



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE BIOLOGÍA

**Biología reproductiva del Guatopote
del Lerma *Poeciliopsis infans*
(Cyprinodontiformes: Poeciliidae) en
el Lago de Zacapu, Michoacán, México**

Tesis

**que como requisito parcial para obtener el título
profesional de**

BIÓLOGO

Presenta:

Christian Ponce de León González

Director de tesis: Dr. Omar Domínguez Domínguez

Co-Directora: M. en C. Arely Ramírez García



Morelia, Michoacán, febrero 2022

DEDICATORIA

A mi mamá Fabiola Ponce de León González, por su acompañamiento incondicional, que siempre me ha motivado a cumplir mis sueños y metas, gracias por su cariño y apoyo en especial es que puedo concluir esta etapa de mi vida.

A mi abuelita María Luisa González Frutos que me ha acompañado desde niño y que, junto a mi madre, son un gran motor para siempre salir adelante y superarme.

A mi familia, tías, tíos, primos, que siempre me han demostrado estar ahí para mí en las buenas y en las malas, por su apoyo y compañía.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Facultad de Biología por permitirme haber vivido esta gratificante experiencia de aprendizaje con muchas aventuras y sueños cumplidos.

A mi co-directora y amiga M. en C. Arely Ramírez García, a quien admiro y estimo mucho, gracias por acompañarme con tu asesoría, paciencia y conocimientos durante todo el proceso de elaboración de mi tesis, espero algún día lograr ser tan talentoso en la investigación como tú.

A mi director de tesis Dr. Omar Domínguez Domínguez por abrirme las puertas del Laboratorio de Biología Acuática de la UMSNH y por permitirme realizar mi tesis bajo su dirección y asesoría, admiro su trayectoria y pasión por la investigación, agradezco me permita aprender y poder concluir esta etapa y obtener mi título.

A mis sinodales

A la Dra. Martina Medina Nava, gracias por su apoyo y asesoría, también por permitirme aprender de usted durante el 8vo verano nicolita, y porque me ha acompañado y motivado en mis estudios, proyectos y metas personales.

Al Mtro. Xavier Madrigal Guridi, gracias por su apoyo y asesoría en mi trabajo de tesis, así como su disponibilidad y amabilidad para resolver dudas y brindar consejos.

A la unión de pescadores del Lago de Zacapu por su apoyo logístico, al gobierno de Zacapu por sus facilidades al área de estudio y su apoyo.

Al proyecto “Plan de Conservación de la Laguna de Zacapu, un hotspot en el Centro de México” dirigido por la M. en C. Arely Ramírez García, el Dr. Rodrigo Moncayo-Estrada y el Dr. Omar Domínguez Domínguez, apoyado financieramente por instituciones internacionales como el zoológico de Chester Zoo de Inglaterra, la fundación Rufford de Reino Unido, la asociación Goodeid Working Group, y la asociación American Livebearer de Estados Unidos.

A mis amigas Paloma, Betsy, Karla y Karina, gracias por sus consejos y apoyo, porque siempre me motivaron a cumplir mis metas y haberme acompañado con risas, aventuras y una amistad sincera en mis estudios de licenciatura.

A mis maestros gracias por todas las enseñanzas y conocimientos compartidos.

¡Muchas gracias!

CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
ANTECEDENTES	13
Antecedentes familia Poeciliidae	13
Antecedentes género <i>Poeciliopsis</i>	14
HIPÓTESIS	16
OBJETIVOS	16
Objetivo general	16
Objetivos particulares	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Descripción del área de estudio.....	17
Recolecta de material biológico	18
Actividades de laboratorio.....	18
Aspectos reproductivos.....	18
Variables fisicoquímicas.....	23
RESULTADOS	25
Aspectos reproductivos.....	25
Variables fisicoquímicas.....	36
DISCUSIÓN	41
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	50
LITERATURA CITADA	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Estadios gonadales para hembras siguiendo los criterios de la escala de madurez de Contreras-MacBeath y Espinoza-Ramírez (1996).

Cuadro 2. Estadios gonadales para machos siguiendo los criterios de la escala de madurez de Ramírez-Herrejón *et al.* (2007).

Cuadro 3. Número de individuos de machos ♂ y hembras ♀ de *P. infans* capturados por mes y por sitio en el Lago de Zacapu.

Cuadro 4. Número de individuos de *P. infans* machos = ♂ y hembras = ♀ juveniles y maduros por sitio registrados en el Lago de Zacapu.

Cuadro 5. Promedio y desviación estándar de fertilidad en hembras en los diferentes sitios y meses de muestreo.

Cuadro 6. Longitud patrón para hembras y machos de *P. infans* por sitio en el Lago de Zacapu.

Cuadro 7. Longitud patrón para hembras y machos de *P. infans* por meses en el Lago de Zacapu.

Cuadro 8. Proporción sexual de *P. infans* por sitio en el Lago de Zacapu.

Cuadro 9. Proporción sexual de *P. infans* por mes en el Lago de Zacapu.

Cuadro 10. Análisis de regresión lineal de *P. infans*. La letra b es la pendiente de la regresión lineal; R^2 es el coeficiente de correlación, valores de $b > 3$ denotan alometría positiva, valores de $b < 3$ denotan alometría negativa.

Cuadro 11. Análisis de regresión lineal por sitios de *P. infans*. La letra b es la pendiente de la regresión lineal; R^2 es el coeficiente de correlación, valores de $b > 3$ denotan alometría positiva, valores de $b < 3$ denotan alometría negativa.

Cuadro 12. Variables ambientales por sitios en el Lago de Zacapu, temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

Cuadro 13. Variables ambientales por meses en el Lago de Zacapu, temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

Cuadro 14. Relación de variables ambientales y el IGS mediante la regresión lineal múltiple del IGS para hembras y las variables fisicoquímicas temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

Cuadro 15. Relación de variables ambientales y el IGS mediante la regresión lineal múltiple del IGS para machos y las variables fisicoquímicas temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Lago de Zacapu y los sitios de muestreo S1, S2, S3 y S4.

Figura 2. Estadios de desarrollo gonádico de *P. infans* A) temporal y B) espacial para hembras.

Figura 3. Estadios de desarrollo gonádico de *P. infans* A) temporal y B) espacial para machos.

Figura 4. Correlación de Pearson de Longitud Patrón y Fertilidad de *P. infans*.

Figura 5. Índice gonadosomático para hembras y machos de *P. infans* en el Lago de Zacapu de manera A) espacial B) temporal.

Figura 6. Factor de condición (K) bimensual y anual para hembras y machos de *P. infans* en el Lago de Zacapu A) temporal y B) espacial.

Figura 7. Relación entre el IGS de machos y hembras de *P. infans* con las variables fisicoquímicas del Lago de Zacapu de manera espacial y temporal.

RESUMEN

El Lago de Zacapu se encuentra ubicado en el altiplano del centro de México, considerado como una de las regiones más importantes de endemismo de especies ícticas del país. La especie nativa *Poeciliopsis infans* no ha sido estudiada en el Lago de Zacapu, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar su biología reproductiva y su relación con las condiciones ambientales de manera espacial y temporal. Se evaluaron las variables reproductivas de fertilidad, estadios de madures gonádica, índice gonadosomático (IGS), estructura de tallas, talla de primera madurez, proporción de sexos, factor de condición, tipo de crecimiento, así como su relación con las variables ambientales. Un total de 431 individuos fueron capturados con una red tipo chinchorro y trampas tipo nasa, en cuatro sitios de muestreo, durante un ciclo anual. La fertilidad osciló de 3 a 47 huevos embrionados/embriones, se determinó que no existe relación entre la fertilidad y la longitud patrón. Los machos maduran primero que las hembras, alcanzan la madurez a los 20.49 mm y las hembras a los 28.10 mm de longitud patrón. Tanto para machos y hembras se observó actividad reproductiva durante todo el año, con un pico reproductivo mayor en mayo, sin embargo, no hubo diferencias significativas. El análisis de regresión lineal múltiple mostró que no existe relación entre las variables fisicoquímicas y el IGS para machos y hembras tanto espacial y temporal. Se encontró una proporción sexual anual dominada por las hembras (3 Hembras: 1 Macho). Se observó que el factor de condición fue constante tanto en machos como hembras, no se encontraron diferencias significativas entre sexos, manteniendo su condición robusta de manera temporal y espacial, indicando buena salud. El crecimiento es alométrico positivo para ambos sexos, con una tendencia de aumento progresivo en la ganancia de peso mayor que en la longitud. Se concluye que la especie nativa *P. infans* presenta una población reproductiva estable en el Lago de Zacapu, mostrando un ciclo reproductivo exitoso.

Palabras clave: Especie nativa, Ovovivíparo, Reproducción, Lago Zacapu, *Poeciliopsis infans*.

ABSTRACT

Lake Zacapu, located in the highlands of central Mexico, is considered one of the most important regions of endemism of fish species in the country. The native species *Poeciliopsis infans* has not been studied in Lake Zacapu, the aim of this research was to determine its reproductive cycle and its relationship with environmental conditions in a spatial and temporal way. The fertility, gonadal maturity stages, gonadosomatic index (GSI), structure size, size at first maturity, sex ratio, condition factor, growth type, as well as their relationship with environmental variables were evaluated. A total of 431 individuals were captured with a seine net and minnow traps, in four sampling sites, bimonthly in an annual year. Fertility ranged from 3 to 47 embryonated eggs / embryos, relationship between fertility and standard length was not found. Males mature first than females, reaching maturity at 20.49 mm and females at 28.10 mm in standard length. For both, males and females, reproductive activity was found throughout the year, with a higher reproductive peak in May, however, there were no significant differences. The multiple linear regression analysis showed that there is no relationship between the physicochemical variables and the IGS for males and females spatially and temporally. Annual sex ratio is dominated by females (3 Females: 1 Male). A constant condition factor was found in both, males and females, no significant differences were found between sexes, maintaining their robust condition temporarily and spatially, indicating good health. Growth is allometric positive for both sexes, with a trend of progressive increase in weight gain greater than in length. It is concluded that the native species *P. infans* shows a stable reproductive population in Lake Zacapu showing a successful reproductive cycle.

Keywords: Native species, Ovoviviparous, Reproduction, Lake Zacapu, *Poeciliopsis infans*.

INTRODUCCIÓN

La familia Poeciliidae comprende 22 géneros y 180 especies (Miller *et al.*, 2009), son llamados guayacones, topotes, espadas, guppys y mollys, son uno de los grupos de peces dominantes en sistemas dulceacuícolas de América Central (Miller *et al.*, 2012). Los pecílidos comprenden en su mayoría peces vivíparos lecitotróficos (ovovivíparos), los cuales presentan dimorfismo sexual, observable por la presencia del gonopodio (aleta anal modificada) en los machos (Hurt y Hedrick, 2003; Nelson *et al.*, 2016).

Las hembras son altamente fértiles, capaces de producir camadas sucesivas, esto debido a su capacidad para retener esperma (López-Sepulcre *et al.*, 2013), además algunas especies presentan superfetación, lo que se refiere a que dos o más camadas en diferentes etapas de desarrollo coexisten en una sola hembra. Los pecílidos presentan una gestación intrafolicular y placenta folicular (Miller *et al.*, 2009; Uribe *et al.*, 2010). Presentan fecundación interna, la cual se lleva a cabo por medio del gonopodio del macho (Miller *et al.*, 2009).

El género *Poeciliopsis* está representado por 18 especies para México, de éstas, el guatopote del Lerma (*Poeciliopsis infans*) es la única especie que es nativa de los cuerpos de agua del altiplano del centro de México (Espinosa *et al.*, 1993; Medina-Nava, 1993; Miller *et al.*, 2009). Esta región es considerada como uno de los más importantes centros de endemismo de especies ícticas del país (Miller *et al.*, 2005), desafortunadamente también ha sido identificada como una de las más impactadas por las actividades generadas por el hombre (Bernal-Brooks, 1998; Fisher *et al.*, 2003; Von Bertrab, 2003); esta situación ha generado importantes consecuencias sobre la ictiofauna nativa (De la Vega-Salazar, 2006; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2006; 2008; Mercado-Silva *et al.*, 2009; Magurran, 2009), lo que ha conducido a la extinción de especies de peces (Contreras-MacBeath, 2005).

Los pecílidos son utilizados como peces ornamentales en acuarios (Miller *et al.*, 2009), tienen un papel de importancia veterinaria y médica, ya que son utilizados para el control biológico de mosquitos, y de vectores de enfermedades para el ser humano (Hernández *et al.*, 2004) entre otros.

