



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS  
DE HIDALGO**

**FACULTAD DE BIOLOGÍA**

---

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN  
CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ÁREA TEMÁTICA EN  
ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN**

**Evaluación de la capacidad de  
establecimiento de *Zoogoneticus  
tequila* (Webb y Miller 1998) nacidos *ex  
situ* a poblaciones cerradas *in situ***

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Presenta

**Biol. LUIS MARTIN MAR SILVA**

Director de tesis: Dra. Yvonne Herrerías Diego

Co-director de tesis: Dr. Luis Humberto Escalera Vázquez

MORELIA, MICHOACÁN.

Febrero 2020



**FACULTAD  
DE  
BIOLOGÍA**

## DEDICATORIA

**A mis padres, hermanos, cuñada, a BUA (mi sobrino) y a mis abuelos**

## AGRADECIMIENTOS

A mí asesora la Dra. Yvonne Herrerías Diego por su apoyo, consejos y amistad que ayudaron para culminar mi proyecto.

A mi Co-tutor el Dr. Luis Humberto Escalera Vázquez por el apoyo y la paciencia que me tuvo para concluir el presente trabajo.

A mis sinodales, el Dr. Omar Domínguez Domínguez, a la Dra. Martina Medina Nava y al Dr. Norman Mercado Silva por todos sus comentarios, observaciones y sugerencias que enriquecieron y mejoraron este trabajo.

Al Programa Institucional Maestría en Ciencias Biológicas del Área Temática de Ecología y Conservación por las facilidades otorgadas y apoyos proporcionados para concluir mis estudios de maestría.

A CONACYT por la beca 618642 otorgada durante los dos años de Maestría.

Al proyecto de “Reintroducción de *Zoogoneticus tequila* en los manantiales de Teuchitlán, Jalisco, México”.

Al Zoológico de Chester, al fondo de conservación de especies, a The Mohamed bin Zayed, a la Casa del Mar, a *Poecilia scandinavia*, al grupo de trabajo de Goodeidos, CONABIO, a la Asociación americana Livebearer, a POECILIA, a la asociación británica Livebeater, a Naturaleza Bella, a la Sociedad alemana de Livebearers Tooth Carp, por el apoyo y el recurso otorgado.

Y por último a la UMSNH, al Laboratorio de Biología Acuática y a la Facultad de Biología.

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	6
SUMARY.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	11
3. HIPÓTESIS.....	12
4. OBJETIVOS.....	13
4.1. General.....	13
4.2. Particulares.....	13
5. SITIOS DE ESTUDIO.....	14
5.1 Sitio <i>ex situ</i> .....	14
5.2 Sitio <i>in situ</i> .....	14
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
6.1 Diseño de muestreo de estudio <i>ex situ</i> .....	16
6.2 Análisis poblacionales.....	16
6.3 Análisis de la dieta.....	17
6.4 Análisis cualitativo.....	17
6.5 Análisis cuantitativo.....	18
6.6 Análisis parasitario.....	18
6.7 Diseño de muestreo sitio de estudio <i>in situ</i> .....	19
6.8 Análisis poblacionales.....	20
6.9 Análisis de la dieta.....	21
6.10 Análisis parasitario.....	21
7. RESULTADOS.....	22
7.1 Sitio de estudio <i>ex situ</i> .....	22
7.2 Sitio de estudio <i>in situ</i> .....	24

<b>8. DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>32</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>33</b>
<b>11. ANEXO.....</b>	<b>41</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sitios de muestreo. a1 y a2 representan la ubicación de la localidad de muestreo <i>ex situ</i> . b1 y b2 señalan la ubicación de la localidad de experimentación <i>in situ</i> .....	15
Figura 2. Mesocosmos utilizados para la experimentación <i>in situ</i> .....	20
Figura 3. Número de peces capturados por temporada de secas y lluvias durante el año 2016. Color azul = hembras; color naranja = machos .....	22
Figura 4. Dieta en las tres clases de tallas registradas en el estanque rústico durante el 2016. (Algas, R.V.=resto vegetal, R.I.T.=restos de insectos terrestres, R.I.A.=restos de insectos acuáticos, R.P.=restos de pez, R.I.N.I.=restos de insectos no identificados, Arácnidos=arañas, Zooplancton) .....	23
Figura 5. Supervivencia de <i>Z. tequila</i> en los mesocosmos a lo largo del tiempo. a) hembras y b) machos. En cada gráfico se expresa la ecuación de regresión y significancia del mismo.....	25
Figura 6. Dieta en las tres clases de tallas registradas en el estanque rústico durante el 2016. (Algas, R.V.=resto vegetal, R.I.T.=restos de insectos terrestres, R.I.A.=restos de insectos acuáticos, R.P.=restos de pez, R.I.N.I.=restos de insectos no identificados, G.A.S.T., Zooplancton) .....	26

## ANEXO

ANEXO 1. Parámetros de hábitat para los cuatro mesocosmos en el río Teuchitlán.....	41
---	----

## RESUMEN

Las actividades humanas han generado la degradación del ambiente natural lo cual ha provocado pérdida de diversidad, ocasionando la extinción de especies en ciertas regiones. Debido a esto se han planteado estrategias para mitigar los daños, como es el caso de la estrategia de conservación *ex situ* que nos permite conservar organismos en cautiverio con el objetivo de ser reintroducidos en su medio natural. En el presente estudio se evaluó la capacidad de establecimiento de *Zoogoneticus tequila* en el medio natural utilizando individuos reproducidos *ex situ*. Se evaluaron diferencias poblacionales de *Z. tequila* en condiciones de semi-cautividad en un sitio donde existe una población *ex situ*, así como en su localidad de origen (*in situ*). En condiciones *ex situ* se registró la longitud patrón, peso, proporción sexual, abundancia y riqueza de parásitos presentes, en el caso de las hembras se registró la gravidez. En condiciones *in situ*, se colocaron cuatro encierros experimentales, en cada uno se colocaron 40 peces (marcados) en una proporción sexual 3:1 de acuerdo con las proporciones observadas en el tratamiento *ex situ*. Cada dos meses, los peces fueron monitoreados y se registró por individuo la talla, el peso, sexo, presencia de hembras grávidas y número de crías. Para evaluar diferencias en longitud y peso se realizaron pruebas de ANOVA en ambos tratamientos, y se realizó un análisis de regresión entre la sobrevivencia y el tiempo del experimento. Se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo del contenido estomacal y se determinó el índice de importancia relativa de las presas. Los resultados mostraron diferencias significativas en abundancia *ex situ*, una proporción sexual de 3:1(hembras: machos); los resultados mostraron que los machos presentan una mayor sobrevivencia a lo largo del tiempo (140 días). Comparando las dos poblaciones y con relación a la dieta, solo se registró un artículo alimenticio diferente entre sitios. En los mesocosmos se encontró que los organismos se alimentaron, crecieron, y se reprodujeron. Esto sugiere que *Z. tequila* tiene la capacidad de sobrevivir, lo que nos indica que tiene un potencial significativo de restablecimiento en las condiciones ambientales actuales del río Teuchitlán, y que su reintroducción es altamente viable.

Palabras clave: **Conservación, especies endémicas, Goodeidae, sobrevivencia, reintroducción**

## ABSTRACT

Human activities have caused environmental degradation which has generated loss of diversity. Because this has raised damage mitigation strategies as *ex situ* strategy that allows us to conserve organisms in captivity in order to be reintroduced in natural environment. The aim of this work was to evaluate the capacity of establishment of *Zoogoneticus tequila* in its natural habitat using individuals reproduced in captivity. Population differences of *Z. tequila* were evaluated in semi-captive conditions in a place where there is an *ex situ* population and in its place of origin (*in situ*). Under *ex situ* conditions, the standard length, weight, sex were recorded and in the case of females, pregnancy was recorded. In addition to a representative sample, the diet and parasitological analyzes were obtained; *In situ* conditions, four experimental confinements were placed. In each, 40 fish were placed in a 3: 1 sex ratio according to the proportions observed in the *ex situ* treatment. *Z. tequila* individuals were labeled using elastomers. Every two months the fish were monitored and the size, weight, sex, presence of gravid females and number of young were recorded individually. In both treatments, ANOVA tests were performed to assess differences in length and weight, and a regression analysis was also performed between survival and time of the experiment. A qualitative and quantitative analysis of the stomach content was performed and the relative importance index of the dams was determined, as for the parasites the abundance and the parasite found in them were recorded. The results showed significant differences in the abundances in the site, a sexual proportion of three females for each male, the survival results showed that the males have a greater survival considering the time of the treatments (140 days), comparing the two populations; and in relation to diet, only one food item was registered between sites. In the mesocosmos it was found that organisms fed, grew, and reproduced. This suggests that *Z. tequila* has the ability to survive in the current environmental conditions of the Teuchitlán River and that its reintroduction is potentially viable.

Keywords: **Conservation, endemic species, Goodeidae, survival, reintroduction**

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios generados en los ecosistemas están altamente relacionados con las actividades antropogénicas, los cuales pueden ir desde cambios en el uso de suelo hasta la introducción de especies exóticas (Badii *et al.*, 2015). Estas actividades provocan disminuciones en las poblaciones biológicas, y en casos extremos la extinción de algunas de ellas, resultando en una pérdida estructural y funcional de los ecosistemas (González *et al.*, 2003).

Para evitar dicha pérdida, las organizaciones dedicadas a la conservación han intensificado los esfuerzos para frenar la tasa de extinción de especies, como en el caso de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés), llegando a implementarse dos tipos de estrategias de conservación “*ex situ*”, especies fuera de su hábitat natural y la “*in situ*” que la protege dentro de su hábitat natural (Griffith *et al.*, 1989; Segura y Montes 2001; Seddon *et al.*, 2007; Shan *et al.*, 2014).

