbitales, 7 preoperculares, y 5 mandibulares inferiores. En este estudio se coincide con los autores y se presenta el rango principal de variación de poros sensoriales en las once especies de la familia: supraorbitales de 7 a 9, preorbitales

de 4 a 5, preoperculares de 6 a 7, mandibulares inferiores 5. En este estudio se reportan por primera vez los poros sensoriales mandibulares superiores, con un rango de 2 a 4 poros principalmente en el Género *Tlaloc*. La mayoría de las especies del Género *Profundulus* presentan un menor número de poros (2 poros), excepto *P. balsanus* y *P. oaxacae*, que no presentaron poros en esta región. Esto es similar al de los Godeidos (Fitzsimons, 1989), que presentan 9-10 supraorbitales, 0-8 preoperculares 3-4 poros mandibulares, y 0-2 preorbitales.

Aunque se obtuvieron variaciones en cuanto al número de poros sensoriales presentes en las diferentes regiones, no se encontraron diferencias significativas entre las especies. Como es el caso de la región supraorbital. Sin embargo en otras regiones (preorbital, mandibular inferior y superior) se puede observar la separación de alguna especie con sus congéneres. El análisis de la región preorbital señala que este es un carácter generalmente uniforme para casi todas las especies (4 poros), excepto en *P. punctatus* y *P. guatemalensis*, las cuales presentaron una variación mayor en el rango de poros sensoriales (5 poros). Algo similar sucede con los poros mandibulares inferiores debido a que estos se presentan en rangos variables (4-5 poros) para las especies del Género *Tlaloc*. Mientras que en *Profundulus* se mantiene de forma uniforme (5 poros), excepto en *P. kreiseri*, en donde se presenta variación (de 4 a 5 poros). En la región mandibular superior es evidente la variabilidad de poros que presentan *T. portillorum* y *P. guatemalensis*, ambas especies pertenecientes a Centroamérica en contraste con las especies pertenecientes a México, que presentaron una menor variación.

La presencia de canales sensoriales bien desarrollados en la cabeza de los peces representa la condición primitiva dentro de los Cyprinodontiformes (Fitzsimons, 1981). En el caso típico, los canales en la cabeza o el cuerpo están conectados con el medio ambiente por medio de tubos de conexión cortos, lo que lleva a poros en la superficie del cuerpo, estos presentan un rol importante en el comportamiento de alimentación, defensivo, reproductivo y de migración en los peces, lo que les permite orientarse en la oscuridad. Lo que podría indicar que una

disminución en cuanto a la cantidad de poros sensoriales podría ser perjudicial para la sobrevivencia del organismo, sin embargo, no se ha probado cual es el impacto de poseer una menor o mayor cantidad de poros sensoriales (Kasumyan, 2003).

De acuerdo a Bleckmann y Zelick (2009) el sistema de canales de la línea lateral también puede variar significativamente en diferentes especies de peces, incluso si las especies están estrechamente relacionadas. La variabilidad incluye el número, la ubicación y el patrón de ramificación de los canales, la compartimentación y el ancho del canal, así como el número, el tamaño y la ubicación de los poros del canal. Sin embargo, para esta familia el número de poros sensoriales cefálicos la variación se mantuvo constante para la mayoría de las especies de la familia.

## VIII. CONCLUSIONES

La descripción de poros sensoriales para la Familia Profundulidae concuerda con lo descrito desde por Miller (1955) al presentar poros sensoriales interrumpidos en la región supraorbital. En este estudio se encontraron variaciones en cuanto al número de poros y al arreglo en la región preorbital.

La Familia Profundulidae se caracteriza por presentar cuatro regiones de poros sensoriales cefálicos: supraorbital, preorbital, preopercular y mandibular inferior y superior. Presentan en la región supraorbital de 7 a 9 poros sensoriales, raramente de 5, 6 y/o 10. En la región preorbital se observan 4 y/o 5 poros sensoriales, raramente 2 a 3. En la región preopercular 6 a 7 poros sensoriales, raramente 4, 5 y/o 8. En contraste con lo descrito para los Godeidos, ya que estos presentan de 9 a 10 poros sensoriales en la región supraorbital.