Aunado a lo anterior, varias especies de pecílidos habitan de manera nativa en varios sistemas del centro de México, como es el Lago de Zacapu, el cual pertenece a la cuenca Lerma-Santiago, una de las zonas más importantes del centro de México para la conservación de la fauna acuática. Está ubicado en el Estado de Michoacán, México y es un remanente de la desecación y canalización de una antigua ciénaga de mayores dimensiones, en la actualidad presenta diferentes impactos perceptibles debido a la influencia de la ciudad que bordea al lago (Moncayo-Estrada, 1996; Ayala-Ramírez *et al.*, 2007).

De acuerdo con Valencia-Vargas y Escalera-Vázquez (2021) el Lago de Zacapu presenta poca variación limnológica de manera espacial y temporal con base a las variables fisicoquímicas de pH, temperatura, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y conductividad, lo que sugiere que en términos ambientales el Lago se mantiene estable a lo largo del tiempo. Así mismo, Moncayo-Estrada (1996) menciona que la poca variación ambiental o estabilidad del Lago se puede explicar por la dinámica de corriente influenciada por la presencia de manantiales que mantienen un recambio de agua constante, por su poca profundidad y sus dimensiones, las cuales promueven su homogenización (Margalef, 1983; Ayala Ramírez *et al.*, 2007; Roselli *et al.*, 2009; Bhattraí *et al.*, 2017).

De acuerdo con Moncayo-Estrada (1996) la riqueza específica en la ictiofauna del lago está integrada por 13 especies, incluidas en 13 géneros dentro de cuatro familias (Cyprinidae, Goodeidae, Atherinopsidae y Poeciliidae), de las cuales nueve son nativas, dos introducidas y dos especies endémicas.

Una de estas especies nativas del Lago de Zacapu es *Poeciliopsis infans*, también conocido como guatopote del Lerma, que es un pequeño pez con una talla promedio de 30 mm de longitud (21 mm macho, 28 mm hembra), de tonalidades oscuras que van de un gris claro hasta negro (Miller *et al.*, 2009), se puede reproducir todo el año bajo condiciones estables de fotoperiodo y temperatura (Silva-Santos, 2016) y es una especie omnívora que se alimenta de detritos de origen vegetal y animal (Karr, 1981; Vanni *et al.*, 2005; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

El Guatapote del Lerma es una especie nativa poco estudiada en el Lago de Zacapu, es el único poecílido y la única especie con estrategia reproductiva ovovivípara, por lo que es importante determinar su biología reproductiva y su relación con las condiciones ambientales, lo que generará información importante para entender la biología reproductiva de esta especie nativa.

ANTECEDENTES

Antecedentes de la familia Poeciliidae

Gómez-Márquez *et al.* (1999) en el lago "El Rodeo" en el Estado de Morelos determinaron algunos aspectos de la reproducción y crecimiento de *Heterandria bimaculata* ahora *P. bimaculatus*. La proporción sexual fue de 1.7:1 (hembras: machos X^2 ; $p < 0.05$) a favor de las hembras. La talla de primera reproducción para los machos fue de 22 mm de longitud patrón y para las hembras de 27 mm; posiblemente lleven a cabo múltiples desoves durante el ciclo reproductivo (de marzo a mayo y de julio a octubre) principalmente durante la temporada de lluvias. En julio se registró el valor más alto del índice gonadosomático (4.7%) y del factor de condición. La cantidad de embriones en las gónadas fue entre 5 a 78, con promedio de 23, y la fertilidad se asoció en mayor porcentaje de manera positiva con la longitud patrón. Se encontró relación directa entre el peso total y la longitud patrón para esta especie. La longitud patrón asintótica para los machos fue de 64 mm y para las hembras de 81 mm, con mayor tasa de crecimiento para estas últimas.

Gómez-Márquez *et al.*, (2016) en la presa Emiliano Zapata, analizaron aspectos de la biología reproductiva de *Poecilia sphenops*. El tamaño de los peces osciló de 2 a 96 mm de longitud total y de 0.01 a 13.07 g de peso corporal. La proporción sexual de las hembras con respecto a los machos fue de 4.9:1. La variación mensual de los índices gonadosomático, hepatosomático y del desarrollo de los estadios de los ovarios, mostraron que la época de desove de *P. sphenops* se lleva a cabo entre julio y octubre, durante la época de lluvias. Concluyendo que la información reproductiva obtenida en este estudio brindará información de utilidad para que se regule la pesca, y que el tamaño en la primera madurez debe considerarse en la explotación de *P. sphenops*.

Ramírez-García *et al.*, (2018) evaluaron la biología reproductiva de *P. bimaculatus* y *P. sphenops*, especies exóticas en el río Teuchitlán, Jalisco. Obtuvieron la fertilidad, la talla de primera madurez, la proporción de sexos, desarrollo gonadal, el índice gonadosomático, el factor de condición y la estructura

de tallas. En *P. bimaculatus* predominaron las hembras, mientras que en *P. sphenops* la proporción de sexos fue 1:1. La fertilidad máxima de *P. bimaculatus* fue 15.99 ± 2.27 huevos embrionados / embriones y, para *P. sphenops*, 31.26 ± 4.17 . Encontraron hembras y machos maduros de *P. bimaculatus* en sitios degradados y juveniles en los manantiales. Concluyeron que ambas especies muestran capacidad de crecer y reproducirse en diferentes condiciones ambientales, estableciéndose a lo largo del río, y que sus estrategias reproductivas les han permitido colonizarlo.

Antecedentes género *Poeciliopsis*

Para *Poeciliopsis occidentalis* se identificaron diferencias entre dos poblaciones silvestres que habitaban dos manantiales en Arizona, uno con mayor disponibilidad de alimento que el otro, encontrándose que las hembras que nacen en el sitio con menor disponibilidad de alimento alcanzan la madurez sexual al año de edad, mientras que las hembras nacidas en el sitio con mayor disponibilidad de alimento maduran sexualmente a los cinco meses de edad, además, las hembras nacidas en el sitio con mayor disponibilidad de alimento presentaron mayores valores de fecundidad (13.6 ± 2.5 óvulos), en comparación con las nacidas en el sitio de menor disponibilidad de alimento (4.69 ± 1.1), (Constantz, 1989).

Contreras-MacBeath y Espinoza-Ramírez (1996) analizaron algunos aspectos de la estrategia reproductiva de *Poeciliopsis gracilis* del río Cuautla en el centro de México, encontraron evidente dimorfismo sexual en las características morfológicas. La proporción general de sexos fue de 1:4.5 a favor de las hembras, encontraron relación directa entre la longitud y el peso de los organismos. Analizaron 325 ovarios y establecieron seis etapas de maduración en las hembras. Hubo evidencia de actividad reproductiva a lo largo de todo el año. En agosto y septiembre el índice gonadosomático fue mayor (11.4% y 10.8% respectivamente). El tamaño corporal fue extremadamente variable, y se encontraron entre uno y 140 embriones, con una fertilidad media de 18. Concluyeron que los machos son precoces y tienen actividad reproductiva constante, lo que lleva a la competencia por parejas, mientras que las hembras dedican más tiempo y energía al desarrollo de los embriones.

Gómez-Márquez *et al.* (2008) realizaron un análisis reproductivo de *P. gracilis* en Coatetelco, un lago tropical de poca profundidad en el Estado de Morelos, encontrando que existe dimorfismo sexual evidente. Concluyeron que las hembras son mayores en talla y peso y que estas se encuentran en menor proporción que los machos.

De acuerdo con Ramírez-Herrejón *et al.* (2013) *P. infans* consume principalmente detritus (44%), diatomeas perifíticas (37%) y de forma secundaria insectos terrestres (6%) y zooplancton (10%). Se han establecido investigaciones respecto a las contribuciones dietéticas de *P. infans*, indicando que son similares en las poblaciones en el Lago de Cuitzeo (Zubieta-Rojas, 1985), en el Embalse Guaracha (Escalera-Gallardo 1986) y en el lago de Pátzcuaro (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

Silva-Santos (2016) realizó estudios sobre la biología reproductiva de *Goodea atripinnis* y *P. infans* bajo condiciones controladas de fotoperiodo y temperatura, a partir de reproductores silvestres que se capturaron en el Arroyo Viejo Agua Zarca (*G. atripinnis*) y el río San Pedro (*P. infans*). Los resultados de *P. infans* indicaron que los machos poseen un gonopodio a manera de órgano intromitente, su madurez ésta dada por el desarrollo de la mancha gravídica. Los alumbramientos empezaron entre los cuatro y cinco meses de vida de las hembras. Las hembras alcanzaron un mayor peso total PT y longitud total LT que los machos. La proporción de sexos mostró una mayor proporción de hembras. El número promedio de crías por hembras fue de nueve, con una LT promedio de 10.7 ± 0.7 mm y un PT de 0.0099 ± 0.0013 g. Durante el primer año de vida las hembras tuvieron en promedio un periodo de gestación de 35 a 40 días. El análisis histológico mostró que los ovocitos maduros miden 1.65 mm y que son asincrónicos.

HIPÓTESIS

El Guatopote del Lerma (*P. infans*), al ser una especie que presenta una estrategia reproductiva ovovivípara, presentará varios picos reproductivos a lo largo del año y altas tasas de fertilidad asociadas a la homogeneidad de las variables ambientales que presenta el lago de Zacapu.

OBJETIVOS

Objetivo general

Describir la biología reproductiva de *P. infans* de manera temporal y espacial en el Lago de Zacapu

Objetivos particulares

- a) Evaluar la fertilidad de la especie en los diferentes sitios de muestreo.
- b) Describir la estructura de tallas y establecer la talla de primera madurez.
- c) Conocer la época reproductiva de manera temporal y espacial.
- d) Conocer si existe relación entre las variables reproductivas y las variables ambientales de manera temporal y espacial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El Lago de Zacapu se ubica entre las coordenadas extremas 19°49'26" y 19°49'40" de latitud norte y 101°46'45" y 101°47'25" de longitud oeste (Figura 1). Está situado a 1980 msnm dentro de la cuenca de la antigua ciénaga de Zacapu. Localizado al norte de la ciudad de Zacapu, se encuentra fuertemente influenciado por la mancha urbana, debido a que ha sido invadido en más del 50% de su ribera (Sur y Sureste) (CETENAL, 1981; Ayala-Ramírez *et al.*, 2007).

El Lago abarca 20 hectáreas aproximadamente, que incluye humedales y alrededor de 20 manantiales de agua fría que emergen en el extremo suroeste del Valle de Zacapu. Se encuentra en la Región Hidrográfica Lerma-Chapala-Santiago (No.12) localizado en la porción norte de Michoacán (Chacón-Torres *et al.*, 1991). Se conecta con el río Lerma por el río Angulo el que nace en su parte noreste (Correa *et al.*, 1974).

Actividades de campo

Los muestreos se realizaron de mayo de 2019 a marzo de 2020, bimestralmente en cuatro sitios durante un ciclo anual (Figura 1).

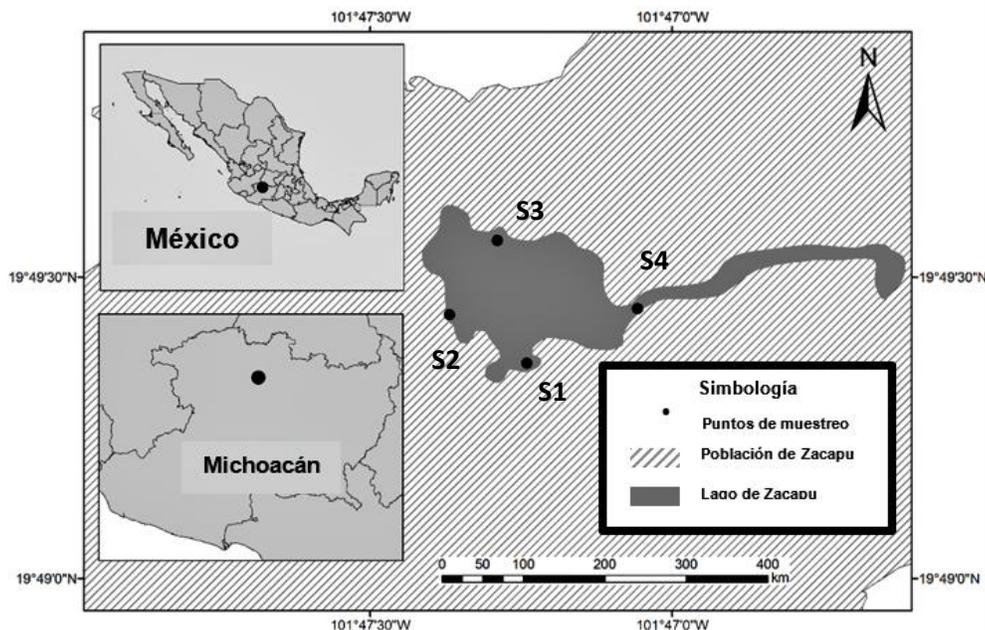


Figura 1. Ubicación del Lago de Zacapu y los sitios de muestreo S1, S2, S3 y S4.