Los esfuerzos generados por la conservación *ex situ* abarcan programas desarrollados por zoológicos, criaderos, acuarios, etc., con el objetivo principal de mantener poblaciones viables de especies amenazadas bajo condiciones de cautiverio, para posteriormente reintroducirlas a su ambiente natural (Silva 2011). Los programas de reintroducción en un principio se enfocaron en recuperar poblaciones de mamíferos y aves (Fischer y Lindenmayer 2000; Seddon *et al.*, 2005, 2007, Champagnon *et al.*, 2012), principalmente especies carismáticas o que guardarán un valor ecológico, económico, cultural o social. Algunos de los ejemplos de programas de reintroducción exitosos está el de la especie *Gymnogyps californianus* o cóndor de California, mediante un trabajo de reproducción en cautiverio y liberaciones se consiguió la sobrevivencia de los individuos introducidos, la reproducción *in situ* e inicia el establecimiento de la población (Rojó 2003). Un ejemplo interesante es el caso de *Canis lupus baileyi* o lobo mexicano, especie que se logró reintroducir con éxito en Arizona y Nuevo México en los Estados Unidos de América, lo cual contrasta con los nulos resultados logrados en México. La diferencia entre estos dos esfuerzos es la carencia de educación

ambiental, la reducción de las poblaciones de presas y la falta de un marco jurídico que regulen la cacería y el cambio de uso de suelo (Galindo 2010). Un punto importante es que los proyectos de reintroducción exitosos deben de contemplar la generación de información previa a la introducción, al momento de la reintroducción y post-reintroducción, además de la generación de estrategias de manejo y conservación que permitan mantener a las poblaciones. Tal es el caso de la reintroducción de *Aquila fasciata* o águila de Bonelli, la cual está logrando recuperar una población viable mediante el seguimiento de individuos introducidos y la generación de programas de manejo y educación a largo plazo, en un proyecto que lleva más de cinco años (Viada *et. al.*, 2015).

Si bien es cierto que existe poca experiencia sobre la reintroducción de especies, en algunos grupos es prácticamente inexistente, tal es el caso de los peces. Dentro de los pocos estudios reportados, Shute *et. al.* (2005) encuentran que, a partir de cambios en el manejo de las pesquerías locales, después de 14 años, cuatro especies de peces nativos de arroyo en peligro de extinción fueron reintroducidas y establecidas exitosamente. Otro ejemplo, es el realizado por Lyon *et. al.* (2012) con la trucha australiana (*Maccullochella macquariensis*), donde después de su reintroducción se confirmaron poblaciones viables con individuos que estaban creciendo y reproduciéndose.

Particularmente en México, los trabajos de reintroducción con organismos acuáticos son muy escasos, a pesar de que es un país con una gran diversidad de peces (Miller 2009). Uno de los pocos ejemplos es la reintroducción de *Notropis boucardi* en el estado de Morelos, México, en el cual se reportan poblaciones estables a partir de la reintroducción (Contreras-MacBeath 2015). Solo tomando en cuenta a los peces dulceacuícolas, México tiene alrededor de 505 especies, equivalente al 1.8% del total de las especies registradas en aguas continentales y muchas de ellas están catalogadas en peligro de extinción (Dominguez-Dominguez *et al.*, 2019). Un ejemplo claro es la familia Goodeidae, que es un grupo de peces vivíparos endémicos a la Mesa Central, algunas especies presentan dimorfismo sexual (e.g. color, tamaño morfología) y son reconocidos debido a que han

atravesado una intensa radiación adaptativa en una región donde los peces dulceacuícolas primarios son escasos o ausentes (Miller 2009). Actualmente se conoce que alrededor del 60% de los goodeidos se encuentran en una categoría de riesgo, y otras catalogadas como extintas *Skiffia francesca* y *Zoogoneticus tequila* (Duncan y Lockwood, 2001, Domínguez Domínguez *et al.*, 2008, NOM 059-2010; Koeck, 2019), la segunda especie fue reportada por última vez por De la Vega Salazar *et al.* (2003a; 2003b), con una población alrededor de 500 individuos. Actualmente, *Z. tequila* puede encontrarse en cautiverio en Laboratorios, Zoológicos y criaderos de diferentes partes del mundo (IUCN).

Considerando que la población de *Z. tequila* es muy reducida (De la Vega Salazar *et al.*, 2003) y que representa un depredador dentro del cuerpo de agua, se inició un plan para su conservación y reintroducción a través del proyecto “Programa de reintroducción de *Zoogoneticus tequila* en los manantiales de Teuchitlán, Jalisco, México”. El programa de reintroducción se basó en la estrategia propuesta para la IUCN (1998) la cual consiste en: A) un pre-proyecto, donde se realiza un estudio de factibilidad y de antecedentes, reintroducciones previas, la elección del sitio y tipo de liberación, así como la evaluación del sitio, y la disponibilidad en que se encuentran las poblaciones para ser liberadas; B) requerimiento socio económico y legales, etapas de planificación, preparación y liberación; y C) actividades de post-liberación y seguimiento de la población. El presente trabajo se enmarca dentro de los objetivos de la sección “A”, el cual es un estudio previo a la introducción de la especie, enfocado a la capacidad de *Z. tequila* a emplear los recursos que actualmente le provee el hábitat donde será reintroducido, de manera que pueda crecer y reproducirse. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es determinar las respuestas poblacionales de *Z. tequila* en condiciones *ex situ* (estanque rústico), y generar las bases para la aplicación técnicas de manejo y conservación en condiciones de semi-cautiverio. Ambos resultados serán útiles en la predicción de la viabilidad de la especie para ser reintroducida a su lugar de origen en el río Teuchitlán, Jalisco México.

## 2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Después de 14 años, individuos de *Z. tequila* nacidos en condiciones *ex situ* son capaces de obtener recursos de las condiciones actuales en el río Teuchitlán y poder crecer y reproducirse?

### 3. HIPÓTESIS

La especie *Z. tequila* ha sido comúnmente usada y manejada en acuarios, lo que ha permitido el establecimiento de poblaciones en cautiverio, así como en cuerpos de agua fuera de su rango de distribución, sugiriendo que puede haber poblaciones *ex situ* que presentan un amplio rango de tolerancia a condiciones ambientales. Debido a esto, se espera que la población mantenida *ex situ* (Jardín Botánico) tenga un alto potencial de éxito en la reintroducción y que tenga una alta capacidad de explotar los recursos alimenticios que le provee su sitio de origen.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 General

Determinar la tasa de crecimiento, sobrevivencia, proporción sexual y dieta de *Zoogoneticus tequila ex situ* e *in situ* para evaluar las respuestas a los cambios pre-introducción en el río Teuchitlán.

### 4.2 Particulares

- Determinar la abundancia, la proporción sexual, estructura de tallas y el tamaño poblacional *ex situ* de *Z. tequila*
- Evaluar la sobrevivencia, proporción sexual y la tasa de crecimiento *in situ* de *Z. tequila*
- Determinar la abundancia de parásitos y la dieta de *Z. tequila ex situ* e *in situ*

## 5. SITIOS DE ESTUDIO

### 5.1 Sitio *ex situ*

El estanque rústico (ER) se encuentra en el municipio de Morelia, Michoacán en el Jardín Botánico de la Facultad de Biología (19° 39' 00" LN; 101° 14' 00" LO) que pertenece a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). No presenta corriente y es recargado artificialmente con agua de la presa de Cointzio (Gómez-Cano 2016). La vegetación acuática y subacuática se caracteriza por *Typha dominguensis* y *Eleocharis spp.* (Bautista 2012), la profundidad promedio es de 0.67 m (Max = 1.15 m; min = 0.25 m); la temperatura promedio es de 15°C; el pH se encuentra entre 6.22-9.07; el oxígeno varía de 2.02-8.53 mg/L (Hernández Morales, datos no publicados) (Figura 1a).

### 5.2 Sitio *in situ*

La cabecera del río Teuchitlán se encuentra en la porción sur del volcán de Tequila, entre los paralelos 20°34' y 20°48' de LN; los meridianos 103°44' y 103°55' LO (Figura 1b). Es un complejo de manantiales con desembocadura al río Teuchitlán que tiene una extensión de 1.50 Km, y es una de las principales vertientes de la presa "La Vega" (Rosa-Espíritu, 2015; INEGI, 2009). Presenta una vegetación en la zona litoral dominada por tule (*Typha sp.*), así como árboles de sauce (*Salix sp.*). En la superficie presenta lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y lechuguilla de agua (*Pistia stratiotes*), y como vegetación enraizada emergente se encuentra el papiro (*Cyperus papyrus*) (Sánchez, 1980).

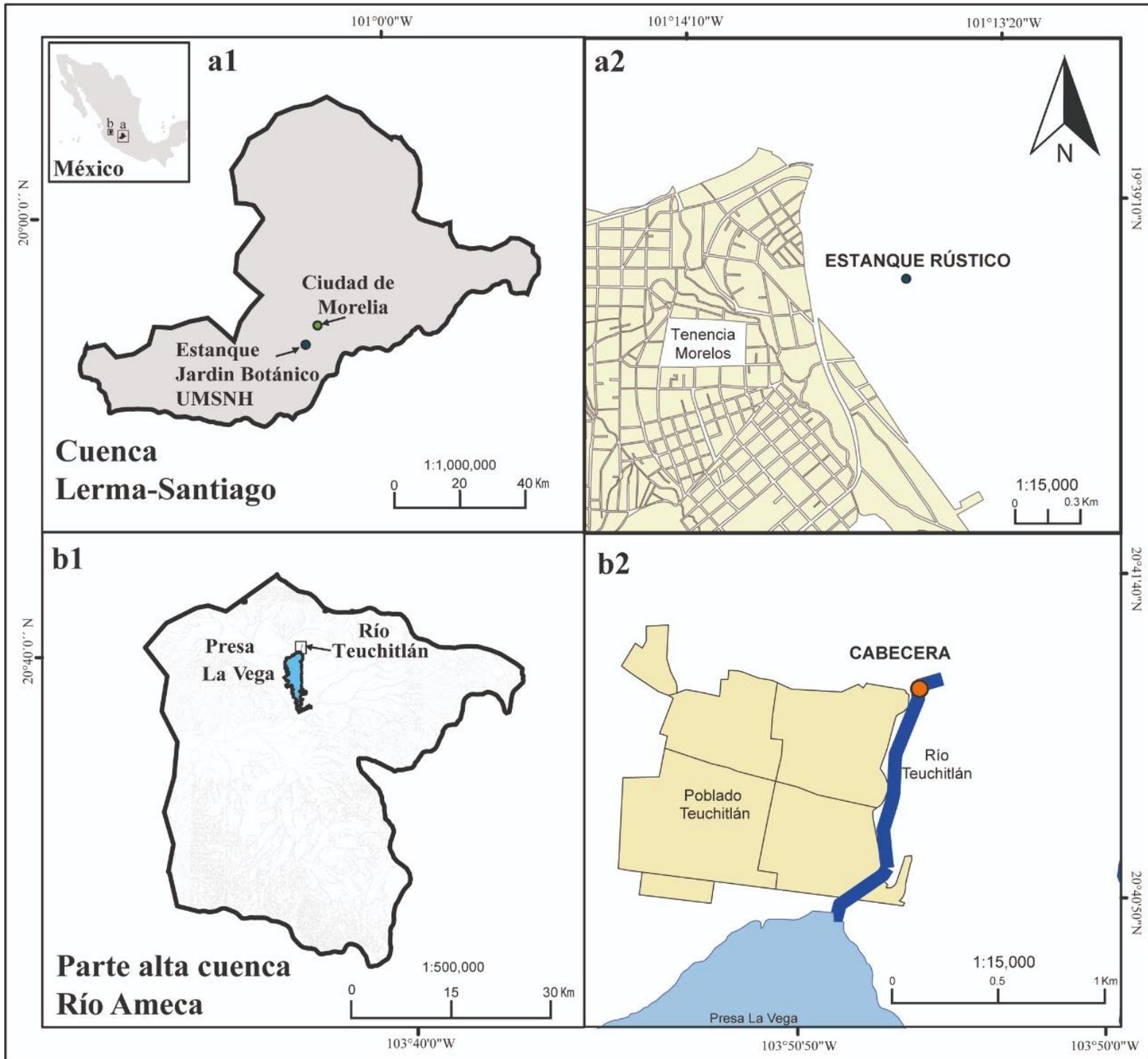


Figura 1. Sitios de muestreo. a1 y a2 representan la ubicación de la localidad de muestreo *ex situ*. b1 y b2 señalan la ubicación de la localidad de experimentación *in situ*.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Diseño de muestreo sitio de estudio *ex situ*

