

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS

**Historia de vida y ecología de *Tlaloc hildebrandi*
(Miller, 1950) en los altos de Chiapas, México**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y
CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS TROPICALES**

PRESENTA

BRENDA GUADALUPE ANAHÍ CRUZ MAZA

DIRECTOR:

Dr. ERNESTO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

CODIRECTOR:

Dr. WILFREDO ANTONIO MATAMOROS ORTEGA
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

ASESOR:

Dr. ISAÍAS HAZARMABETH SALGADO UGARTE
Universidad Nacional Autónoma de México.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Junio de 2018.



DEDICATORIA

Al supremo de todos los tiempos y forjador de mi vida, por permitirme llegar hasta este punto y darme la salud necesaria para lograrlo.

A mis hijos Elías Caleb y Ana Belén por ser mi fuente de motivación e inspiración para continuar superándome día a día y dejarles ese ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis realizado en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente participaron distintas personas, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dándome ánimo y acompañándome en los momentos de crisis y tranquilidad. Este trabajo me ha permitido aprovechar las experiencias de varias personas que deseo agradecer en este apartado.

En primer instancia, a mi director, codirector y asesor de tesis, Dr. Ernesto Velázquez Velázquez, Dr. Wilfredo A. Matamoros Ortega y Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte, por su paciencia ante mis apuros y tiempos, por su valiosa dirección y apoyo para llegar a término.

A mi esposo Manuel de Jesús Anzueto Calvo por sus consejos, su sabiduría, paciencia y su valioso apoyo que me brindó durante estos años de trabajo, en esta etapa de mi vida.

Mis agradecimientos a la colaboración del equipo involucrado en campo, en la toma o procesado de las muestras que hicieron posible la realización de esta tesis: Jorge Lievano, Chuy Hernández, Alejandro Jamangapé, Faby Meza (Morelia), Betsi Pascasio, Faby Zavaleta, Karina Barrera y Faby Maza.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada y necesaria para la realización de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	viii
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- CAPÍTULO I. HISTORIA DE VIDA DE <i>TLALOC HILDEBRANDI</i> (MILLER, 1950) EN DOS POBLACIONES DE LOS ALTOS DE CHIAPAS, MÉXICO.	4
2.1 RESUMEN.	4
2.2.- INTRODUCCIÓN.....	5
2.3.- MATERIALES Y MÉTODOS.	7
2.3.1 Área de estudio.	7
2.3.2. Trabajo de campo.	8
2.3.3. Trabajo de laboratorio.	9
2.3.4.1. Proporción sexual y madurez gonádica.....	9
2.3.4.2. Fecundidad.	10
2.3.4.3. Relación longitud peso y factor de condición.....	10
2.4. RESULTADOS	11
2.4.1. Abundancia y proporción sexual.	11
2.4.2 Índice gonadosomático.	11
2.4.3. Madurez sexual.	13
2.4.4. Fecundidad.	15
2.4.5. Relación longitud peso.	18
2.4.6. Factor de condición	20
2.5. DISCUSIÓN.....	22
2.6.- LITERATURA CITADA	25
3.- CAPÍTULO II. ABUNDANCIA DE <i>Tlaloc hildebrandi</i> (Miller, 1950), EN DOS POBLACIONES DE LOS ALTOS DE CHIAPAS, MÉXICO Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES.....	28
3.1.- RESUMEN	28
3.2.- INTRODUCCIÓN.....	29
3.3.- MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.3.1 Área de estudio.	30
3.3.2. Trabajo de campo.	32
3.3.3. Análisis de datos.	34

3.4. RESULTADOS	35
3.4.1. Abundancia como CPUE.....	35
3.4.2. Análisis de Componentes Principales	36
3.4.3. Modelo Lineal Generalizado.....	38
3.5. DISCUSIÓN.....	40
3.6. LITERATURA CITADA	42
4. - CONCLUSIONES GENERALES.....	44
4.1.- LITERATURA CITADA	46
5. - ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO I		Página
1	Localidades de muestreo en dos poblaciones de <i>T. hildebrandi</i> en dos redes hidrográficas de los altos de Chiapas.	7
2	Frecuencia relativa del IGS de <i>Tlaloc hildebrandi</i> por muestreo, en el valle de San Cristóbal, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Categorías: I) > 2 , II) de 2 a 9.9 y III) ≤ 10 .	11
3	Frecuencia relativa del IGS de <i>Tlaloc hildebrandi</i> por muestreo, en el valle de Chenalhó, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Categorías: I) > 2 , II) de 2 a 9.9 y III) ≤ 10 .	11
4	Madurez gonádica de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de San Cristóbal, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. I – V = cinco fases de madurez gonádica.	15
5	Madurez gonádica de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de Chenalhó, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. I – V = cinco fases de madurez gonádica.	15
6	Relación entre la fecundidad y la longitud estándar de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de San Cristóbal.	16
7	Relación entre la fecundidad y el peso de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de San Cristóbal.	17
8	Relación entre la fecundidad y longitud estandar de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de Chenalhó.	17
9	Relación entre la fecundidad y el peso de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de Chenalhó.	18
10	Relación Longitud peso de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de San Cristóbal.	19
11	Relación Longitud peso de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de Chenalhó.	20
12	Factor de condición de <i>T. hildebrandi</i> en las diferentes localidades de muestreo de los valles de Chenalhó y San Cristóbal.	21
13	Factor de condición de machos y hembras de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de Chenalhó, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Nota: la línea	21

de todos no se aprecia por estar directamente por debajo de las otras dos.

14	Factor de condición de machos y hembras de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de San Cristóbal, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Nota: la línea de todos no se aprecia por estar directamente por debajo de las otras dos.	22
----	---	----

CAPITULO II

		Página
1	Localidades de muestreo en dos poblaciones de <i>T. hildebrandi</i> , en dos redes hidrográficas de los altos de Chiapas.	31
2	Esquema de medición/determinación de parámetros ambientales en tres segmentos del transecto de 150 de longitud en cada sitio de muestreo.	34
3	CPUE promedio de <i>T. hildebrandi</i> en dos poblaciones de los altos de Chiapas, (barras ± 1 Error estándar).	35
4	CPUE promedio de muestreos de <i>T. hildebrandi</i> en el valle de Chenalhó y de San Cristóbal.	36
5	Representación de 26 parámetros ambientales en el Análisis de Componentes Principales que explica un 37.89 % de la varianza. El PC1 representa el 26.81 % y el PC2 el 11.08 %.	38

ÍNDICE DE CUADROS

CAPITULO I		Página
1	Localidades de muestreo en el valle de San Cristóbal y valle de Chenalhó, Chiapas, México.	8
2	Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en hembras del valle de San Cristóbal.	13
3	Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en hembras del valle de Chenalhó.	13
4	Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en machos del valle de San Cristóbal.	14
5	Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en machos del valle de Chenalhó	14
6	Parámetros de relación longitud peso, N= número de individuos; Min. y Max.= longitud estándar mínima y máxima (cm); <i>a</i> y <i>b</i> = parámetros de relación longitud peso; LL (<i>a</i>) , UL(<i>a</i>), and LL(<i>b</i>), UL(<i>b</i>)= límite de confianza 95 % inferior y superior de <i>a</i> y <i>b</i> , respectivamente; r^2 = coeficiente de determinación.	19
CAPITULO II		Página
1	Localidades de muestreo en el valle de San Cristóbal y valle de Chenalhó, Chiapas, México.	32
2	Valores de 26 parámetros ambientales empleados para el Análisis de Componentes Principales. Se resaltan en negro los 13 valores más altos en ambos ejes.	37
3	Significancia estadística de la abundancia con respecto a cada uno de los 13 factores ambientales analizados con la CPUE. Resalta en negro los tres parámetros ambientales más significativos. VEL= Velocidad, CANTOS_ROD= Cantos Rodados, BLOQ= Bloques, DOSEL= Dosel, PROF= Profundidad, GRAV= Grava, AREN= Arena, PEQ_RAP= Pequeños rápidos, DO= Oxígeno Disuelto, LIMO= Limo, ARCI= Arcilla, TEMP= Temperatura, REM= Remansos.	39

RESUMEN

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. Actualmente se desconoce el estado de sus poblaciones en las localidades de nuevos registros, por lo que el objetivo de este estudio es documentar; aspectos de la historia de vida de *T. hildebrandi*, principalmente la proporción sexual, fecundidad, índice gonadosomático, madurez sexual, época de reproducción, así como la relación longitud-peso, el factor de condición y la talla máxima promedio. Por otra parte se presenta la relación que existe entre la abundancia como Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) y 26 parámetros ambientales en dos poblaciones de *T. hildebrandi*. El estudio se realizó en cuatro municipios de los altos de Chiapas, y se muestrearon nueve localidades durante ocho estancias en campo, en el periodo comprendido de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Se realizaron mediciones de 3,903 individuos; incluyendo: longitud estándar, peso total, sexo; de los cuales se tomó una submuestra de 336 individuos con el propósito de tener mejor representados los organismos en diferentes intervalos de tallas, por lo que fueron distribuidos en seis clases de tallas (< 20 mm, 21-40 mm, 41-60 mm, 61-80 mm, 81-100 mm, > 100 mm), en dicha sub muestra se requirió el peso de la gónada y conteo de óvulos totales. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas de CPUE entre las poblaciones estudiadas, la CPUE más alta se presentó en el valle de Chenalhó, de igual forma en la proporción de sexos. Por su parte las variables ambientales mejor relacionadas con la abundancia de *T. hildebrandi* corresponden a aspectos fisicoquímicos del agua y caracterización del hábitat (grava, cantos rodados y velocidad del agua). Es importante considerar estos estudios en los planes de manejo que contemplen características de hábitat, con el propósito de generar mejores estrategias de conservación de este pez endémico de los altos de Chiapas.

Palabras clave: *Tlaloc hildebrandi*, historia de vida, abundancia, altos de Chiapas, factores ambientales.

1.- INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre historias de vida de los organismos describen la forma en que distribuyen su tiempo y energía entre las diversas actividades de su desarrollo o ciclo de vida (e.g. crecimiento, reproducción y alimentación) (Vila *et al.*, 2005; Sadava *et al.*, 2009; Olinger *et al.*, 2016). Además, estos estudios proporcionan conocimiento básico de las estrategias reproductivas de organismos que comparten un mismo hábitat lo cual permite entender su coexistencia y cómo llevan a cabo sus actividades reproductoras, de tal manera que la descendencia de cada una de ellas puedan aprovechar los recursos disponibles en cada momento (Hernández, 2012). En este sentido, los aspectos de la reproducción tales como la fecundidad, tallas de madurez sexual, estados de condición y temporalidad de la reproducción juegan un papel importante en las fluctuaciones de la abundancia de las poblaciones puesto que inciden directamente en los procesos de reclutamiento y en el potencial reproductor de cada especie (Saborido-Rey *et al.*, 2004; Hernández, 2012), además los parámetros bióticos (e.g. depredación y competencia) y abióticos (e.g. hidrológicos y químicos) afectan los arreglos espaciales y temporales de las comunidades de peces (Taylor *et al.*, 2006).

Entre los parámetros abióticos que mejor se relacionan con las comunidades de peces se encuentran las variables ambientales (e.g. temperatura, salinidad, ph, etc.), las cuales influyen directamente en la abundancia de los organismos, de acuerdo a Kwon *et al.* (2012), este tipo de variables que conforman las características de paisaje afectan las condiciones de microhábitat y la calidad del agua. En México se han observado cambios en la estructura y composición de las comunidades de peces de agua dulce, los cuales se deben a la pesca excesiva, alteraciones del hábitat y a la contaminación (Mercado-Silva *et al.*, 2006), de igual forma en las aguas corrientes se ha observado el impacto negativo por dichas causas; por lo que es difícil encontrar arroyos y ríos prístinos en la actualidad (Pérez *et al.*, 2007).

Los ecosistemas acuáticos de los altos de Chiapas, se encuentran amenazados por la interacción del hombre (Santos, 2000), que a su vez está siendo orientada a la urbanización del espacio geográfico (Morales y Pérez, 2010) generando así cambio de uso de suelo, fragmentación de hábitat y contaminación del agua y por ende a los organismos que en ella habitan.

Tlaloc hildebrandi pertenece a la familia de peces Profundulidae, la cual constituye una de las pocas familias de agua dulce endémicas de Mesoamérica (Morcillo, *et al.*, 2016; González-Díaz, 2013). Localmente son conocidos como peces escamudos o popoyotes. La familia se encuentra formada por 11 especies validas (Eschmeyer, 2017), de las cuales siete ocurren en México y cuatro se encuentran en el estado de Chiapas, (*Profundulus punctatus*, *Tlaloc labialis*, *T. candalarius* y *T. hildebrandi*). Estos peces son comunes en arroyos de montaña, humedales (González-Díaz, 2013), pero también se encuentran en ríos de mayor orden a bajas alturas (Jamangape *et al.*, 2016).

Históricamente se consideraba que *T. hildebrandi* tenía una distribución restringida al valle de San Cristóbal de las Casas (Miller, 1950; Velazquez-Velázquez y Schmitter-Soto, 2004), sin embargo recientemente la distribución de *T. hildebrandi* se amplió hasta la parte alta del sistema Teapa-Tacotalpa en los municipios de San Juan Chamula, Chenalhó y Ocosingo, Chiapas (Gómez-González *et al.*, 2015), a pesar de esta extensión de rango se considera que esta especie tiene una distribución muy restringida, limitada solo a algunas cuencas interiores de Chiapas. A pesar de que fue descrita hace más de 60 años (Miller, 1950) y estar enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie en peligro de extinción (Diario Oficial de la Federación, 2010), son pocos los estudios dedicados a documentar la biología, ecología y conservación de esta especie, por lo que esta tesis tiene como propósito determinar algunos aspectos importantes de la historia de vida y ecológicos de *Tlaloc hildebrandi* en dos poblaciones de los altos de Chiapas, así como estimar la relación de la abundancia de este pez con los parámetros ambientales más importantes del área de estudio para su posible consideración en

los planes de manejo que contemplen características de hábitat, y se logre generar mejores estrategias de conservación de este pez endémico de los altos de Chiapas.

2.- CAPÍTULO I. HISTORIA DE VIDA DE *TLALOC HILDEBRANDI* (MILLER, 1950) EN DOS POBLACIONES DE LOS ALTOS DE CHIAPAS, MÉXICO.