Recolecta de material biológico

Los peces se capturaron con una red tipo chinchorro (25 m de largo, 1.8 m de alto y 5 mm de abertura de malla) y trampas tipo nasa colocadas durante una hora por sitio (acero inoxidable, malla de 0.5 cm, cilíndrica, 42 cm de largo y 19 cm de diámetro, con dos orificios de 2,5 cm con entradas de cono invertido). Los organismos recolectados se preservaron en formol al 4%, y se transportaron en recipientes de plástico al Laboratorio de Biología Acuática para su análisis.

Actividades de laboratorio

A los organismos se les realizó la siguiente biometría: longitud patrón (LP= longitud desde la punta del hocico hasta el final del péndulo caudal) con un vernier (marca Phase II®), el peso total de los organismos (Pt) y el peso de la gónada en húmedo para hembras y machos (Pg), las cuales se determinaron con una balanza electrónica (marca BOECO Germany® modelo BEB-53) con una precisión de 0.001grs.

Aspectos reproductivos

Estadios gonádicos

Se hizo la observación de la maduración de las gónadas siguiendo los criterios de la escala de madurez de Contreras-MacBeath y Espinoza-Ramírez (1996) para hembras (Cuadro 1) y de Ramírez-Herrejón *et al.* (2007) para machos (Cuadro 2).

Cuadro 1. Estadios gonadales para hembras siguiendo los criterios de la escala de madurez de Contreras-MacBeath y Espinoza-Ramírez (1996).

Estadios gonadales hembras	
Etapas	Descripción
I (inmaduro)	Ovarios con forma fusiforme ligeramente más delgados en sus partes distales. Color de los ovarios de blanco a amarillento.
II (primera reproducción)	Ovarios flácidos y su color varía de blanco a amarillo.
III (maduración)	Ovarios de color ámbar debido a los óvulos, miden de 0.6 a 3 mm de diámetro.
IV (óvulos y embriones)	Ovarios con un ancho medio de 5.2 mm y un peso de 0.37 g. Los embriones de diferentes etapas de desarrollo presentes se enrollan sobre sí mismos y se colocan aleatoriamente en la gónada.
V (preparto).	Ovarios con un ancho promedio de 5.4 mm y un peso de 0.54 g. Color ámbar o marrón amarillento con embriones grandes y bien desarrollados.
VI (reposo)	Ovarios alargados, flácidos y de color blanco, sin embriones u óvulos.

Cuadro 2. Estadios gonadales para machos siguiendo los criterios de la escala de madurez de Ramírez-Herrejón *et al.* (2007).

Estadios gonadales machos	
Etapas	Descripción
I (inmaduro)	Testículo delgado y amarillento que ocupa ~ 25% de la cavidad visceral.
II (desarrollo juvenil)	Testículos turgentes y amarillos que ocupan <25% de la cavidad visceral.
III (juveniles)	Testículos turgentes y amarillos que ocupan <50% de la cavidad visceral.
IV (inmaduro)	Testículos translúcidos blanquecinos que ocupan ~ 50% de la cavidad visceral; el pez alcanza la maduración sexual.
V (maduro).	Testículos turgentes, blanquecinos opacos que ocupan > 50% de la cavidad visceral.
VI (reposo)	Testículos flácidos y transparentes que ocupan > 50% de la cavidad visceral; corresponde a la fase de eyaculación del semen.

Fertilidad

Se determinó como el número de embriones más huevos embrionados por ovario por hembra bajo el modelo de fertilidad ($F = N_e + N_h$), siguiendo los criterios de Schoenherr (1997) y Cabrera y Solano (1995).

Se aplicó un análisis de correlación (coeficiente de Pearson) para determinar la relación entre tamaño (longitud estándar) y fertilidad (número de embriones y huevos embrionados), en el programa Excel (Microsoft 2010).

Estructura de tallas

Se analizó por sitio de muestreo, agrupando los datos en rangos de tallas de la longitud patrón, siguiendo los criterios de Sturges (1926). Se aplicó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal Wallis) y pruebas de Dunn (a posteriori) para identificar diferencias significativas de talla, tanto espacial y temporal, en el en el programa estadístico R (R Development Core Team, 2015).

Talla de primera madurez (L50)

La talla de primera madurez (L50), definida como la talla a la cual el 50% de los individuos están maduros sexualmente, se obtuvo, para cada sexo, calculando las frecuencias de los peces reproductivamente maduros (estadios de IV en adelante), siguiendo los criterios de Sparre y Venema (1997).

Se relacionó con la longitud total utilizando el modelo de regresión logística en el programa estadístico CurveExpert Professional (versión 2.4.0) para ajustar las curvas sigmoideas de acuerdo con la ecuación:

$$P = 1 / (1 + e^{(a - b \cdot L)}).$$

Dónde, P es la proporción estimada de individuos maduros por clase de talla y L la marca de clase del intervalo de talla. Para obtener las constantes “a” y “b” la ecuación se transformó en línea recta: $\ln((1 / P) - 1) = a - b \cdot L$

Finalmente se calculó la talla del 50% de la población sexualmente madura mediante la ecuación: $L_{50} = a / b$

Los límites de confianza se obtuvieron mediante inferencia bayesiana basada en simulación estocástica.

Índice gonadosomático (IGS)

Para la determinación de este índice se extrajeron las gónadas de las hembras y de los machos mediante una disección y fueron pesados en húmedo. Esto es utilizado como un indicativo de la época reproductiva y muestra los posibles desoves dentro del ciclo. Se calculó según los criterios de Vargas y Sostoa (1996) de acuerdo con la siguiente formula:

$$(IGS) = Wg / Wt (100)$$

Dónde:

Wg= peso de la gónada en húmedo

Wt= peso total del ejemplar en húmedo

Para evaluar si existen diferencias entre los valores de IGS de ambos sexos, entre los diferentes meses y sitios de colecta, se realizó una prueba de Kruskal Wallis y pruebas de Dunn (a posteriori), en el programa estadístico R (R Development Core Team, 2015). Estas estadísticas se eligieron porque en todos los casos los datos no eran normales (pruebas de Shapiro-Wilk).

Proporción de sexos

Se describieron por sitio y temporada, se calcularon como la proporción entre el número estimado de hembras y machos adultos presentes en cada muestreo; la significancia estadística se estableció mediante un ajuste a la prueba de Chi cuadrado (χ^2), utilizando un valor de $p < 0.05$ siguiendo los criterios de Sparre y Venema, (1997), en el programa Excel (Microsoft 2010) y en el programa estadístico R (R Development Core Team, 2015).

Factor de condición

Se evaluó el factor de condición de Fulton (K), utilizando la proporción entre el peso y la longitud patrón de los individuos para comparar la "condición" o "robustez" y determinar el grado de bienestar de los peces, basándose en el supuesto de que los peces de mayor peso de una determinada longitud están en mejores condiciones (Froese, 2006), en el programa Excel (Microsoft 2010).

Tipo de crecimiento

Se evaluó a partir de una regresión lineal, calculando los valores de a y b de la ecuación:

$$W = aL^b$$

Donde: W es el peso corporal, L es la talla estándar, b es el exponente de crecimiento, o factor talla-peso, y a es una constante.

Los valores de a y b se estimaron utilizando una forma linealizada (Froese, 2006), y se realizó una prueba de análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey en el programa estadístico R (R Development Core Team, 2015) para evaluar diferencias significativas en longitud total y peso entre sexos.

Variables fisicoquímicas

Las características físicas y químicas del agua, tales como conductividad ($\mu\text{s} / \text{cm}$), temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto ($\text{O}_2 \text{ mg} / \text{l}$), los sólidos totales disueltos (TDS mg/L) y el potencial de hidrógeno (pH) se midieron con una sonda multiparamétrica (YSI EXO2; YSI Inc., Yellow Springs, OH, EE. UU.) en cada uno de los sitios de muestreo.

Se aplicó el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal Wallis en el programa estadístico R (R Development Core Team, 2015) para identificar diferencias significativas entre las variables fisicoquímicas de manera espacial y temporal y para identificar esas diferencias se aplicaron pruebas de Dunn (a posteriori), en el programa estadístico R (R Development Core Team, 2015). Así mismo, se

determinó si existe alguna relación del IGS con las variables fisicoquímicas mediante un análisis de regresión lineal múltiple (Pitarque *et al.*, 1998), en el programa Excel (Microsoft 2010).

RESULTADOS

Aspectos reproductivos

Se analizaron un total de 431 individuos de *P. infans* en el Lago de Zacapu, de los cuales 317 fueron hembras y 114 machos. Las mayores frecuencias se obtuvieron en los meses de marzo, julio y noviembre, siendo menos frecuentes en enero. Los sitios S2 y S4 registraron el mayor número de individuos tanto en machos como en hembras (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de individuos de machos ♂ y hembras ♀ de *P. infans* capturados por mes y por sitio en el Lago de Zacapu.

MESES/SITIOS	S1♂	S1♀	S2♂	S2♀	S3♂	S3♀	S4♂	S4♀	TOTAL
MAYO 2019	4	33	-	-	1	1	4	9	52
JULIO 2019	5	25	-	1	11	17	8	22	89
SEPTIEMBRE 2019	-	-	19	31	1	-	7	16	74
NOVIEMBRE 2019	-	1	25	18	-	-	12	50	106
ENERO 2020	1	-	4	1	4	-	-	13	23
MARZO 2020	-	1	-	72	8	5	-	1	87
TOTAL	10	60	48	123	25	23	31	111	431

Estadios gonadales

Los individuos fueron clasificados de acuerdo con su estadio gonadal en juveniles (estadios I y II) y maduros (estadios III, IV, V y VI) tanto en machos como en hembras, y se encontró mayor número individuos en estadios maduros en ambos sexos. Los organismos maduros predominaron en el sitio S2 y S4, el sitio S3 presentó los menores registros de ambos sexos en juveniles y maduros (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de individuos de *P. infans* machos = ♂ y hembras = ♀ juveniles y maduros por sitio registrados en el Lago de Zacapu.

SITIO	♂ Juveniles	♀ Juveniles	♂ Maduros	♀ Maduros	TOTAL
S1	5	8	5	52	70
S2	2	23	46	100	171
S3	13	9	12	14	48
S4	9	36	22	75	142
TOTAL	29	76	85	241	431

De forma global, en las hembras (Figura 2) se encontró un mayor número de individuos en estadio IV. De manera espacial, en el sitio S1 se encontró una mayor frecuencia de organismos en estadio V, en el sitio S2 y S3 en el estadio IV y en el sitio S4 en el estadio III. Temporalmente en el mes de marzo se registró el mayor número de hembras en estadio IV, en noviembre en estadio III y en enero y septiembre se encontraron el mayor número de hembras en estadio II.

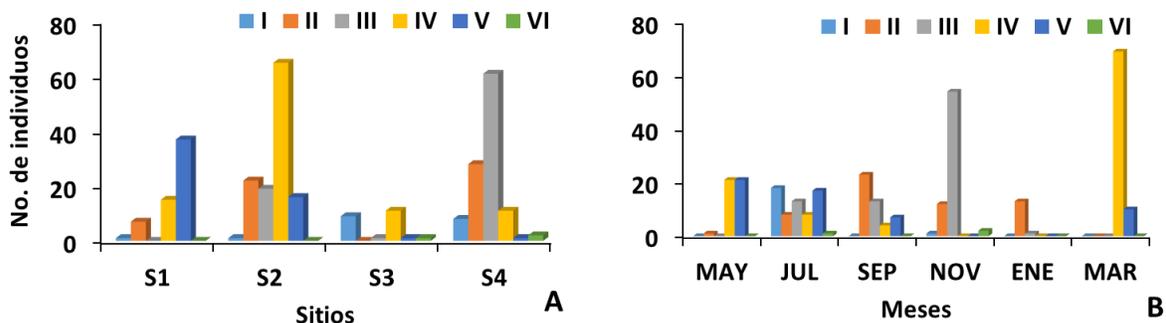


Figura 2. Estadios de desarrollo gonádico de *P. infans* A) espacial y B) temporal para hembras.