Se realizaron cinco muestreos a lo largo del año 2016, durante la temporada de secas (enero-abril) y lluvias (junio-agosto). Para la captura de los organismos se utilizaron trampas tipo nasas (Gee-minnow-traps© G-40), con una abertura de malla de 2 mm, un orificio de entrada de 22 mm de diámetro, 190 mm de diámetro central, 120 mm de diámetro externo y un largo de 419 mm. Con la finalidad de representar la heterogeneidad del sitio (orilla, zona profunda, vegetación acuática presente/ausente), se colocaron diez trampas en diferentes sitios del estanque.

Los peces colectados fueron colocados vivos en contenedores de 80 L. y posteriormente pesados utilizando una balanza de campo (Pocket scale, escala de 0.01g-200g) y fueron medidos (longitud patrón;  $L_p$ ) utilizando un vernier digital (Truper, escala de 0.01 mm-150 mm). Adicionalmente, se identificó el sexo con base en Nelson (1994) y Miller (2009), y se registraron las hembras grávidas con base en la madurez observada (mancha/punto de gravidez) presente en peces vivíparos (Rivera *et al.*, 2016). Una vez concluida la revisión, se obtuvo una muestra de 20 organismos (diez hembras/diez machos) de cada talla para determinar la dieta.

Se preservaron en alcohol al 70% siguiendo la metodología de Gómez-Cano (2016), para un análisis posterior de contenido estomacal y determinación de la dieta. Los demás organismos fueron regresados vivos al estanque.

### 6.2 Análisis poblacionales

La proporción sexual fue calculada con base en Sparre y Venema (1997). Se determinaron diferencias significativas de una proporción sexual teórica de 1:1 por medio de la aplicación de pruebas de ji-cuadrada ( $\chi^2$ ;  $\alpha=0,05$ ) (Zar 1999). Los intervalos de clases de talla se determinaron utilizando la  $L_p$  mediante la regla de Sturges (1926). Estos fueron reducidos utilizando la mayor frecuencia de hembras grávidas como indicativo de cambio a la talla dos, por lo que en la talla tres con los organismos más grandes la frecuencia de gravidez es baja. Quedando tres tallas talla-I longitud patrón de 10.8-25.2mm, talla-II longitud patrón de 25.3-42mm y talla-III longitud patrón 42.1-56.7mm. Para corroborar diferencias entre temporadas de

colecta, se realizó un ANOVA factorial, para el cual se emplearon la temporada y las tallas como factores de variación y la abundancia de peces como la variable de respuesta, usando el programa de JMP (1980, SAS INSTITUTE)

Para determinar el tamaño de la población del estanque se utilizó un modelo sin competencia de crecimiento discreto por estaciones ( $N_{t+1} = N_t R$ ). Se eligió este modelo debido a que se involucra un sistema cerrado, donde no existe competencia interespecífica (Begon 2006).

### **6.3 Análisis de la dieta**

Para determinar la dieta se obtuvo una muestra de 20 organismos (diez hembras/diez machos) de cada talla. Se realizó la disección de los organismos y los tubos digestivos fueron preservados en alcohol al 70% hasta ser revisados y evaluar el contenido estomacal. Se registró la Lp (mm), el peso (g) y el sexo de cada individuo, además del grado de repleción gástrica aplicando el criterio de Martínez (1983).

Los tubos digestivos se dividieron en tres partes iguales, y se utilizó el contenido digestivo del primer tercio para el análisis (Trujillo-Jiménez y Díaz-Pardo, 1996), debido a la ausencia de estómago bien definido y a que en esta zona los artículos consumidos aún no están totalmente degradados (Engel, 1976; Trujillo-Jiménez y Díaz-Pardo, 1996; Mar-Silva, 2011; 2015).

Para el análisis de contenido estomacal se utilizó una versión modificada del método de cuadrantes (Hynes 1950), para lo cual se realizaron preparaciones semipermanentes en laminillas de cristal rotuladas con una cuadrícula de 10 x 10 cuadros (dimensión del cuadro 1.8 mm x 1.8 mm). Para determinar el tipo de artículo y la abundancia, cada muestra se revisó utilizando un microscopio óptico (Marca Zeiss, modelo AXIOSTAR) utilizando los objetivos de 5X, 10X y 40X.

### **6.4 Análisis cualitativo:**

Los artículos alimenticios fueron identificados utilizando las claves de Merritt y Cummins (1996), Pennak (1978), y Thorp y Covich (2001). Cuando el artículo no

pudo ser identificado se registró como Materia Orgánica No Identificada (MONI) siguiendo el criterio de Yáñez-Arancibia *et al.* (1976).

### 6.5 Análisis cuantitativo:

El Porcentaje de área (PA): Se cuantificó el porcentaje de área de cada artículo alimenticio en el total del contenido digestivo, como una modificación del método volumétrico indirecto (Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

Frecuencia de aparición (F): Se expresó la frecuencia de aparición de un componente del contenido digestivo con respecto al total de los tubos digestivos analizados en porcentaje (Stark y Schoroer, 1970).

Índice de importancia relativa (IIR): Se utilizó como una medida de cuantificación de la importancia de un determinado componente del contenido digestivo en la dieta de *Z. tequila* (Cortés 1997). Se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{IIR} = \text{F} * \text{PA} / 100$$

Donde F es igual a la frecuencia de aparición y PA es el porcentaje de área.

El índice de Importancia Relativa fue expresado como IIR% para facilitar la visualización de la dieta de *Z. tequila* y permitir la comparación de los artículos alimenticios. Utilizando la siguiente corrección (Cortés, 1997; Hansson, 1998).

$$\text{IIR}_i \% = \frac{100 \times \text{IIR}_i}{\sum_{j=1}^n \text{IIR}_j}$$

El  $\text{IIR}_i\%$  es el valor específico para un artículo alimenticio  $i$ , donde  $n$  representa el número total de artículos alimenticios.

### 6.6 Análisis parasitarios

Para determinar la abundancia de parásitos en el estanque, se capturaron 30 hembras y 30 machos (60 individuos en total) de *Z. tequila*. Los organismos fueron sacrificados mediante shock térmico utilizando hielo (0-4°C), y fueron revisados inmediatamente. Cada pez fue examinado en su totalidad tanto en la parte externa e interna (ojos, hígado, branquias, piel). La revisión se realizó empleando un microscopio estereoscópico (Zeiss, Stemi 1040), siguiendo las bases de Margolis *et al.* (1982).

Posteriormente se realizó una prueba de ANOVA factorial, entre la estructura de tallas, en donde la variable respuesta fue la abundancia y los factores de variación fueron sexo, talla e interacción sexo\* talla, con el propósito de diferenciar el grado de parasitación de la población respecto a su madurez (clases de talla).

### **6.7 Diseño de muestreo sitio de estudio *in situ***

Previo a la experimentación, se colectaron individuos de *Z. tequila* del Jardín Botánico Nicolaita, se utilizaron trampas tipo nasas para obtener un total de 160 ejemplares (120 hembras/40 machos). Una vez capturados los organismos fueron transportados para ser acondicionados en el área de acuicultura del laboratorio de Biología Acuática, de la UMSNH. Posteriormente, los peces fueron alimentados con comida comercial (presentación en hojuelas, marca Lomas) y mantenidos en peceras de 120 L. Después de 15 días de acondicionamiento en las peceras, los peces fueron desparasitados empleando Metronidazol (0.56 mgr/20L mgr) diluido en el agua. De manera profiláctica se repitió la dosis a las 48 horas. Una semana después de la desparasitación los individuos fueron marcados con elastómeros (Socamin) y se generaron combinaciones de colores únicos como herramienta de marcaje. Adicionalmente, durante el marcaje cada organismo fue pesado (gr), medido (longitud patrón) y sexado. Para finalizar, los organismos fueron trasladados en bolsas de plástico hasta su lugar de origen en los manantiales de la cabecera del río Teuchitlán, Jalisco, México, donde fueron colocados en encierros experimentales en condiciones de mesocosmos (sistema experimental al aire libre que examina el entorno natural en condiciones controladas).

Los encierros experimentales o mesocosmos fueron fabricados con una estructura de tubos de CPVC de ½ pulgada, con un perímetro de 1.20 m<sup>2</sup>, y fueron cubiertos con red de malla sombra con abertura de 1 mm<sup>2</sup>. Se ubicaron cuatro mesocosmos a manera de réplicas en el manantial. Estos fueron colocados de manera perpendicular a la corriente y con una separación de 50 cm entre sí, con la finalidad de mantener condiciones ambientales similares. Se trató de evitar el contacto humano y la presencia de depredadores. En cada mesocosmos se colocaron 40 peces (30 hembras y 10 machos), con el propósito de simular la

proporción sexual registrada *ex situ* (figura 2). Además, se tomaron muestras fisicoquímicas para corroborar igualdad de condiciones, para ello se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis, debido a que la distribución de los datos no fue normal. El experimento se llevó a cabo de febrero a julio del 2018. Durante este periodo se monitoreo la abundancia cada 60 días aproximadamente, exceptuando el último muestreo que fue de 30 días. En cada monitoreo se revisaron los peces marcados, además de tomar el peso, longitud patrón y el sexo de cada uno de los peces. También se registró la presencia de hembras en estado de gravidez y los individuos nacidos dentro del mesocosmos (no marcados).