2.1 RESUMEN.

Los estudios de historia de vida ofrecen información clave en preguntas fundamentales de Ecología y Biología Evolutiva, ya que están directamente relacionadas con la selección natural, adaptación, especiación, y sus limitaciones fisiológicas (por ejemplo tolerancia a salinidad, rangos de pH, temperatura, etc.) que son cruciales para entender el proceso evolutivo de los seres vivos. En este trabajo se estudiaron dos poblaciones de *Tlaloc hildebrandi* de los altos de Chiapas, México. Los peces fueron capturados en un periodo anual de octubre del 2015 a septiembre del 2016. Se expresó la abundancia como captura por unidad de esfuerzo (CPUE). Los peces fueron agrupados en seis clases de tallas, de acuerdo a la longitud estándar (mm), de cada clase se extrajeron cinco ejemplares por muestreo que pertenecían al valle de San Cristóbal y cinco al de Chenalhó. Se estimó si las proporciones de sexos se desviaban de lo esperado (50 y 50%), mediante la prueba de la chi-cuadrado (X^2), también se estimó la madurez gonádica y el índice gonádico (IG), posteriormente se determinó la talla de primera madurez sexual así como la fecundidad. También se determinaron los parámetros de la relación longitud-peso (LWR), y el factor de condición Fulton "K". Se realizaron comparaciones entre las poblaciones del valle de San Cristóbal y de Chenalhó para cada uno de los parámetros determinados. Se recolectaron un total de 3903 individuos en las dos poblaciones. Las diferencias en la proporción de sexos fueron estadísticamente significativas. Los valores más altos del índice gonadosomático (IGS) se observaron en el valle de San Cristóbal y fueron de febrero a junio (mayores de 10) mientras que en el valle de Chenalhó los valores más altos del mismo índice se presentaron en febrero y abril. La talla de la primera madurez sexual de hembras en las dos poblaciones, se presentaron en la clase de talla de 41 a 60 mm, mientras que para los machos fue 81 a 100 mm. De acuerdo a la fecundidad, se registró un promedio de 1077.2 óvulos por hembras (rango= 352 a 4393) y un peso promedio

de 7.19 gr por gónada (rango= 0.12 a 36.68 gr). De acuerdo a la relación longitud peso *T. hildebrandi* presenta un tipo de crecimiento alométrico positivo (" b " =3.1). El factor de condición en ambas poblaciones no presentó diferencias estadísticamente significativas, sin embargo entre sexos si presentaron diferencias significativas. Los resultados obtenidos en este estudio generan información importante sobre la historia de vida de esta especie, que será muy útil para considerarla como herramientas fundamentales en el manejo y el diseño de estrategias viables de conservación de esta especie.

Palabras clave: historia de vida, *Tlaloc hildebrandi*, altos de Chiapas.

2.2.- INTRODUCCIÓN.

La historia de vida de un organismo está constituida por aquellos aspectos de su ciclo de vida que afectan su supervivencia y su reproducción; de allí su importancia para la conservación. Algunos componentes de la historia de vida de un organismo son la edad y la madurez reproductiva, ¿cuántas veces intenta reproducirse?, ¿cómo reparte la energía que está a su disposición entre la reproducción, el crecimiento y alimentación? (mantenimiento corporal), además la forma en que distribuye recursos entre su progenie, así como el tamaño que ésta alcanza (Martínez-Gómez, 2002); también los estudios de historia de vida ofrecen información clave en preguntas fundamentales de ecología y biología evolutiva, ya que están directamente relacionadas con la selección natural, adaptación, especiación, y sus limitaciones fisiológicas que son cruciales para entender el proceso evolutivo de los seres vivos (Weldele *et al.*, 2014).

Las investigaciones en la reproducción de los organismos son importantes, ya que generan información de la edad y talla de primera madurez sexual y condiciones de fecundidad, con el propósito de poder calcular las dimensiones de una población y su potencial reproductivo, así también provee de antecedentes para el manejo de especies en cautiverio (Holden *et al.*, 1975). Por su parte los estudios de relación

longitud-peso y los índices de factor de condición, en peces se han utilizado desde principios del siglo XX en investigaciones de pesquerías y conservación (Froese *et al.*, 2011), con el propósito de estimar la biomasa a partir de las observaciones de longitud e.g., además esta relación nos proporciona el tipo de crecimiento que posee una especie (Froese, 2006), mientras que el factor de condición de Fulton ($K = (W/L^3) \times 100$) (Heincke, 1908), es utilizado para comparar la condición o bienestar de un pez o población, basándose en que los peces de mayor peso, a una determinada longitud, presentan una mejor condición (Froese, 2006; Fulton, 1902), por lo que conocer tales características en poblaciones de peces que habitan sistemas con baja o nula intervención del ser humano es fundamental para predecir potenciales cambios en poblaciones amenazadas o que habitan sistemas perturbados (McCallum, 2000).

Las poblaciones de *T. hildebrandi*, están restringidas a los altos de Chiapas, estas poblaciones están sujetas a grandes amenazas tales como diferentes tipos de contaminación, pérdida de hábitat e introducción de especies exóticas (Morales y Pérez, 2010; Velázquez-Velázquez y Schmitter-Soto, 2004). A pesar de que recientemente se ha probado que la distribución de esta especie es más amplia (Gómez-González *et al.*, 2015; Velázquez-Velázquez *et al.*, 2016), es conveniente documentar el estado en el que se encuentran las nuevas poblaciones descubiertas, de tal manera que se logren documentar las posibles tendencias de sus poblaciones ante las amenazas que ellas enfrentan, tales como la contaminación y pérdida de hábitat. Por lo que el propósito de este estudio es documentar y comparar algunos de los aspectos de historia de vida de *T. hildebrandi* (e.g. relación longitud peso, factor de condición, proporción sexual, madurez gonádica y fecundidad) en dos poblaciones de los altos de Chiapas, con el objetivo de proporcionar una herramienta sólida en el conocimiento de esta especie que a su vez fortalezca en un futuro las posibles decisiones de conservación de esta especie.

2.3.- MATERIALES Y MÉTODOS.

2.3.1 Área de estudio.

El estudio se llevó a cabo en los altos de Chiapas, en dos redes Hidrográficas: 1) Grijalva-Teapa y 2) Grijalva-Chicoasén (figura 1). Se tomaron en cuenta nueve localidades o sitios de muestreo, cuatro de ellas contempladas en el municipio de San Cristóbal de las Casas (denominado valle de San Cristóbal) y cinco localidades nuevas en los municipios de San Juan Chamula, Chenalhó y Chalchihuitán (denominado valle de Chenalhó) (figura 1 y cuadro 1), con altitudes de 1277 a 2163 metros sobre el nivel del mar. En cada localidad se realizaron ocho muestreos desde octubre del 2015 a septiembre del 2016.

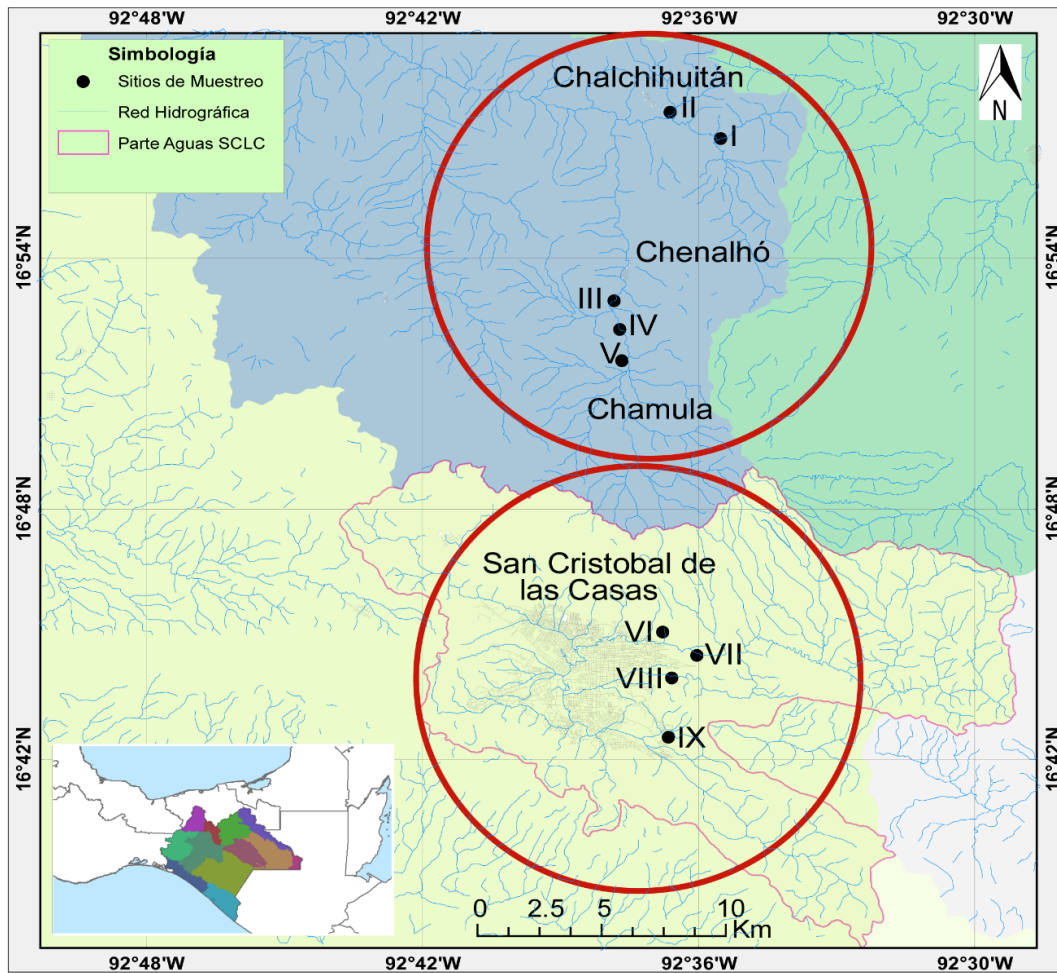


Figura 1. Localidades de muestreo en dos poblaciones de *T. hildebrandi*, en dos redes hidrográficas de los altos de Chiapas.

Cuadro1. Localidades de muestreo en el valle de San Cristóbal y valle de Chenalhó, Chiapas, México.

ID	Población	Latitud N	Longitud W	Altitud	Localidad	Municipio
I	V. Chenalhó	16.955415°	-92.610206	1277	Colonia Chalchihuitán	Chalchihuitán
II	V. Chenalhó	16.947326°	-92.593656	1314	Colonia Las Limas	Chenalhó
III	V. Chenalhó	16.877482°	-92.630416	1559	Entrada Chenalhó	Chenalhó
IV	V. Chenalhó	16.871916°	-16.871916	1577	Toma de agua Chenalhó	Chenalhó
V	V. Chenalhó	16.858179°	-92.625379	1654	Colonia Yitic	San Juan Chamula
VI	V. San C.	16.746195°	-92.614537	2139	Colonia 4 de marzo-rio Amarillo	San Cristóbal de las Casas
VII	V. San C.	16.743658°	-92.602017	2162	Colonia Molino los Arcos	San Cristóbal de las Casas
VIII	V. San C.	16.733950°	-92.611625	2163	Centro Ecoturístico las Canastas	San Cristóbal de las Casas
IX	V. San C.	16.708468°	-92.612033	2132	Fuera del Hotel Rumbo a la UNICH	San Cristóbal de las Casas

V. San C. = Valle de San Cristóbal

2.3.2. Trabajo de campo.

Los peces fueron capturados en un periodo anual de octubre del 2015 a septiembre del 2016. La captura de peces se realizó con el uso de un equipo de electro-pesca y una red tipo chinchorro (3 m de largo por 2 m de alto y 0.5 cm de luz malla). Para la captura de los peces se realizó un solo arrastre, empleando ambos equipos en una sección de río de 150 m de largo. Los ejemplares capturados inmediatamente fueron contados y fijados en formalina al 10%, y posteriormente fueron transferidos a una solución de etanol al 70% después de al menos 72 horas de fijación. Cada muestra de campo se etiquetó con datos de localidad, fecha y nombre de colector. Parte de las muestras se depositaron como muestra de referencia en la colección de peces de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (MZ-UNICACH), con el permiso de recolecta Científica No. SGPA/DGVS/00488/16, emitido por la Dirección

General de Vida Silvestre, de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el resto del material biológico se empleó en el estudio.

2.3.3. Trabajo de laboratorio.

En el laboratorio los peces fueron contados para expresar la abundancia de *T. hildebrandi*, mediante la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), que consiste en el número total de organismos de la especie en estudio capturado por la combinación de las artes de pesca utilizados de manera estandarizada (FAO, 2001), en las diferentes localidades del área de estudio.

Todos los ejemplares fueron medidos con un calibrador Vernier, para determinar la longitud estándar (LE) en mm (para algunos análisis la longitud estándar se utilizó en cm, en tal caso se expresa), el peso total (W) en gramos con una balanza digital, además cada ejemplar fue sexado (observando las diferencias de la aleta anal y posteriormente corroborado con observación directa de las gónadas).

Con el propósito de representar de mejor manera los análisis reproductivos en todas las tallas de los peces recolectados, los peces fueron ordenados de acuerdo a su longitud estándar y fueron agrupados en seis clases de tallas (I (< 21 mm), II (21-40 mm), III (41-60 mm), IV (61-80 mm), V (81-100 mm) y VI (> 100 mm)), de cada clase de talla se utilizó un máximo de 10 individuos por muestreo, de los cuales cinco pertenecían al valle de San Cristóbal y cinco al de Chenalhó. Los peces fueron disectados y posteriormente se registró el peso eviscerado (PE) y se extrajeron las gónadas de cada pez y posteriormente fueron pesadas (PG).

2.3.4.1. Proporción sexual y madurez gonádica.

Para determinar si había diferencias significativas en la proporción de sexos, se utilizó la prueba de la chi-cuadrado (X^2) bajo la espera de una proporción de 1: 1. Se determinó la madurez gonádica con base en la escala de madurez de Brown-

Peterson *et al.* (2011), que consta de cinco fases o estadios (I= inmaduro (organismos vírgenes), II= desarrollo (los ovarios comienzan a desarrollarse, pero no están listos para desovar), III= capaces de desovar (los peces son capaces de desovar, están listos fisiológicamente), IV= regresión (cese del desove) y V= regeneración (sexualmente madura, inactiva reproductivamente)), posteriormente se estimó el índice gonádico (IG) por medio de la formula $IG = G/P * 100$, donde G= peso de la gónada y P= peso del pez (De Vlaming *et al.*, 1982). Se determinó la talla de primera madurez sexual cuando el 50% de los individuos se encontraban en estadio III (Arancibia *et al.*, 1994).