En el caso de los machos (Figura 3), se encontró un mayor número de individuos en estadio III. Espacialmente, en el S1 se encontraron en el estadio II, en el sitio S2 en el estadio III, en el sitio S3 en el estadio I y en el sitio S4 en el estadio V. De manera temporal, en noviembre se registró el mayor número de machos en estadio III, en julio en estadio I y en enero se encontraron en estadio III. No se registraron machos en estadio VI en ningún sitio y mes.

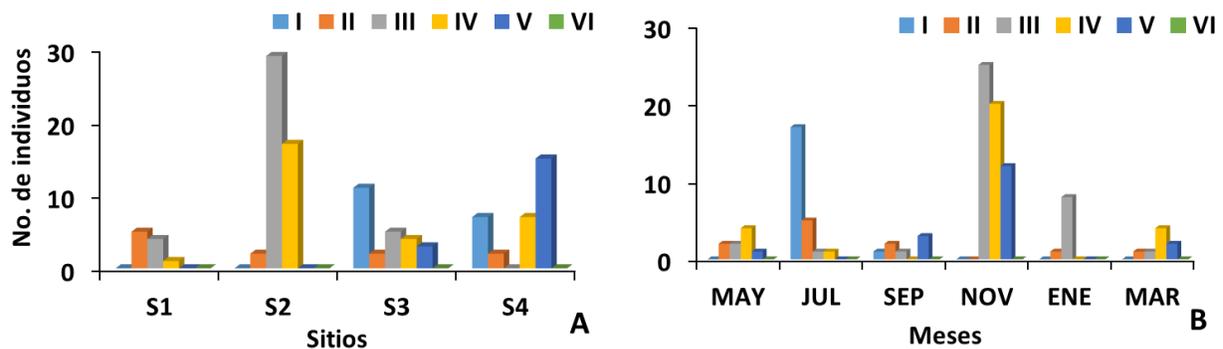


Figura 3. Estadios de desarrollo gonádico de *P. infans* A) espacial y B) temporal para machos.

Fertilidad

La fertilidad osciló de 3 a 47 (huevos embrionados/embriones) con un promedio de 18.21 ± 9.97 . De manera espacial el sitio S2 presento el valor más alto de fertilidad (20.56 ± 10.89) y el sitio S4 el valor más bajo (12.33 ± 7.12). Temporalmente en marzo se registraron las hembras con los valores más altos de fertilidad con un promedio de 21.15 ± 10.62 huevos embrionados/embriones, en septiembre el más bajo con un promedio de 9.27 ± 7.25 huevos embrionados/embriones, en enero y noviembre no se capturaron hembras con embriones (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio y desviación estándar de la fertilidad en hembras en los diferentes sitios y meses de muestreo.

Sitio	Fertilidad	Mes	Fertilidad
S1	18.69 ± 8.53	Mayo 2019	17.49 ± 7.24
S2	20.56 ± 10.89	Julio 2019	15.51 ± 9.62
S3	12.46 ± 7.80	Septiembre 2019	9.27 ± 7.25
S4	12.33 ± 7.12	Noviembre 2019	-
		Enero 2020	-
		Marzo 2020	21.15 ± 10.62

De acuerdo con el valor de correlación de Pearson ($r=0.30$) no existe relación entre la fertilidad y la longitud patrón de las hembras de *P. infans* (Figura 4).

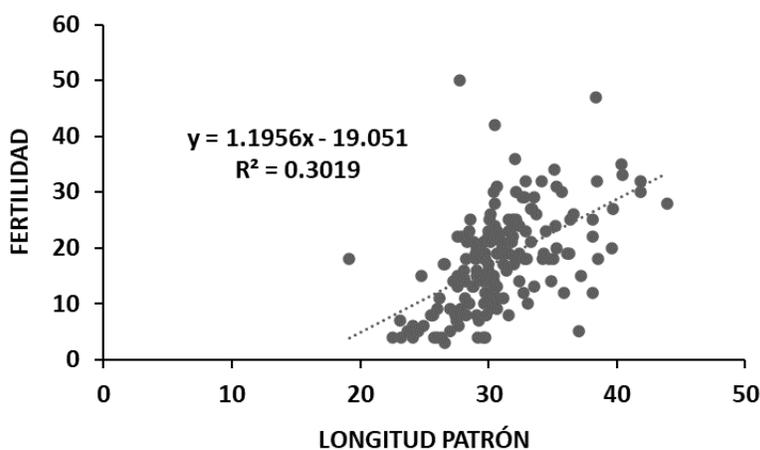


Figura 4. Correlación de Pearson de Longitud Patrón vs Fertilidad de *P. infans*.

Estructura de tallas

Para las hembras la longitud patrón mínima fue de 13.85 mm y la máxima de 41.88 mm, con una media anual de 27.79 mm y una mayor frecuencia de individuos entre las tallas de 29.37 a 32.37 mm. La estructura de tallas mostró en el sitio S1 una mayor frecuencia de individuos entre los 14.72 y 18.64 mm, en el sitio S2 entre 29.58 y 32.75 mm, sitio S3 entre 18.91 y 23.22 mm y sitio S4 entre 22.94 y 25.11 mm. Se obtuvieron los valores mayores de la LP en los meses de marzo (30.11 mm) y mayo (30.83 mm) y los menores en enero (21.11 mm) (Cuadro 6). De acuerdo con la estructura de tallas en mayo mostró una mayor frecuencia de individuos entre los 28.92 y 30.12 mm, en julio entre los 19.60 y 23.58 mm, en septiembre entre 20.23 y 30.35 mm, en noviembre entre 21.38 y 23.94 mm, en enero entre 21.38 y 24.64 mm y en marzo entre 27.61 y 31.13 mm.

Para los machos la longitud patrón mínima fue de 15.74 mm y la máxima de 25.74 mm, con una media anual de 21.03 mm y una mayor frecuencia de individuos entre las tallas de 19.84 y 22.50 mm. La estructura de tallas mostró en el sitio S1 una mayor frecuencia de individuos entre los 18.49 y 19.46 mm, en el sitio S2 entre 18.11 y 21.27 mm, sitio S3 entre 21.72 y 23.13 mm y sitio S4 entre 21.58 y 22.72 mm. Los valores más altos de LP se obtuvieron en marzo (22.07 mm) y los más bajos en enero (19.70 mm) (Cuadro 7). La estructura de tallas mostró en el mes de mayo una mayor frecuencia de individuos entre los 21.26 y 21.86 mm, en julio entre 18.71 y 20.12 mm, en septiembre entre 18.99 y 21.53 mm, en noviembre entre 18.38 y 19.35 mm, en enero entre 18.38 y 19.35 mm y en marzo entre 22.53 y 23.70 mm.

Las pruebas de Kruskal-Wallis no mostraron diferencias significativas en la estructura de tallas para los machos de manera temporal ($\chi^2 = 3.2917$; $p = 0.6551$) y espacial ($\chi^2 = 3.9318$; $p = 0.2689$). Así como tampoco para las hembras, tanto temporal ($\chi^2 = 8.1915$; $p = 0.146$) como espacial ($\chi^2 = 1.1227$; $p = 0.7716$).

Cuadro 6. Longitud patrón para hembras y machos de *P. infans* por sitio en el Lago de Zacapu.

SITIOS	SEXO	TALLA MEDIA	TALLA MÍNIMA	TALLA MÁXIMA
S1	H	29.69	14.72	41.88
	M	20.45	18.49	22.71
S2	H	26.25	16.74	40.28
	M	20.90	16.63	25.74
S3	H	24.31	14.50	38.09
	M	22.48	15.70	23.57
S4	H	23.23	13.85	30.62
	M	21.59	17.86	24.66

Cuadro 7. Longitud patrón para hembras y machos de *P. infans* por meses en el Lago de Zacapu.

MES	SEXO	TALLA MEDIA	TALLA MÍNIMA	TALLA MÁXIMA
MAYO 2019	H	21.19	27.61	35.25
	M	22.07	19.86	22.27
JULIO 2019	H	26.23	13.85	41.88
	M	20.68	15.70	23.57
SEPTIEMBRE 2019	H	26.60	18.56	40.28
	M	21.06	17.67	24.70
NOVIEMBRE 2019	H	24.27	16.37	23.94
	M	21.28	18.38	22.25
ENERO 2020	H	21.11	16.37	23.94
	M	19.70	18.38	22.25
MARZO 2020	H	30.11	24.13	36.59
	M	22.07	18.74	23.41

Talla de primera madurez (L50)

La talla de primera madurez de *P. infans* se registró a los 28.10 mm de LP para hembras y a los 20.49 mm de LP para machos.

Índice gonadosomático (IGS)

Los valores obtenidos del IGS no presentaron distribución normal de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk (0.5453) con un valor de $p < 0.001$. De manera espacial para las hembras los valores del IGS mostraron un pico en el sitio S1 (con un IGS de 15.26), al igual que para los machos (con un IGS de 6.84), y de manera temporal en las hembras se observó un pico reproductivo en mayo (con un IGS de 18.12) y un mínimo en noviembre (con un IGS de 1.47), en los machos también se observó un pico reproductivo en mayo (con un IGS de 6.68) y un mínimo en julio (IGS de 1.45) (Figura 5 y 5B). La prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas entre los valores del IGS anual de ambos sexos de manera espacial ($\chi^2 = 1.36$; $p = 0.71$) y temporal ($\chi^2 = 4.84$; $p = 0.43$). Sin embargo, se realizó la prueba por sexos, para las hembras no se encontraron diferencias significativas de manera espacial ($\chi^2 = 2.04$; $p = 0.56$), pero si para la variación temporal ($\chi^2 = 11.59$; $p = 0.04$); la prueba de Dunn mostró diferencias entre los meses marzo-enero ($p = 0.0089$), mayo-enero ($p = 0.0233$), noviembre-marzo ($p = 0.0096$), noviembre-mayo ($p = 0.0247$) y septiembre-marzo ($p = 0.0133$). Para los machos no se encontraron diferencias significativas de manera espacial ($\chi^2 = 0.13$; $p = 0.98$) y temporal ($\chi^2 = 2.31$; $p = 0.80$).

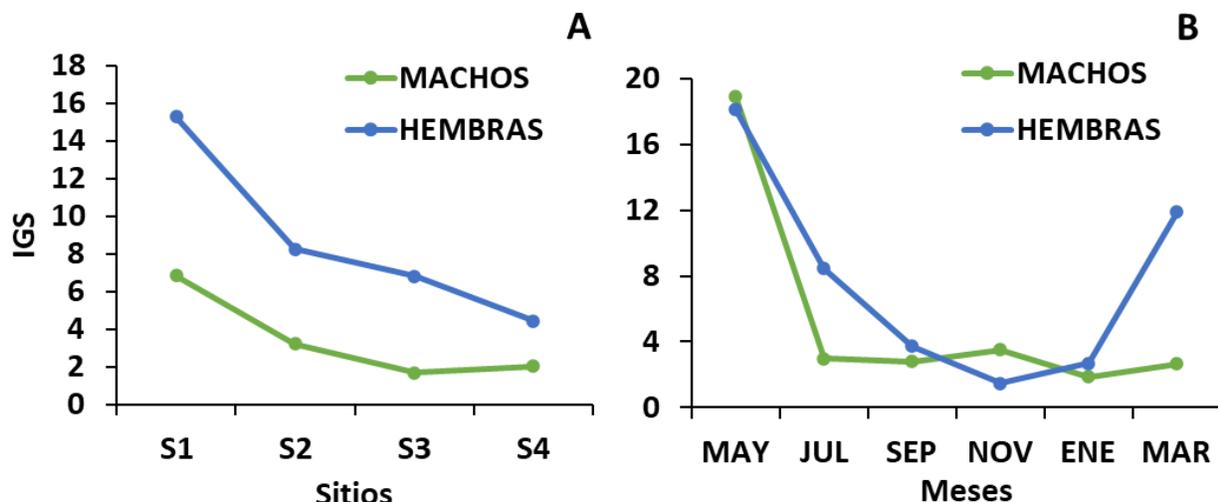


Figura 5. Índice gonadosomático para hembras y machos de *P. infans* en el Lago de Zacapu de manera A) espacial B) temporal.

Proporción sexual

En general, predominaron las hembras con una proporción sexual anual de 3:1 (hembras:machos), registrándose la mayor proporción sexual en el sitio S1 (6:1 H:M), y proporciones sexuales iguales en el sitio S3 (1:1 H:M) ($\chi^2 = 26.06$; $p < 0.005$) (Cuadro 8). De manera temporal, en el mes de marzo se registró la mayor proporción sexual (10:1 H:M) (Cuadro 9).