Figura 2. Mesocosmos utilizados para la experimentación *in situ*.

Al final del experimento los organismos fueron sacrificados para la revisión de la dieta y los parásitos de acuerdo con el método anteriormente explicado.

### 6.8 Análisis poblacionales

Para calcular la sobrevivencia de los organismos se contabilizaron e identificaron los organismos recapturados, esto se realizó para cada muestreo y al final del experimento. Para determinar significancia en la sobrevivencia del inicio

hasta el final del experimento, se realizó un análisis de regresión lineal usando el programa JMP (1980, SAS INSTITUTE), utilizando como variable dependiente el tiempo (días del experimento) y como variable independiente la abundancia de los organismos.

Para evaluar el crecimiento fueron utilizadas como variables de respuesta la longitud patrón y el peso, esto se realizó única y exclusivamente con los organismos sobrevivientes. Y para evaluar la tasa de crecimiento por día se dividió el peso y la longitud patrón alcanzadas desde su marcaje hasta el final de la experimentación entre los días que duró el experimento. Para determinar la significancia entre las variables peso y longitud patrón al inicio y al final del experimento se utilizó una prueba de t pareada (Ávila Alpirez *et al.*, 2006), la cual permite utilizar variables tomadas de un mismo individuo para la cual se usó el programa JMP (1980, SAS INSTITUTE).

Para determinar el porcentaje de hembras grávidas en cada revisión estas fueron contadas en relación con el número total de hembras existentes en cada revisión y multiplicado por cien.

### **6.9 Análisis de dieta**

Para determinar la dieta se realizaron dos tipos de análisis para describir y cuantificar los artículos alimenticios. Para ello se utilizó la metodología antes descrita en el sitio *ex situ*.

### **6.10 Análisis parasitarios**

Para la obtención de los parásitos, los organismos fueron sacrificados mediante shock térmico utilizando hielo (0-4°C), y fueron revisados en inmediatamente. Para la obtención de sus parásitos, cada pez fue examinado en su totalidad tanto en la parte externa e interna (ojos, hígado, branquias, piel). La revisión se realizó empleando un microscopio estereoscópico (Zeiss, Stemi 1040), siguiendo las bases de Margolis *et al.* (1982).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Sitio de estudio *ex situ*

Se obtuvo un total de 1921 individuos, 1467 hembras y 454 machos, en una proporción sexual de 3:1 ( $X^2=29.633$ ,  $p<0.001$ ). Del total de las hembras registradas, 187 estuvieron grávidas. La mayor cantidad de hembras grávidas fueron encontradas en el mes de junio (121 individuos; 33% del total de las hembras capturadas).

Durante la temporada de secas se obtuvieron 603 individuos con una proporción sexual de 3:1 ( $X^2=18.291$ ,  $p>0.001$ ), y en la temporada de lluvias 1318 individuos ( $X^2=10.808$ ,  $p=0.001$ ) con una proporción sexual de 4:1 ( $X^2= 29.633$ ,  $p<0.001$ ) (figura 3).

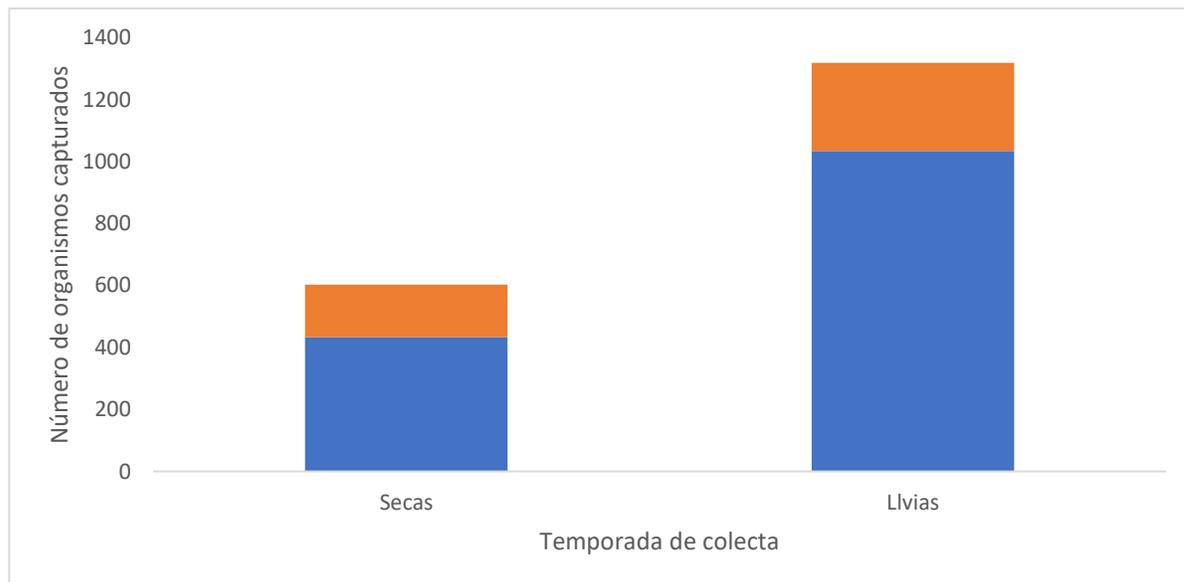


Figura 3. Número de peces capturados por temporada de secas y lluvias durante el año 2016. Color azul = hembras; color naranja = machos.

Con base en la clasificación de tallas, se obtuvieron 399 individuos de la talla I, 1498 de la talla II y 24 de la talla III. Durante la temporada de secas se encontraron 61 individuos de la talla I, 534 de la talla II y 8 de la talla III. Durante la temporada de lluvias se encontraron 338 individuos de la talla I, 9654 de talla II y 16 de la talla III. Se encontró diferencia significativa entre las temporadas ( $F=6.363$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.033$ ), teniendo una mayor abundancia en lluvias. La talla II presentó la mayor

abundancia en la población ( $F=10.224$ ;  $gl=2$ ,  $p<0.005$ ). El modelo de crecimiento estimó que la población tiene alrededor de 12000 individuos, con una tasa de crecimiento de  $R=2.23$  por año.

En la dieta se obtuvieron 12 artículos alimenticios (copépodos, restos vegetales, restos de insectos no identificados, restos de insectos acuáticos, restos de insectos terrestres, arañas, zooplancton, algas, restos de pez, chironómidos, ácaros, y diatomeas). El IIR muestra que en la talla I el artículo alimenticio de mayor consumo para los machos es el Zooplancton (30%) y para las hembras los restos vegetales (33%). Mientras que en la talla II para los machos son los restos de insectos no identificados (50%) y las hembras las algas (86%) por último la talla III presentaron mayor consumo de arácnidos (77%) en machos y los restos de pez (38%) en hembras (Figura 4).

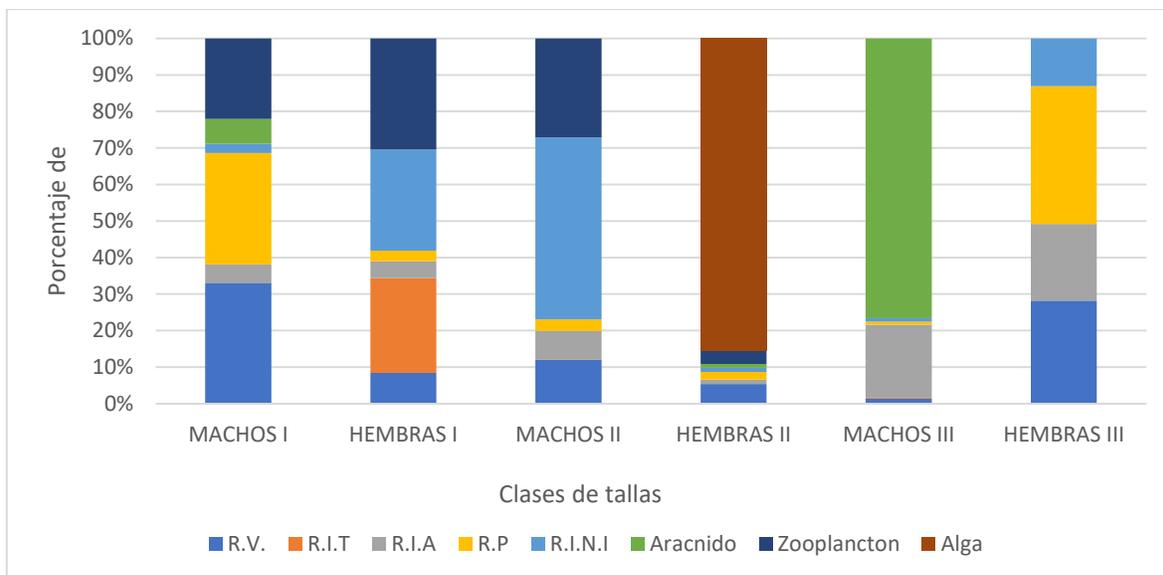


Figura 4. Porcentaje del IIR de cada artículo alimenticio por sexo y estadio en el estanque rústico en un ciclo anual. (R.V.=resto vegetal, R.I.T.=restos de insectos terrestres, R.I.A.=restos de insectos acuáticos, R.P.=restos de pez, R.I.N.I.=restos de insectos no identificados).

En los parásitos se registró una sola especie de parásito, el nemátodo *Spiroxys sp.* El cual presentó una abundancia de 813 individuos en los 60 peces revisados. Se encontraron diferencias significativas en el número de parásitos por talla

( $F=23.1958$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.001$ ), siendo la talla III la que contenía la mayor cantidad de parásitos. Se obtuvieron 16 individuos de *Spiroxys sp.* para la talla I, 7 parásitos fueron encontrados en hembras de *Z. tequila* y 9 parásitos fueron encontrados en machos de *Z. tequila*. Mientras que para la talla II se registraron 256 individuos de *Spiroxys sp.*, 123 parásitos fueron encontrados en hembras de *Z. tequila* y 133 parásitos en machos. Para la talla III se encontraron 541 individuos de *Spiroxys sp.*, 149 parásitos en hembras y 392 parásitos en machos de *Z. tequila*. De la misma manera, al comparar el número de parásitos por sexo, los machos presentan significativamente más parásitos que las hembras ( $F=16.5209$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.001$ ).