La región mandibular inferior 5 poros, raramente 3 a 4 poros sensoriales. En la región mandibular superior 2 a 4 poros, raramente 1 poro sensorial.

Exclusivamente *P. guatemalensis* llega a presentar hasta 5 poros en la región preorbital.

En la región preorbital se describieron 3 arreglos: en forma de “K” invertida, “C” y “L”. Predominando el arreglo “K” invertida en todas las especies. Rara vez, la forma “L” y “C”. *Tlaloc hildebrandi* no presenta la forma “L”, y *P. guatemalensis* no presenta la forma “C”

*P. kreiseri* presentó de cuatro a cinco poros mandibulares inferiores al igual que las especies del Género *Tlaloc* Mientras que las demás especies del Género *Profundulus* presentaron cinco poros mandibulares.

*T. portillorum* presentó hasta dos poros mandibulares superiores al igual que la mayoría de las especies del Género *Profundulus*. Sobresalen *P. oaxacae* y *P. balsanus* al no presentaron poros en la región mandibular superior.

## **IX. RECOMENDACIONES**

El presente trabajo está basado en la caracterización de poros sensoriales de forma externa, con la finalidad de brindar información relevante para la diferenciación de especies dentro de la familia. Es importante recalcar que hace falta completar esta información, por lo que se propone hacer la descripción de los canales sensoriales de manera interna para determinar cómo se encuentran constituidos.

De igual forma es importante profundizar en las relaciones ecológicas y funcionales de los poros sensoriales, para identificar las posibles causas que están influyendo en la variación en cuanto al número de poros por región de una misma especie.

## X. REFERENCIAS DOCUMENTALES

- Álvarez, J. y Carranza, J. 1951. Descripción de un género y especie nuevos de peces Ciprinodontidos procedentes de Chiapas (México). *Ciencia*. 11: 40-42.
- Arija, C. M. 2012. Taxonomía, sistemática y nomenclatura, herramientas esenciales en zoología y veterinaria. *Revista electrónica de veterinaria*. 7(13): 1695-7504.
- Barrientos, L. Z. 2003. Zoología General. Ed. Universidad estatal a distancia. Costa Rica.
- Beheregaray, L. B. and Cacccone, A. 2007. Cryptic biodiversity in a changing world. *Journal of Biology*,6: 1-5.
- Bleckmann, H. y Zelick, R. 2009. Lateral line system of fish. *Integrative Zoology*. 4: 13-25.
- Costa, W. 1998. Phylogeny and classification of the Cyprinodontiformes (Euteleostei: Atherinomorpha): a reappraisal. In: Malabarba L. R., Reis, R. E., Vari, R. P., Lucena, Z. M. and Lucena, C. A. (Eds). Phylogeny and Classification of neotropical fishes. EDIPUCRS. Porto Alegre, Brasil. Pp. 537–560.
- De Marco, S., Vega, L. y Bellagamba, P. 2011. La reserva natural del Puerto Mar del Plata, un oasis de vida silvestre. Universidad Fasta. Mar de Plata, Argentina.
- Di Dario, F. and De Pinna, M.C. 2006. The supratemporal system and the pattern of ramification of cephalic sensory canals in *Denticeps clupeioides* (*denticipitoidei*, *teleostei*): additional evidence for monophyly of *clupeiiformes* and *clupeioides*. *Museum of Zoology of the University of Sao Paulo*. 46 (10): 107-123.