2.3.4.2. Fecundidad.

Se estimó la fecundidad, para lo cual se utilizaron hembras en estadio III de madurez gonádica, se contó el número total de óvulos por cada muestra. La fecundidad absoluta se determinó como el número de huevos por hembra y la fecundidad relativa se determinó mediante una regresión lineal de los valores individuales cuantificados con respecto a la longitud estándar y el peso mediante la ecuación $F = a(Xb)$; donde F= fecundidad, X= longitud estándar o peso, a y b= constantes de regresión.

2.3.4.3. Relación longitud peso y factor de condición.

Se determinaron los parámetros de la relación longitud-peso (LWR por sus siglas en Inglés), obtenidos por mínimos cuadrados no lineales, mediante la ecuación de regresión potencial $W = aL^b$ (Rickter, 1973), donde W es el peso (gr.) de los peces, L es la longitud estándar (cm), a y b son los dos parámetros del modelo (Le Crem, 1951). Se determinó la LWR de machos, hembras y ambos sexos, utilizando el software R 3.0.2. statistical software (R Development Core Team, 2013), con el paquete "CAR" (Fox y Weisberg, 2011).

El factor de condición Fulton “K” se desarrolló mediante la ecuación $K = (W/L^3) \times 100$ (Heincke, 1908), donde W es el peso de los peces (gr), L es la longitud estándar (mm) (Fulton, 1902). Cada parámetro analizado se comparó entre la población de San Cristóbal y la de Chenalhó.

2.4. RESULTADOS

2.4.1. Abundancia y proporción sexual.

Se recolectaron 3903 individuos de *T. hildebrandi* en las dos poblaciones estudiadas (valle de Chenalhó y de San Cristóbal de las Casas), de los cuales 3193 fueron hembras y 707 machos, tres individuos fueron indeterminados, sin embargo la población más abundante fue la del valle de Chenalhó con 3 559 individuos en comparación al valle de San Cristóbal con 341 individuos. La proporción de sexos en el valle de Chenalhó fue 1: 5.3 (M:H), estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($X^2 = 941.44$, $p < 0.001$); mientras que para el valle de San Cristóbal, la proporción fue 1: 1.3 (M:H), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($X^2 = 3.26$, $p = 0.07$).

2.4.2 Índice gonadosomático.

Para el estudio del índice gonadosomático (IGS) se utilizaron 332 individuos, 145 del valle de San Cristóbal y 187 del valle de Chenalhó. Los valores del IGS fueron agrupados en tres categorías: I) > 2 ; II) de 2 a 9.9 y III) ≥ 10 . Los valores más altos de IGS para el valle de San Cristóbal fueron de febrero a julio (mayores de 10) (Fig. 2). Para el valle de Chenalhó los valores más altos de IGS se presentaron en febrero y abril (Fig. 3).

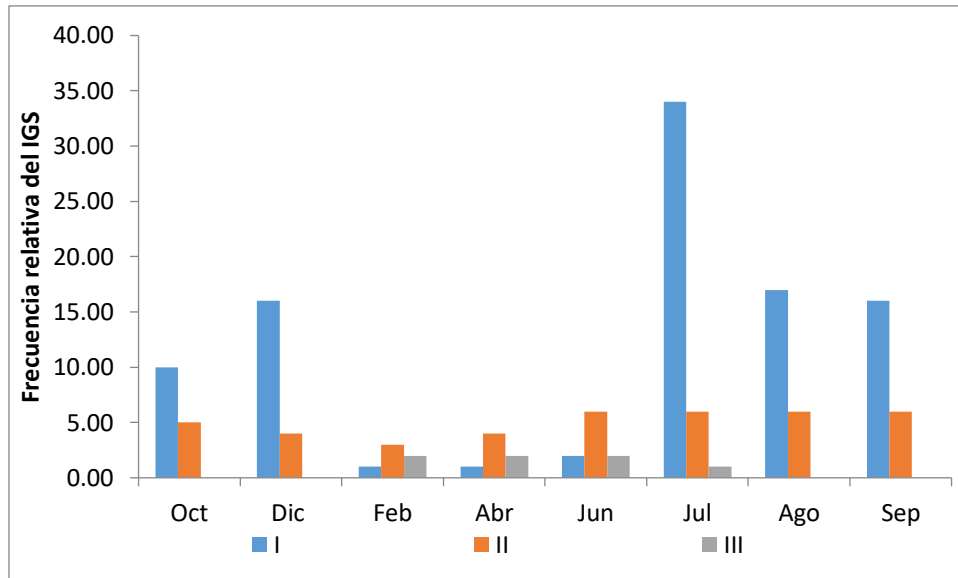


Figura 2. Frecuencia relativa del IGS de *Tlaloc hildebrandi* por muestreo, en el valle de San Cristóbal, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Categorías: I) > 2 , II) de 2 a 9.9 y III) ≥ 10 .

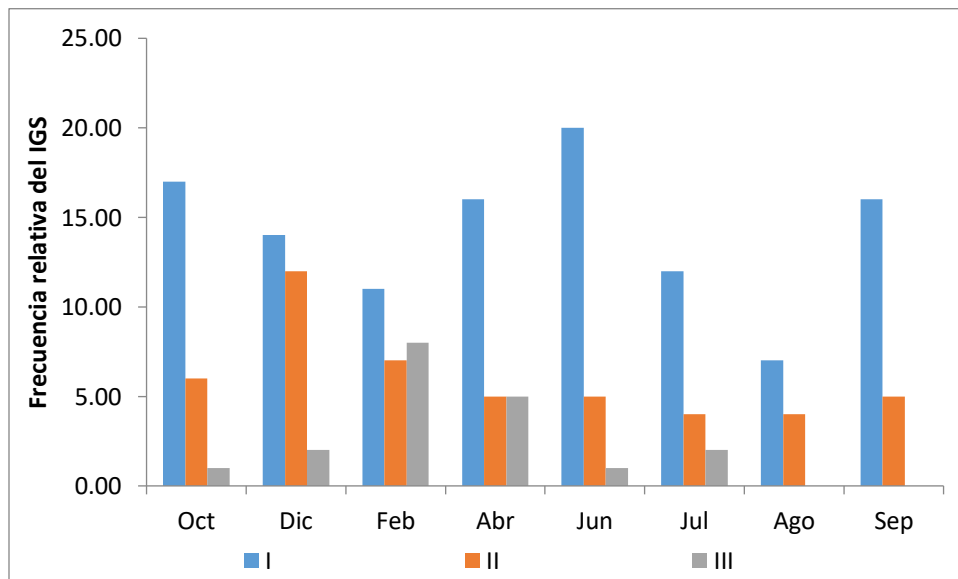


Figura 3. Frecuencia relativa del IGS de *Tlaloc hildebrandi* por muestreo, en el valle de Chenalhó, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Categorías: I) > 2 , II) de 2 a 9.9 y III) ≥ 10 .

2.4.3. Madurez sexual.

De acuerdo al criterio utilizado por Arancibia *et al.* (1994), para la talla de la primera madurez sexual, la clase de talla que se considera como la primera de madurez sexual de las hembras del valle de San Cristóbal (cuadro 2) fue la de 41 a 60 mm, con un valor de 45.45 %, mientras que para el mismo sexo en la población de Chenalhó (cuadro 3) se obtuvo 56 % en la misma clase de talla. En los machos de la población de San Cristóbal (cuadro 4) se presentó más del 85% con fase III, en la clase de talla de 81 - 100 mm, por su parte los machos de la población del valle de Chenalhó (cuadro 5) con la misma clase de talla obtuvieron el 100 % de los individuos.

Cuadro2. Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en hembras del valle de San Cristóbal.

Talla (mm)						
Hembras	Fase I (%)	Fase II (%)	Fase III (%)	Fase IV (%)	Fase V (%)	Total
<20	100	0	0	0	0	100
21-40	100	0	0	0	0	100
41-60	18.18	36.36	45.45	0	0	100
61-80	4.35	52.17	43.48	0	0	100
81-100	0.00	18.18	36.36	0	45.45	100
>100	0.00	0	0	0	0	0

Cuadro 3. Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en hembras del valle de Chenalhó.

Talla (mm)						
Hembras	Fase I (%)	Fase II (%)	Fase III (%)	Fase IV (%)	Fase V (%)	Total
<20	96.15	0	3.84	0	0	100
21-40	100	0	0	0	0	100
41-60	32	12	56	0	0	100
61-80	11.11	37.04	48.14	3.70	0	100
81-100	0	14.28	50	0	35.71	100
>100	0	66.66	33.33	0	0	100

Cuadro 4. Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en machos del valle de San Cristóbal.

TALLA (mm) MACHOS	FASE I (%)	FASE II (%)	FASE III (%)	FASE IV (%)	FASE V (%)	TOTAL
<20	100	0	0	0	0	100
21-40	80	20	0	0	0	100
41-60	7.69	61.54	30.77	0	0	100
61-80	0	52.94	23.53	0	23.52	100
81-100	0	10.71	85.71	0	3.57	100
>100	0	14.28	85.71	0	0	100

Cuadro 5. Porcentaje de individuos en diferentes fases de desarrollo en machos del valle de Chenalhó.

TALLA (mm) MACHOS	FASE I (%)	FASE II (%)	FASE III (%)	FASE IV (%)	FASE V (%)	TOTAL
<20	0	0	0	0	0	0
21-40	50	50	0	0	0	100
41-60	11.76	76.47	11.76	0	0	100
61-80	9.52	66.66	23.81	0	0	100
81-100	0	0	100	0	0	100
>100	0	0	100	0	0	100

De acuerdo a las cinco fases de madurez gonádica propuesta por Brown-Peterson *et al.* (2011), para el valle de San Cristóbal se registraron los valores más altos de febrero a agosto (figura 4) mientras que para el valle de Chenalhó los valores más altos se presentaron en los meses de octubre, diciembre y febrero (figura 5). Sin embargo, en ambas poblaciones de estudio (San Cristóbal y Chenalhó), se encontraron ejemplares con capacidad para reproducirse (fase III), en los meses de octubre de 2015 a agosto de 2016, cesando por completo en el mes de septiembre. Es importante recalcar que la reproducción de esta especie prácticamente se presenta en todo el año, debido a que se encontraron ejemplares de categoría I (< 20 mm), en siete de los ocho muestreos realizados.

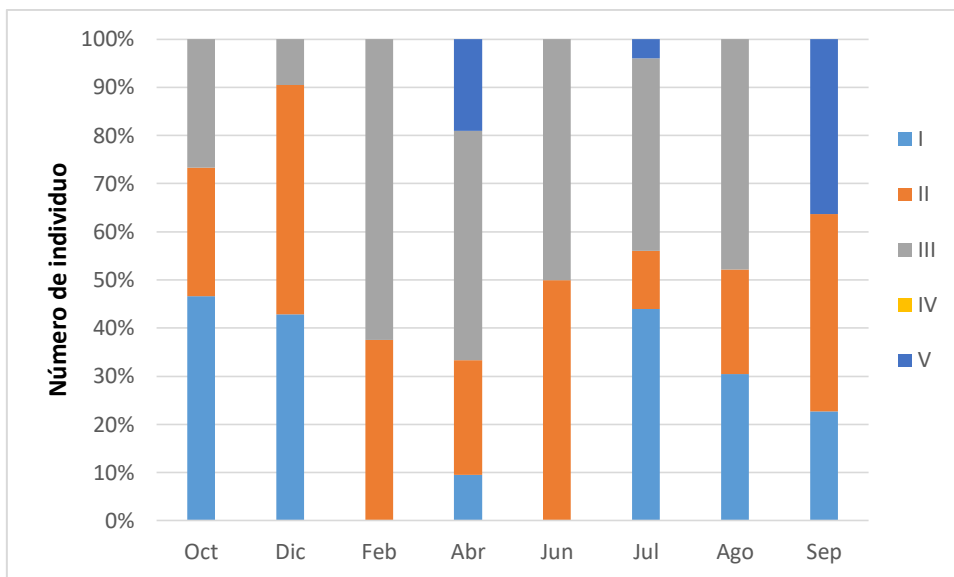


Figura 4. Madurez gonádica de *T. hildebrandi* en el valle de San Cristóbal, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. I – V = cinco fases de madurez gonádica.

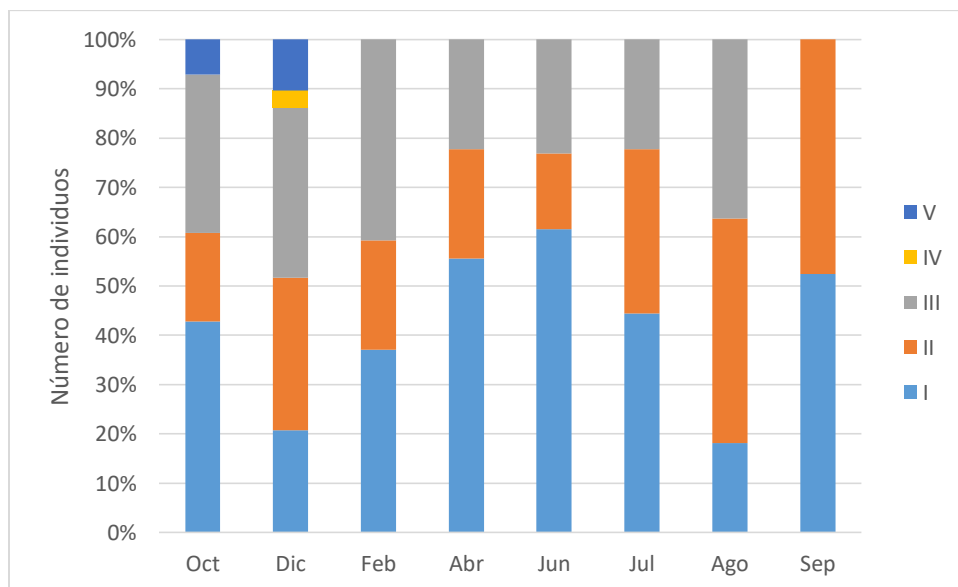


Figura 5. Madurez gonádica de *T. hildebrandi* en el valle de Chenalhó, de octubre de 2015 a septiembre de 2016. I – V = cinco fases de madurez gonádica.

2.4.4. Fecundidad.

En las poblaciones del valle de San Cristóbal y Chenalhó se estimó la fecundidad absoluta de 50 ejemplares a partir de las gónadas de hembras en estado III de

maduración, por medio de un conteo de óvulos de cada hembra en dicho estadio. Para la población de San Cristóbal se calculó la fecundidad con 17 individuos, mientras que para la de Chenalhó se utilizaron 33 individuos. El menor número de óvulos producidos por hembra fue de 352, mientras que el máximo fue de 4393. Se obtuvo un promedio de 1077.22 óvulos por hembras y un peso promedio de 7.19 gr por gónada con un rango de 0.12 a 36.68 gr. Los valores medios de fecundidad entre poblaciones no fueron estadísticamente significativos ($W=88.0$, $p= 0.066$). Se observó que la fecundidad en ambas poblaciones se incrementa en función de la longitud (mm) y el peso (gr) (fig. 6).