Cuadro 8. Proporción sexual de *P. infans* por sitio en el Lago de Zacapu.

SITIO	HEMBRAS	MACHOS	H:M
S1	60	10	6:1
S2	23	25	1:1
S3	123	48	3:1
S4	111	31	4:1
PROMEDIO ANUAL	317	114	3:1

Cuadro 9. Proporción sexual de *P. infans* por mes en el Lago de Zacapu.

MES	HEMBRAS	MACHOS	H:M
MAYO 2019	43	9	5:1
JULIO 2019	65	24	3:1
SEPTIEMBRE 2019	47	27	2:1
NOVIEMBRE 2019	69	37	2:1
ENERO 2020	14	9	2:1
MARZO 2020	79	8	10:1
PROMEDIO ANUAL	317	114	3:1

Factor de condición

Se observa un factor de condición constante tanto en machos como hembras manteniéndose su condición robusta a lo largo de los sitios y meses. Para las hembras fluctuó de 0.17 a 0.20 y para machos de 0.17 a 0.22. Se aprecia un ligero incremento en el mes de enero en ambos sexos y un decremento en marzo y noviembre en machos. Para las hembras, en el sitio S1 presentaron un decremento y un incremento para los machos (Figura 7).

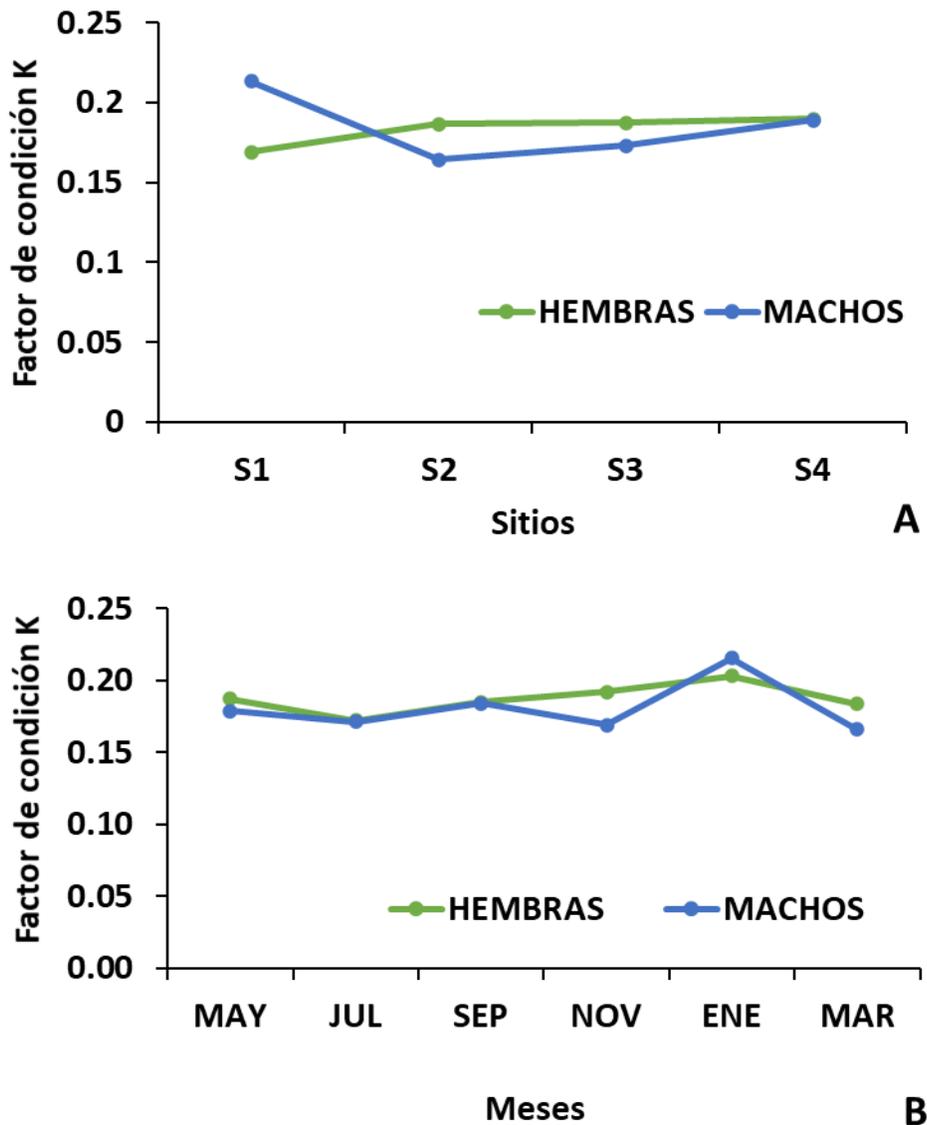


Figura 6. Factor de condición (K) espacial (A) y temporal (B) para hembras y machos de *P. infans* en el Lago de Zacapu.

Tipo de crecimiento

El tipo de crecimiento en *P. infans* en el Lago de Zacapu es alométrico positivo para ambos sexos (Cuadro 10, Figura 8).

Cuadro 10. Análisis de regresión lineal por meses de *P. infans*. La letra b es la pendiente de la regresión lineal; R^2 es el coeficiente de correlación, valores de $b > 3$ denotan alometría positiva, valores de $b < 3$ denotan alometría negativa.

Mes	Sexo	LP \pm Desv. Estándar	a	B	R ²
MAYO 2019	H	30.82 \pm 3.54	0.04	0.84	0.54
	M	21.21 \pm 0.81	0.02	0.28	0.94
JULIO 2019	H	26.24 \pm 8.20	0.04	0.65	0.91
	M	20.69 \pm 2.11	0.04	0.67	0.94
SEPTIEMBRE 2019	H	26.61 \pm 5.30	0.03	0.67	0.81
	M	21.06 \pm 1.71	0.04	0.78	0.76
NOVIEMBRE 2019	H	24.28 \pm 3.92	0.02	0.36	0.68
	M	21.28 \pm 1.84	0.03	0.45	0.8
ENERO 2020	H	21.11 \pm 2.41	0.02	0.26	0.81
	M	19.73 \pm 1.25	0.03	0.45	0.79
MARZO 2020	H	30.39 \pm 2.98	0.04	0.02	0.79
	M	22.08 \pm 1.63	0.04	0.02	0.8

De manera espacial el tipo de crecimiento en *P. infans* también es alométrico positivo (Cuadro 11, Figura 9).

Cuadro 11. Análisis de regresión lineal por sitios de *P. infans*. La letra b es la pendiente de la regresión lineal; R² es el coeficiente de correlación, valores de b > 3 denotan alometría positiva, valores de b < 3 denotan alometría negativa.

Sitio	Sexo	LP ± Desv. Estándar	a	B	R ²
S1	H	31.23 ± 6.44	0.04	0.77	0.85
	M	20.45 ± 1.32	0.02	0.34	0.88
S2	H	28.35 ± 4.51	0.04	0.70	0.86
	M	20.90 ± 1.69	0.02	0.24	0.45
S3	H	25.19 ± 7.13	0.04	0.57	0.85
	M	20.81 ± 2.20	0.02	0.17	0.44
S4	H	24.44 ± 4.64	0.03	0.40	0.71
	M	21.59 ± 1.72	0.02	0.25	0.44

Variables fisicoquímicas

Entre sitios los valores más altos de las variables fisicoquímicas de temperatura (19.01°C), sólidos disueltos totales (108.80 mg/L) y conductividad (148.28 µS/cm) se registraron en el sitio S3 y de oxígeno disuelto (14.67 mg/L) y pH en el sitio S4 (7.58 pH) (Cuadro 12). Los valores menores de temperatura (17.54°C), oxígeno disuelto (11.23 mg/L), sólidos totales disueltos (106.09 mg/L) y conductividad (139.97 µS/cm) en el sitio S1 (7.38 pH) y en el sitio S2, el pH (7.37 pH). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables fisicoquímicas entre sitios de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis; temperatura ($\chi^2 = 0.3796$; $p = 0.2886$), oxígeno disuelto ($\chi^2 = 4.5667$; $p = 0.2064$), sólidos disueltos totales ($\chi^2 = 4.9064$; $p = 0.1788$), conductividad ($\chi^2 = 3.66$; $p = 0.3006$) y pH ($\chi^2 = 0.1057$; $p = 0.9911$).

Cuadro 12. Variables ambientales por sitios en el Lago de Zacapu, temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

SITIO	TEM °C	OD mg/L	Ph	TDS mg/L	Cond µS/cm
S1	17.54	11.23	7.38	106.09	139.97
S2	18.62	12.33	7.37	107.72	145.57
S3	19.01	12.67	7.42	108.80	148.28
S4	18.73	14.67	7.58	106.09	143.86
PROMEDIO	18.48	12.72	7.44	107.18	144.42

De manera temporal, los valores mayores de las variables fisicoquímicas como son temperatura (20.65°C), sólidos disueltos totales (109.97 mg/L) y conductividad (155.27 µS/cm) se registraron en septiembre, de oxígeno disuelto en julio (14.98 mg/L) y pH en mayo (9.20), y los valores más bajos de temperatura (15.80°C) y

conductividad en enero (135.91 $\mu\text{S/cm}$), oxígeno disuelto en septiembre (10.34 mg/L), sólidos totales disueltos en mayo (105.83 mg/L) y pH (6 pH) en julio (Cuadro 13). De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis no se encontraron diferencias significativas para los valores del oxígeno disuelto ($\chi^2 = 5.89$; $p = 0.3171$) y sólidos disueltos totales ($\chi^2 = 4.7787$; $p = 0.4435$). Sin embargo, si se encontraron diferencias significativas en los valores de la temperatura ($\chi^2 = 15.994$; $p = 0.0068$), donde la prueba de Dunn mostró diferencias entre los meses julio-enero ($p = 0.0156$), marzo-enero ($p = 0.0012$), septiembre-enero ($p = 0.0002$) y septiembre-noviembre ($p = 0.0146$). Los valores del pH también fueron significativos ($\chi^2 = 22.3658$; $p = 0.0004$), la prueba de Dunn mostró diferencias entre los meses marzo-enero ($p = 0.0028$), marzo-julio ($p = 0.0002$), noviembre-julio ($p = 0.0199$) y septiembre-julio ($p = 0.0199$). Al igual que la conductividad ($\chi^2 = 13.81$; $p = 0.168$) donde la prueba de Dunn mostró diferencias entre los meses julio-enero ($p = 0.0179$), marzo-enero ($p = 0.0054$), septiembre-enero ($p = 0.0002$) y septiembre-mayo ($p = 0.0228$).

Cuadro 13. Variables ambientales por meses en el Lago de Zacapu, temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

MES	TEM °C	OD mg/L	pH	TDS mg/L	Cond $\mu\text{S/cm}$
MAYO 2019	18.24	13.72	9.20	105.83	141.80
JULIO 2019	18.73	14.98	6.00	106.41	143.92
SEPTIEMBRE 2019	20.65	10.34	7.00	109.97	155.27
NOVIEMBRE 2019	17.95	12.33	7.00	107.76	143.50
ENERO 2020	15.80	12.41	6.50	107.03	135.91
MARZO 2020	19.49	12.57	8.93	106.07	146.14
PROMEDIO	18.48	12.72	7.44	107.18	144.42

Relación de las variables fisicoquímicas con el IGS

El análisis de regresión lineal múltiple mostró que no existe relación de las variables fisicoquímicas (temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales y conductividad con el IGS manera escala espacial y temporal. Para las hembras la relación predictiva entre la variable dependiente (IGS) e independiente (variables fisicoquímicas) se midió a través del coeficiente de determinación ($R^2 = 0.3495$), y con los valores de coeficiente y de probabilidad para cada variable que no fueron significativos ($< p = 0.05$) (Cuadro 14). De igual manera para los machos, los valores de probabilidad para cada variable fisicoquímica no fueron significativos ($< p = 0.05$), con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.3096$ (Cuadro 15). Además, contrastando los resultados del índice y los valores ambientales registrados (Figura 7) se pudo observar que no existe una tendencia espacial y temporal entre los valores de las variables fisicoquímicas y el IGS para hembras y machos.