### 7.1 Sitio de estudio *in situ*

Las variables fisicoquímicas evaluadas no registraron diferencias significativas entre los mesocosmos (Anexo 1).

La sobrevivencia promedio en los cuatro mesocosmos fue de 23%, esto equivale a 36.8 peces sobrevivientes de los 160 introducidos. Esta presentó diferencias significativas entre los sexos, siendo los machos los que presentaron una mayor sobrevivencia con un 35%, mientras que las hembras presentaron 19%. Además, la regresión entre el porcentaje de sobrevivencia indica que las hembras presentan una mayor mortalidad en los primeros dos meses (54 días) después de ser introducidas a los mesocosmos. Conforme avanza el tiempo en los mesocosmos esta mortalidad se reduce en un cincuenta por ciento en relación con la medición anterior, lográndose establecer a los 144 días después de haber entrado a los mesocosmos (Figura 5a). En contraste los machos presentan una sobrevivencia del 50% en los primeros 54 días y después la mortalidad se mantiene a los 114 días, conforme avanza el tiempo en el mesocosmos la sobrevivencia tiende a subir después de los 144 días (Figura 5b).

En cuanto a la proporción sexual a lo largo del tiempo paso de 3:1 (hembras: machos) a una proporción de 2:1 (hembras: machos) después de los 114 días en el mesocosmos y se mantuvo hasta el final de las mediciones.

Los organismos tuvieron un crecimiento promedio de 8.59 mm en hembras y 9.70 mm en machos, lo que equivale a una tasa de crecimiento de 0.07 mm/día para

hembras y 0.08 mm/día para machos. Se obtuvo una diferencia significativa entre el tamaño inicial y final para ambos sexos, hembras ( $t=0.999$ ,  $p=0.005$ ,  $gl=26$ ) y machos ( $t=0.997$ ,  $p=0.005$ ,  $gl=30$ ). El peso promedio de las hembras fue de 0.89 gr y los machos de 0.36 gr, esto equivale a un crecimiento promedio en peso de 0.01

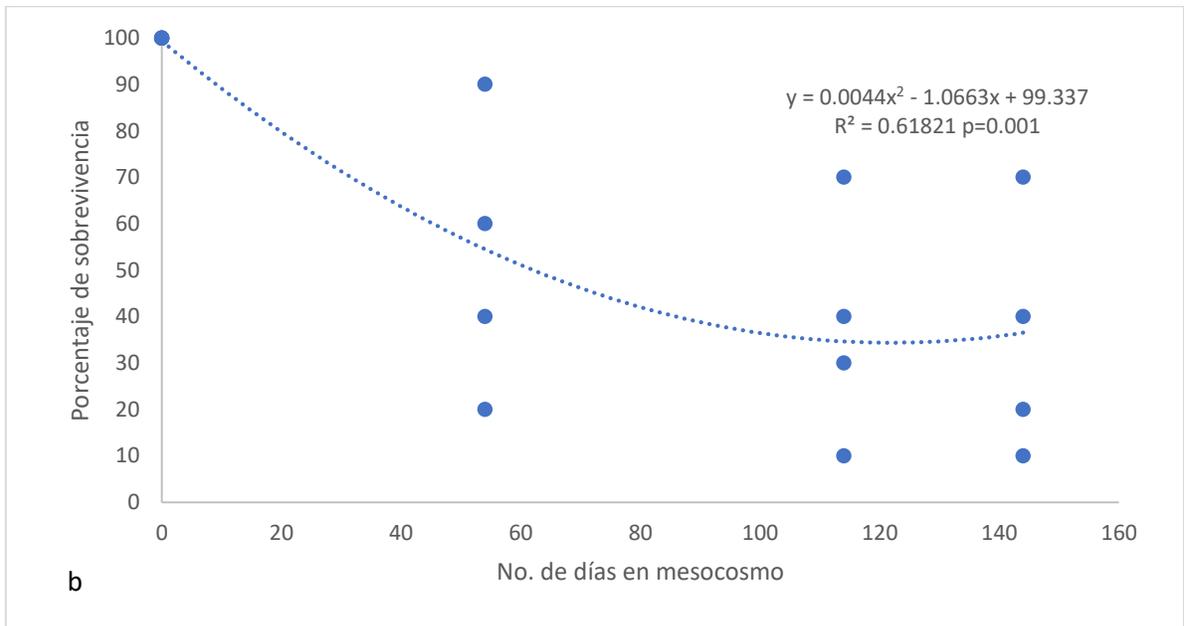
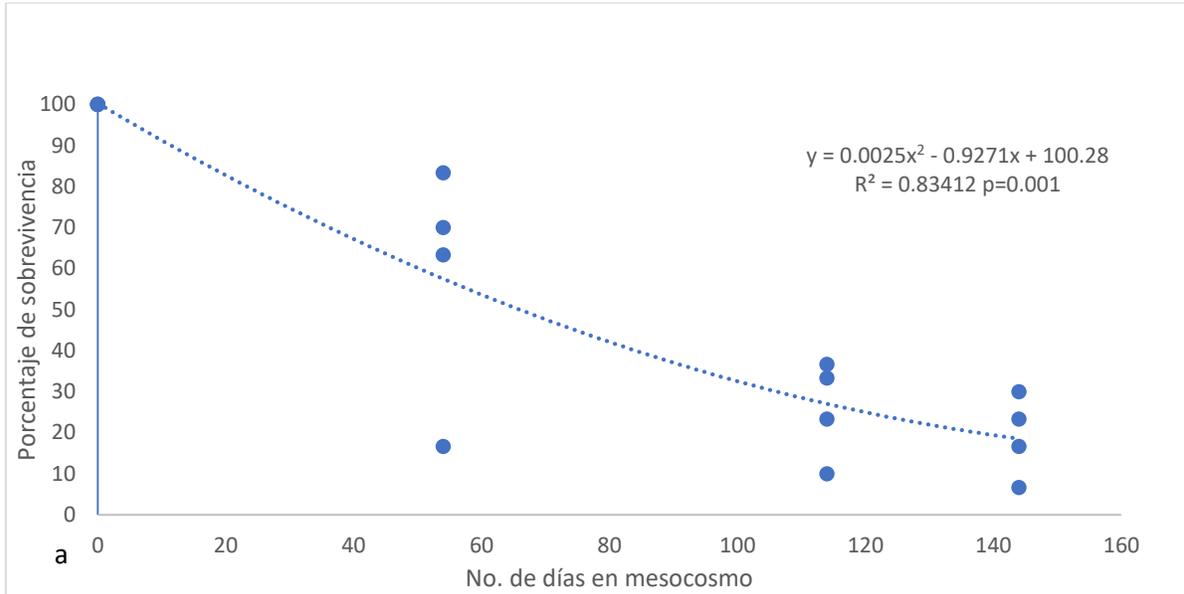


Figura 5. Sobrevivencia de *Z. tequila* en los mesocosmos a lo largo del tiempo. a) hembras y b) machos. En cada gráfico se expresa la ecuación de regresión, y significancia del mismo.

gr y 0.003 gr por día respectivamente. Se encontró diferencia significativa entre el peso inicial y el peso final para ambos sexos, hembras ( $t=1.000$ ,  $p=0.001$ ,  $gl=16$ ) y machos ( $t=1.000$ ,  $p=0.001$ ,  $gl=18$ ).

Con respecto a las hembras grávidas, los primeros registros surgieron en el mes de abril, donde el 70% de las hembras estuvieron grávidas, para las siguientes dos revisiones el porcentaje disminuyó hasta un 23% de hembras grávidas (Figura 5). Se registraron un total de 252 crías, 209 en junio y 43 en julio.

En relación a la dieta, se obtuvieron nueve artículos alimenticios (ostrácodos, restos vegetales, restos de insectos no identificados, himenóptero, gasterópodos, algas, restos de pez, chironomidos, restos de insecto), los cuales fueron agrupados en ocho categorías, usando el mismo criterio que en el estanque rústico. Los valores obtenidos del índice de importancia relativa (IIR) muestran que los machos tienen un mayor consumo de restos vegetales (>50%) y en las hembras las algas (90%). A diferencia del estanque rústico, se registraron gasterópodos en los artículos alimenticios del sitio de estudio *in situ* (Figura 6).

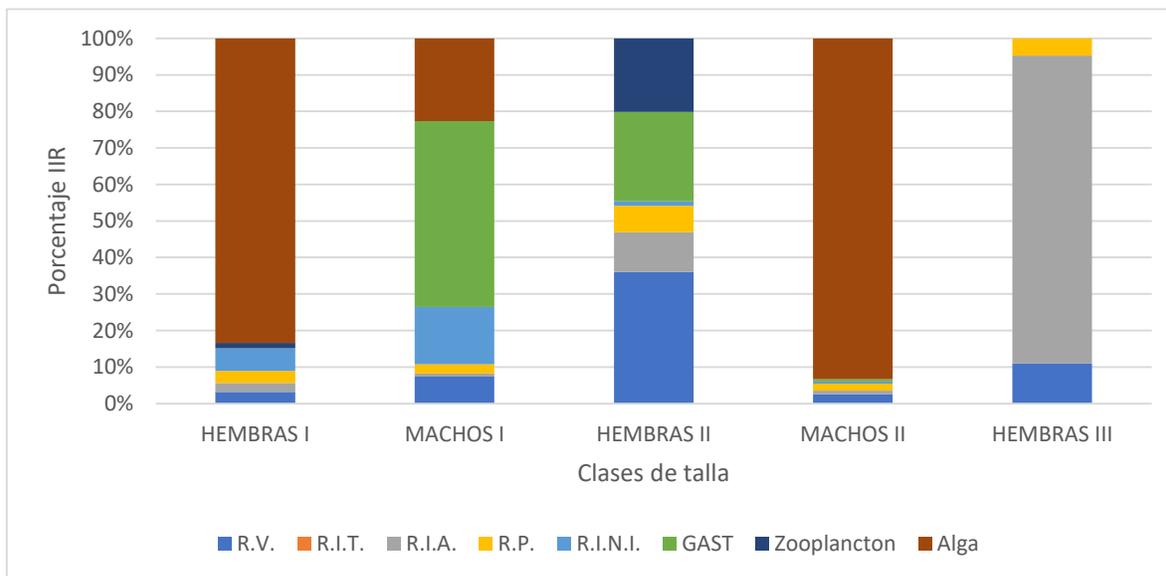


Figura 6. Porcentaje del IIR de las tres clases de tallas registradas en el estanque rústico y por sexo. (Algas, R.V.=resto vegetal, R.I.T.=restos de insectos terrestres, R.I.A.=restos de insectos acuáticos, R.P.=restos de pez, R.I.N.I.=restos de insectos no identificados, G.A.S.T., Zooplancton).