La regresión entre la fecundidad y la longitud estándar en el valle de San Cristóbal presentó el modelo $F= 21.24$ L.E. – 555.6, con un factor de correlación de 0.70 ($r^2= 0.488$) (fig. 6), mientras que la fecundidad y el peso presentaron el modelo $F= 70.58$ L.E. – 397.29, con un factor de correlación de 0.66 ($r^2= 0.433$) (fig. 7). En el valle de Chenalhó la regresión entre fecundidad y la longitud estándar siguió el modelo $F= 45.689$ L.E. – 1911.6, con un factor de correlación de 0.72 ($r^2= 0.52$) (fig. 8), mientras que en la regresión de la fecundidad con el peso el modelo fue, $F= 116.47$ L.E. – 302.29, con un factor de correlación de 0.83 ($r^2= 0.69$) (fig. 9).

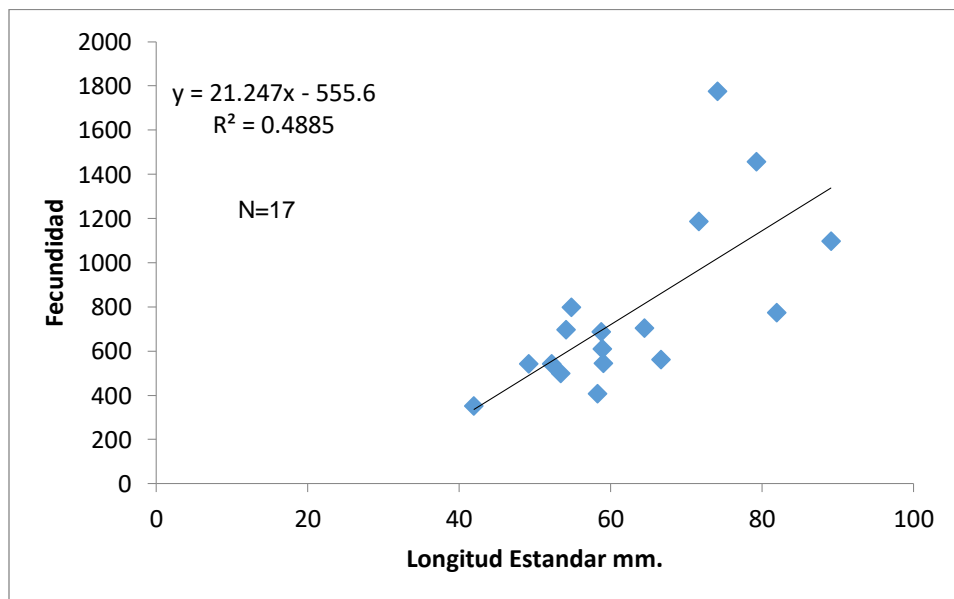


Figura 6. Relación entre la fecundidad y la longitud estandar de *T. hildebrandi* en el valle de San Cristóbal.

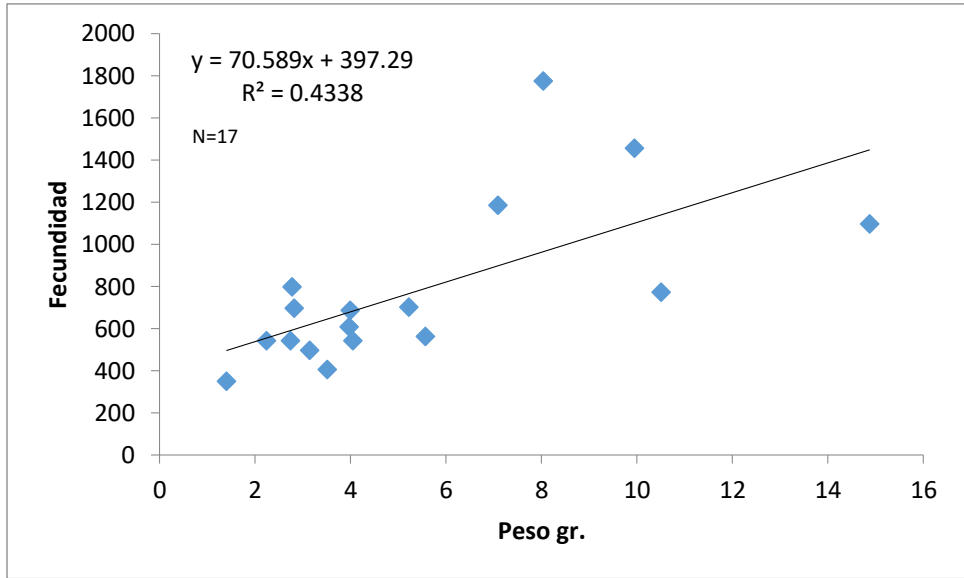


Figura 7. Relación entre la fecundidad y el peso de *T. hildebrandi* en el valle de San Cristóbal.

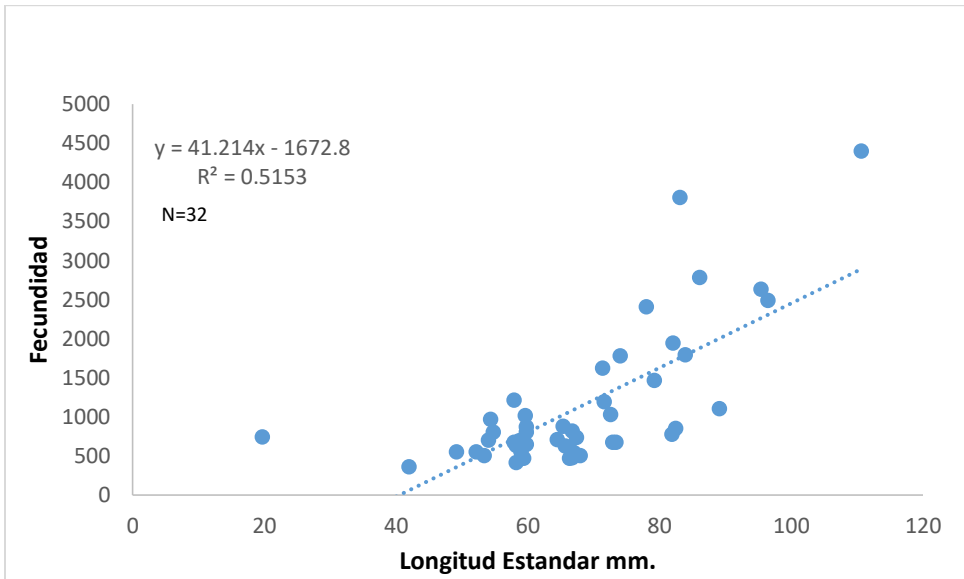


Figura 8. Relación entre la fecundidad y longitud estandar de *T. hildebrandi* en el valle de Chenalhó.

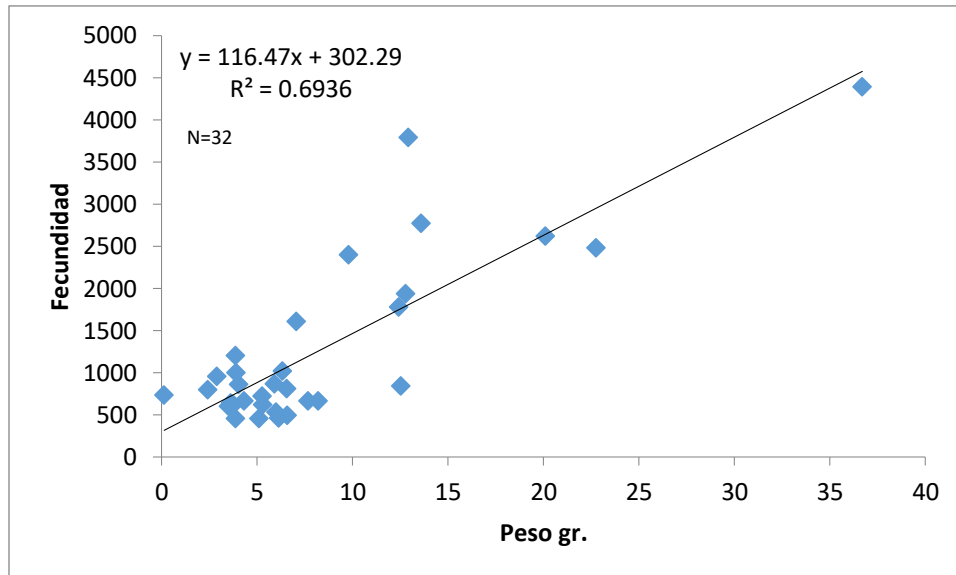


Figura 9. Relación entre la fecundidad y el peso de *T. hildebrandi* en el valle de Chenalhó.

2.4.5. Relación longitud peso.

De acuerdo a la relación longitud estándar y peso, el ejemplar de mayor talla se registró en el valle de Chenalhó (111 mm) y corresponde a una hembra. En el análisis de relación longitud estándar y peso, los ejemplares de popoyote de los valles de San Cristóbal y de Chenalhó presentaron crecimiento de tipo alométrico positivo (fig. 10 y 11) con valores de correlación mayores a 0.9 (cuadro 6). En la prueba t-student se encontraron diferencias significativas en los valores de b y el valor de isometría =3 ($t=18.8$, $p < 0.001$).

Cuadro 6. Parámetros de relación longitud peso, N= número de individuos; Min. y Max.= longitud estándar mínima y máxima (cm); a y b = parámetros de relación longitud peso; LL (a) , UL(a), and LL(b), UL(b)= límite de confianza 95 % inferior y superior de a y b , respectivamente; r^2 = coeficiente de determinación.

POBLACIÓN	Sex	n	Min	Max	A	LL(a)	UL(a)	b	LL(b)	UL(b)	r2
San Cristóbal	Hembras	195	1.5	9.2	0.013	0.013	0.014	3.182	3.149	3.215	0.9947
San Cristóbal	Machos	146	1.5	10.9	0.013	0.012	0.014	3.207	3.166	3.247	0.9941
Chenalhó	Hembras	3018	1.2	11.1	0.015	0.015	0.015	3.156	3.144	3.169	0.9878
Chenalhó	Machos	541	1.3	10.9	0.015	0.015	0.016	3.153	3.128	3.177	0.9918

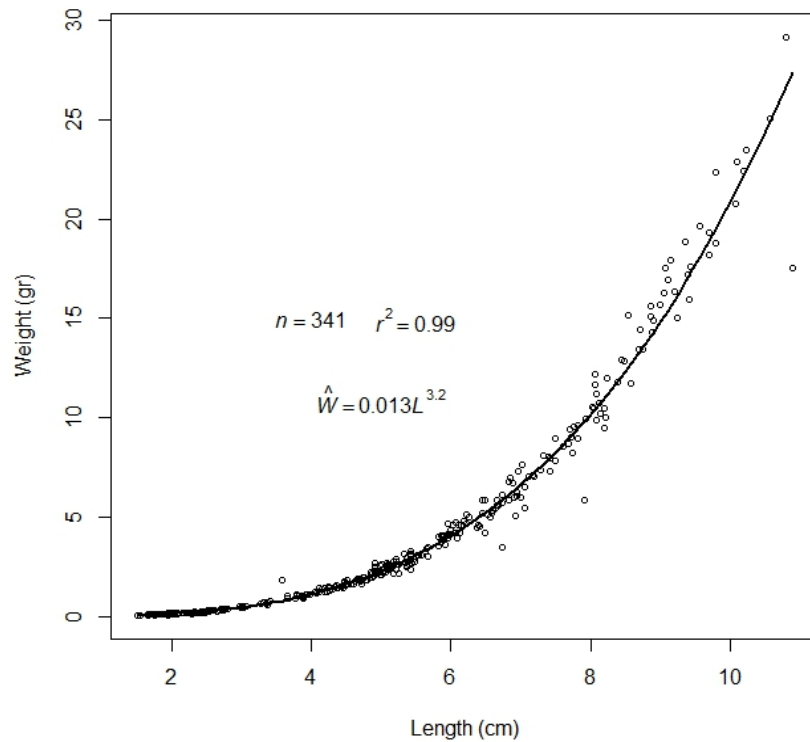


Figura 10. Relación Longitud peso de *T. hildebrandi* en el valle de San Cristóbal.

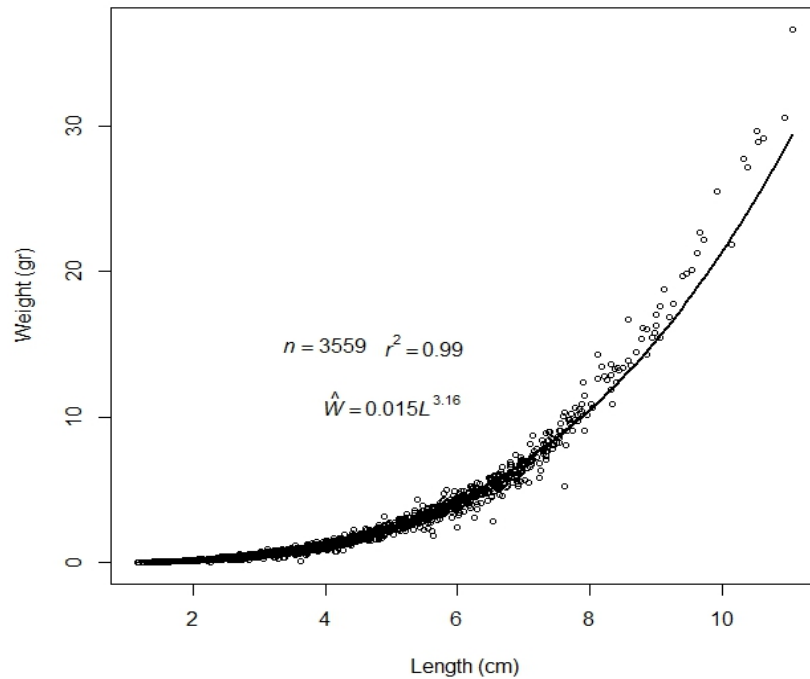


Figura 11. Relación Longitud peso de *T. hildebrandi* en el valle de Chenalhó.