Cuadro 14. Relación de las variables ambientales y el IGS mediante la regresión lineal múltiple del IGS para hembras y las variables fisicoquímicas temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

Estadísticas de la regresión para hembras			
Coeficiente de correlación múltiple			0.5912
Coeficiente de determinación R^2			0.3495
R^2 ajustado			0.1688
Valor crítico de F			0.1383
Variable	Coeficientes	Estadístico t	Probabilidad
TEM	-13.8377	-0.6991	0.4935
OD	1.1324	1.3118	0.2061
pH	-4.4863	-2.5403	0.0205
TDS	-8.4330	-0.9768	0.3416
Cond	5.4911	0.8799	0.3905

Cuadro 15. Relación de variables ambientales y el IGS mediante la regresión lineal múltiple del IGS para machos y las variables fisicoquímicas temperatura del agua (TEM), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad (Cond).

Estadísticas de la regresión para machos			
Coeficiente de correlación múltiple			0.5564
Coeficiente de determinación R ²			0.3096
R ² ajustado			0.1178
Valor crítico de F			0.2069
Variable	Coeficientes	Estadístico t	Probabilidad
TEM	9.3742	1.9431	0.0678
OD	-0.5063	-2.4067	0.0271
pH	0.1202	0.2794	0.7832
TDS	4.2660	2.0275	0.0577
Cond	-3.0296	-1.9920	0.0618

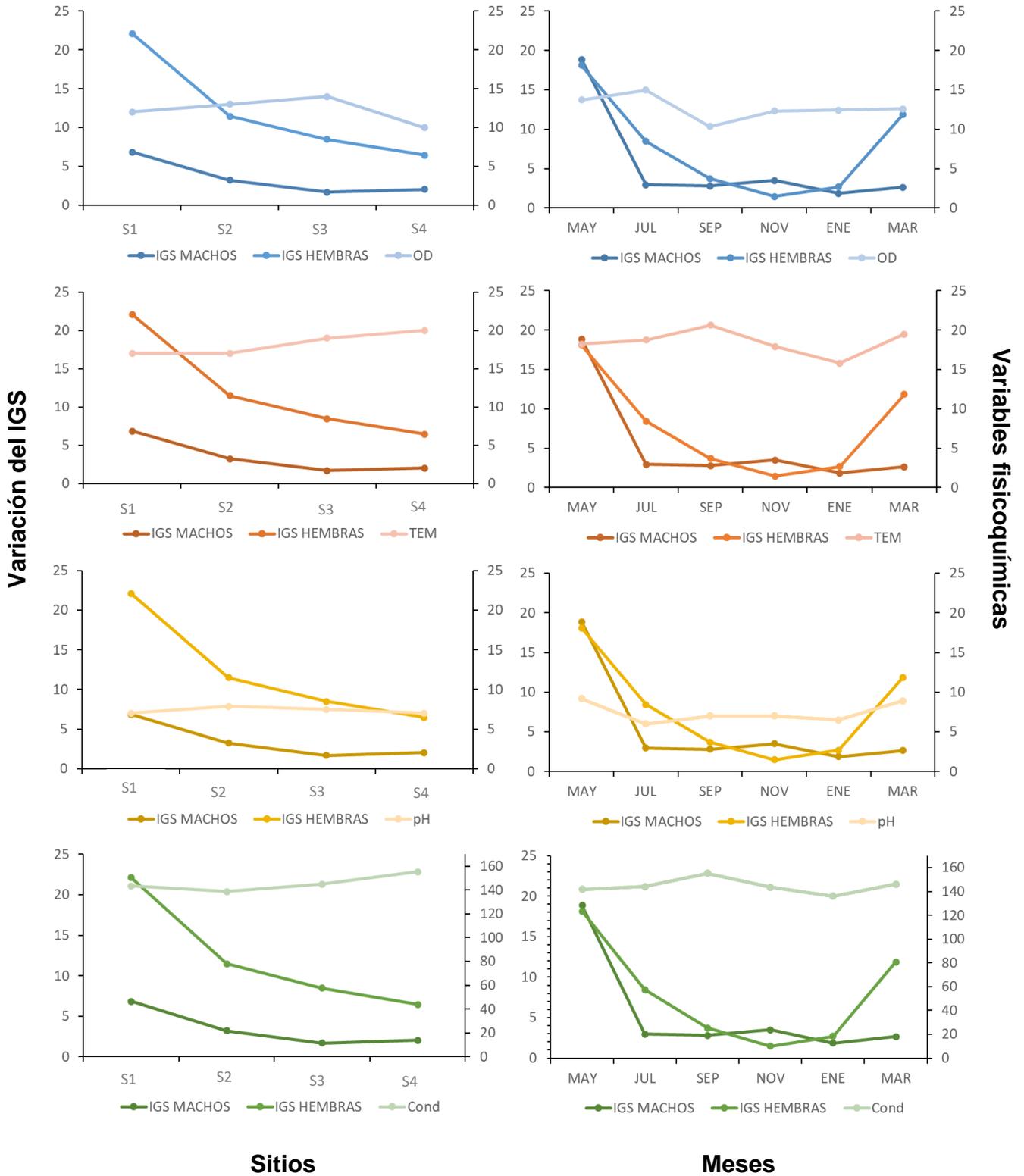


Figura 7. Relación entre el IGS de machos y hembras de *P. infans* con las variables fisicoquímicas del Lago de Zacapu de manera espacial y temporal.

DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluó la variación espacial y temporal de algunos aspectos de la biología reproductiva de la especie nativa *P. infans* en el Lago de Zacapu, tales como los estadios gonadales, la fertilidad, la talla de primera madurez, la época reproductiva, el factor de condición, la proporción sexual y el tipo de crecimiento.

Estadios gonadales

La especie *P. infans* presenta una población estable en el Lago de Zacapu, ya que se encontraron individuos en todos los estadios gonadales, tanto juveniles como maduros en todos los sitios y a lo largo del ciclo de muestreo. Milton y Arthington (1983) mencionan que las especies de la familia Poeciliidae tienen una gran capacidad de establecimiento, debido a que logran encontrarse distintos estadios de madurez gonadales en diferentes ambientes acuáticos. Nuestros resultados podrían compararse con los resultados de Gómez-Márquez *et al.* (1999) en la Laguna “El Rodeo” en Morelos, quienes reportaron para el pecílido *H. bimaculata* alta proporción de hembras en estadios gonádicos maduros (IV y V) durante casi todo el año. Otras especies de pecílidos como *Poeciliopsis gracilis* en el Lago Coatetelco en Morelos presentó el 54% de los peces muestreados en etapa reproductiva madura (Gómez-Márquez *et al.* 2008). En el río Teuchitlán el pecílido *Xiphophorus helleri* presento individuos machos y hembras en todos los estadios gonadales, desde juveniles hasta maduros, con una marcada proporción de individuos en estadios juveniles (Guzmán-Colín, 2020). Al igual que Ramírez-García *et al.*, (2018) quienes encontraron organismos maduros en un ciclo anual para las especies exóticas *P. bimaculatus* y *P. sphenops* en el mismo río Teuchitlán. Con base en lo anterior, las diferentes especies de pecílidos que han sido evaluadas, algunas son especies nativas y otras especies exóticas, han logrado mantener organismos juveniles y maduros distribuidos a lo largo de un ciclo anual, permitiendo que sus poblaciones se mantengan a lo largo del tiempo, a pesar de que algunas de estas especies han sido evaluadas en sistemas completamente modificados y/o antropizados (Ramírez-García *et al.* 2018; Guzmán-Colín, 2020), mostrando que las

especies de pecílidos logran mantener sus poblaciones con una reproducción constante en sistemas tanto de mayor variación fisicoquímica, así como en sistemas más estables, como sucede con *P. infans* en el Lago Zacapu; esto debido principalmente al tipo de desarrollo gonadal y tácticas reproductivas que presentan, el cual es asincrónico (Monaco *et al.*, 1978; Uribe *et al.* 2009), presentando gónadas con ovocitos en todas las etapas del desarrollo. Además, se ha reportado que *P. infans* es una especie con superfecundación moderada (Scrimshaw, 1944; Wourms, 1981), donde las hembras tienen la capacidad de comenzar una cohorte después de que la cohorte actual tiene 24 días aproximadamente, es decir puede presentar dos cohortes dentro del ovario, además de que tiene la capacidad de almacenar esperma en el ovario manteniéndolo viable todo el tiempo (Turner, 1940); con lo que confirmamos el hecho de no encontrar una población con un estadio gonadal dominante de manera espacial y temporal en el Lago Zacapu.

Fertilidad

Los valores de fertilidad obtenidos para *P. infans* en el Lago de Zacapu oscilaron de 3 a 47 huevos embrionados/embriones, algunos otros autores que han evaluado la fertilidad en otras especies de pecílidos han reportado fertilidades mayores por ejemplo *P. gracilis* con una fertilidad de 1 a 74 embriones (Gómez-Márquez *et al.* 2008) y *Gambusia affinis* entre 30 y 50 embriones (Milton y Arthington 1983). Sin embargo, hay otros autores que reportan fertilidades menores a lo encontrado en el presente estudio para otras especies del género, por ejemplo, en *Poeciliopsis lucida* y *Poeciliopsis monacha* la fertilidad promedio registrada fue de 11 embriones (Thibault y Schultz, 1978) y un reporte para *P. infans*, pero en sistemas controlados de cautiverio (Silva-Santos, 2016) con una fertilidad máxima de 12 embriones con un promedio de 9 ± 3 . Esto nos indica que las especies de pecílidos con tamaños más grandes presentan mayor número de embriones, además de una relación positiva entre el tamaño de la hembra respecto a la fertilidad (Reznick y Miles 1989). Los reportes que se tienen para las especies del género *Poeciliopsis*, que son pecílidos de tamaño pequeño, nos refieren menor número de embriones comparado con nuestro estudio, por lo que la disponibilidad de alimento

puede ser un factor importante en el número de crías, lo cual ha sido documentado en la especie *Poeciliopsis occidentalis*, donde en dos poblaciones silvestres, encontraron que las hembras que nacen en el sitio con menor disponibilidad de alimento alcanzan la madurez sexual al año de edad, mientras que las hembras nacidas en el sitio con mayor disponibilidad de alimento maduran sexualmente a los cinco meses de edad y presentaron mayores valores de fecundidad en comparación con las nacidas en el sitio de menor disponibilidad de alimento (Constantz, 1989).

Estructura de tallas

La longitud patrón promedio de *P. infans* para machos fue de 21.03 mm y para las hembras de 27.79 mm en el Lago de Zacapu, muy similar a la reportada para el mismo pecílido pero en cautiverio, presentando una longitud patrón promedio de 22 mm y una máxima de 27.2 mm para los machos y para las hembras 22.4 mm en promedio y una máxima de 31.1 mm (Silva-Santos, 2016). La misma especie, pero en un estanque ubicado en Soyaniquilpan de Juárez en Estado de México, reportó una talla promedio de 28 mm para las hembras y 21 mm de LP para machos (Osorio *et al.* 2014). Estos resultados permiten concluir que *P. infans* pertenece a un grupo de peces que se caracterizan por un marcado dimorfismo sexual por tamaño, donde los machos tienen una menor longitud patrón respecto a las hembras (Bisazza, 1993), además de que son pecílicos de tamaño pequeño (menores a 34 mm de LP). Esta diferencia en tamaño entre machos y hembras se abordará a más detalle en la parte de talla de primera madurez y proporción de sexos.

Talla de primera madurez

La talla de primera madurez para *P. infans* en el Lago de Zacapu para ambos sexos es diferente, ya que los machos alcanzan su madurez a tallas más pequeñas que las hembras, para los machos se registró a los 20.49 mm de longitud patrón y para las hembras a los 28.10 mm. Estos resultados son similares a los reportados por Silva-Santos (2016) en condiciones de cautiverio, que reportó para los machos de *P. infans* una talla de primera madurez a los 21.56 mm y para las hembras de 25.19 mm. Para las hembras de *P. infans* estas tallas de primera madurez reportadas

podrían estar relacionadas a una maduración tardía, lo que favorecería la sobrevivencia y la resistencia al esfuerzo reproductivo (Gómez-Márquez *et al.*, 2008), reflejando que en el Lago Zacapu presentan buena estabilidad en las condiciones del ambiente (Valencia-Vargas y Escalera-Vázquez 2021; Ramírez-García *et al.*, 2021) permitiendo a las hembras alcanzar tamaños más grandes antes de iniciar a reproducirse. Para los machos, el alcanzar una talla de primera madurez más temprana, esto permite a los machos comenzar la actividad reproductiva en un menor tiempo y mantenerla por un periodo más largo, compensado con el dominio de los machos más grandes (Farr *et al.*, 1986). Para algunas otras especies de pecílidos se reportan resultados similares, donde los machos maduran a tallas más pequeñas que las hembras (Meffe, 1985; Gómez-Márquez *et al.* 1999; Araújo y Monteiro 2012; Ramírez-García *et al.*, 2018; Guzmán-Colín, 2020). Este dimorfismo sexual en talla se atribuye a que los machos disminuyen el crecimiento después de la maduración del gonopodio, aunque los peces siguen creciendo, pero a tasas menores, debido a que destinan más energía a la reproducción una vez que maduran (Bisazza, 1993).