- Fitzsimons, J. M. 1981. Sensory head pores and canals in Goodeid fishes. *Occasional Papers of the Zoology Museum*. 60: 2-10.
- García, K. 2017. Evolución de la forma del cuerpo en la Familia Profundulidae: correlación entre medio ambiente y filogenia. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Biológicas. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Ghedotti, M. J. and Davis, M. P. 2013. Phylogeny, classification and evolution of salinity tolerance of the North American Topminnows and killifishes, family Fundulidae (Teleostei: Cyprinodontiformes). *Fieldiana: Life and earth sciences*. 7: 1-65.
- González-Díaz, A. A., Díaz-Pardo, E., Soria-Barreto, M. y Martínez-Ramírez, E. 2014. Diferencias osteológicas entre los Subgéneros *Profundulus* y *Tlaloc* (Teleostei: Profundulidae). *International Journal of Morphology*. 32 (3): 1074–1078.
- Gosline, W. A. 1949. The sensory canals of the head in some Cyprinodont fishes with particular reference to the genus *Fundulus*. *Occasional Papers of the Zoology Museum*. 519: 1:24.
- Granado, C. 2002. Ecología de peces. Universidad de Sevilla, España.
- Jamangapé, O. J. A., E. Velázquez-Velázquez, E. Martínez-Ramírez, M. J. Anzueto-Calvo, E. L. Gómez, S. E. Domínguez-Cisneros, C. D. McMahan y W. A. Matamoros. 2016. Validity and Redescription of *Profundulus balsanus* Ahl, 1935 (Cyprinodontiformes: Profundulidae). *Zootaxa*. 4173 (1): 055–065.
- Kasumyan, A. O. 2003. The lateral line in fish: structure, function, and role in behavior. *Journal of Ichthyology*. 2 (43):S175-S213.
- Knowlton, N. 1993. Sibling species in the sea. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24:189-216
- Lorencio, C. G. 2002. Ecología de peces. Universidad de Sevilla. Sevilla.

- Marcos, A. 2010. Hacia una filosofía práctica de la ciencia: Especie biológica y deliberación ética. *Revista Latinoamericana de Bioética*. 2 (10): 108-123.
- Matamoros, W. A. and Schaefer, J. F. 2010. A new species of *Profundulus* (Cyprinodontiformes: Profundulidae) from the Honduran central highlands. *Journal of Fish Biology*. 76: 1498–1507.
- Matamoros, W. A., Schaefer, J. F., Hernández, C. L. and Chakrabarty, P. 2012. *Profundulus* Kreiseri, a new species of Profundulidae (Teleostei, Cyprinodontiformes) from northwestern Honduras. *Zookeys*. 227: 49-62.
- Matamoros, W. A., Domínguez-Cisneros, S. E., Velázquez-Velazquez, E. and McMahan, C. D. 2018. Description of a new species of Killifish of the genus *profundulus* (Atherinomorpha: Profundulidae) from the Mexican state of Oaxaca. *Coeia*. 2(106): 239-246.
- Miller, R. R. 1955. A systematic review of the Middle American fishes of the genus *Profundulus*. *Museum of Zoology*. 92: 5-64.
- Morcillo, F., Ornelas-García, C. P., Alcaraz, L., Matamoros, W. A. and Doadrio, I. 2015. Phylogenetic relationships and evolutionary history of the Mesoamerican endemic freshwater fish family Profundulidae (Cyprinodontiformes: Actinopterygii). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 94: 242-251.
- Nelson, G. J. 1972. Cephalic sensory canals, Pitlines, and the classification of Esocoid fishes, with notes on Galaxiids and other Teleosts. *American Museum Novitates*. 2492: 1:50.
- Okolodkov, Y. B. 2010. Biogeografía Marina. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México.
- Ornelas-García, C., Martínez-Ramírez, E. and Doadrio, I. 2015. A new species of killifish of the family profundulidae from the highlands of the Mixteca región, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 926-933.