2.4.6. Factor de condición

Los valores de factor de condición entre ambas poblaciones no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W=611960$, $p= 0.8154$); sin embargo, entre sexos si presentaron diferencias significativas. Para el valle de Chenalhó; $W=619620$, $p<0.001$ y para el valle de San Cristóbal; $W=11912$, $p=0.0099$. De acuerdo al análisis espacial la mayoría de las localidades del valle de Chenalhó presentaron los valores más altos de factor de condición incluyendo a una localidad del valle de San Cristóbal para machos y hembras (fig. 12). Estas diferencias fueron significativas ($H= 378.79$, $p <0.001$). Temporalmente, el mes que registró peces con mayor factor de condición para el valle de Chenalhó fue agosto mientras que para el valle de San Cristóbal fueron agosto y octubre (fig. 13 y 14).

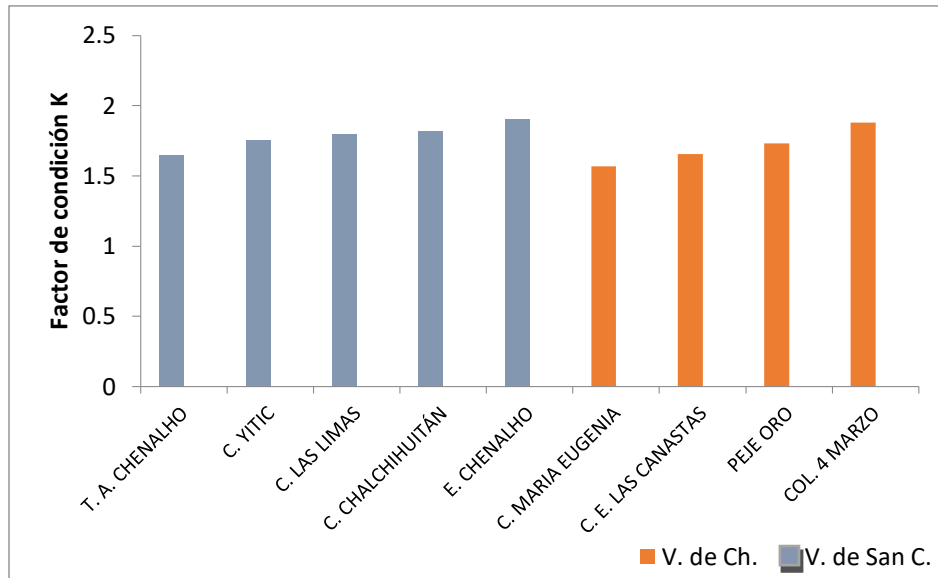


Figura 12. Factor de condición de *T. hildebrandi* en las diferentes localidades de muestreo de los valles de Chenalhó y San Cristóbal.

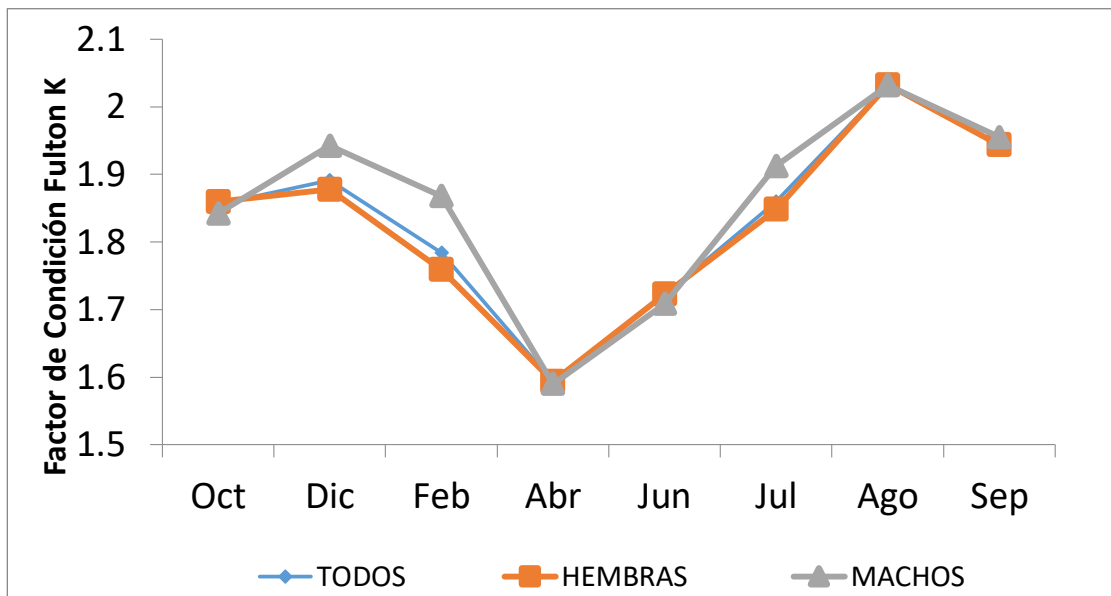


Figura 13. Factor de condición de machos y hembras de *T. hildebrandi* en el valle de Chenalhó, de octubre de 2015 a septiembre de 2016.

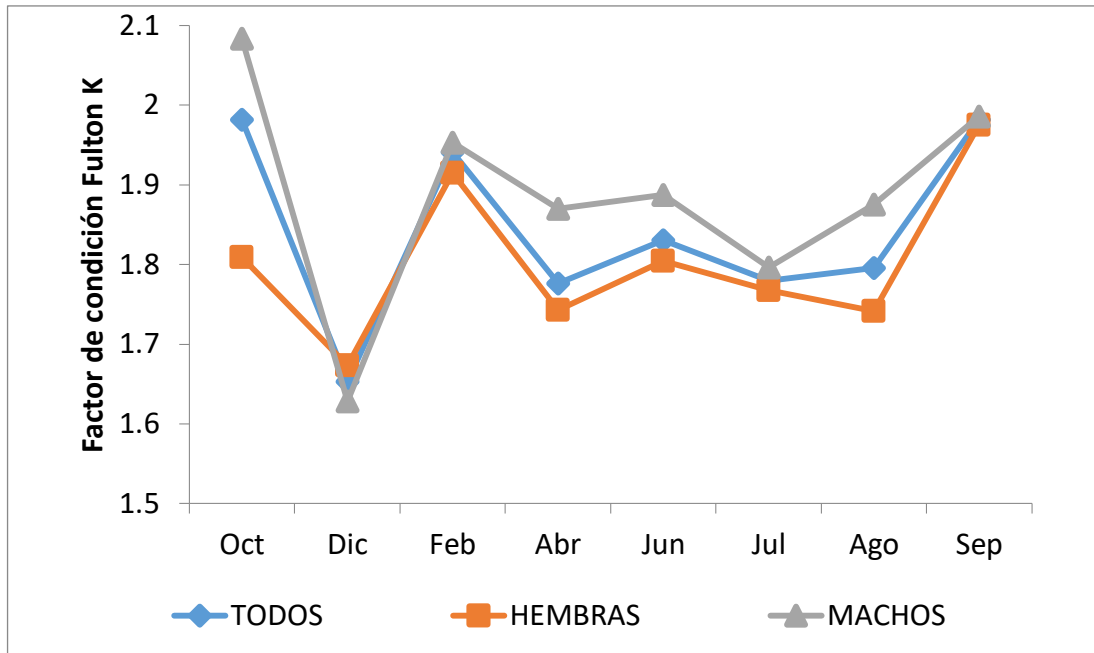


Figura14. Factor de condición de machos y hembras de *T. hildebrandi* en el valle de San Cristóbal, de octubre de 2015 a septiembre de 2016.

2.5. DISCUSIÓN

Las abundancias basadas en CPUE que se presentan en las localidades muestreadas de las dos poblaciones de los altos de Chiapas son estadísticamente muy diferentes, destacan los valores promedios bajos de CPUE en el valle de San Cristóbal. Velázquez-Velázquez y Schmitter-Soto (2004) reportaron en ocho localidades de la misma área de estudio valores de CPUE mucho más altos que los reportados en este estudio, estas diferencias se podrían atribuir a que el área presenta un aumento considerable en el cambio de uso de suelo y un gran incremento de diversas descargas domésticas (Morales y Pérez, 2010), por lo que los efectos de estas alteraciones del hábitat podrían verse reflejados en la disminución de las poblaciones de *T. hildebrandi* tal como Mercado-Silva *et al.* (2006) mencionan que en México se han observado cambios en la estructura y composición de las comunidades de peces de agua dulce, debido a alteraciones del hábitat y a la contaminación. La proporción de sexos registrada en el valle de San Cristóbal para *T. hildebrandi*, no fue significativamente diferente de la esperada

(1:1), estos resultados son similares a los que Velázquez-Velázquez y Smitter- Soto (2004), sin embargo en el valle de Chenalhó las diferencias fueron estadísticamente significativas con mayor proporción de hembras que machos, se considera que este resultado puede estar influenciado por algún factor ambiental ya que diversos autores han descrito variables ambientales como la temperatura y pH como factores que favorecen la preponderancia de las hembras, además de mortalidad selectiva por sexos (Snelson, 1989; Maya y Marañón, 1998; 2001).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la madurez sexual, el único mes en el cual no se presentaron valores de estadio III, fue el mes de septiembre, para las dos poblaciones de estudio. En los resultados del índice gonadosómico, se observaron diferencias entre las dos poblaciones de los altos de Chiapas, sin embargo en ambas poblaciones se registraron los mismos meses con características viables de reproducción, con dos meses que presentaron los valores más altos (febrero y abril). Con base en los valores de IGS que se presentaron en este estudio se considera que *T. hildebrandi* concluye su época de reproducción en agosto con un periodo más apto para la reproducción que considera los meses de febrero a abril, cabe señalar que en los meses de septiembre y octubre, los valores de IGS son relativamente bajos. Estos resultados de valores altos de los diferentes parámetros reproductivos analizados se consideran como evidencias de época reproductiva óptima, posiblemente debido al incremento de temperatura del área de estudio, ya que en estos meses se observa un incremento en la temperatura, el promedio de abril a septiembre están por encima de los 16 ° C, mientras que la mínima es de 13.2 ° C, sin embargo se considera a un futuro incluir técnicas que logren comprobar si la temperatura es en realidad un factor determinante en la época de reproducción, Rodríguez (1988) menciona que la influencia de los factores ambientales puede alterar o modificar los mecanismos de cierta especie, tal y como Gómez-Márquez *et al.* (1999) describen en *Pseudoxiphophorus bimaculatus* una correlación positiva entre la reproducción y el aumento de la temperatura.

Por otra parte al comparar ambos sexos de acuerdo a la talla en la que *T. hildebrandi* alcanza la madurez sexual se observa que las hembras alcanzan dicha madurez a una talla más corta en comparación a los machos. Probablemente al hecho de que las hembras dedican su gasto energético a la producción de los ovocitos mientras que los machos lo destinan al crecimiento.

En el estudio de la relación longitud peso *T. hildebrandi* se demostró que tiene un tipo de crecimiento alométrico positivo de acuerdo a Froese *et al.* (2011), muy similar al reportado por Velázquez-Velázquez *et al.* (2015), en dos especies de la familia *Profundulidae*: *Tlaloc labialis* y *Profundulus punctatus*. Por su parte, Carlander (1969) y Froese (2006) mencionan que más del 90 % de las especies de peces, poseen un tipo de crecimiento isométrico, por lo que la respuesta del valor de alometría positiva de *T. hildebrandi* podría considerarse a rasgos adaptativos con alto valor evolutivo (Froese, 2006). La variación en el valor del índice de condición entre sexos para ambas poblaciones se considera que se debe al aumento de peso de las hembras por el proceso reproductivo, ya que la variación del factor de condición en los peces se atribuye a diversos factores, tales como la disponibilidad de alimento o estacionalidad (Barnham y Baxter, 1998).

Los resultados obtenidos en este trabajo, generan un mayor conocimiento de la especie muy útil para considerarlo como herramienta fundamental en el manejo y el diseño de estrategias viables de conservación sobre esta especie que podría ser considerada junto con otras especies endémicas de los altos de Chiapas, como especies banderas, con el propósito de proteger este frágil ecosistema de los humedales de los altos de Chiapas.

2.6.- LITERATURA CITADA

- Arancibia, H., Cubillos, L., Remmaggi, R. y Alarcón, R. (1994). Determinación de la talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), del área de Talcahuano, Chile. *Biol. Pesq.* 23: 11-17
- Barnham, C., & Baxter, A. (1998). Condition factor, K, for salmonid fish. *Fish. Notes.* (5), 1-3.
- Brown-Peterson, N.J., D.M. Wyanski, F. Saborido-Rey, B.J. Macewicz & S.K. Lowerre-Barbieri. (2011). A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Mar. Coast. Fish. Dyn. Manage. Ecosyst. Sci.*, (3), 52-70.
- Carlander, K. D. (1969). *Handbook of freshwater fishery biology.* University Press, the low a State, EEUU. (I), 752.
- De Vlaming, V., Grossman, G. & Chapman, F. (1982). On the use of the 478 gonosomatic index. *Comparative Biochemistry and Physiology* 73, 31 - 39.
- FAO, (2001). Directrices para la recopilación sistemática de datos relativos a la pesca de captura. Documento preparado en la consulta de expertos FAO/DANIDA. Bangkok, Tailandia, 18-30 de mayo de 1998. Documento técnico de pesca. (382), 132.
- Fox, J., and Weisberg, S. (2011). *An R companion to applied regression.* 2nd edition. SAGE. 149-157.
- Froese R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22 (4): 241–253.
- Froese, R., Tsikliras, A. C., & Stergiou, K. I. (2011). Editorial note on weight–length relations of fishes. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 41(4), 261-263.
- Fulton, T. (1902) Rate of growth of seas fishes. *Sci. Invest. Fish. Div. Scot. Rept.* 20.