Por último, no se registró ningún parásito en los organismos revisados.

## 8. DISCUSIÓN

El presente proyecto es un ejemplo claro de que una especie antes extinta tiene la capacidad de reestablecerse en su sitio de origen. Lo que permite utilizar como modelo de estudio a *Z. tequila* para desarrollar e implementar estrategias de conservación a corto y largo plazo, lo cual es de gran importancia debido a la urgente necesidad de acciones para conservar a las especies de la familia Goodeidae (Lyons *et al.*, 1998; Soto-Galera *et al.*, 1998; Soto-Galera *et al.*, 1999; Mercado-Silva *et al.*, 2002; de la Vega-Salazar *et al.*, 2003; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2007; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2008). Es probable que el restablecimiento de poblaciones localmente extintas se convierta en una herramienta de conservación cada vez más importante para recuperar especies de peces en peligro (Marsh *et al.*, 2005).

Con base en los resultados, se observa que el tamaño poblacional *ex situ* es de 12 mil individuos. De acuerdo a Lande (1988, 1995), se ha sugerido que en vertebrados el número mínimo viable es de entre 500 a 5000 individuos. Este tamaño poblacional podría hipotéticamente permitir que la población tenga una sobrevivencia adecuada, una capacidad reproductiva y una variabilidad genética que le permita poder responder a las presiones que le imponga el medio. Además, de mitigar los impactos de los factores denso-dependientes (e.g. capacidad de carga) o estocásticos que pudieran conducir a la población a una extinción (Reed, 2005).

Por otro lado, la población *ex situ* se encuentra en una región que se caracteriza por una marcada estacionalidad (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013), la cual puede ocasionar variaciones en la disponibilidad de recurso alimenticios, nutrientes, entre otros (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013, King *et al.*, 2019). Estos factores ambientales están altamente relacionados a la historia de vida de la especie, la cual se reproduce a finales del invierno, presentando nacimientos al inicio de la época de lluvias, y por lo tanto aumentando su abundancia general en esa temporada. Esto permite que los individuos juveniles se dispersen para explotar la mayor cantidad de alimento y hábitat disponibles, evitando competencia y depredación de

individuos adultos (Warfe *et al.*, 2011; Trexler *et al.*, 2002). Por otro lado, en la época de seca las condiciones en el aumento de la temperatura producen una barrera fisiológica, la cual elimina individuos poco tolerantes, así como disminuye los sitios de refugio por la disminución en el espejo de agua (Moncayo-Estrada *et al.*, 2011).

Por otro lado, nuestros resultados muestran poblaciones representadas por hembras (3:1). En las poblaciones dioicas un factor que puede ser limitante es el número de hembras que sean capaces de reproducirse y más aún cuando hablamos de especies vivíparas. El radio sexual obtenido en el presente estudio, concuerda con estudios en donde el sesgo se encuentra hacia las hembras en peces vivíparos (e.g. Martínez-Trujillo 1983; Vargas y de Sosota 1996). Finalmente, Snelson (1989) mencionan que, los machos de peces vivíparos son generalmente más conspicuos en colores que las hembras, y presentan una gran inversión pre-copulatoria, dejando a los machos en condiciones menos favorables a condiciones ambientales adversas, así como de disminuir su capacidad competitiva o evitar depredación. En el caso de *Z. tequila* en condiciones *ex situ* podría sugerirse que al presentar mayor cantidad de hembras la abundancia de crías es mayor, lo que a su vez sugiere que es una población en constante crecimiento (Galletto *et al.*, 2002; Ramírez- García *et al.*, 2017). Adicionalmente, si se relaciona con la fluctuación estacional puede considerarse como una estrategia que permita una recuperación de la población (Fisher 1930). Lo anterior refuerza lo obtenido en el modelo de crecimiento para el sitio *ex situ*, que sugiere un valor de  $R > 1$ , donde el crecimiento de la población tiende a infinito por lo que puede llegar a considerarse un “crecimiento exponencial”, hasta que alcance la capacidad de carga del sitio (Begon 2006).

En cuanto a la dieta, concuerda con Gómez-Cano (2016), con la única diferencia que esta autora no reportó especies de crustáceos. La dieta presentó variaciones entre sexos y tallas, esto podría relacionarse con la historia de vida, los requerimientos nutricionales de cada talla o a la disponibilidad de recursos en el medio, sin embargo, ninguno de estos factores fue evaluado en este estudio.

Por otro lado, las poblaciones en condiciones *in situ* presentaron un crecimiento en longitud patrón y peso, por lo que podemos inferir que los individuos

se encuentran en buen estado de salud (Maroñas 2006, Lyons *et al.*, 2012) y que cuentan con los recursos necesarios para poder crecer de manera adecuada (King *et al.*, 2019). Sin embargo, se obtuvieron diferencias en el crecimiento entre los sexos, donde las hembras en promedio crecen 0.034 mm más que los machos por día, datos que contrastan Lucas (1996) el cual establece que los machos de otras especies de peces crecen más que las hembras, debido a que estas destinan una mayor cantidad de energía en la producción de vitelogenina y por tanto de gametos para propósitos de reproducción. En *Z. tequila* podrían estar destinando la energía para el aumento corporal y así poder ingresar una mayor cantidad de crías a la población. Concordando con lo visto por Pruder (2000), quien determina que las hembras son las que crecen más, esto como estrategia reproductiva ya que, un mayor tamaño corporal se puede relacionar con una mayor descendencia. En programas de conservación el crecimiento es un parámetro que se emplea comúnmente como indicador de éxito, debido a que los individuos no sólo están sobreviviendo a las condiciones del sitio, sino que son capaces de explotar los recursos que este les provee (Silva 2011).

Desde el punto de vista de la sobrevivencia de la población de *Z. tequila* se reduce en los primeros 4 meses después de ser establecidos en los mesocosmos, los factores que podrían hipotetizarse como causantes de esta reducción son variados y van desde aclimatación, competencia, habilidad de adquirir recursos, entre otros (Burton y Flynn 1998). Lo que es claro es que una vez que pasa ese primer periodo de mortalidad, la sobrevivencia se mantiene. Además, la sobrevivencia en la población no es igual para ambos sexos, siendo mayor en los machos que las hembras. Sin embargo, esta podría relacionarse a la falta de depredadores en los mesocosmos, ya que es sabido que son más susceptibles los organismos llamativos a ser depredados, por lo que a falta del depredador la sobrevivencia puede ser mayor en los machos que presentan una franja amarilla-naranja en la aleta caudal, dorsal y anal principalmente (Macías-García *et al.*, 1998). Por lo que, es necesario monitorear a la especie en condiciones naturales para corroborar si esta tendencia se repite. Por otro lado, en otras especies de agua dulce, específicamente de la familia Poeciliidae, donde los machos detienen su

crecimiento una vez alcanzada su madurez sexual, el patrón en *Z. tequila* es inverso, donde los machos siguen creciendo después de haber alcanzado su talla de madurez, sin embargo, no se sabe hasta qué punto puedan dejar de crecer, ya que son pocos los machos reportados para la talla III, y por tanto la sobrevivencia es menor *ex situ*, lo que concuerda con Snelson (1984, 1989), Contreras-MacBeth y Ramírez-Espinoza (1996) los cuales reportan altas mortalidades en machos juveniles post-reproductivos. Para obtener conclusiones más precisas se sugiere hacer estudios de laboratorio.

Dentro de la dieta un recurso presente en ambos sitios son los Chironómidos, En el sitio de reintroducción se encuentra también *Z. purepechus*, quien guarda la misma posición trófica por lo que se puede alimentar de presas similares a *Z. tequila*, principalmente insectos acuáticos lo que representaría un traslape en el nicho alimentario entre ambas especies, siendo contraproducente en la reintroducción ya que podría generar diferentes niveles de competencia (Mar-Silva *et al.*, datos no publicados).

Durante el experimento se apreció un crecimiento de algas sobre la estructura del mesocosmos, y en el análisis de contenido estomacal se encontró el consumo de restos vegetales (algas), por lo que se sabe que la especie hizo uso de este recurso. Se ha visto que es una especie de tendencias carnívoras (Gómez-Cano, 2016) por lo que la ingesta de vegetales no había sido reportada. Esto pudo deberse a la alta disponibilidad del recurso, se ha observado en otras especies de peces que pueden modificar sus hábitos en función de las presas/recursos disponibles (Mar-Silva *et al.*, 2014). Esto podría ser un indicador de flexibilidad trófica de *Z. tequila* al utilizar recursos de diferentes niveles tróficos, asociado con el sitio y la talla del pez, como lo señala Campos (2003), quien asocia a la importancia energética que representa el consumo de ciertos artículos alimenticios, como son restos de pez, restos vegetales y zooplancton, principalmente en hembras grávidas ya que aportan un 75 % de los nutrientes consumidos a los alevines.

Además de los recursos (alimento, refugio, pareja), las poblaciones son afectadas en su establecimiento por la presencia o ausencia de otras poblaciones con las que

puedan interactuar. Los factores que regulan el crecimiento poblacional de manera negativa son la competencia (inter e itraespecifica), la depredación y el parasitismo. Este último factor fue analizado, siendo en condiciones *ex situ* donde se registró un sólo parásito, mientras que *in situ* no se registró ningún parásito. *Zoogoneticus tequila* sólo presentó una especie de nemátodo, *Spiroxys* sp, en forma larvaria, lo que representa el primer reporte para especies de la familia Goodeidae, sin embargo, ha sido reportado por otros autores (Moravec *et al.*, 1995) en diferentes especies como *Cichlasoma meeki*, *C. urophthalmus*, *Poecilia velifera*, *Poecilia* sp. y *Astyanax fasciatus*.

En algunas ocasiones, los intentos fallidos de reintroducción a menudo están relacionadas con los administradores de recursos naturales que no abordan las causas relacionadas con la extinción inicial de la población, como es la remediación, rehabilitación o restauración de los ambientes (Seddon 1999) o una comprensión limitada de la biología de las especies y los requisitos que tiene del hábitat (Godefroid *et al.*, 2011 Esquivel-Muelbert *et al.*, 2018). Por lo que es un complejo número de factores que incluyen la biología, el ambiente y las prácticas de gestión lo que influye en la dinámica y el éxito de las reintroducciones de especies (McCarthy y Possingham 2007, McNeeley y Mainka 2009, Jachowski *et al.*, 2016). Aunque algunos experimentos de reintroducción fracasan, si se ejecuta un enfoque de manejo integral, los resultados proporcionarán información útil que finalmente ayudará a mejorar la recuperación de las especies.