Índice gonadosomático

Respecto al índice gonadosomático para hembras y machos de *P. infans* en el Lago de Zacapu se observó un pico reproductivo en mayo para ambos sexos, un mínimo en noviembre para las hembras y en enero para los machos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre sitios, sexos o temporadas. Otros estudios de pecílidos han reportado algunas variaciones del periodo reproductivo respecto a la estacionalidad, por ejemplo, Contreras-MacBeath, (1996) reporta para la especie *P. gracilis* que, durante la temporada de lluvias, en el cual incrementa el volumen de agua, aumentan los valores del IGS, sin embargo, en ese estudio no realizaron análisis estadísticos robustos que lo confirmen. Se han reportado picos reproductivos similares para otras especies de pecílidos (Gómez-Marquéz *et al.* 1999; Urbano, 2006; Gómez-Marquéz *et al.* 2016) y otros estudios en cuerpos de agua antropizados (Ramírez-García *et al.* 2018; Ramírez-Patiño, 2020; Guzmán-Colín, 2020). Para *P. infans* en el Lago de Zacapu el índice gonadosomático nos

muestra que se encuentra en reproducción constante tanto espacial y temporal y no se encontró relación entre las variables fisicoquímicas y el periodo reproductivo para ambos sexos, ya que estas variables fisicoquímicas no presentaron diferencias significativas de manera temporal y especial, por lo que el Lago de Zacapu al parecer presenta poca variación limnológica a lo largo del año, además de un recambio constante de agua principalmente por la presencia de manantiales y aunado a que es un cuerpo de agua pequeño (Valencia-Vargas y Escalera-Vázquez, 2021; Ramírez-García *et al.*, 2021), observando que el periodo reproductivo de la especie se puede atribuir a su biología y su forma de reproducción más que a las condiciones del ambiente, lo cual ha sido reportado de manera similar para otras especies presentes en el lago Zacapu (Ramírez-García *et al.*, 2021), indicando que las características de las especies se ven favorecidas por las condiciones homogéneas que el lago presenta, aunque en la temporada de julio a noviembre se aprecia una pequeña variación en las variables fisicoquímicas y de los valores del índice gonadosomático, sin embargo estas no presentan diferencias significativas.

Proporción sexual

En el Lago de Zacapu predominaron las hembras de *P. infans* con una proporción sexual anual de 3:1 sobre los machos, esto es similar a lo reportado por Silva-Santos (2016) en la que *P. infans* presentó una proporción sexual sesgada hacia una mayor cantidad de hembras que de machos (seleccionaron hembras silvestres grávidas de las cuales obtuvieron tres generaciones). Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con lo reportado por otros autores (Contreras-MacBeath y Espinoza-Ramírez, 1996; Gómez-Márquez *et al.*, 2008; Ramírez-García *et al.*, 2018; Guzmán-Colín, 2020) donde se menciona la dominancia de hembras respecto a los machos, siendo esta una característica de la familia Poeciliidae. La dominancia en la proporción sexual de *P. infans* en el Lago de Zacapu podría ser explicada de acuerdo con lo descrito por Snelson (1989) que menciona que en poblaciones silvestres de pecílidos, la proporción sexual esta sesgada a favor de las hembras como resultado de una mortalidad diferencial entre sexos, ya que las

hembras poseen mayores tasas de supervivencia asociadas a su tamaño y peso. Además la alta mortalidad de machos se ha asociado a una mayor susceptibilidad a ser depredados por su tamaño, o por el gasto de energía invertido durante el cortejo (Silva-Santos, 2016), ya que se ha documentado que las especies de pecílidos presentan un cortejo a temprana edad (entre los cuatro y cinco meses de edad) incluso cuando no han desarrollado completamente el gonopodio, por lo que presentan mortalidades más altas que las hembras; otra forma en la que invierten más energía es por las pigmentaciones que presentan (naranja en las aletas dorsales, anal y caudal) lo que también incrementa el riesgo a ser depredados.

Factor de condición

La especie *P. infans* mostró un factor de condición similar y constante tanto en machos como hembras, manteniendo una condición robusta tanto en la variación espacial y temporal en el Lago de Zacapu, indicando buena salud. Se aprecia que las hembras son más robustas que los machos, lo cual podría estar relacionado con la reproducción ya que las hembras tienden a aumentar de peso, inicialmente por el número y tamaño de los ovocitos en las gónadas y posteriormente por los embriones, a mayor talla de las gónadas aumenta el peso corporal de los individuos, es decir, a mayor peso el índice de condición suele ser mayor, mientras que a una mayor longitud éste suele ser menor (Froese, 2006). Silva-Santos (2016) en condiciones de cautiverio reportó para la misma especie resultados similares, donde las hembras son más robustas que los machos. Al igual que con otras especies de pecílidos (*P. gracilis*, *P. bimaculatus*, *P. sphenops*, *H. bimaculata*) reportados por varios autores (Gómez-Márquez *et al.*, 1999; Gómez-Márquez *et al.*, 2008; Ramírez-García *et al.*, 2018). Se ha documentado que el factor de condición en la familia Poeciliidae puede variar ampliamente ya que influyen diversos factores como la temperatura, disponibilidad de alimento, presencia/ausencia de depredadores, así como hábitat disponible (Hayes *et al.*, 2017), por lo que, al encontrar una buena condición para ambos sexos en el Lago Zacapu, es un indicador que la especie se está desarrollando en condiciones ambientales óptimas, presentando disponibilidad de alimento.

Tipo de crecimiento

El coeficiente de alometría muestra que el tipo de crecimiento en *P. infans* en el Lago de Zacapu es alométrico positivo, mayor crecimiento en peso que en longitud. Otros autores también reportan este mismo tipo de crecimiento para la especie (Silva-Santos, 2016; Froese y Pauly, 2016). La alometría positiva es una estrategia dirigida a maximizar el rendimiento reproductivo, en la que las hembras incrementan en peso para la producción gonadal (Keane y Neira, 2004; Montag *et al.*, 2011) y en los machos está asociada distintos factores que influyen durante su maduración, como en desarrollar caracteres como el gonopodio, la pigmentación en algunas de sus aletas, comenzar eventos reproductivos a pronta edad, y su crecimiento en peso y en longitud, lo cual fue documentado por Silva Santos (2016).

CONCLUSIONES

Poeciliopsis infans es una especie que presenta una población reproductiva estable en el Lago de Zacapu, hembras y machos se encontraron en todos los estadios gonádicos (desde juveniles hasta adultos maduros) durante todo el año y todos los sitios muestreados.

La fertilidad osciló de 3 a 47 (huevos embrionados/embriones) con un promedio de 18.21 huevos embrionados/embriones. Además, se determinó que no existe relación entre la fertilidad y la longitud patrón.

Para las hembras la longitud patrón mínima fue de 13.85 mm y la máxima de 41.88 mm, con una media anual de 27.79 mm y una mayor frecuencia de individuos entre las tallas de 29.37 y 32.37 mm. Para los machos la longitud patrón mínima fue de 15.74 mm y la máxima de 25.74 mm, con una media anual de 21.03 mm y una mayor frecuencia de individuos entre las tallas de 19.84 y 22.50 mm.

Los machos maduran a tallas menores que las hembras, alcanzan la madurez a los 20.49 mm de longitud patrón y las hembras a los 28.10 mm de longitud patrón.

Se reproduce todo el año, apreciándose un pico reproductivo tanto para machos y hembras en el mes de mayo, sin embargo, no se observaron diferencias significativas.

No se establecieron cambios en las variables fisicoquímicas entre los diferentes sitios. En cuanto a la estacionalidad tampoco se encontraron cambios para los valores del oxígeno y sólidos disueltos totales. Sin embargo, si se encontraron diferencias significativas en los valores de la temperatura, el pH y la conductividad.

No se encontró relación entre las variables reproductivas y ambientales de manera temporal y espacial, esto podría explicarse por la presencia de manantiales los cuales promueven la renovación del agua generando condiciones fisicoquímicas más estables y homogéneas en el espacio y tiempo.

Otra posibilidad podría estar ligada a la estrategia reproductiva de *P. infans*, en la que los óvulos y los embriones se desarrollan dentro del cuerpo de la hembra, suponiendo una menor influencia de las condiciones ambientales externas.

Poeciliopsis infans presenta una proporción sexual anual dominada por las hembras, con una tendencia de 3 Hembras: 1 Macho.

Se observó un factor de condición constante tanto en machos como hembras, manteniéndose su condición robusta de manera temporal y espacial, siendo las hembras más robustas que los machos, indicando buena salud.

El tipo de crecimiento es alométrico positivo para ambos sexos, con una tendencia de aumento progresivo en la robustez mayor que en la longitud.

Se concluye que la especie nativa *P. infans* en el Lago de Zacapu se está reproduciendo exitosamente en todos los sitios muestreados a lo largo de un ciclo anual.

RECOMENDACIONES

Es necesario continuar evaluando los impactos de la influencia de la ciudad que bordea al el Lago de Zacapu sobre las especies de peces nativos que lo habitan, ya que es considerada como una de las zonas más importantes del centro de México para la conservación de la fauna acuática, esto permitiría diseñar un plan de manejo y conservación para las especies nativas, incluida *P. infans*.

Así mismo, evaluar aspectos de la ecología trófica e interacciones entre las especies de peces que habitan en el Lago de Zacapu y así identificar el papel e importancia ecológica de *P. infans* dentro del sistema acuático.

LITERATURA CITADA

Araújo, L. G., y Monteiro, L. R. (2013). **Growth pattern and survival in populations of *Poecilia vivipara* (Teleostei; Poeciliidae) inhabiting an environmental gradient: a common garden study.** *Environmental biology of fishes*, 96(8), 941-951.

Ayala-Ramírez, G. L., G. Ruiz-Sevilla, y Chacon-Torres A. (2007). **La Laguna de Zacapu, Michoacán.** Pages 268-284 in G. De la Lanza, editors. *Las aguas interiores de México: Conceptos y casos.* AGT EDITOR, S. A. México, Distrito Federal.

Bernal-Brooks, F.W. (1998). **The lakes of Michoacán (Mexico): A brief history and alternative point of view.** *Freshwater. Forum* 10:20-34.

Bhattraí, B. D., Kwak, S., Choi, K., y Heo, W. (2017). **Assessment of long-term physicochemical water quality variations by PCA Technique in Lake Hwajinpo, South Korea.** *Journal of Environmental Protection*, 8(13), 1636.

Bisazza, A. (1993). **Male competition, female mate choice and sexual size dimorphism in poeciliid fishes.** *Marine & Freshwater Behaviour & Phy*, 23(1-4), 257-286.

Cabrera, J. y Solano Y. (1995). **Fertilidad y fecundidad en *Poeciliopsis turrubarensis* (Pisces:Poeciliidae).** *Rev. Biol. Trop.* 43:317-320.

CETENAL. 1981. **Carta Topográfica E14 A11 Michoacán.**

Chacón-Torres, A., R. Pérez M. y E. Múzquiz U. (1991). **Síntesis Limnológica del Lugo de Pátzcuaro, Michoacán, México.** *Biología Acuática* 1. Srf de Difusión Cultural. Editorial Universitaria. Universidad Michoacana. 30 pp.

Constantz, G. D. (1979). **Life history patterns of a livebearing fish in contrasting environments.** *Oecologia*, 40(2), 189-201.

Contreras-MacBeath, T. (2005). **Knowledge sharing for sustainable development through biodiversity conservation in the Mesoamerican region.** Journal of Science Communication, 4(3), C05.

Contreras-MacBeath, T., y H. Espinoza-Ramírez. (1996). **Some aspects of the reproductive strategy of *Poeciliopsis gracilis* (Osteichthyes: Poeciliidae) in the Cuautla River, Morelos, Mexico.** J. Freshw. Ecol. 11:327-338.

Correa P., G., T. Vargas F., H. Hernández F., C. Arreola J., N. Corona J., R. L. Maderoy E., M. Cervantes de Valdés y C. Reyna F. (1974). **Geografía del Estado de Michoacán.** Geografía Física. Gobierno del Estado de Michoacán, EDISA, México. 454 pp.