- Gómez-González, A. E., Velázquez-Velázquez, E., Anzueto-Calvo, M. J., Maza-Cruz, M. F. (2015). Fishes of the Grijalva River basin of Mexico and Guatemala. Check List of the Journal of the biodiversity data.
- Gómez-Márquez, J. L., Guzmán-Santiago, J. L., y Olvera-Soto, A. (1999). Reproducción y crecimiento de Heterandria bimaculata (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) en la Laguna " El Rodeo", Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*, 47(3), 581-592.
- Heincke, F. (1908). Bericht über die Untersuchungen der Biologischen ANSTATL AUT Helgolad zur Naturgeschichte der Nutzfische. Die Beteiligung Deutschlands an der Internattionalen Meeresforschung, 4/5: 67-155.
- Holden, M. J., Y D. F. S. Raitt. (1975). Manual de Ciencia Pesquera: Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Roma: FAO.
- Le Cren, E.D. (1951). Length-weight relationship and seasonal cycle in gonadal weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *The Journal of Animal Ecology*. 20: 201-219
- Martínez Gómez J. E. (2002). Historias de vida. En: Conservación de aves experiencias en México. 335-378.
- Maya-Peña. E. y Marañón-Herrera, S. (1998). Efecto del ph sobre la proporción de sexos, el crecimiento y la sobrevivencia del guppy *Poecilia reticulata* Peters, 1859. *Hidrobiológica* 8 (2): 125-132.
- Maya-Peña. E. y Marañón-Herrera, S. (2001). Efecto de la temperatura sobre la proporción sexual de *Poecilia reticulata* Peters, 1859 (Pisces: Peciliidae). *Hidrobiológica* 11: 157-162.
- McCallum, H. (2000). Population Parameters: Estimation for Ecological Models. Blackwell Science Ltd. Oxford, London.
- Mercado-Silva, N., Lyons, J. & Contreras-Balderas, S. (2006). Mexican Fish-Based Indices of Biotic Integrity, their use in the conservation of freshwater resources. *In* Lozano-Vilano y A. Contreras-Balderas (eds). Studies of North American desert fishes in honor of E.P. (Phil) Pister, conservationist. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 208.

- Morales, J. C. & Pérez, F. H. (2010). Los humedales de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas: actores y disputas. *Revista de Geografía Agrícola*, (44), 91-104.
- Nikolsky, V. G. (1963). *The Ecology of Fishes*. Academic, Londres, Inglaterra.
- R Development Core Team (2013). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available from: <http://www.R-project.org> (accessed 26 January 2017).
- Rickter, W. E. (1973). Linear regressions in fisheries research. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30, 409-434.
- Rodríguez, de la Cruz M.C. (1988). *Los recursos pesqueros de México y sus pesquerías*. Secretaria de Pesca. México. 237 pp.
- Snelson, F.F. (1989). Social and environmental control of life history traits in poeciliid fishes, p. 149-161. In Meffe, G.K. & F.F. Snelson, Jr. (eds). *Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)*. Ed. Prentice Hall, Nueva Jersey.
- Velázquez-Velázquez, E., López-Vila, J. M., Gómez-González, A. E., Romero-Bermy, E. I., Lievano-Trujillo, J. L., & Matamoros, W. A. (2016). Checklist of the continental fishes of the state of Chiapas, Mexico, and their distribution. *ZooKeys*, (632), 99.
- Velázquez-Velázquez, E. y Schmitter-Soto, J. J. (2004). Conservation status of the San Cristobal pupfish *Profundulus hildebrandi* Miller (Teleostei: Profundulidae) in the face of urban growth in Chiapas, Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14 (2), 201-209.
- Velázquez-Velázquez, E., Maza-Cruz, M., Gómez-González, A. E., & Navarro-Alberto, J. A. (2015). Length-weight relationships for 32 fish species in the Grijalva River Basin, México. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(2), 413-414.
- Weldele, M. L., Zúñiga-Vega, J. J., & Johnson, J. B. (2014). Life history of *Gambusia vittata* (Pisces: Poeciliidae). *The Southwestern Naturalist*, 59(4), 449-460.

3.- CAPÍTULO II. ABUNDANCIA DE *Tlaloc hildebrandi* (Miller, 1950), EN DOS POBLACIONES DE LOS ALTOS DE CHIAPAS, MÉXICO Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES

3.1.- RESUMEN

Los factores ambientales, como la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, profundidad, turbidez, tipo de substrato, y otros más, juegan un papel importante en la dinámica de la abundancia de las poblaciones de peces. En este estudio se analizó la relación de la abundancia expresada como captura por unidad de esfuerzo (CPUE) del pez endémico *Tlaloc hildebrandi* con los factores ambientales en dos poblaciones de los altos de Chiapas. Los peces fueron capturados durante ocho campañas de muestreo, en el periodo comprendido entre octubre del 2015 a septiembre del 2016 en nueve localidades. Como arte de pesca se utilizó un equipo de electropesca y una malla tipo chinchorro. En cada localidad se muestreo una sección de río de 150 m, dividido en tres transectos con el propósito de medir un total de 26 factores ambientales. Se emplearon los análisis de componentes principales para discriminar los factores ambientales más importantes y se utilizaron Modelos Lineales Generalizados para entender cuál era la combinación de factores que mejor explicaban la abundancia en las dos poblaciones de los altos de Chiapas. Se recolectaron 3903 individuos de *T. hildebrandi* en las poblaciones estudiadas (3559 en Chenalhó y 341 en San Cristóbal). En la comparación de la CPUE de las dos poblaciones, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($W=188.5$, $p<0.001$). Se observó la CPUE media más alta del valle de Chenalhó en el mes de abril, mientras que en el valle de San Cristóbal fue en el mes de julio. Se demuestra la asociación de la abundancia de *Tlaloc hildebrandi* con factores ambientales en dos poblaciones de los altos de Chiapas, ya que el análisis de PCA explicó el 37 % de la variabilidad estandarizada de la matriz de variables ambientales y en el análisis de Modelo Lineal Generalizado (GLM por sus siglas en Inglés), se encontró que la abundancia está altamente asociada con tres parámetros ambientales, la grava, los cantos rodados y la velocidad de corriente.

Palabras clave: factores ambientales, *Tlaloc hildebrandi*, Chiapas, abundancias.

3.2.- INTRODUCCIÓN

Ha sido ampliamente demostrado que las características de paisaje afectan las condiciones de microhábitat y la calidad del agua, las cuales tienen importantes influencias en la abundancia de los organismos (Olaosebikan *et al.*, 2015; Kwon *et al.*, 2012; Anderwald *et al.*, 2012; Dala *et al.*, 2012; Koel y Peterka, 2003; Kouamélan *et al.*, 2003). Particularmente las variables ambientales ejercen efecto en las comunidades de peces en múltiples escalas espaciales, por ejemplo, las condiciones físico-químicas del agua y físicas del hábitat, pueden permitir que una especie se desarrolle óptimamente, influyendo así en su abundancia (Nunn, *et al.*, 2007). También se ha demostrado que la fragmentación de hábitat y su asociada pérdida de conectividad entre ecosistemas tienen una influencia negativa en las poblaciones de organismos acuáticos (Wilcox y Murphy, 1985) y que las especies de distribución restringida son más vulnerables a la extinción como resultado de actividades antropogénicas que destruyen o modifican el ambiente (Ceballos y Navarro, 1991; Gaston, 1994).

Actualmente, los ecosistemas acuáticos de los altos de Chiapas, se encuentran amenazados por la dinámica espacial en la cual los actores sociales están en constante interacción, orientada a la urbanización del espacio geográfico, además se ha presentado un incremento de la población humana y cambio de uso de suelo, mismos que han ocasionado una sobreexplotación del recurso hídrico, afectando así los organismos acuáticos en dicho medio (Morales y Pérez, 2010). Por lo que el propósito de este estudio fue estimar las variaciones de la abundancia expresada como la Captura Por unidad de Esfuerzo (CPUE) de *T. hildebrandi* (especie protegida por las leyes mexicanas, que se encuentra en la categoría de En Peligro de Extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010) y su relación con las variables ambientales en dos poblaciones de los altos de Chiapas.

3.3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1 Área de estudio.

El estudio se llevó a cabo en los altos de Chiapas, contemplado en dos redes Hidrográficas, las cuales son: 1) Grijalva-Teapa y 2) Grijalva-Chicoasén (figura 1). Se tomaron en cuenta nueve localidades o sitios de muestreo, cuatro de ellas localizadas en el municipio de San Cristóbal de las Casas (denominado valle de San Cristóbal) y cinco localidades en los municipios de San Juan Chamula, Chenalhó y Chalchihuitán (denominado valle de Chenalhó) (figura 1 y cuadro 1), con altitudes de 1277 a 2163 metros sobre el nivel del mar. En cada localidad se realizaron ocho muestreos entre los meses de octubre de 2015 a septiembre de 2016. Las localidades muestreadas fueron elegidas con el propósito de comparar la nueva población de *T. hildebrandi* (valle de Chenalhó) contra la población históricamente conocida del valle de San Cristóbal (i.e. Velazquez-Velázquez y Schmitther-Soto, 2004).

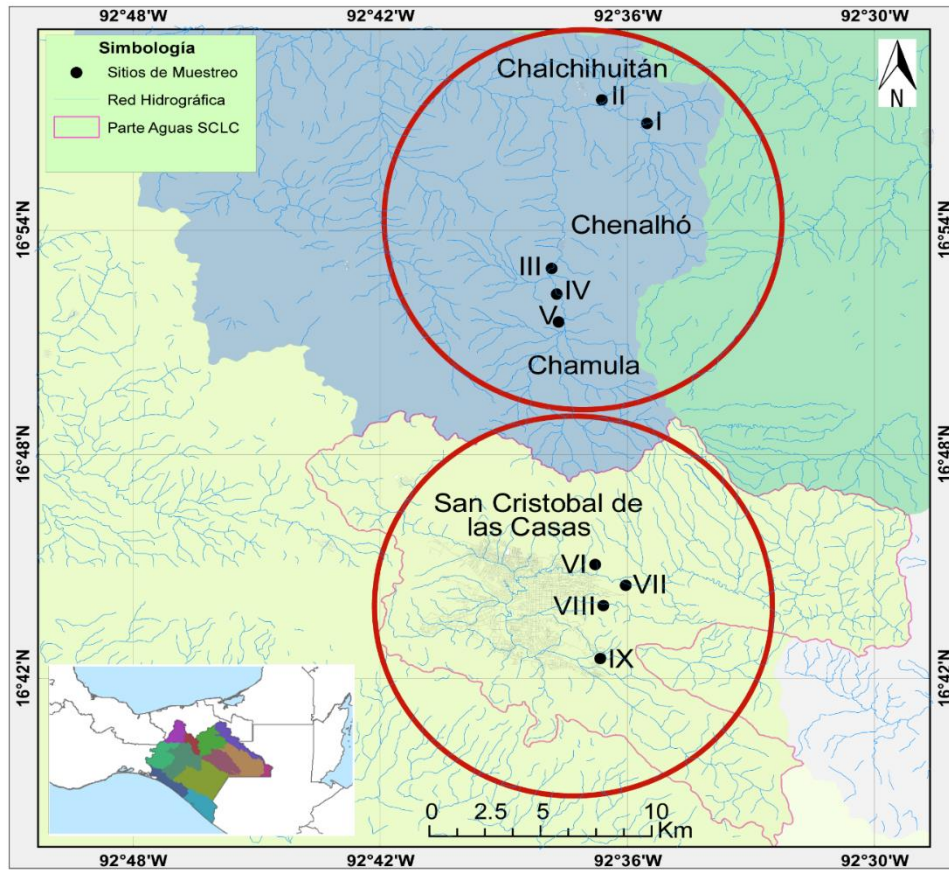


Figura 1. Localidades de muestreo en dos poblaciones de *T. hildebrandi* en dos redes hidrográficas de los altos de Chiapas.

Cuadro1. Localidades de muestreo en el valle de San Cristóbal y valle de Chenalhó, Chiapas, México.

ID	POBLACIÓN	LATITUD N	LONGITUD W	ALTITUD	LOCALIDAD	MUNICIPIO
I	V. Chenalhó	16.955415°	-92.610206	1277	Colonia Chalchihuitán	Chalchihuitán
II	V. Chenalhó	16.947326°	-92.593656	1314	Colonia Las Limas	Chenalhó
III	V. Chenalhó	16.877482°	-92.630416	1559	Entrada Chenalhó	Chenalhó
IV	V. Chenalhó	16.871916°	-16.871916	1577	Toma de agua Chenalhó	Chenalhó
V	V. Chenalhó	16.858179°	-92.625379	1654	Colonia Yitic	San Juan Chamula
VI	V. San C.	16.746195°	-92.614537	2139	Colonia 4 de marzo-rio Amarillo	San Cristóbal de las Casas
VII	V. San C.	16.743658°	-92.602017	2162	Colonia Molino los Arcos	San Cristóbal de las Casas
VIII	V. San C.	16.733950°	-92.611625	2163	Centro Ecoturístico las Canastas	San Cristóbal de las Casas
IX	V. San C.	16.708468°	-92.612033	2132	Fuera del Hotel Rumbo a la UNICH	San Cristóbal de las Casas

3.3.2. Trabajo de campo.

Los peces fueron capturados en un periodo que comprendió de octubre del 2015 a septiembre del 2016. Para la captura de peces se utilizaron un equipo de electro pesca y una red tipo chinchorro (3 m de largo por 2 m de alto y 0.5 cm de luz malla), se realizó un solo arrastre, empleando ambos equipos en una sección de río de 150 m, en cada localidad de muestreo. Los ejemplares capturados inmediatamente fueron contados y fijados en formalina al 10% y después de al menos 72 horas fueron transferidos a una solución de etanol al 70% para su preservación final. Cada muestra se etiquetó con datos de localidad, fecha y nombre de colector. Parte de las muestras se depositaron en la colección de peces de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH-MZ), con el permiso de recolecta Científica No. SGPA/DGVS/00488/16, emitido por la Dirección General de Vida Silvestre, de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para la toma de parámetros ambientales en cada localidad se tomó en cuenta una sección de río de 150 m, dividido a su vez en tres transectos perpendiculares al eje del río, con una separación entre ellos de 75 metros, y cada transecto fraccionado a su vez en tres puntos (figura 2). Se midieron un total de 26 parámetros, de los cuales 20 pertenecen a la caracterización del hábitat y seis pertenecen a parámetros fisicoquímicos del agua, los cuales son:

Corriente (%), pequeños rápidos (%), rápidos (%), remansos (%), cascadas (%), ancho de río (m), dosel (%), disponibilidad de hábitat (%), vegetación en el agua (%), erosión (izquierdo-derecho) (%), partes de árboles (pequeñas-grandes) (%); dichas variables se registraron en las tres secciones de cada transecto, mientras que en cada punto de las secciones se midieron los parámetros de turbidez (cm), profundidad (cm), velocidad (m/s) y tipo de sustrato (detritus, arcilla, limo, arena, grava, cantos rodados y bloques) (%). Cabe señalar que el valor de 100 % es en relación a la totalidad del área de muestreo.

Los parámetros fisicoquímicos fueron: Salinidad (%), temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto (mg/L), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y Sólidos Totales Disueltos (mg/L).

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos se utilizó un equipo multiparamétrico (YSI-556), para otros parámetros se usaron cinta métrica, flexómetro y flujómetro (Flowatch).