## 9. CONCLUSIONES

1) *Zoogoneticus tequila* en condiciones *ex situ* es una especie en la que se determinaron tres clases de talla, siendo la clase de talla II la que presenta el mayor número de individuos reproductivos, sugiriendo que es una población en crecimiento. La dieta varía entre sexo y edad, siendo las algas las más consumidas por las hembras y los arácnidos por los machos de las tallas reproductivas. Podemos reconocer la capacidad de *Z. tequila* de explotar los recursos alimenticios que le proporcione el medio debido a que se obtuvo una variación en la dieta entre sitios. El nivel de parasitismo fue mayor en la clase de talla III, para ambos sexos y hay mayor presencia de parásitos en los machos.

2) De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que *Z. tequila* es una especie que potencialmente podría reestablecerse en el Río Teuchitlán debido a que es capaz de emplear los recursos alimenticios del sitio, se presentaron individuos reproductivos y hubo registro de alevines. Además, que los individuos sobrevivientes incrementaron de talla y después de los 114 y 144 días (machos y hembras respectivamente) logran mantener la sobrevivencia, incluso los machos tienden a incrementarla.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Arevalo-Rivera, E. Y., I. M. Gómez-Pérez, E. Gómez-Ramírez, D. Rodríguez-Caicedo, y H. Hurtado-Giraldo. 2016. **Estudio preliminar de la relación del tamaño corporal y la maduración testicular de *Xiphophorus hellerii* (Heckel, 1948)**. Revista Facultad de Ciencias Básicas. Vol (6) 2: 226-239.
- Arias, A. K. 2004. **Comportamiento alimentario en juveniles de *Zoogoneticus tequila* (Cyprinodontiformes: Goodeidae) bajo condiciones controladas**. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, Michoacán México. 70 pp.
- Ávila Alpírez, H., S. Meza Guevara, B. Frías Reyna, E. Sánchez Andrade, C. Vega Alanís, y M. A. Hernández Saldivar. 2006. **Intervención de enfermería en el autocuidado con apoyo educativo en personas con diabetes mellitus tipo 2**. Cultura de los cuidados. pp. 141-146.
- Badii, M. H., A. Guillen, C. E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar, y M. Acuña. 2015. **Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos**. Revista Daena (International Journal of Good Conscience). Vol (10) 2.
- Bautista-Hernández, C., S. Monks, y G. Pulido-Flores. 2008. **Registro helmintológico de *Girardinichthys viviparus* (Bustamante, 1837) del Lago de Tecocomulco, Hidalgo, México**. Estudios científicos en el lago de Tecocomulco, Hidalgo y zonas aledañas. Universidad del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. 77-91 pp.
- Begon, M., C. R. Townsend, y J. L. Harper. 2006. **Ecology: from individuals to ecosystems**. (4th). Oxford: Blackwell Publishing.
- Burton, M. P., y S. R. Flynn. 1998. **Differential postspawning mortality among male and female capelin (*Mallotus villosus* Müller) in captivity**. Canadian Journal of Zoology, vol (76) 3: 588–592.
- Canto-Maza W. G. y Vega-Cendejas. M. E. 2008. **Hábitos alimenticios del pez *Lagodon rhomboides* (Perciformes: Sparidae) en la laguna costera de Chelem, Yucatán, México**. Revista de Biología Tropical. Vol 56 (4): 1837-1846.
- Champagnon, J., J. Elberg, M. Guillemain, M. Gauthier-Clerc, y J.D. Lebreton. 2012. **Conspecifics can be aliens too: A review of effects of restocking practices in vertebrates**. Journal for Nature Conservation. Vol (20) 4: 231–241.

- Contreras-MacBeath, T. 2015. *In*: Harrison, I. (ed.). **Successful Reintroduction of the “Carpita de Morelos” *Notropis boucardi* in Chapultepec Protected Area in Morelos, Mexico**. AVING FRESHWATER FISHES AND HABITATS. pp 31-33.
- Cortés E., 1997. **A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes**. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 54: 726-738.
- De La Vega-Salazar, M. Y. 2003. a. **Situación de los peces dulce acuícolas en México**. *Ciencias*. 072.
- De la Vega-Salazar, M. Y., E. Ávila-Luna, y C. Macías-García. 2003 b. **Ecological evaluation of local extinction: The case of two genera of endemic fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia***. Biodiversity and Conservation. 12: 2043-2056.
- Domínguez Domínguez, O., L. Boto, F. Alda, G. Pérez Ponce de León e I. Doadrio. 2007. **Human impacts on basins of the Mesa Central of México, and its genetic effects on an endangered fish, *Zoogoneticus quitzeoensis***. Conservation Biology 21:168–180.
- Domínguez-Domínguez, O., L. Zambrano, L. H. Escalera-Vázquez, R. Pérez-Rodríguez, y G. Pérez-Ponce de León. 2008. **Cambio en la distribución de goodeidos (Osteichthyes: Cyprinodontiformes: Goodeidae) en cuencas hidrológicas del centro de México**. Revista mexicana de biodiversidad. Vol (79) 2: 501-512.
- Domínguez-Domínguez, O., M. Medina-Nava., X. Madrigal-Guridi. 2019. Estudio de estados. **Peces**. En: **La biodiversidad en Michoacán**. Estudio de Estado 2. Volumen II. CONABIO, México. pp. 407-422.
- Duncan, J.R. y J.L. Lockwood. 2001. **Extinction in a field of bullets, a searchfor causes in the decline of the world’s freshwater fishes**. Biological Conservation.102: 97–105.
- Edmondson, W. T. 1959. **Rotifera**. Freshwater biology. 2: 420-494.
- En <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/15106.pdf> última consulta: 28 de enero 2020.
- Engel, A., M. Tsujihata, J. Lindstrom, y V. A. Lennon. 1976. **The motor end plate in myasthenia gravis and in experimental autoimmune myasthenia gravis**. Ann. New. York. Academy Science. 274:60.

- Escalera-Vázquez, L. H., O. Domínguez-Domínguez, D. Hinojosa-Garro, y L. Zambrano. 2016. **Changes in diet, growth and survivorship of the native Tequila Splitfin *Zoogoneticus tequila* in co-occurrence with the non-native Shortfin Molly *Poecilia mexicana*.** Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie. Vol (188) 4: 341-351.
- Fisher, R. A. 1930. **Inverse probability.** In Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. Cambridge University Press. Vol (26) 4:528-535.
- Fischer, J., y D. B. Lindenmayer. 2000. **An assessment of the published results of animal relocations.** Biological Conservation 96:1–11.
- Galetto, L., A. Fioni, y A. Calviño. 2002. **Éxito reproductivo y calidad de los frutos en poblaciones del extremo sur de la distribución de *Ipomoea purpurea* (Convolvulaceae).** Darwiniana. 25-32.
- Galindo, C. 2010. *In*: Carabias, J. J. Sarukhán J. de la Maza C. Galindo (eds). **Recuperación del lobo mexicano.** Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito. pp. 80-81.
- Godefroid, S., C. Piazza, G. Rossi, S. Buord, A. D. Stevens, R. Aguraiuja, y I. Johnson. 2011. **How successful are plant species reintroductions?.** Biological Conservation. Vol (144) 2: 672-682.
- Gómez-cano, M. 2016. **Hábitos alimenticios de *Zoogoneticus tequila* Webb y Miller 1998, (Cyprinodontiformes: Goodeidae) en un estanque rústico,** Tesis de Licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 87 pp.
- González Elizondo, M., E. Jurado-Ybarra, S. González-Elizondo, Ó. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, y J. D. J. Návar-Cháidez. 2003. **Cambio climático mundial: origen y consecuencias.** Ciencia uanl. (6)3.
- Griffith, B., J. M. Scott, J. W. Carpenter, y C. Reed. 1989. **Translocation as a species conservation tool: status and strategy.** Science. Vol (245) 4917:477–480.
- Hansson, S. 1998. **Methods of studying fish feeding: a comment.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol (55) 12: 2706-2707.

- Jachowski, D. S., J. J. Millspugh, P. L. Angermeier, y R. Slotow. 2016. **Reintroduction of fish and wildlife populations**. University of California Press, Davis, California, USA. 392 pp.
- Koeck, M., A. Daniels, y L. Maiz-Tome. 2019. *Girardinichthys multiradiatus*. IUCN.
- Lande, R. 1988. **Genetics and demography in biological conservation**. Science. Vol (241) 4872: 1455-1460.
- Lande, R. 1995. **Mutation and conservation**. Conservation biology. Vol (9) 4: 782-791.
- Lucas, A. 1996. **Bioenergetics of Aquatic Animals**. Taylor y Francis, Ltd. 169 pp.
- Lyons, J. P., G. González-Hernández, E. Soto-Galera, y M. Guzmán-Arroyo. 1998. **Decline of freshwater fishes and fisheries in selected drainages of West-Central Mexico**. Fisheries. Vol (23) 4: 10-18.
- Lyon, J. P., C. Todd Nicol, S. J. Nicol, A. MacDonald, D. Stoessel, B. A. Ingram, y C. J. Bradshaw. 2012. **Reintroduction success of threatened Australian trout cod (*Maccullochella macquariensis*) based on growth and reproduction**. Marine and Freshwater Research. Vol (63) 7: 598-605.
- Garcia, C. M., E. Saborio, y C. Berea. 1998. **Does male-biased predation lead to male scarcity in viviparous fish**. Journal of Fish Biology. Vol (53) sa: 104–117.
- Margolis, L., G.L. Esch, J.C. Holmes, A.M. Kuris y G.A. Schad. 1982. **The use of the terms in Parasitology (Report of an ad hoc Committee of the American Society of Parasitologists)**. Journal of Parasitology. Vol (68) 1: 131-133
- Mar-Silva, V. 2011. **Variación espacio-temporal de la comunidad de peces en el lago de Pátzcuaro**. Michoacán, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México. 67 pp.
- Mar Silva V., R. Hernández Morales, y M. Medina Nava. 2014. **Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces**. Biológicas. Vol (16) 2: 13-16.
- Mar-Silva, V. 2015. **Ecología trófica de *Chiristomajordani* (Woolman, 1894) en el lago de Cuitzeo**. Tesis de Maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México. 92 pp.
- Marsh, P. C., B.R. Kesner, C.A. Pacey. 2005. **Repatriation as a management strategy to conserve a critically imperiled fish species**. North American Journal Fish Manage. Vol (25) 2:547–556