- Parenti, L. R. 1981. A phylogenetic and biogeographic analysis of Cyprinodontiform fishes (Teleostei, Atherinomorpha). *Bulletin of American Museum of Natural History*. 168: 335-557.
- Sáez, S. and Pequeño, G. 2014. Cephalic sensorial pores in galaxiid fishes from Chile (Osmeriformes: Galaxiidae). *Latin American Journal of Aquatic Reserch*. 42(5): 1050-1055.
- Tinaut, J. A., y Ruano, F. 2002. Biodiversidad, clasificación y filogenia. En: Soler, M. (Ed). *Evolución: la base de la biología*. Proyecto Sur. España. Pp. 293-306.
- Torretti, R. 2010. La proliferación de los conceptos de especie en la biología evolucionista. *Theoria*. 69 (25): 325-377.
- Vast, C. 2016. *El ABC del acuario*. Parkstone International. New York.
- Wheeler, Q. D., and Meier, R. 2000. *Species concepts and phylogenetic theory*. Columbia University Press. New York.
- White, M. J. 1978. *Modes of speciation*. Freeman and company. San Francisco, United States of America.
- Wiley, E. O. *Phylogenetics: The theory and practice of the ohylogebetuc systematics*. Jhon Wiley and sons. United States of America.



## ANEXO 2

Lista de especies utilizadas con sus respectivos catálogos y localidades.

<b>Especie</b>	<b>Número de catalogo</b>	<b>Localidad</b>
<i>T. labialis</i>	5974	Puente Chiapilla, Río Frío
<i>T. labialis</i>	6582	Tierra y Libertad, Jiquipilas
<i>T. labialis</i>	7256	Río Negrito, La Concordia
<i>T. hildebrandi</i>	2445	Río Fogotico, Puente San Cristóbal de Las Casas
<i>T. hildebrandi</i>	4331	Canal María Eugenia, San Cristóbal de Las Casas
<i>T. hildebrandi</i>	5694	Arroyo las Limas, Chiapas
<i>T. hildebrandi</i>	6194	Arroyo las Limas, Chiapas
<i>T. portillorum</i>	7216	Puente del Río San Juan, Morazán
<i>T. portillorum</i>	7220	Puente de piedra a Lepaterique, Francisco Morazán
<b><i>T. candalarius</i></b>	3898	Arroyo Teopisca, Teopisca
<b><i>T. candalarius</i></b>	5705	Arroyo Santa Barbara, Teopisca
<b><i>T. candalarius</i></b>	5715	Ojo de Agua, Tzimol
<i>P. oaxacae</i>	6714	Río Salado, Mitla
<i>P. oaxacae</i>	6720	Carretera a Puerto Escondido-San Gabriel, Mixtepec
<i>P. oaxacae</i>	6721	Rancho Flor de Café, Mixtepec
<i>P. mixtlanensis</i>	6715	Arroyo grande, tributario del Río la Hormiga, Mitla
<i>P. mixtlanensis</i>	6716	Río San Isidro, Putla-Oaxaca
<i>P. mixtlanensis</i>	6717	Entrada a San Juan, Teponaxtla
<i>P. mixtlanensis</i>	6718	Afuera de Putla de Guerrero
<i>P. punctatus</i>	4332	Río del Chorreadero, El Chorreadero, Chiapa de Corzo
<i>P. punctatus</i>	6326	Río Lagartero, Arroyo
<i>P. punctatus</i>	6585	Tierra y Libertad, Jiquipilas
<i>P. punctatus</i>	6632	Río Cintalapa, Rosario. Escuintla
<i>P. balsanus</i>	6712	Río Malinaltepec, Guerrero
<i>P. guatemalensis</i>	7194	Balneario del Cantil, Guatemala
<i>P. guatemalensis</i>	7195	Arroyo tributario del Río Achihuite, Guatemala
<i>P. guatemalensis</i>	7198	Las Cabezas, Río las Marías, Guatemala
<i>P. kreiseri</i>	7205	Quebrada de los Tecomates, El Salvador
<i>P. kreiseri</i>	7231	Desembocadura del Río Negro, Morazán, El Salvador
<i>P. parentiae</i>	7261	Toma de agua rumbo a la Colonia Benito Juárez, Huatulco
<i>P. parentiae</i>	7262	Colonia San Miguel Figueroa, Pochutla