En campo, cada muestra fue etiquetada para el control de las mismas y en el laboratorio fueron clasificadas por localidad y número de salida, a su vez en cada una de las muestras se rectificó el conteo de los organismos, obteniendo así la abundancia como Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE= número total de individuos capturados en un transecto de 150 metros de manera estandarizada en las localidades de muestreo) (FAO, 2001) de *T. hildebrandi*.

3.3.3. Análisis de datos.

Para evaluar la colinialidad de las 26 variables ambientales se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en Inglés), de tal manera que se detectaron los componentes más importantes. Resultado de lo anterior, se eligieron 13 de los 26 parámetros, los cuales tenían valores propios más altos. Posteriormente se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM por sus siglas en Inglés) (McCullagh & Nelder, 1989), ya que este permite utilizar distribuciones no normales y varianzas no constantes, para este análisis se utilizaron los trece parámetros ambientales obtenidos en el análisis de PCA anterior. El análisis de GLM se practicó con el objetivo de determinar la combinación de variables que se encuentran relacionadas con la CPUE, estos análisis se realizaron en el software Statgraphics Centurión XVI. En el análisis de MLG se consideró a la abundancia y los parámetros ambientales como variables dependientes e independientes respectivamente.

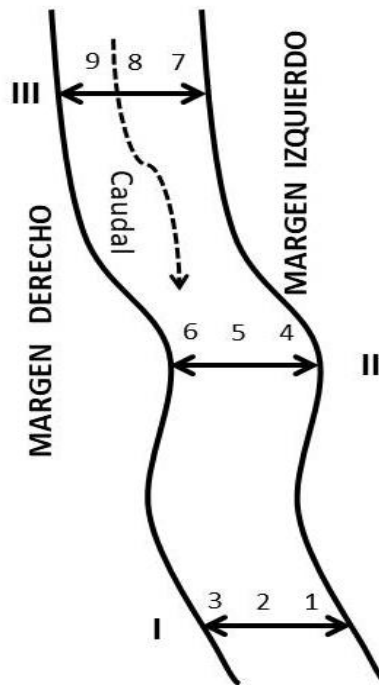


Figura 2. Esquema de medición/determinación de parámetros ambientales en tres segmentos del transecto de 150 m de longitud en cada sitio de muestreo.

3.4. RESULTADOS

3.4.1. Abundancia como CPUE.

Se recolectaron 3903 individuos de *T. hildebrandi* en las dos poblaciones estudiadas (valle de Chenalhó y de San Cristóbal de las Casas), de los cuales 3193 fueron hembras y 707 machos, tres individuos fueron indeterminados, sin embargo, la población más abundante fue la del valle de Chenalhó con 3 559 individuos en comparación al valle de San Cristóbal con 341 individuos. La CPUE promedio por localidad en el valle de Chenalhó fue de 89.05, mientras que para San Cristóbal fue de 10.65 (figura 3), estas diferencias observadas entre las dos poblaciones fueron estadísticamente significativas ($W= 188.5$, $p<0.001$). Se observó la CPUE media más alta del valle de Chenalhó en el mes de abril, mientras que en el valle de San Cristóbal fue en el mes de julio (figura 4).

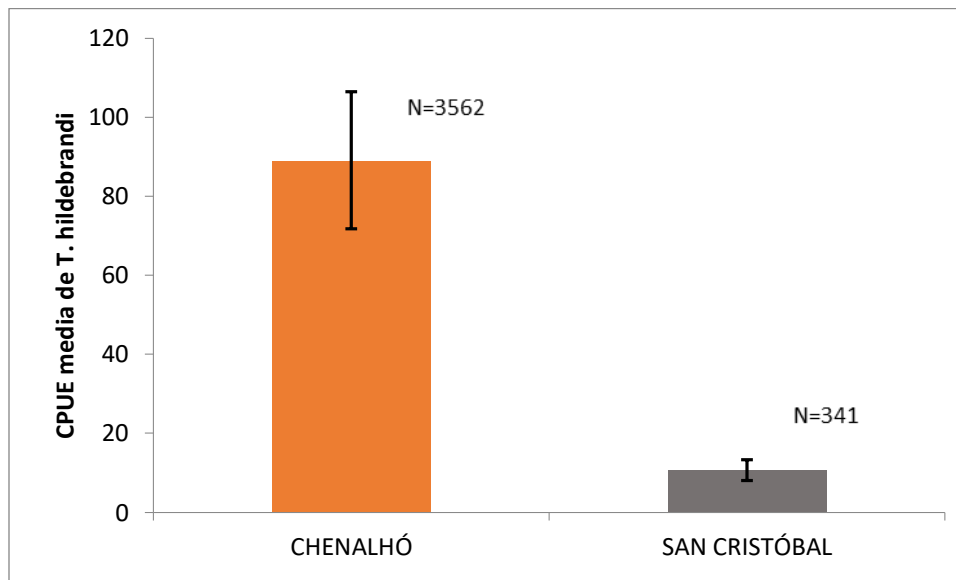


Figura 3. CPUE promedio de *T. hildebrandi* en dos poblaciones de los altos de Chiapas (barras ± 1 Error estándar).

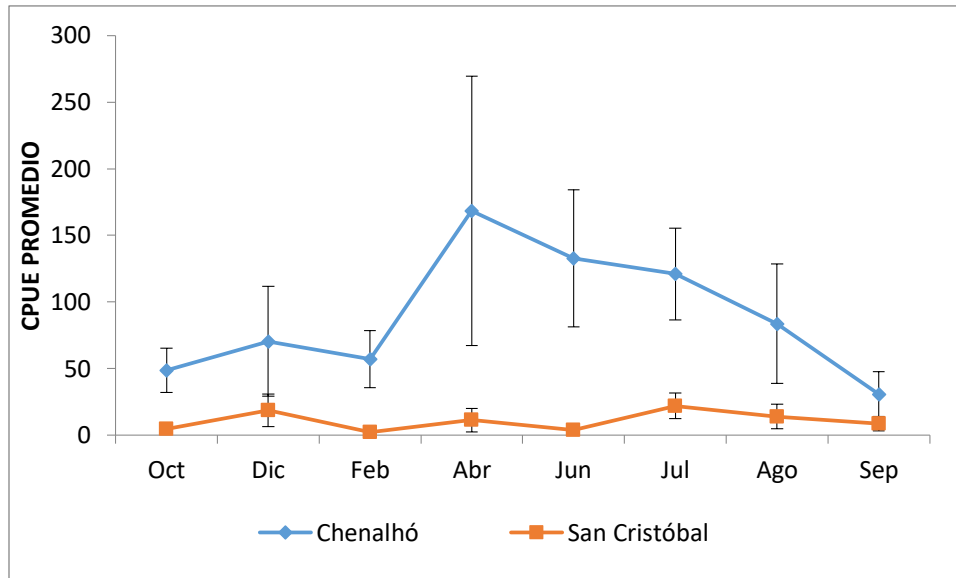


Fig. 4. CPUE promedio de muestreos de *T. hildebrandi* en el valle de Chenalhó y de San Cristóbal.

3.4.2. Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales que incluye los 26 parámetros ambientales explicó un 37.89 % de la varianza. El PC1 representó un 26.81 % de la varianza explicada y agrupó parámetros de hábitat y fisicoquímicos del agua (Velocidad, Cantos Rodados, Bloques, Dosel, Profundidad, Grava, Remansos). El PC2 explicó un 11.08 % de la varianza, de igual manera que el PC1, agrupó parámetros de hábitat y fisicoquímicos del agua (Arena, Pequeños rápidos, Oxígeno Disuelto, Limo, Arcilla, Temperatura) (Cuadro 2 y figura 5).

Cuadro 2. Valores de 26 parámetros ambientales empleados para el Análisis de Componentes Principales. Se resaltan en negro los 13 valores más altos en ambos ejes.

Abreviación	Parámetro ambiental	PC1	PC2
VEL	Velocidad	-2.2642	-0.002529
CANTOS_ROD	Cantos Rodados	-1.9962	1.200775
BLOQ	Bloques	-1.98	1.187406
DOSEL	Dosel	-1.879	1.138907
PROF	Profundidad	-1.807	0.21913
GRAV	Grava	-1.6623	1.333487
CORR	Corriente	-1.5915	0.639553
AREN	Arena	-1.5517	1.605518
ANC_RIO	Ancho del río	-1.0751	0.10602
PEQ_RAP	Pequeños rápidos	-1.0056	1.817005
HAB	Hábitat	-0.9527	0.106891
PAR_ARB_PEQ	Partes de árboles pequeños	-0.7573	-1.115892
PH	PH	-0.7225	-0.670258
CASC	Cascada	-0.3148	-1.127534
DO	Oxígeno Disuelto	-0.2288	-2.767279
PAR_ARB_GR	Partes de árboles grandes	-0.2229	-0.856369
ERO_DER	Erosión derecha	0.469	1.248882
DETR	Detritus	0.5798	0.54659
SAL	Salinidad	0.7241	1.002229
ERO_IZQ	Erosión izquierda	0.7298	1.079373
LIMO	Limo	0.8039	1.44053
ARCI	Arcilla	1.0056	2.355048
TEMP	Temperatura	1.1788	2.065704
COND	Conductividad	1.3806	0.805552
VEG_AGUA	Vegetación en el agua	1.385	0.311341
REM	Remansos	1.6055	1.630879
% de la varianza explicada		26.81	11.08

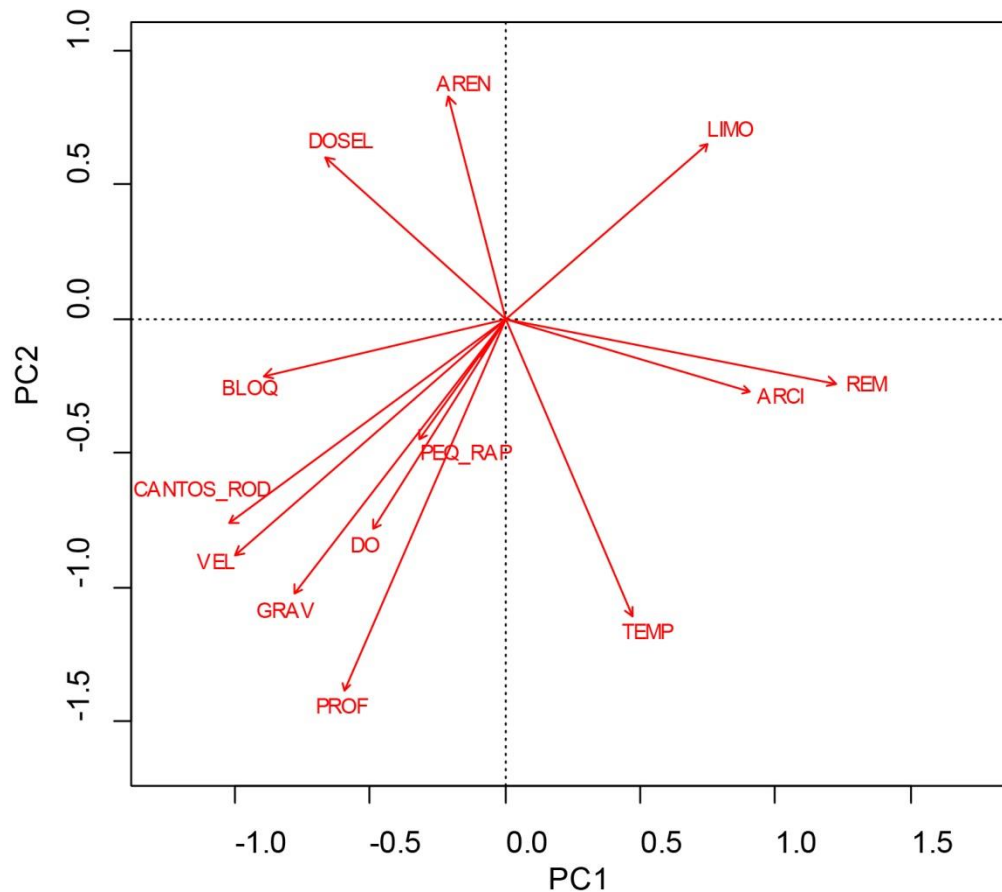


Figura 5. Representación de 13 parámetros ambientales en el Análisis de Componentes Principales que explica un 37.89 % de la varianza. El PC1 representa el 26.81 % y el PC2 el 11.08 %. VEL= Velocidad, CANTOS_ROD= Cantos Rodados, BLOQ= Bloques, DOSEL= Dosel, PROF= Profundidad, GRAV= Grava, AREN= Arena, PEQ_RAP= Pequeños rápidos, DO= Oxígeno Disuelto, LIMO= Limo, ARCI= Arcilla, TEMP= Temperatura, REM= Remansos.

3.4.3. Modelo Lineal Generalizado.

En el análisis de MLG, se encontró que la abundancia es significativamente diferente a un nivel de confianza del 95.0%, con los 13 factores predictivos ($F=3.40$, $p= 0.0007$).

En el Análisis de Varianza entre la CPUE y los 13 factores ambientales, se obtuvieron los parámetros que representan las condiciones de hábitat como los que mejor explicaban las variaciones de la abundancia en las dos poblaciones de *T.*

hildebrandi. Los parámetros ambientales significativamente diferentes fueron cantos rodados, grava y velocidad de la corriente (cuadro 2).

Cuadro 3. Significancia estadística de la abundancia con respecto a cada uno de los 13 factores ambientales analizados con la CPUE. Resalta en negro los tres parámetros ambientales más significativos. VEL= Velocidad, CANTOS_ROD= Cantos Rodados, BLOQ= Bloques, DOSEL= Dosel, PROF= Profundidad, GRAV= Grava, AREN= Arena, PEQ_RAP= Pequeños rápidos, DO= Oxígeno Disuelto, LIMO= Limo, ARCI= Arcilla, TEMP= Temperatura, REM= Remansos.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
ARCI	7063.55	1	7063.55	1.21	0.2770
AREN	14900.6	1	14900.6	2.54	0.1165
BLOQ	16852.1	1	16852.1	2.88	0.0956
CANTOS_ROD	35324.6	1	35324.6	6.03	0.0173
DO	20711.5	1	20711.5	3.53	0.0654
DOSEL	17104.7	1	17104.7	2.92	0.0932
GRAV	76679.9	1	76679.9	13.09	0.0006
LIMO	19895.7	1	19895.7	3.40	0.0708
PEQ_RAP	262.886	1	262.886	0.04	0.8330
PROF	919.965	1	919.965	0.16	0.6935
REM	1017.7	1	1017.7	0.17	0.6785
TEMP	481.85	1	481.85	0.08	0.7754
VEL	24769.3	1	24769.3	4.23	0.0445
Residuo	322262.	55	5859.31		
Total (corregido)	581058.	68			

3.5. DISCUSIÓN

Los valores de CPUE presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los valles de San Cristóbal y Chenalhó, los valores más bajos se presentaron en el valle de San Cristóbal y los más altos en el valle de Chenalhó. Es probable que lo anterior se deba a la fuerte presión humana en el valle de San Cristóbal, así como la presencia de especies exóticas, destrucción y modificación del hábitat derivado del desmedido crecimiento de la mancha urbana, además se encuentra las diferencias de los factores ambientales entre ambas poblaciones ya que de acuerdo Kwon et al. (2012), la abundancia de las poblaciones de organismos acuáticos son el resultado de la combinación de diversos factores ambientales o condiciones abióticas, en un estudio de abundancias Velázquez-Velázquez y Schmitter-Soto (2004), registraron CPUE más altas de *T. hildebrandi* (cabe señalar que el esfuerzo de captura fue diferente a este estudio), en el valle de San Cristóbal de las Casas, sin embargo advertían las posibles consecuencias adversas a esta especie derivadas de las evidencias de crecimiento de la mancha urbana y por ende la contaminación, así como la introducción de especies exóticas (*Onchorhynchus mykiss* y *Cyprinus carpio*).