- Maroñas, M. 2006. **Crecimiento individual en peces**. Cátedras de Ecopoblaciones. Recuperado de <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecopoblaciones>
- Martínez-Trujillo, M. 1983. **Contribución al conocimiento de la biología de *Poecilia sphenops* Valenciennes (Pisces:Poeciliidae), en la presa de Zicuirán, Mich.** Tesis de Licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México. 64 pp.
- McCarthy, M. A., y H. P. Possingham. 2007. **Active adaptive management for conservation**. *Conservation Biology*. 21:956–963.
- McNeeley, J. A., y S. A. Mainka. 2009. **Conservation for a new era**. IUCN, Gland, Switzerland.
- Mercado–Silva, N., J. Lyons, G. Salgado y M. Medina–Nava. 2002. **Validation of a fish–based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico**. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12:179–191.
- Merritt, R. W., K. W. Cummins, y M. B. Berg. 1996. **An introduction to the aquatic insects of North America**. Kendall. Hunt. Dubuque, Iowa, USA.
- Miller, R. R. 2009. **Peces dulceacuícolas de México**. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana A. C., El colegio de la Frontera Sur y Consejo de los Peces del Desierto México-Estados Unidos. México, D.F. 1 264, 265, 318 y 319 pp.
- Moncayo-Estrada, R., T. Lind-Owen, y Carlos. Escalera-Gallardo. 2011. **Trophic interactions among sympatric zooplanktivorous fish species in volume change conditions in a large, shallow, tropical lake**. *Neotropical Ichthyology*. Vol (9) 1: 169-176.
- Nelson, J. S., T. C. Grande, y M. V. Wilson. 2016. **Fishes of the World**. John Wiley y Sons.
- Nom, N. O. M. (2010). 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**. pp 30.
- Pennak, R. W. 1978. **Fresh water invertebrates of the United States**. John-Wiley y Sons (eds). New York, 803 pp.
- Pruder, G.D. 2000. **Biosecure Zero-Water Exchange Shrimp Production Systems**. *Journal Ocean University*. Qindago. 30: 92-106.

- Ramírez-García, A., J. P. Ramírez-Herrejón, M. Medina-Nava, R. Hernández-Morales, y O. Domínguez-Domínguez. 2017. **Reproductive biology of the invasive species *Pseudoxiphophorus bimaculatus* and *Poecilia sphenops* in the Teuchitlán River, México.** Journal of Applied Ichthyology. Vol (34) 1: 81-90.
- Ramírez-Herrejón, J. P. R., M. Medina-Nava, C. I. S. Tinoco, y T. L. Zubieta. 2013. **Algunos aspectos reproductivos de *Zoogoneticus quitzeoensis*; Hubbs and Turner (1939) (Osteichthyes-Goodeidae) en la represa La Mintzita Morelia, Michoacán, México.** Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Vol (9) 1: 63-71.
- Ramírez-Herrejón, J. P. 2013. **Ecología trófica de *Cyprinus carpio* y su relación con la estructura comunitaria de peces del lago de Pátzcuaro, Michoacán.** Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. 64 pp.
- Stark, W. y R. Schroeder. 1970. **Investigation on the grey Snapper *Lutianus griseus*.** Studies in Tropical Oceanography. 101: 210-224.
- Reed, D. H. 2005. **Relationship between population size and fitness.** Conservation Biology 19:563-568.
- Rojo, A. 2003. **La reintroducción del cóndor de California en México Biológico Mesoamericano.** CONABIO. Biodiversitas 46:12-14.
- <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/teuchitlan> Página accesada (2017) (Rosa Espíritu).
- Sánchez, G. L. 1980. **Evaluación Ecológica del Municipio de Teuchitlán, Jalisco.** Tesis para obtener el Título como Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara. 68 pp.
- Seddon, P. J. 1999. **Persistence without intervention: assessing success in wildlife reintroductions.** Trends in Ecology and Evolution. 14:503.
- Seddon, P. J., P. S. Soorae, y F. Launay. 2005. **Taxonomic bias in reintroduction projects.** Animal Conservation. 8:51–58.
- Seddon, P. J., D. P. Armstrong, y R. F. Maloney. 2007. **Developing the science of reintroduction biology.** Conservation Biology. 21:303–312.

- Segura-Correa, J. C., y R. C. Montes-Pérez. 2001. **Razones y estrategias para la conservación de los recursos genéticos animales**. Revista Biomédica. Vol (12) 3: 196-206.
- Shan, L., Y. Hu, L. Zhu, L. Yan, C. Wang, D. Li, y F. Wei. 2014. **Large-scale genetic survey provides insights into the captive management and reintroduction of giant pandas**. Molecular biology and evolution. Vol (31) 10: 2663-2671.
- Shute, J. R., P. L. Rakes, y P. W. Shute. 2005. **Reintroduction of four imperiled fishes in Abrams Creek, Tennessee**. Southeastern Naturalist. 93-110.
- Silva, J. C. S. 2011. **Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna**. In: Gallina-Tessaro, S. y C. López-González (eds). **La Translocación y reintroducción en el manejo y conservación de las especies**. 221 pp.
- Snelson, F. F., T. J. Mulligan, y S. E. Williams. 1984. **Food habits, occurrence, and population structure of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, in Florida coastal lagoons**. Bulletin of Marine Science. Vol (34) 1: 71-80.
- Snelson, F.F. Jr. 1984. **Seasonal maturation and growth of males in a natural population of *Poecilia latipina***. Copeia 1: 252-255.
- Snelson, F.F. 1989. **Social and environmental control of life history traits in poeciliid fishes**, p. 149-161. In Meffe, G.K. y F.F. Snelson, Jr. (eds). **Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)**. Ed. Prentice Hall, Nueva Jersey
- Soto-Galera, E., E. E. Díaz-Pardo, E. López-López y J. P. Lyons. 1998. **Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México**. Aquatic Ecosystem Health and Management 1:267-276
- Soto-Galera, E., J. Paulo-Maya, E. López-López, J. A. Serna-Hernández y J. P. Lyons. 1999. **Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia-Lago de Cuitzeo basin, Mexico**. Environmental Management 24:133-140.
- Sparre, P., y S. C. Venema. 1997. **Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales**. pp 420. Parte I; Manual Roma: FAO.
- Sturges, H. 1926. **The choice of a class-interval**. Journal American. Statistics. Association. 21: 65-66.

- Thorp, J. H., y A. P. Covich. 2001. **Ecology and classification of North American freshwater invertebrates** In: Thorp, J. H., y A. P. Covich (eds). **An overview of freshwater habitats**. pp 19-41.
- Trexler, J. C., W. F. Loftus, F. Jordan, J. H. Chick, K. L. Kandl, T. C. McElroy, y O. L. Bass Jr. 2002. **Ecological scale and its implications for freshwater fishes in the Florida Everglades**. Florida Bay, Boca Raton. pp 153-181.
- Trujillo-Jiménez, P., y E. Díaz-Pardo. 1996. **Espectro trófico de *Ilyodon whitei* (Pisces: Goodeidae) en el río del muerto, Morelos, México**. Revista de Biología Tropical. Vol (44) 2: 795-801.
- Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza (IUCN) Red List <http://www.iucnredlist.org/> (Accesada en 22 de enero 2020).
- Vargas, M.J. y A. de Sosota. 1996. **Life history of *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae) in the Ebro delta (NE Iberian peninsula)**. Hydrobiologia 341: 215-224.
- Viada, C., L. Parpal, B. Morro, y J. M. Serra. 2015. **El águila de Bonelli (*Aquila fasciata*) en Mallorca: su extinción y su reintroducción**. pp 12.
- Warfe, D. M., N. E. Pettit, P. M. Davies, B. J. Pusey, S. K. Hamilton, M. J. Kennard, S. A. Townsend, P. Bayliss, D. P. Ward, M. M. Douglas, M. A. Burford, M. Finn, S. E. Bunn, y I. A. Halliday 2011. **The 'wet-dry' in the wet-dry tropics drives river ecosystem structure and processes in northern Australia**. Freshwater Biology 56: 2169-2195.
- Webb, S. A., y R. R. Miller. 1998. ***Zoogoneticus tequila*, a new goodeid fish (Cyprinodontiformes) from the Ameca drainage of Mexico, and a rediagnosis of the genus**. pp 24.
- Yáñez-Arancibia A., J. Curriel-Gómez y V. L. de Yáñez. 1976. **Prospección biológica y ecológica del bagre marino *Galeichthys caerulescens* (Gunther), en el sistema lagunar costero de Guerrero, México (Pises: Ariidae)**. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México. Vol (3) 1: 125-180.
- Zar, J. H. 1999. Biostatistical analysis. Pearson Education India.

## 11. ANEXO

## ANEXO 1. Parámetros de hábitat para los cuatro mesocosmos en el río Teuchitlán

Parámetro	No. Mesocosmos				Prueba Kruskal-Wallis
	1	2	3	4	
PO <sub>4</sub> (mg/L)	0.25±0	0.19±0.13	0.19±0.13	0.13±0.14	X <sup>2</sup> =2.50, gl=3, p=0.48
Ca (mg/L)	15±10	15±10	10±11.55	10±11.55	X <sup>2</sup> =1.00, gl=3, p=0.81
NO <sub>3</sub> (mg/L ppm)	2.5±2.89	2.5±2.89	1.25±2.5	1.25±2.5	X <sup>2</sup> =1.00, gl=3, p=0.81
NO <sub>2</sub> (mg/L)	0	0	0	0	0
NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> (mg/L)	0.05±0.06	0	0.05±0.06	0.03±0.05	X <sup>2</sup> =3.00, gl=3, p=0.39
pH	8.22±0.25	8.2±0.37	8.1±0.2	8.15±0.19	X <sup>2</sup> =0.6, gl=3, p=0.89
KH (mg/L ppm CaCo <sub>3</sub> )	53.33±6.67	54.17±11.01	57.5±8.77	56.67±6.09	X <sup>2</sup> =1.18, gl=3, p=0.76
GH (mg/L ppm CaCo <sub>3</sub> )	23.33±3.85	23.33±3.85	21.67±3.33	23.33±3.85	X <sup>2</sup> =0.71, gl=3, p=0.87
Fe (mg/L)	0	0	0	0	0

Se incluye la media ± DE para nueve parámetros y la prueba de Kruskal-Wallis