De la Vega-Salazar, D., y Marina, Y. (2006). **Estado de conservación de los peces de la familia Goodeidae (Cyprinodontiformes) en la mesa central de México.** Revista de Biología Tropical, 54(1), 163-177.

Domínguez-Domínguez, O., Doadrio, I., y Pérez-Ponce de León, G. (2006). **Historical biogeography of some river basins in central Mexico evidenced by their goodeine freshwater fishes: a preliminary hypothesis using secondary Brooks parsimony analysis.** Journal of Biogeography, 33(8), 1437-1447.

Escalera-Gallardo, C. (1986). **Alimentación de los peces en la presa Guaracha, Michoacán.** Informe Técnico No. 22. CIIDIR-IPN-MICHOACÁN, Michoacán, México

Espinosa P., H., M. T. Gaspar D. y P. Fuentes M. (1993). **Listado Faunístico de México. III. Los Peces Dulceacuícolas Mexicanos.** Departamento de Zoología, Instituto de Biología, UNAM. 99 pp.

Farr, J. A., y Travis, J. (1986). **Fertility advertisement by female sailfin mollies, *Poecilia latipinna* (Pisces: Poeciliidae).** Copeia, 467-472.

Fisher, C. T., H. P. Pollard, I. Israde-Alcántera, V. H. Garduño-Monroy y S. K. Banerjee. (2003). **A reexamination of human-induced environmental change**

within the Lake Pátzcuaro basin, Michoacán, Mexico. Proc. Nat. Acad. Sci. 100:4957-4962.

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. y Pauly, D. (Eds), (2016). **Fishbase.** World Wide Web electronic publication, <http://www.fishbase.org>. Version (10/2016).

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.

Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Salgado-Ugarte, I. H., Sánchez-Herrera, A. K., y Sastré-Baez, L. (2008). **Reproduction of the fish *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in Coatetelco, a tropical shallow lake in Mexico.** *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1801-1812.

Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., y Guzmán-Santiago, J. L. (2016). **Reproductive biology of *Poecilia sphenops Valenciennes*, 1846 (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) at the Emiliano Zapata Reservoir in Morelos, Mexico.** *Neotropical Ichthyology*, 14.

Guzmán-Colín, T. (2020). **Aspectos reproductivos de la especie no nativa *Xiphophorus hellerii*, en el río Teuchitlán, Jalisco, México.** Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 42 pp.

Hayes, F. P., Dodrill, M. J., Gerig, B. S., Finch, C., y III, W. E. P. (2017). **Body condition of endangered humpback chub in relation to temperature and discharge in the lower Colorado River.** *Journal of Fish and Wildlife Management*, 8(1), 333-342.

Hernández, N., Díaz, M., Mendiola, J., Báez, J. y García, I. (2004). **Ingestión de larvas de *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) por *Girardinus metallicus* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae).** Revista Cubana de Medicina Tropical, 56 (2): 152-155.

Hurt, C. R., y Hedrick, P. W. (2003). **Initial stages of reproductive isolation in two species of the endangered Sonoran topminnow.** Evolution, 57 (12), 2835-2841.

Karr, J. R. y D. R. Dudley. (1981). **Ecological Perspective on water quality Goals. Environmental Management.** 555-68.

Keane, J. P., y Neira, F. J. (2004). **First record of mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in Tasmania, Australia: stock structure and reproductive biology.** New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 38(5), 857-867.

López-Sepulcre, A., Gordon, S. P., Paterson, I. G., Bentzen, P., y Reznick, D. N. (2013). **Beyond lifetime reproductive success: the posthumous reproductive dynamics of male Trinidadian guppies.** Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 280(1763), 20131116.

Magurran, A. E. (2009). **Threats to freshwater fish.** Science 325 (5945):1215-1216.

Margalef, R. (1983). **Limnología** (Vol. 1009). Barcelona: Omega.

Medina-Nava, M. (1993). **Ictiofauna de la Subcuenca del Río Angulo Cuenca Lerma-Chapala, Michoacán.** Tesis Profesional. Universidad Michoacana (UMSNH) (Inédita). 146 pp.

Meffe, G. K. (1985). **Life history patterns of *Gambusia marshi* (Poeciliidae) from Cuatro Ciénegas, Mexico.** *Copeia*, 898-905.

Mercado-Silva, N., M.R. Helmus y M.J. Vander Zanden (2009). **The effects of impoundment and non-native species on a river food web in Mexico's Central Plateau.** River Res. Applic. 25: 1090-1108.

Miller R, R., Minckley, W. L y Mark Norris, N. (2009). **Peces dulceacuícolas de México**. Primera edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. D. F.

Miller, R. R., W. L. Minckley y S. M. Norris. (2005). **Freshwater fishes of Mexico**. The University of Chicago Press. Chicago. 652 p.

Milton, D. A., y Arthington, A. H. (1983). **Reproductive biology of *Gambusia affinis holbrooki* Baird and Girard, *Xiphophorus helleri* (Gunther) and *Xiphophorus maculatus* (Heckel) (Pisces; poeciliidae) in Queensland, Australia**. *Journal of Fish Biology*, 23(1), 23-41.

Monaco, P. J., Rasch, E. M., y Balsano, J. S. (1978). **Cytological evidence for temporal differences during the asynchronous ovarian maturation of bisexual and unisexual fishes of the genus *Poecilia***. *Journal of Fish Biology*, 13(1), 33-44.

Moncayo E., R., (1996). **Estructura y función de la comunidad de peces de la Laguna de Zacapu, Michoacán, México**. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. México 172 p.

Montag, L. F. D. A., Freitas, T. M. D. S., Raiol, R. D. D. O., y Silva, M. V. D. (2011). **Length-weight relationship and reproduction of the guppy *Poecilia reticulata* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in urban drainage channels in the Brazilian city of Belém**. *Biota Neotropical*, 11(3), 93-97.

Nelson, J. S., Grande, T. C., y Wilson, M. V. (2016). ***Fishes of the World***. 4th ed. New York: John Wiley & Sons. 601 p.

Osorio, I. N. P., Salgado, N. A. N., y Juárez, K. S. (2014). **Contenido del tracto digestivo en hembras y machos de *Poeciliopsis infans* en el Estanque JF ubicado en Soyaniquilpan de Juárez, Estado de México**. *Revista de Zoología*, (25), 1-9.

Pitarque, A., Ruiz, J. C., y Roy, J. F. (1998). **Redes neurales vs modelos estadísticos: Simulaciones sobre tareas de predicción y clasificación.** *Psicológica: Revista de metodología y psicología experimental*, 19(3), 387-398.

Plath M, Heubel KU, García de León FJ, y Schlupp I (2005) **Cave molly females (*Poecilia mexicana*, Poeciliidae, Teleostei) like well-fed males.** *Behavioral ecology and sociobiology*.58:144–151.

Ramírez-García A, Moncayo-Estrada R, González-Cárdenas J. J. and Domínguez-Domínguez O. 2021. **Reproductive cycle of native viviparous fish species (Actinopterygii: Cyprinodontiformes: Goodeidae) in a subtropical lake.** *Neotropical Ichthyology*, 19.

Ramírez-García, A., Ramírez-Herrejón, J. P., Medina-Nava, M., Hernández-Morales, R., y Domínguez-Domínguez, O. (2018). **Reproductive biology of the invasive species *Pseudoxiphophorus bimaculatus* and *Poecilia sphenops* in the Teuchitlán River, México.** *Journal of Applied Ichthyology*, 34(1), 81-90.

Ramírez-Herrejón J.P., Medina-Nava M., Salazar Tinoco C.I., y Zubieta T. L.E. (2007). **Algunos aspectos reproductivos de *Zoogoneticus quitzeoensis* Hubbs y Turner (1939) (Osteichthyes-Goodeidae) en la represa La Mintzita Morelia, Michoacán, México.** *Biológicas* 9 (1): 63–71.

Ramírez-Herrejón, J. P., Castañeda-Sam, L. S., Moncayo-Estrada, R., Caraveo-Patiño, J., y Balart, E. F. (2013). **Trophic ecology of the exotic Lerma livebearer *Poeciliopsis infans* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in the Lago de Pátzcuaro, Central Mexico.** *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1289-1300.

Ramírez-Patiño, N. M. (2020). **Relación de las variables reproductivas respecto a las variables ambientales de *Xiphophorus hellerii* (Heckel 1848) en el río Teuchitlán, Jalisco, México.** Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 41 pp.

Reznick, D.N. y D.B. Miles. (1989). **A review of life history patterns in poeciliid fishes**, p. 125-148. *In* Meffe, G. K. y F. F. Snelson, Jr. (eds). Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae). Ed. Prentice Hall, Nueva Jersey.

Roselli, L., Fabbrocini, A., Manzo, C., y D'Adamo, R. (2009). **Hydrological heterogeneity, nutrient dynamics and water quality of a non-tidal lentic ecosystem (Lesina Lagoon, Italy)**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84(4), 539-552.

Schoenherr, A. A. (1977). **Dependent and density independent regulation of reproduction in the Gila Topminnow, *Poeciliopsis occidentalis* (Baird and Girard)**. *Ecology*, 58: 438-444.

Scrimshaw, N. S., (1994). **Superfetation in poeciliid fishes**. *Copeia*, 1944(3), 180-183.

SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología). (1990). **Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua**. CE-CAA-001/89 Gaceta Ecológica. Enero 1990 México.

Silva-Santos, J. R. (2016). **Biología reproductiva de *Goodea atripinnis* (Jordan, 1880) y *Poeciliopsis infans* (Woolman, 1984), en condiciones de cautiverio**. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 223 pp.

Snelson Jr, F. F. (1989). **Social and environmental control of life history traits in poeciliid fishes**. *Ecology & evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)*, 149-161.

Sparre, P., y Venema, S. C. (1997). **Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales** (No. 04; SH327. 5, S63.). Roma: Fao.

Sturges, H. A. (1926). **The choice of a class interval**. *Journal of the american statistical association*, 21(153), 65-66.

Thibault, R. E., y Schultz, R. J. (1978). **Reproductive adaptations among viviparous fishes (Cyprinodontiformes: Poeciliidae)**. *Evolution*, 320-333.

Tobler, M., Riesch, R., De León, F. G., Schlupp, I., y Plath, M. (2008). **A new and morphologically distinct population of cavernicolous *Poecilia mexicana* (Poeciliidae: Teleostei)**. *Environmental Biology of Fishes*, 82(1), 101-108.

Trexler, J. C., y DeAngelis, D. L. (2010). **Modeling the Evolution of complex Reproductive Adaptations in Poeciliid Fishes: Matrotrophy and Superfetation**. In: *Viviparous Fishes II*. Uribe, M. C., y Grier, H. J. (Eds). Editorial New Life Publication. 1 st edition. Mexico. Miami, USA, 231-240.

Turner, C. L., (1940). **Pericardial sac, trophotaeniae, and alimentary tract in embryos of goodeid fishes**. *Journal of Morphology*, 67(2), 271-289.

Uribe, M. C., Aguilar-Morales, M., De la Rosa-Cruz, G., García-Alarcón, A., Campuzano-Caballero, J. C., y Guerrero-Estévez, S. M. (2010). **Ovarian structure and embryonic traits associated with viviparity in poeciliids and goodeids**. *Viviparous fishes II*, 211-229.

Valencia-Vargas R, Escalera-Vázquez LH. (2021). **Abundancia de la salamandra *Ambystoma andersoni* con relación a la dinámica estacional y heterogeneidad espacial en el lago de Zacapu, Michoacán, México**. *Rev Mex Biodivers*, 92, 923283..

Vanni, M.J., K.K. Arend, M.T. Bremigan, D.B. Bunnell, J.E. Garvey, M.J. González, W.H. Renwick, P.A. Soranno y R.A. Stein. (2005). **Linking landscapes and food webs: effects of omnivorous fish and watersheds on reservoir ecosystems**. *Bioscience* 2: 155-167.

Vargas, M. J., y De Sostoa, A. (1996). **Life history of *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae) in the Ebro delta (NE Iberian peninsula)**. *Hydrobiologia*, 341 (3), 215-224.

von Bertrab, E. (2003). **Guadalajara's water crisis and the fate of Lake Chapala: A reflection of poor water management in Mexico**. *Environ. Urban.* 15:127-140.

Wourms, J. P. (1981). **Viviparity: the maternal-fetal relationship in fishes.** American Zoologist, 21(2), 473-515.

Zubieta R., T. (1985). **Estudio Sobre los Hábitos Alimenticios de Seis Especies de Peces del Lago de Cuitzeo, Mich.** Tesis Profesional. Universidad Michoacana (UMSNH) Inédita.