De igual manera en este estudio se logró demostrar que de los 26 parámetros ambientales estudiados 13 explicaban mejor la varianza de dichos factores y en el análisis de GLM se encontró que los factores: velocidad del agua, cantos rodados y la presencia de grava fueron las variables ambientales que más influenciaron la CPUE, estos tres parámetros forman parte de la caracterización del hábitat, lo cual concuerda con Castillo y Zárate (2001) quienes señalan que los factores ambientales, como el tipo de sustrato, juegan un papel importante en la determinación de la abundancia de peces.

Se ha demostrado que la fragmentación de hábitat o pérdida de conectividad de hábitat tienen una influencia dañina en las poblaciones de organismos acuáticos (Wilcox y Murphy, 1985) y además de acuerdo a Ceballos y Navarro (1991) y Gaston

(1994) las especies de distribución restringida son más vulnerables a la extinción como resultado de actividades antropogénicas que destruyen o modifican el ambiente, por lo que se sugiere que en un futuro se considere incluir los resultados de este estudio principalmente los resultados del análisis de los factores ambientales de caracterización de hábitat, en los planes de manejo de esta especie endémica de los altos de Chiapas, ya que este estudio es el primero en que estos supuestos se analizan estadísticamente.

3.6. LITERATURA CITADA

- Anderwald, P., Evans, P. G. H., Dyer, R., Dale, A., Wright, P. J., Hoelzel, A. R. (2012). Spatial scale and environmental determinants in minke whale habitat use and foraging. . Marine Ecology Progress Series. Vol. 450: 259–274
- Castillo, M. y Zárate, R. (2001). Patrones espacio-temporales de la abundancia de peces en la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Hidrobiología. vol.11 no.1.
- Ceballos, G. y Navarro, D. (1991). “Diversity and conservation of Mexican mammals”, en M. A. Mares y D. J. Schmidly (eds.), *Latin American Mammalogy: History, Biodiversity and Conservation*. University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma, pp. 167-198.
- Dalla Rosa, L., Ford, J. K. B. and Trites, A. W. (2012). Distribution and relative abundance of humpback whales in relation to environmental variables in coastal British Columbia and waters. *Continental Shelf Research* 36, 89–104
- FAO, (2001). Directrices para la recopilación sistemática de datos relativos a la pesca de captura. Documento preparado en la consulta de expertos FAO/DANIDA. Bangkok, Tailandia, 18-30 de mayo de 1998. Documento técnico de pesca. (382),132.
- Gaston, K. J. (1994). *Rarity*. Chapman and Hall, Nueva York.
- Koela T. M. and Peterkaa J. J. (2003). Stream fish communities and environmental correlates in the Red River the North, Minnesota and North Dakota. *Environmental Biology of Fishes*, 67: 137-155.
- Kouamélan E. P, Teugels G. G, N’Douba V, Bi G. G, Koné T (2003). Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin. *Hydrobiologia* 505:139-146.
- Kwon, Y. S., Li, F., Chung, N., Bae, M. J., Hwang, S. J., Byoen, M. S., & Park, Y. S. (2012). Response of fish communities to various environmental *research and public health*, 9(10), 3629-3653.

- McCullagh, P. & J.A. Nelder. (1989). *Generalized Linear Models*. Chapman & Hall, London, 511.
- Morales, J. C. & Pérez, F. H. (2010). Los humedales de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas: actores y disputas. *Revista de Geografía Agrícola*, (44), 91-104.
- Nunn, A. D., Harvey, J. P., Britton, J. R., Frear, P. A. AND Cowx, I. G. (2007). Fish, climate and the Gulf Stream: the influence of abiotic factors on the recruitment success of cyprinid fishes in lowland rivers. *Freshwater Biology* 52, 1576–1586.
- Olaosebikan, B. D., Lamai, S. L. and. Ibikunle, O. (2015). Influence of environmental variables on the relative abundance and habitat use of two sympatric notobranchiid fishes in a tropical stream. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*. Vol. 7(6), 94-106.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre, segunda sección: 1-77.
- Velázquez-Velázquez, E. y Schmitter-Soto, J. J. (2004). Conservation status of the San Christóbal pupfish *Profundulus hildebrandi* Miller (Teleostei: Profundulidae) in the face of urban growth in Chiapas, Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14 (2), 201-209.
- Wilcox, B.A., Murphy, D. (1985). Conservation strategy: the effect of fragmentation on extinction. *Am. Naturalist* 125:879-887.

4. - CONCLUSIONES GENERALES

Se recolectaron 3903 individuos de *T. hildebrandi* en las dos poblaciones de los altos de Chiapas, 3193 fueron hembras y 707 machos, tres individuos fueron indeterminados; la población más abundante fue la del valle de Chenalhó con 3559 individuos en comparación al valle de San Cristóbal con 341 individuos. La Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) promedio por localidad en el valle de Chenalhó fue de 89.05, mientras que para San Cristóbal fue de 10.65. Se encontró que la CPUE presentó diferencias estadísticamente significativas entre las dos poblaciones de *T. hildebrandi*, en los altos de Chiapas.

La comparación de proporción sexual en ambas poblaciones presentó diferencias significativas ya que en el valle de Chenalhó las proporciones de hembras son más altas que los machos.

Los valores del Índice Gonadosomático (IGS) de *T. hildebrandi* en ambas poblaciones de los altos de Chiapas, sugieren una actividad reproductiva en casi todo el año, exceptuando el mes de septiembre, sin embargo los valores más altos del IGS para el valle de San Cristóbal fueron de febrero a julio y para el valle de Chenalhó los valores más altos de IGS se presentaron en febrero y abril, lo que sugiere que presentan una época óptima de reproducción de febrero a julio.

La madurez sexual en las hembras en ambas poblaciones la alcanzan en la clase de talla de 41 a 60 mm y los machos también de ambas poblaciones en la clase de talla de 81-100 mm.

La fecundidad de *T. hildebrandi* obtuvo un promedio de 1077.2 óvulos por hembras y un peso promedio de 7.19 gr por gónada con un rango de 0.12 a 36.68 gr. El menor número de óvulos producidos por hembra fue de 352, mientras que el máximo fue de 4393. Se observó que la fecundidad en ambas poblaciones se incrementa en función de la longitud (mm) y el peso (gr).

De acuerdo al análisis de relación longitud peso los ejemplares de popoyote de los valles de Chenalhó y de San Cristóbal presentaron valores de tipo de crecimiento alométrico positivo ($b=3.1$) con valores de correlación mayores a 0.9.

De los 26 parámetros ambientales medidos en el Análisis de Componentes Principales se explicó un 37.89 % de la varianza, que agruparon parámetros de hábitat y fisicoquímicos del agua. En el análisis de Modelos Lineales Generalizados (MLG) Los parámetros que representan las condiciones de hábitat como los que mejor explicaban las variaciones de la abundancia en las dos poblaciones de *T. hildebrandi* son Cantos rodados, Grava y Velocidad.

De acuerdo a los resultados de este estudio los factores ambientales de caracterización de hábitat son importantes a considerar en la variación de las abundancias de *T. hildebrandi*, de tal manera que se recomienda que en un futuro se consideren dichos parámetros y este estudio como una aportación en los planes de manejo de esta especie endémica en los altos de Chiapas, ya que este estudio es el primero en que estos supuestos se analizan estadísticamente.

4.1.- LITERATURA CITADA

- Eschmeyer, W.N., Fricke, R. & Van der Laan, R. (Eds.) (2017) Catalog of Fishes: genera, species, references. Available from: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (accessed 30 oct 2017).
- Gómez-González, A. E., Velázquez-Velázquez, E., Anzueto-Calvo, M.J., & Maza-Cruz, M. F. (2015). Fishes of the Grijalva River basin of Mexico and Guatemala. *Check List*, 11(5), 1726.
- González-Díaz, A. Á. (2013). Acerca de un género endémico *Profundulus* Hubbs1924 (Cyprinodontiformes: Profundulidae). pp. 298-300. En: *La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (conabio) y Gobierno del Estado de Chiapas, México.
- Hernández, C. J. (2012). Ecología de la reproducción del bolín yucateco *Floridichthys polyommus* (Hubbs 1936) en el Sistema lagunar La Carbonera, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Campus Puerto Ángel, Oaxaca, México.
- Jamangapé-Ovando, J.A., Velázquez-Velázquez, E., Martínez-Ramírez, E., Anzueto-Calvo, M.J., Gómez-González, A. E., Domínguez-Cisneros, S.E., McMahan, C. D., & Matamoros, W. A. (2016). Validity and Redescription of *Profundulus balsanus* Ahl, 1935 (Cyprinodontiformes: Profundulidae). *Zootaxa*, 4173(1), 55-65.
- Kwon, Y. S., Li, F., Chung, N., Bae, M. J., Hwang, S. J., Byoen, M. S. & Park, Y. S. (2012). Response of fish communities to various environmental variables across multiple spatial scales. *International Journal of environmental research and public health*, 9(10), 3629-3653.
- Mercado-Silva, N., J. Lyons, y S. Contreras-Balderas. 2006. Mexican Fish-Based Indices of Biotic Integrity, their use in the conservation of freshwater resources. In Lozano-Vilano y A. Contreras-Balderas (eds). Studies of North

American desert fishes in honor of E.P. (Phil) Pister, conservationist. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 208 pp.

- Miller, R. R. (1950). *Profundulus hildebrandi* a new cyprinodontid fish from Chiapas, México. *Copeia* 1: 22-30.
- Morales, J. C. & Pérez, F. H. (2010). Los humedales de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas: actores y disputas. *Revista de Geografía Agrícola*, (44), 91-104.
- Morcillo, F., Ornelas-García, C.P., Alcaraz, L., Matamoros, W.A. & Doadrio, I. (2016) Phylogenetic relationships and evolutionary history of the Mesoamerican endemic freshwater fish family Profundulidae (Cyprinodontiformes: Actinopterygii). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 94, 242–251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2015.09.002>
- Olinger, C. T., Peoples, B. K. y Frimpong E. A. (2016). Reproductive life history of *Heterandria bimaculata* (Heckel, 1848) (Poeciliinae: Poeciliidae) in the Honduran interior highlands: trait variation along an elevational gradient. *Neotrop. Ichthyol.*, 14 (1), 10. e150050
- Pérez, M. R., Pineda, L. R. y Medina, N. M. (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos In: Sanchez O. M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. (eds.), *Perspectivas sobre conservación de cosistemas acuáticos en México*. S y G editores, S.A de C.V. México D.F. p. 71-103.
- Saborido-Rey, F., Morgan MJ., Domínguez R. (2004). Estimation of reproductive potential for Flemish Cap. cod. NAFO SCR Doc. 04/61.
- Sadava, D., & Purves, W. H. (2009). *Vida/Life: La ciencia de la biología/The Science of Biology*. Ed. Médica Panamericana.
- Santos, M. 2000. *La naturaleza del espacio: técnica y tiempo. Razón y emoción*. Editorial Ariel, S. A. Barcelona. p. 347.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies

en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre, segunda sección: 1-77.

- Taylor, C. M., Holder, T. L., Fiorillo, R. A., Williams, L. R., Thomas, R. B. y Warren, M. L. (2006). Distribution, abundance and diversity of stream fishes under variable environmental conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 43-54.
- Velázquez-Velázquez, E. y Schmitter-Soto, J. J. (2004). Conservation status of the San Cristobal pupfish *Profundulus hildebrandi* Miller (Teleostei: Profundulidae) in the face of urban growth in Chiapas, Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14 (2), 201-209.
- Vila, A., Alcaraz, C. y García E. (2005). Life-history traits of invasive fish in small Mediterranean streams. *Biological Invasions*. 7, 107–116.

5. - ANEXOS

Formato de campo para registro de variables ambientales y datos de la especie de estudio.



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS MUSEO DE ZOOLOGÍA – ICBIOL

FORMATO DE CAMPO

No. Campo _____ Fecha _____ Nombre (1) _____
 Nombre (2) _____
 Hora: Inicio _____ Término _____ Nombre (3) _____
 Nombre (4) _____
 Vertiente _____ Cuenca _____ Río _____ Tributario 1 _____
 Tributario 2 _____ Orden del tributario _____
 Latitud _____ Longitud _____
 País _____ Estado _____
 Municipio _____ Ciudad o Pueblos Cercanos _____

Localidad

Distancia en kilómetros del punto de muestreo a la boca del río _____
 A. S.N.M.(m) en el punto _____ A. S.N.M.(m) 500 m río arriba _____
 A. S.N.M.(m) 500 m río abajo _____
 Ancho promedio del río (_____ + _____ + _____ + _____) / 5 = _____

>0 a 2m = 50m >2 a 5m = 75m >5m a 10m = 100 >10 a 20m = 200 >20 a 30m = 300m >30m = 400m

Número de lanzes / pases.

Atarraya _____ Chinchorrito _____ Electropesca _____

Parámetro	MEDIDAS EN CADA TRANSECTO		
	I	II	III
Corriente (%)			
Pequeños rápidos (%)			
Rápidos (%)			
Remansos (%)			
Cascadas (%)			
Ancho del río (m)			
Dosel (%)			
Salinidad (‰)			
Temperatura (°C)			
pH			
DO (mg/L)			
Conductividad (µS/cm)			
Secchi/turbidez (cm)			
Hábitat (%)			
Vegetación en el agua (%)			
Erosión (derecho %)			
Erosión (izquierdo %)			
Pequeñas partes de árboles (%)			
Partes de árboles grandes (%)			

